

Eignung des Chroma-Boden-Tests zur Bestimmung von Kompostqualität und Rottegrad

von der Fakultät V Mathematik und Naturwissenschaften
der Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften
angenommene

Dissertation

von

Dipl. Biologin Nicola Haßold-Piezunka
geboren am 30.9.1965 in Augsburg

Erstreferent: apl. Prof. Dr. L. Giani

Koreferent: Prof. Dr. W. E. Krumbein

Tag der Disputation: 27.10.03

1	EINLEITUNG	1
2	THEORETISCHER HINTERGRUND	3
2.1	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN DER KOMPOSTIERUNG	3
2.2	KLASSISCHE PARAMETER ZUR QUALITÄTSBEURTEILUNG DES ROTTE- PROZESSES	5
2.2.1	Zusammensetzung des Ausgangsmaterials	5
2.2.2	Kompostierungsverfahren und Mietenführung	6
2.2.3	C/N-Verhältnis	7
2.2.4	Wassergehalt	8
2.2.5	Gehalt an organischer Substanz	9
2.2.6	pH-Wert	12
2.2.7	Kationenaustauschkapazität (KAK)	13
2.2.8	Selbsterhitzungstest zur Bestimmung des Rottegrads	13
2.2.9	Mineralischer Stickstoff	14
2.3	MODERNE QUANTITATIVE PARAMETER ZUR BEURTEILUNG DER VERÄNDE- RUNG DER ORGANISCHEN SUBSTANZ IM KOMPOSTIERUNGSVERLAUF	16
2.3.1	Huminstoffgehalte	16
2.3.2	Spezifische Molekülstrukturen in der organischen Substanz	17
2.4	QUALITATIVER ANSATZ ZUR BEURTEILUNG VON KOMPOSTIERUNGS- PROZESS UND KOMPOSTQUALITÄT	19
2.4.1	Chroma-Boden-Test	19
2.5	ANFORDERUNGEN AN DIE QUALITÄT VON FERTIGKOMPOSTEN	23
3	MATERIAL UND METHODEN	27
3.1	HERKUNFT UND CHARAKTERISIERUNG DER UNTERSUCHTEN KOMPOSTE	27
3.2	GEGENÜBERSTELLUNG DER VERWENDETEN KOMPOSTE IN BEZUG AUF AUSGANGSMATERIAL UND VERFAHRENSTECHNIK	31
3.3	PROBENAHME UND LAGERUNG	35
3.4	TEMPERATURMESSUNGEN AM MIETENKÖRPER	35

3.5	ANALYTIK	36
3.5.1	Allgemeine Analytik	36
3.5.2	Korngrößenanalyse	37
3.5.3	Kationenaustauschkapazität	37
3.5.4	Bestimmung des Huminstoffgehaltes	38
3.5.5	Charakterisierung spezifischer Molekülstrukturen	39
3.6	CHROMA-BODEN-TEST	39
3.7	PFLANZENVERTRÄGLICHKEITSTESTS	42
3.8	STATISTIK	44
4	ERGEBNISSE	45
4.1	DIE ENTWICKLUNG DER KOMPOSTE UNTER BETRACHTUNG DER PARAMETER AUSGANGSMATERIAL, WASSER- UND SAUERSTOFF-VERSORGUNG, ABBAU DER ORGANISCHEN SUBSTANZ, C/N, PH, SELBSTERHITZUNG, MIETENTEMPORATUR UND N _{MIN} .	45
4.1.1	Komposte mit sehr intensiver und schneller Entwicklung (Komposte 4.1, 4.2, 2.4)	45
4.1.2	Komposte mit intensiver und schneller Entwicklung (Komposte 7.1, 7.2, 10.1)	48
4.1.3	Komposte mit mittlerer Entwicklungsintensität und –geschwindigkeit (Komposte 2.2, 2.1, 2.3, 1.2, 3.1, 5.2, 9.3)	51
4.1.4	Komposte mit mittlerer Entwicklungsintensität über längere Zeit (Komposte 1.1, 9.1, 9.2)	55
4.1.5	Komposte mit geringer Entwicklungsintensität (Komposte 3.2, 10.2, 5.3, 5.1, 4.3, 5.2)	58
4.1.6	Komposte ohne erkennbar relevante Entwicklung (Kompost 6.1)	61
4.2	DIE ENTWICKLUNG DER KOMPOSTE UNTER GENAUERER BETRACHTUNG VON VERÄNDERUNGEN DER ORGANISCHEN SUBSTANZ	63
4.2.1	Die Entwicklung von Huminstoffgehalten und Kationen- austauschkapazität	63
4.2.2	Die Veränderung spezifischer Molekülstrukturen in der organischen Substanz	67

4.3	DIE ENTWICKLUNG DER CHROMATOGRAMME IM KOMPOSTIERUNGS- VERLAUF	72
4.3.1	Die Größe und Farbe der zentralen Zone	72
4.3.2	Die Breite und Farbe der inneren Zone	74
4.3.3	Die Breite und Farbe der mittleren Zone	77
4.3.4	Die Farbe der äußeren Zone	78
4.3.5	Die Menge, Länge und Farbe der Zacken	80
4.3.6	Die Wolkenbildung im Bereich der Zackenspitzen	81
4.3.7	Die Farbe des Bildrandes	83
4.3.8	Die radiale Struktur	84
4.3.9	Die Grenze zwischen innerer und mittlerer Zone	86
4.3.10	Besonderheiten in den Chromatogrammen	86
4.4	FERTIGKOMPOSTE – ANALYSENERGEBNISSE UND KORRELATIONEN MIT BILDMERKMALEN DER CHROMATOGRAMME	101
4.5	ZUSAMMENFASSUNG DER FÜR DIE KOMPOSTIERUNGSPRAXIS RELEVANTEN ERGEBNISSE AUS DEM CHROMA-BODEN-TEST	105
5	DISKUSSION: DIE INTERPRETATION DER CHROMATO- GRAMME UND IHRE AUSSAGE BEZÜGLICH DER QUALITÄT VON KOMPOSTEN.	107
6	ZUSAMMENFASSUNG	111
7	LITERATURVERZEICHNIS	113
8	ANHANG 1	127
9	ANHANG 2 DIGITALER ANHANG: ABBILDUNG DER CHROMATOGRAMME AUF BEILIEGENDER CD	183
	DANKSAGUNG	185
	CURRICULUM VITAE	187

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Schematisierte Entwicklung der Miettemperatur und Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, Glühverlust und C/N-Verhältnis, pH, KAK und Huminstoffgehalt, NH_4 und NO_3 im Kompostierungsverlauf.....	11
Abb. 2:	Die Bildgestalt von Kompostchromatogrammen mit ihren wesentlichen Merkmalen.	20
Abb. 3:	Kompost 4.1: Entwicklung von Miettemperatur, Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}	47
Abb. 4:	Kompost 7.1: Entwicklung von Miettemperatur, Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}	49
Abb. 5:	Kompost 2.2: Entwicklung von Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}	52
Abb. 6:	Kompost 1.1: Entwicklung von Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}	57
Abb. 7:	Kompost 3.2: Entwicklung von Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}	59
Abb. 8:	Kompost 6.1: Entwicklung von Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}	62
Abb. 9:	Kompost 2.2: Entwicklung von Huminstoffgehalt/org.S. und KAK im Kompostierungsverlauf	63
Abb. 10:	Kompost 7.1: Entwicklung von Huminstoffgehalt/org.S. und KAK im Kompostierungsverlauf	64
Abb. 11:	Kompost 4.2: Entwicklung von Huminstoffgehalt/org.S. und KAK im Kompostierungsverlauf	65
Abb. 12:	Kompost 4.1: Entwicklung von Huminstoffgehalt/org.S. und KAK im Kompostierungsverlauf	65
Abb. 13:	Veränderung der Absorptionen bei WZ 2918 im Kompostierungsverlauf bei unterschiedlicher Sauerstoffversorgung der einzelnen Komposte	67
Abb. 14:	Intensität der Zu- bzw. Abnahme der Absorption bei WZ 1623 gegenüber den Veränderungen des Huminstoffgehalts im Kompostierungsverlauf.....	69
Abb. 15:	Intensität der Zu- bzw. Abnahme der Absorption bei WZ 1623 im Kompostierungsverlauf gegenüber dem Anteil an holzigen Bestandteilen sowie der Sauerstoffversorgung in den einzelnen Komposten.....	70
Abb. 16:	Entwicklung der Größe der zentralen Zone in den Chromatogrammen sowie des Huminstoffgehaltes/org.S. im Kompostierungsverlauf in den Komposten 2.2, 4.1, 4.2 und 6.1	72
Abb. 17:	Gegenüberstellung von C/N-Verhältnissen und der Breite der inneren Zone in den Chromatogrammen	75
Abb. 18:	Kompost 1.1: Chromatogramme der Proben W0, W4, W6, W16	89
Abb. 19:	Kompost 2.1: Chromas Proben W0, W9, W16, W18 (FK7)	89
Abb. 20:	Kompost 2.2: Chromatogramme der Proben W0, W4, W8, W14	91
Abb. 21:	Kompost 3.1: Chromas der Proben W0, W4, W12, W18 (FK 8).....	91
Abb. 22:	Kompost 4.1: Chromas der Proben W0, W2, W4, W10 (FK 12).....	93
Abb. 23:	Kompost 4.3: Chromas der Proben W1, W3, W5, W13 (FK 19).....	93
Abb. 24:	Kompost 5.3: Chromas der Proben W0, W6, W8 (FK 23)	95

Abb. 25:	Kompost 6.1: Chromas der Proben W4, W9, W15, W18 (FK 21)	95
Abb. 26:	Kompost 7.2: Chromatogramme der Proben W0, W4, W7, W15	97
Abb. 27:	Kompost 9.2: Chromatogramme der Proben W1, W3, W8, W15	97
Abb. 28:	Kompost 10.2: Chromatogramme der Proben W0, W2, W4, W10	99
Abb. 29:	Chromas zusätzlich untersuchter Fertigkomposte: FK 1, 4, 9, 11	99
Abb. 30:	Geschlossener Kresstest: EE0, sowie die Komposte 19 bis 23	103
Abb. 31:	Gerstetest auf 25% und 50% Kompost EE0, sowie FK 6 bis 8 und 12 bis 14.	103
Abb. 32:	Chinakohltest: EE0, sowie die Komposte FK 6 bis 8 und 12 bis 14.	103
Abb. A1	FT/IR- Spektroskopie: Graphische Darstellung der relativen Absorptionen in den untersuchten Komposten	139
Abb. A2	Veränderung der Größen von zentraler, innerer und mittlerer Zone sowie des Durchmessers von z.Z. & i.Z. im Kompostierungsverlauf aller Komposte	157

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Einsatzbereiche von Kompost aus getrennt erfassten organischen Abfällen und ihre Anteile an der Kompostverwertung (LVG HANNOVER-AHLEM et al., 1997; KERN, 1999).....	23
Tab. 2:	Soll- bzw. Grenzwerte verschiedener Parameter für Fertig- und Substratkomposte	24
Tab. 3:	Angaben zu Kompostierungsbeginn, Ausgangsmaterial, Kompostierungsverfahren, Mietenführung und Versuchsdauer der beprobten Komposte.	28
Tab. 4:	Überblick über Unterschiede und Ähnlichkeiten der beprobten Komposte bezüglich Kompostierungsbeginn, Gehalt an Küchen- und privaten Gartenabfällen, Strauchschnitt und anderen org. Materialien, Abschätzung des Gehalts an holzigen Bestandteilen, C/N-Verhältnis sowie Wassergehalt im Ausgangsmaterial.	33
Tab. 5:	Vergleich der untersuchten Komposte bezüglich wesentlicher Verfahrensunterschiede: Mietengröße und –volumen, Zwangsbelüftung, Überdachung/Abdeckung, der ev. Vorbehandlungen der Bioabfälle, der durchschnittlichen Umsetzfrequenz pro Woche, der Sauerstoffversorgung sowie der Kompostierungsdauer.....	34
Tab. 6:	Einteilung der Rottegrade nach Maximaltemperatur im Selbsterhitzungstest	37
Tab. 7:	Verwendete Kompostmischungen, Saatmenge und Versuchsdauer der Pflanzenverträglichkeitstests.	43
Tab. A1:	Analysenergebnisse: Wassergehalt, pH (CaCl ₂), Glühverlust, N _{ges} , C _{ges} , C/N	127
Tab. A2:	Analysenergebnisse: N _{min} , Selbsterhitzung, KAK, Huminstoffe in der organischen Substanz; Messergebnisse: Mientemperatur	131
Tab. A3:	Gesamtabbau der organischen Substanz, Veränderung des Huminstoffgehaltes sowie der KAK während des Kompostierungsverlaufs der untersuchten Komposte	135
Tab. A4:	Ergebnisse aus der FT-IR- Spektroskopie: relative Absorptionen bei den Wellenzahlen 2918, 2846, 1710, 1623, 1508 und 1030.	136
Tab. A5:	Prozentuale Veränderungen der relativen Absorptionen bei den Wellenzahlen 2918, 2846, 1710, 1623, 1508 und 1030 im Kompostierungsverlauf.	137
Tab. A6:	Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test: Durchmesser der zentralen Zone (z.Z.), sowie von z.Z.&i.Z.; Breite der inneren Zone (i.Z.), Ringausbreitung in i.Z., Farben der z.Z. und i.Z.	140
Tab. A7:	Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test: Breite der mittleren Zone (m.Z.), Grenze i.Z./m.Z., Menge und Länge der Zacken, Farbe der m.Z. sowie der Zacken	145
Tab. A8:	Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test: Farbe von äußerer Zone (ä.Z.) und Bildrand, Wolken um Zackenspitzen, Struktur und Besonderheiten.	150
Tab. A9:	Gegenüberstellung von NH ₄ -Werten und Farbe der zentralen Zone in einer Mehrfeldertafel.	158
Tab. A10:	Gegenüberstellung von NH ₄ -Werten und Farbe der zentralen Zone in einer Mehrfeldertafel zur statistischen Auswertung.	158
Tab. A11:	Gegenüberstellung der Farbe der inneren Zone mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.	159

Tab. A12: Gegenüberstellung der Farbe der inneren Zone mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	160
Tab. A13: Gegenüberstellung der Farbe der inneren Zone mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel zur statistischen Auswertung.	160
Tab. A14: Gegenüberstellung der Farbe der inneren Zone mit der Selbsterhitzungsfähigkeit in einer Mehrfeldertafel.	161
Tab. A15: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel zur statistischen Auswertung.	161
Tab. A16: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.....	161
Tab. A17: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	162
Tab. A18: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem Ammonium-gehalt in einer Mehrfeldertafel zur statistischen Auswertung.....	162
Tab. A19: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit der Selbst-erhitzung in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.	162
Tab. A20: Gegenüberstellung der Farbe des Bildrandes mit dem Huminstoffgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	163
Tab. A21: Gegenüberstellung der Farbe des Bildrandes mit dem Ammonium-gehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.....	163
Tab. A22: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit den Huminstoffgehalten in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung	163
Tab. A23: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit den Huminstoffgehalten in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.	164
Tab. A24: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem Glühverlust in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.	164
Tab. A25: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.	164
Tab. A26: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.	165
Tab. A27: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit der Absorption bei WZ 1623 in einer Mehrfeldertafel.....	165
Tab. A28: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit der Absorption bei WZ 1623 in einer Mehrfeldertafel.....	165
Tab. A29: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.	166
Tab. A30: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	166
Tab. A31: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.	166
Tab. A32: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel.....	167
Tab. A33: Gegenüberstellung der Struktur mit dem Huminstoffgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.....	167
Tab. A34: Gegenüberstellung der Struktur mit dem Glühverlust in einer Mehrfeldertafel. ...	167
Tab. A35: Gegenüberstellung der Struktur mit der Absorption bei WZ 1623 in einer Mehrfeldertafel.....	168
Tab. A36: Gegenüberstellung der Struktur mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.....	168

Tab. A37: Gegenüberstellung der Struktur mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung	168
Tab. A38: Gegenüberstellung der Struktur mit der Selbsterhitzungsfähigkeit in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung	169
Tab. A39: Gegenüberstellung der Grenze i.Z./m.Z. mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.	169
Tab. A40: Gegenüberstellung der Grenze i.Z./m.Z. mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung.	169
Tab. A41: Gegenüberstellung der Grenze i.Z./m.Z. mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung	170
Tab. A42: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit dem Huminstoffgehalt in einer Mehrfeldertafel.	170
Tab. A43: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel.	170
Tab. A44: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.	170
Tab. A45: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.	171
Tab. A46: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel.	171
Tab. A47: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit dem Glühverlust in einer Mehrfeldertafel.	171
Tab. A48: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel.	171
Tab. A49: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.	171
Tab. A50: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit dem Gehalt an Ammonium in einer Mehrfeldertafel.	172
Tab. A51: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel.	172
Tab. A52: Analysenergebnisse der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: Wassergehalt, Rohdichte, Glühverlust, pH-Wert, Salzgehalt (KCl), C/N, Ammonium, Nitrat, Phosphat, Kaliumoxid, Magnesiumoxid, Nitrit, Selbsterhitzung.	173
Tab. A53: Relative Frischmasseerträge aus den Pflanzentests der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: geschlossener Kresstest, Sommergerste auf 25% und 50% Kompost, Chinakohltest.	174
Tab. A54: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: Durchmesser der zentralen Zone (z.Z.), sowie von z.Z.&i.Z.; Breite der inneren Zone (i.Z.), Ringausbreitung in i.Z. Farben der z.Z. und i.Z.	175
Tab. A55: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: Breite der mittleren Zone (m.Z.), Grenze i.Z./m.Z. Menge und Länge der Zacken, Farbe der m.Z. sowie der Zacken	176
Tab. A56: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: Farbe von äußerer Zone (ä.Z.) und Bildrand, Wolken um Zackenspitzen, Struktur.	177
Tab. A57: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der i.Z. mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel. ...	178

Tab. A58: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe des Bildrandes mit dem Salzgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	178
Tab. A59: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der z.Z. mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel.....	178
Tab. A60: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der ä.Z. mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	178
Tab. A61: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Struktur mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	179
Tab. A62: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	179
Tab. A63: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem Nitratgehalt in einer Mehrfeldertafel.....	179
Tab. A64: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der ä.Z. mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel.	179
Tab. A65: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel.	180
Tab. A66: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel.	180
Tab. A67: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Bildrandfarbe mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel.	180
Tab. A68: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Struktur mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel.	180
Tab. A69: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem Chinakohltest in einer Mehrfeldertafel.....	181
Tab. A70: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem Chinakohltest in einer Mehrfeldertafel.....	181
Tab. A71: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem Chinakohltest in einer Mehrfeldertafel.....	181
Tab. A72: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Struktur mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem Chinakohltest in einer Mehrfeldertafel.....	181

Abkürzungen

α	Irrtumswahrscheinlichkeit
A dest.	demineralisiertes Wasser
ä.Z.	äußere Zone
C	Kohlenstoff
C/N	Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis
Chroma	Rundfilterchromatogramm nach E. Pfeiffer
FTIR	Fourier-transform Infrarotspektroskopie
gem.	gemessen
ges.	gesamt
geschl.	geschlossen
h	Stunden
Hmst	Huminstoffe
Hmstgeh.	Huminstoffgehalt
i.Z.	innere Zone
i.d.TS	in der Trockensubstanz
KAK	Kationenaustauschkapazität
m.Z.	mittlere Zone
N	Stickstoff
n.g.	nicht gemessen
NaOH	Natriumhydroxid
N _{ges}	Gesamtstickstoff
N _{min}	mineralisierter Stickstoff
NMR	nuclear magnetic resonance
O ₂	Sauerstoff
org.S.	organische Substanz
r	Korrelationskoeffizient
RG	Rottegrad
s.o.	siehe oben
t	Tonne
TS	Trockensubstanz
u.ä.	und Ähnliches
v.a.	vor allem
Verh.	Verhältnis
W	Woche
WZ	Wellenzahl
z.Z.	zentrale Zone

Definitionen

Aerobe Behandlung

Gelenkter biologischer Abbau bzw. Umbau organischer Abfälle unter aeroben Bedingungen. Auch Kompostierung, aerobe Zersetzung, Verrottung oder Rotte(prozess) genannt (JÄGER UND SCHENKEL, 2001).

Anaerobe Behandlung

Gelenkter biologischer Abbau bzw. Umbau von nativ- organischer Substanz in geschlossenen Systemen unter Luftabschluss. Auch Faulung, anaerobe Zersetzung oder Vergärung genannt (JÄGER UND SCHENKEL, 2001).

Bioabfälle

Im Siedlungsabfall enthaltene, getrennt gesammelte biologisch abbaubare organische Abfallanteile.

Chromatest/ Chroma-Boden-Test

„Chromatest“ ist eine allgemeine Kurzform für „Rundfilterchromatographie nach E. Pfeiffer“. „Chroma-Boden-Test“ spezifiziert den Anwendungsbereich der Methode auf Böden und Komposte.

Fertigkompost

Endprodukt einer aeroben Rotte, bei dem leicht abbaubare organische Substanz weitgehend biologisch umgesetzt ist. Hygienisierter, biologisch stabiler und fraktionierter Kompost zur Bodenverbesserung und Düngung (LAGA M10, 1995; BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E.V., 1999).

Frischkompost

Hygienisiertes Rottegut mit höheren Gehalten an leicht abbaubarer organischer Substanz, in intensiver Rotte befindlich oder zu intensiver Rotte fähig. Fraktioniertes Rottegut zur Bodenverbesserung und Düngung (LAGA M10, 1995; BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E.V., 1999).

Inputmaterial

Material, das einer Abfallbehandlungsanlage zugeführt wird.

Kompostreife

Zustand der biologischen Stabilität im Rottegut, bei dem sich mikrobielle Umsetzungen nur noch auf niedrigem Niveau abspielen und beim Einsatz des Produktes keine negativen Auswirkungen durch N-Festlegung, phytotoxische Substanzen oder starke biologische Umsetzungen zu erwarten sind (ZUCCONI UND BERTOLDI, 1987; FLEDDERMANN, 1990).

Rotte

Unter aeroben Bedingungen ablaufender mikrobieller Ab- und Umbau von organischem Material.

Rottegrad

„Der Rottegrad ist ein Maß für die biologische Aktivität eines Kompostes. (...) Er kennzeichnet den Stand des Abbaugeschehens und stellt einen Abschnitt auf einer mit allgemein gültigen Maßzahlen für den Rotteverlauf erstellten Skala dar“ (JOURDAN, 1988).

Substratkompost

Fertigkompost mit begrenzten Gehalten an löslichen Pflanzennährstoffen und Salzen, geeignet als Mischkomponente für Kultursubstrate (LAGA M10, 1995; BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E.V., 1999).

1 Einleitung

Mit dem Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes im Jahre 1996 (BUNDESGESETZBLATT I S. 2705, 1994) ist die Verwertung biologisch abbaubarer Reststoffe im Rahmen von Kompostierung oder Vergärung zunehmend in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses gerückt. Das Aufkommen an jährlich anfallenden organischen Reststoffen, das einer Verwertung zugeführt werden kann, wird bundesweit auf ca. 10-12 Mio. Tonnen geschätzt (KEHRES, 2001). Nach einer Reduzierung der organischen Substanz durch mikrobiologische Mineralisierungs- und Umwandlungsprozesse im Kompostierungsverlauf verbleiben schließlich rund 5-6 Mio. Tonnen. Diese werden überwiegend in der Landwirtschaft zur Düngung und Bodenverbesserung, im Garten- und Landschaftsbau (zur Anlage von Grünflächen und Rekultivierung), aber auch zur Herstellung hochwertiger Erden und Substrate eingesetzt (KERN, 1999).

Für den Hersteller, als auch für Anwender ist es von großer Bedeutung, die Qualität der Komposte sicher bewerten zu können. Hierzu dienen üblicherweise die Bestimmungen der RAL-Gütegemeinschaft (1992) mit einer Vielzahl an Parametern (Fremdstoff-, Schadstoff- sowie Nährstoffgehalte, Pflanzenverträglichkeitstests, Rottegrad nach LAGA M10, 1995), die in ihrer Gesamtheit aufwendig und kostspielig sind. Weitergehende quantitative oder qualitative Untersuchungen der im Kompost enthaltenen Huminstoffe werden in der Regel nicht durchgeführt, obwohl diesen aufgrund ihrer vielfältigen positiven Wirkung im Boden (Strukturstabilisation, Sorptions- und Austauschkapazität für Wasser-, Nähr- und Schadstoffe etc. ZIECHMANN, 1981, 1996) eine große Bedeutung zukommt.

Mit dem Ziel, einen einfachen Test für die Praxis zu etablieren, der die Qualität von Komposten einschließlich der enthaltenen Huminstoffe darstellen kann, wurde in der vorliegenden Arbeit der Chroma-Boden-Test an Komposten (nach PFEIFFER, 1959a, b, verändert) angewandt. Dabei soll überprüft werden, ob der Chroma-Boden-Test als technisch wenig aufwendige papierchromatographische Methode ein „Bild des Kompostes“ liefern kann, das einen schnellen und kostengünstigen Einblick in den Rottefortschritt und die

Qualität eines Kompostes erlaubt und damit möglicherweise aufwendige Standardmethoden sinnvoll ergänzen oder ersetzen kann.

In dieser Arbeit wurde ein breites Spektrum unterschiedlicher Komposte aus verschiedenen norddeutschen Kompostierungsanlagen im Verlauf des Rotteprozesses dem Chroma-Boden-Test unterzogen. Des weiteren wurden diese Komposte mit praxisüblichen Methoden untersucht (Wassergehalt, pH-Wert, Glühverlust, C/N-Verhältnis, mineralisierter Stickstoff, Selbsterhitzungstest), und die qualitative Entwicklung der organischen Substanz über Messungen des Gehalts an laugelöslichen Huminstoffen sowie mittels IR-Spektroskopie dokumentiert. Zudem wurden 19 Fertigkomposte zusätzlich auf ihren Salzgehalt, auf weitere Pflanzennährstoffe (Mg, K, PO_4^{3-}), sowie auf ihre Pflanzenverträglichkeit mittels verschiedener Pflanzentests untersucht.

Die Ergebnisse wurden mit differenzierten Bildelementen (Zonengrößen und -farben, Strukturen) aus den Chromatogrammen korreliert, um die Aussagefähigkeit bzw. Eignung des Chroma-Boden-Testes zur schnellen und einfachen Bestimmung von Kompostqualität und Rottegrad zu überprüfen.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Allgemeine Grundlagen der Kompostierung

Kompost besteht aus einem Konglomerat von unveränderten und in Abbau und Umbau befindlichen organischen Ausgangsstoffen, sowie auch komposteigenen Neubildungen, d.h. Huminstoffen, die das Produkt synthetisierender Prozesse aus Intermediärprodukten sind (ZIECHMANN, 1996).

Grundsätzlich spielen dabei Mikroorganismen eine herausragende Rolle, indem sie durch Ausscheidung von Enzymen eine katalytisch bedingte Zersetzung der Ausgangsstoffe bewirken. Die dabei frei werdende Energie führt im Falle der aeroben Kompostierung zu einer charakteristischen, mehr oder weniger starken Erhitzung (Selbsterhitzung) des Materials. Insbesondere spielen Bakterien, Actinomyceten und Pilze eine große Rolle für die oben erwähnten Prozesse.

Frisches organisches Material durchläuft bei der aeroben Rotte charakteristische Temperaturstadien, sofern günstige Rottebedingungen gegeben sind (Abb.1):

- die mesophile Phase (Temperaturanstieg bis ca. 50 °C)
- die thermophile Phase (Phase hoher Temperaturbereiche, bis max. 70 °C)
- die Abkühlungsphase (ZIECHMANN, 1996).

In Abhängigkeit von den Anteilen an leicht abbaubaren Stoffen (insbesondere der Kohlenhydrate) in der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, des Wassergehaltes und der Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen setzt nach einem raschen Temperaturanstieg in der mesophilen Phase, die thermophile Phase innerhalb von Stunden oder aber weniger Tage nach dem Aufsetzen des Kompostes ein und kann zwischen 20 und 100 Tagen andauern (KÖRNER ET AL., 1996; VON RHEINBABEN, 1994).

Der Temperaturanstieg über die mesophile in die thermophile Phase wird durch die ständig wachsende Zahl der Mikroorganismen hervorgerufen, die durch Oxidationsprozesse die in der organischen Substanz gebundene

Energie zum Teil in Wärme umsetzen. Dabei ändert sich die Zusammensetzung der Mikroflora sowohl mit dem Temperaturanstieg als auch in der späteren Abkühlungsphase. Ist die Temperatur allmählich wieder auf das Niveau der Außentemperatur abgesunken, und steigt sie auch nach weiterem mechanischem Umarbeiten nicht mehr wesentlich an, so befindet sich der Kompost im sogenannten „Reifestadium“ (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1995).

Während des Rotteverlaufs ändern sich auch O_2 -Bedarf und CO_2 -Gehalt in der Miete in charakteristischer Weise: Der O_2 -Bedarf und entsprechend die CO_2 -Produktion steigen mit zunehmender Organismenzahl im Kompost an und erreichen in der thermophilen Phase infolge einer sehr aktiven Mikroorganismen-tätigkeit ihr Maximum. In der Abkühlungsphase sinkt entsprechend der abnehmenden Rotteintensität die CO_2 -Produktion wieder, während der O_2 -Gehalt langsam ansteigt, bis sich die Zusammensetzung des Gasgemisches innerhalb der Miete immer mehr der Außenluft angleicht (ZIECHMANN, 1996).

Der oben geschilderte Rotteprozess wird durch eine Reihe verschiedener Faktoren beeinflusst. Somit werden auch die Lebensbedingungen der Mikroorganismen und damit zusammenhängend der Temperaturverlauf und die CO_2 -Entwicklung beeinflusst. Die wichtigsten Faktoren sind dabei die Nährstoffzusammensetzung und –verfügbarkeit im Ausgangsmaterial, dessen Struktur, der Wassergehalt und die Sauerstoffversorgung, sowie die Intensität der mechanischen Umarbeitung (Wendeintensität) der Kompostmieten (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1995; KÖRNER ET AL., 1996).

2.2 Klassische Parameter zur Qualitätsbeurteilung des Rotteprozesses

2.2.1 Zusammensetzung des Ausgangsmaterials

In kommunalen Kompostierungsanlagen werden überwiegend Küchen- und Gartenabfälle aus privaten Haushalten, Grünschnitt aus öffentlichen Grünanlagen, landwirtschaftliche Produkte wie Stroh und Mist sowie Pressrückstände aus der Wein- und Ölherstellung u.ä. verarbeitet.

Die Zusammensetzung, insbesondere der Bioabfälle aus privaten Haushalten, variiert in Menge und Zusammensetzung sehr stark in Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur (d.h. der Menge der Gartenanteile), und der Jahreszeit (saisonal unterschiedliche Gehalte an Grasschnitt, Laub, holzigen und mineralischen Anteilen)

(BIDLINGMAIER, 1992; KROGMANN, 1994b). Nach KROGMANN (1994b) ist der gewichtsmäßige mineralische Feinanteil in den Bioabfällen aus Gebieten mit dezentraler Bebauung v.a. in den Novembersammlungen hoch.

Die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials ist in hohem Maße ausschlaggebend für einen erfolgreichen Kompostierungsverlauf in Bezug auf Nährstoffgehalte, Nährstoffverfügbarkeit und Struktur (Bildung von Luftporen, KROGMANN, 1994b). Bei der Kompostierung von Bioabfällen aus städtischen Siedlungsgebieten mit verdichteter Bebauung (fast ausschließlich Küchenabfälle, stickstoffreich, strukturschwach, hoher Wassergehalt) ist es oftmals notwendig, durch Zumischung von kohlenstoffreichen Substanzen (z.B. Grünabfällen), das C/N-Verhältnis anzuheben, den Wassergehalt zu senken und gleichzeitig die Struktur zu verbessern. Des weiteren ist auf eine gleichmäßige Verfügbarkeit der Nährstoffe zu achten, d.h., höheren Gehalten schwer abbaubarer Kohlenstoffquellen (v.a. holzige Bestandteile) müssten, um einen gleichmäßigen mikrobiologischen Abbau zu erzielen, schwer verfügbare Stickstoffquellen (z.B. Keratin-haltige Stoffe wie Haare, Federn,

Wolle etc.) zur Seite gestellt werden (KEHRES, 1990; KROGMANN, 1994b; THOMÉ-KOZMIENSKY, 1995; ZAIED und VAN DEN WEGH, 2000).

In der Praxis werden allerdings ungeachtet dessen holzige Materialien wie Strauchschnitt oder Holzhäcksel oft nur zum Zwecke der Strukturverbesserung mit Bioabfällen gemischt und, da sie weitgehend erhalten bleiben, am Ende der Kompostierung wieder abgesiebt.

2.2.2 Kompostierungsverfahren und Mietenführung

Organische Abfälle können im Rahmen der technischen Abfallverwertung mittels aerober Kompostierungsverfahren behandelt oder aber auch anaerob vergoren werden, wobei die Zahl der aeroben Verfahren deutlich gegenüber den anaeroben überwiegt. Im Laufe der Jahrzehnte haben sich sowohl die Anforderungen an das Endprodukt als auch an die Technik weiterentwickelt. Somit ist eine Vielzahl verschiedener Kompostierungsverfahren und -anlagen entstanden (HELM, 1995; KROGMANN, 1994b; THOMÉ-KOZMIENSKY, 1995; KERN und SCHENKEL, 2000).

In der Regel wird das zu kompostierende Material bereits zu Beginn oder aber nach einer sogenannten Intensivrotte (Lagerung des Kompostes während der thermophilen Phase unter aktiver Belüftung in geschlossenen Containern, Boxen oder Tunneln; statisch oder dynamisch durch Umsetzung mittels spezieller Wendemaschinen) in Form von Mieten aufgeschüttet mit bis zu 4 m Breite und 3 m Höhe. Ein wesentlicher Effekt der Einhausung eines Kompostes während der mikrobiell stark aktiven thermophilen Phase ist eine Reduzierung der Geruchsemissionen. Auch verhindert sie, ebenso wie Überdachung und Abdeckung mit Textilfließen, ein Vernässen des Kompostes.

Ein ungehinderter Luftaustausch über Diffusion kann in großen Kompostmieten nur in einer Randzone von wenigen cm erfolgen (KROGMANN, 1994b). Im wesentlichen ist zu erwarten, dass die Diffusion im Inneren der Miete durch den Eigendruck des Materials gehemmt ist.

Kompostierung in Zeilenform (*schmale Mietenform mit dreieckigem Querschnitt, Höhe bis maximal 1,5 m, Länge beliebig*) bedingt wesentlich niedrigere Mieten mit deutlich geringerem Volumen und infolge dessen geringerem Eigendruck des Materials.

Grundsätzlich muss der Kompost regelmäßig gewendet und/oder belüftet werden. Die mechanische Umarbeitung bewirkt eine Verbesserung der Sauerstoffversorgung, eine gleichmäßigere Verteilung der Nährstoffe, die Verdunstung überschüssiger Wassermengen sowie die Ausleitung von Wärme und wird in der Praxis mit Schaufelbaggern oder Spezialwendemaschinen in sehr unterschiedlichen Intervallen und Häufigkeiten durchgeführt.

Anaerobe Verfahren werden vor allem aus Gründen des Energiegewinns in der Praxis gelegentlich eingesetzt bei der Vorbehandlung der leicht zersetzbaren organischen Abfälle, welche im Anschluss, vermischt mit Strauchschnitt meist weiterhin aerob kompostiert werden, um einer eventuell pflanzenschädigenden Wirkung durch anaerobe Stoffwechselprodukte (organische Säuren, H_2S , alkoholische Verbindungen) entgegenzuwirken (JÄGER und SCHENKEL, 2001; AMLINGER, 1993).

2.2.3 C/N-Verhältnis

Ein C/N-Verhältnis von 25 bis 35 im Ausgangsmaterial, bei vergleichbarer Verfügbarkeit der Stickstoff- und Kohlenstoffquellen, bietet nach KROGMANN (1994b) günstige Voraussetzungen für einen intensiven und schnellen mikrobiellen Abbau der organischen Substanz. Nach GOLUEKE (1977) und KROGMANN (1994b) verlangsamen deutlich höhere C/N-Verhältnisse des Inputmaterials die Rotte, da bei Stickstoffmangel der gesamte zur Verfügung stehende Stickstoff mineralisiert in die mikrobielle Biomasse inkorporiert wird und erst nach dem Absterben der Organismen wiederverwertet werden kann, während der Kohlenstoff nur zu 1/3 inkorporiert wird.

C/N-Verhältnisse < 10 im Ausgangsmaterial führen zu deutlichen Stickstoffverlusten in Form von NH_3 (gasförmig) oder NO_3^- (Auswaschung).

Mit zunehmendem Abbau der organischen Substanz verengt sich das C/N-Verhältnis deutlich, da 2/3 des vorhandenen Kohlenstoffs als CO₂ entweicht, während der Stickstoffgehalt weitgehend stabil bleibt (Abb.1).

Fertigkomposte sollen nach BECKMANN (1997) ein C/N-Verhältnis von 10-20 aufweisen.

2.2.4 Wassergehalt

Grundsätzlich können aerobe Stoffwechselprozesse bei einem Wassergehalt im Bereich von 30-70 % stattfinden, da Mikroorganismen Nährstoffe einerseits nur in gelöster Form aufnehmen können, andererseits jedoch ausreichend Sauerstoff benötigen (KROGMANN, 1994a, 1994b).

Als optimaler Wassergehalt für aerobe mikrobielle Abbauprozesse wird in der Literatur allgemein ca. 50 % angegeben. Nach FRICKE ET AL. (1989) und KROGMANN (1994a) sollen während der wesentlichen Abbauprozesse, die in der Regel innerhalb der ersten 6 Wochen des Kompostierungsprozesses stattfinden, 40 % nicht unter- und 65 % nicht überschritten werden (Abb.1).

Fertigkomposte sollen nach den Güterrichtlinien des Merkblattes LAGA M10 (1995) maximal 45 % Wassergehalt enthalten.

Der Wassergehalt ist im Verlaufe der Kompostierung ständigen Veränderungen unterworfen: Durch den Abbau der organischen Substanz wird H₂O freigesetzt, welches im Mietenkörper, v.a. im Mietendach kondensiert und dampfförmig entweicht. Die Verdunstung wird durch ein hohes Luftporenvolumen sowie auch durch häufiges Umsetzen der Mieten gefördert. In Komposten mit eher nassen, strukturschwachen Materialien ist dagegen die Verdunstung gehemmt und der Austritt von Sickerwasser erhöht (FRICKE ET AL., 1989; KÖRNER ET AL., 1996).

Bei sehr trockenen Komposten ist durch Umsetzungstätigkeiten ein leichter Anstieg des Wassergehaltes durch Aufnahme von Luftfeuchtigkeit zu beobachten.

Innerhalb einer Kompostmiete bilden sich, auch bei mittleren Wassergehalten durch ungleichmäßige Verteilung, stets lokal kleinere oder größere anaerobe Zonen. Gute Materialdurchmischung sowie geringer Eigendruck der Kompostmieten verringern diesen Effekt (KROGMANN, 1994a).

2.2.5 Gehalt an organischer Substanz

Durch die mikrobiellen Umsetzungsprozesse während der Kompostierung wird die im Kompost vorhandene organische Substanz bis zu einem gewissen Grade mineralisiert. Dabei nimmt die organische Substanz v.a. durch die Freisetzung von organisch gebundenem Kohlenstoff als CO_2 ab. Die wiederholte Messung des Glühverlustes im Verlaufe der Kompostierung gibt ein ungefähres Bild über die Abbauvorgänge und den erreichten Mineralisationsgrad. In Abhängigkeit von Ausgangsmaterial und Abbaugrad kann der Glühverlust zwischen 20 % und 75 % betragen (ALDAG und ROCHUS, 1981; BECKMANN, 1997). Der wesentliche Substratabbau findet im Verlauf der mesophilen und thermophilen Phasen statt (Abb.1) (KÖRNER ET AL., 1996; ZAIED und VAN DEN WEGH, 2000). Der Gehalt an organischer Substanz soll nach LAGA M10 (1995) in Fertigkomposten um 35 % betragen.

Bei unzureichender Belüftung während der mesophilen Phase setzen die Mineralisationsprozesse verzögert ein, und verlaufen auch nach Beendigung der lag-Phase langsamer als bei Komposten mit optimaler Sauerstoffversorgung. Überbelüftung führt aufgrund ausgetrockneter Schichten ebenfalls zu verlangsamtem Abbau (KÖRNER ET AL., 1996).

Auch hohe Temperaturen führen nach BIDLINGMAIER und DENECKE (1998) zu einer Hemmung der Mineralisierung. Besonders in großen Mietenkörpern kann es, bedingt durch die relativ kleine Oberfläche, zur Überhitzung kommen. Der mikrobielle Abbau wird bei Temperaturen über 60 °C stark reduziert und kommt bei 70 °C schließlich zum Stillstand.

Anaerobe mikrobielle Stoffwechseltätigkeit führt nur in sehr geringem Umfang zu einer Reduzierung der organischen Substanz. Bei weitergehender aerober Kompostierung können anaerobe Stoffwechselprodukte die mikrobielle Aktivität hemmen (JÄGER und SCHENKEL, 2001; AMLINGER, 1993; DANNEBERG und SCHAFFER, 1984).

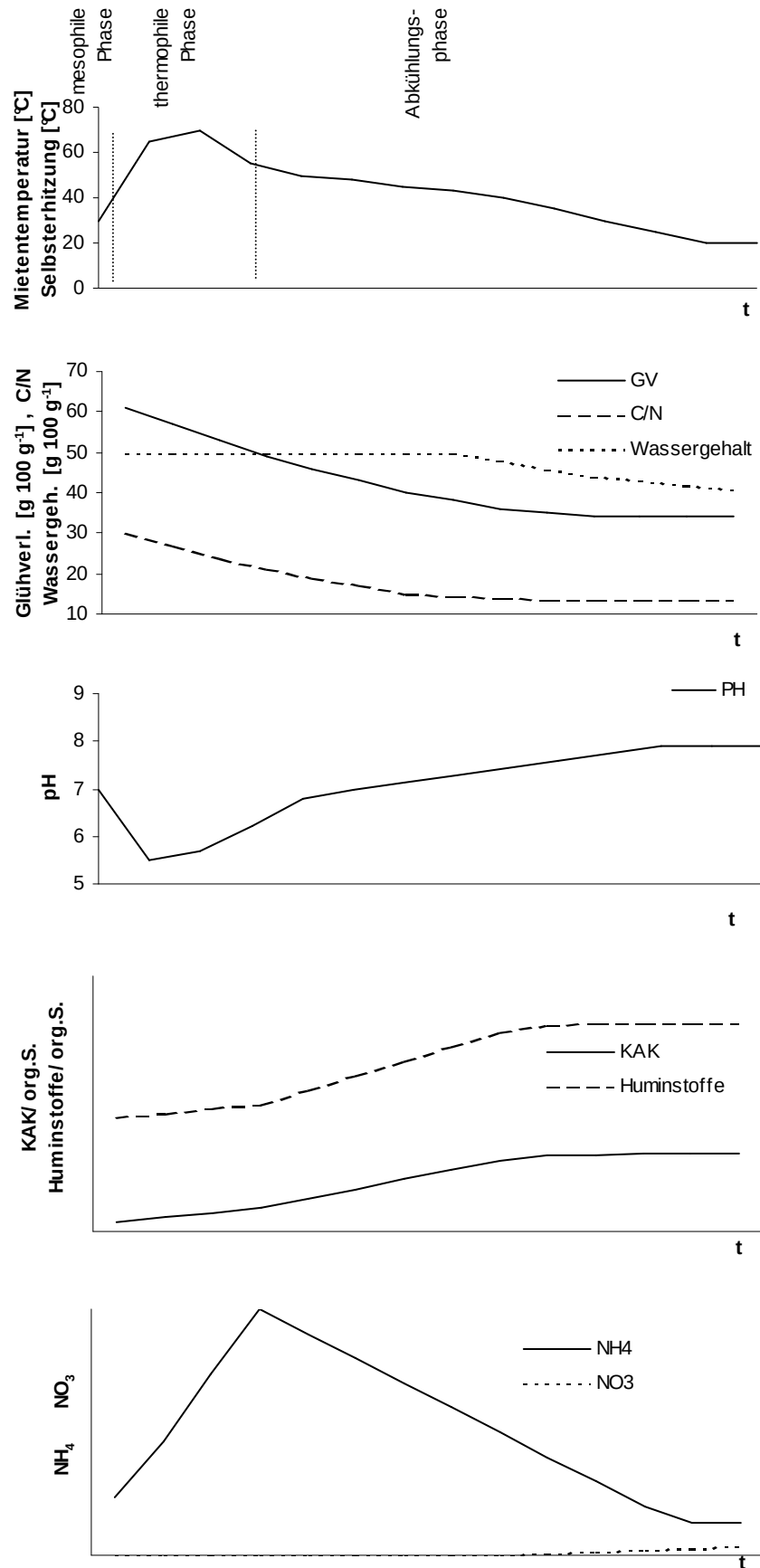


Abb. 1: Schematisierte Entwicklung der Mietentemperatur und Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, Glühverlust und C/N-Verhältnis, pH, KAK und Huminstoffgehalt, NH₄ und NO₃ im Kompostierungsverlauf.

2.2.6 pH-Wert

Neutrale bis leicht basische Ausgangsstoffe bieten optimale Voraussetzungen für den mikrobiellen Abbau im Kompost (BIDLINGMAIER und DENECKE, 1998).

Nach GLATHE (1985) liegt der pH-Wert von Kompostrohstoffen im allgemeinen im neutralen bis schwach sauren Bereich. Saure Bedingungen herrschen besonders dann vor, wenn in den Sammelbehältern (Biotonne), z.B. bei 14-tägiger Standzeit, die Mineralisierung der organischen Substanzen bereits eingesetzt hat (KROGMANN, 1994b).

Durch den starken mikrobiellen Abbau zu Beginn der Rotte sinkt der pH-Wert ab, da freiwerdende, einfache organische Säuren wie Essig-, Butter- und Propionsäure auf Grund der hohen mikrobiellen Sauerstoffzehrung in der Regel nicht sofort oxidiert werden können. Parallel kommt es zu einer raschen Anreicherung von CO₂. Weiterhin kontinuierliche Sauerstoffversorgung des Kompostes bewirkt eine fortschreitende Mineralisierung der Säuren zu CO₂, das in die Umgebungsluft diffundiert, und zur Freisetzung von Basen wie Ammonium, Pyrazin und Pyridin durch die Proteinhydrolyse, wodurch der pH bereits während der thermophilen Phase (KROGMANN, 1994b) wieder zu steigen beginnt und schließlich, in der Abkühlungsphase, Werte zwischen 7 und 8 erreicht (Abb.1) (BECKMANN, 1997; AMLINGER, 1993; BIDLINGMAIER und DENECKE, 1998).

Während der späten Abkühlungsphase kann der pH-Wert aufgrund der Aufnahme von Ammonium durch die Mikroorganismen und aufgrund von Nitrifikationsprozessen wieder leicht sinken (KROGMANN, 1994b).

Fertigkomposte sollen pH-Werte im leicht alkalischen Bereich aufweisen. PH-Werte unterhalb der Neutralität weisen bei Komposten, die sich in der fortgeschrittenen Abkühlungsphase befinden, auf unzureichende Sauerstoffversorgung (Akkumulation von organischen Säuren oder CO₂) hin (JIMENEZ und GARCIA, 1989; KROGMANN, 1994b).

2.2.7 Kationenaustauschkapazität (KAK)

Die Höhe der Kationenaustauschkapazität in Komposten hängt maßgeblich vom Gehalt an Huminstoffen und, wenn auch in deutlich geringerem Maße, vom Tongehalt ab. Mit fortschreitender Kompostierung wird im Allgemeinen ein Anstieg des Huminstoffgehalts in der organischen Substanz beobachtet bei gleichzeitiger Zunahme der KAK (Abb.1). Dabei korreliert die Höhe der KAK mit dem Gehalt an Carboxyl- und phenolischen OH-Gruppen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992; GÜNZLER und BÖCK, 1990; BERNER und BIERI, 1991; INBAR ET AL., 1989; ZIECHMANN ET AL., 1970; ZIECHMANN, 1996; ROCHUS, 1978; HARADA und INOKO, 1975; STEVENSON, 1982).

INBAR ET AL. (1989) stellte bei seinen Untersuchungen an Rindermistkompost fest, dass die KAK während der ersten 60 Tage der Kompostierung von 63 auf 181 cmol_c/kg org.S. anstieg, während der Huminstoffgehalt/org.S. gleichzeitig von 38 auf 71 % anstieg. In der sich anschließenden fortschreitenden Abkühlungsphase blieben die KAK-Werte nahezu unverändert.

INBAR, CHEN UND HADAR (1991) stellten in der Kompostierung von Rückständen aus dem Weinanbau fest, dass die KAK während der ersten 160 Kompostierungstage nahezu linear von 37 auf 117 cmol_c kg⁻¹ org.S. anstieg und anschließend stabil blieb.

2.2.8 Selbsterhitzungstest zur Bestimmung des Rottegrads

Mittels des Selbsterhitzungstests im Dewargefäß (Isoliertes Gefäß ohne Deckel, Vol. 1,5 l, Innendurchmesser 100 mm) wird die Fähigkeit eines Kompostes bestimmt, sich durch die beim mikrobiellen Abbau organischer Substanzen freigesetzte Energie (ca. 60 % des gesamten Energieumsatzes) selbst zu erhitzen. Er ist somit ein Maß für die verbleibenden, mikrobiell leicht verwertbaren Substanzen im Kompost (NIESE, 1959; BIDLINGMAIER, 1985; JOURDAN, 1988; BECKMANN, 1997).

Auf Basis der Untersuchungen von JOURDAN (1988) an Müll- und Klärschlammkomposten etablierte die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)

den Selbsterhitzungstest zur Beurteilung der Kompostreife (LAGA M10, 1995).

Junge Komposte, die sich in der mesophilen oder beginnenden thermophilen Phase befinden, entwickeln im Dewargefäß Temperaturen über 60 °C. Infolge der Reduzierung der verbleibenden leicht abbaubaren Substanzen im Kompost nimmt die Selbsterhitzungsfähigkeit zunehmend ab (Abb.1). Komposte, die sich in der fortgeschrittenen Abkühlungsphase befinden, entwickeln während des mikrobiellen Abbaus der verbleibenden schwer abbaubaren Substanzen nur noch wenig Wärme, sodass die Temperaturen im Dewargefäß 40 °C bzw. im weiteren Verlauf 30 °C nicht mehr überschreiten (BECKMANN, 1997).

2.2.9 Mineralischer Stickstoff

Während der meso- und thermophilen Phasen werden die im Kompost vorhandenen, meist leicht verfügbaren Proteine durch Exoenzyme gespalten. Die freigesetzten Aminosäuren werden von den Mikroorganismen aufgenommen und entweder direkt zum Aufbau der mikrobiellen Zellsubstanz verwendet oder aber durch die oxidative Desaminierung zu Ammonium abgebaut. Überschüssiges Ammonium, das nicht direkt für den mikrobiellen Stoffwechsel verwendet wird, reichert sich im Kompost an (VON RHEINBABEN, 1994; KÖRNER ET AL, 1996). Im weiteren Kompostierungsverlauf sinken die Ammoniumgehalte im Kompost durch erneute Festlegung in der Biomasse, durch Einbindung in die Huminstoffsynthese sowie durch die Nitrifizierung (Abb.1) (BANNICK UND ZIECHMANN, 1991; BECKMANN, 1997).

Kompostrohstoffe, die sich vor der Verarbeitung durch das Kompostwerk bereits mehrere Wochen in der Komposttonne befanden, können insbesondere bei hohen Außentemperaturen bereits weitgehend ammonifiziert sein, so dass ein weiterer Anstieg des Ammoniumgehalts während der Kompostierung kaum festzustellen ist (KROGMANN, 1994b).

ZAIED und VAN DEN WEGH (2000) stellten in ihren Kompostierungsversuchen von Gerstenstroh mit Legehennenkot (C/N-Verhältnis im Ausgangsmaterial:

20:1) das Maximum des Ammoniumgehaltes ($320 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$) gegen Ende der thermophilen Phase fest. Mit Einsetzen der Abkühlungsphase sanken die NH_4 -Werte stetig innerhalb von 30 Tagen auf Werte unter $50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$. BECKMANN (1997) ermittelte ein NH_4 - Maximum von $1100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$ in der vierten Kompostierungswoche, das ebenfalls im weiteren Verlauf bis zur 25. Woche auf Werte unter $200 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$ stetig abnahm.

Die Nitrifikation setzt bei ausreichender Sauerstoffversorgung und pH-Werten über 4,5 nach Abklingen der thermophilen Phase ein (KROGMANN, 1994b). Nach KUNTZE (1994) muss die Temperatur im Kompost dazu unter 50°C betragen (Abb.1).

ZAIED und VAN DEN WEGH (2000) sowie auch FINSTEIN und MILLER (1985) konnten in ihren Versuchen einen relevanten Nitratanstieg auf Werte $> 100 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ TS}$ erst nach 90 bzw. 120 Tagen Kompostierungsdauer beobachten, KÖRNER ET AL. (1996) sogar erst nach 150 Tagen.

Nitrat (NO_3^-) wird aufgrund seiner negativen Ladung kaum gebunden und kann somit leicht mit eventuell auftretendem Sickerwasser (v.a. bei Wassergehalten $> 70 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ bzw. durch Niederschlagswasser bei nicht überdachter Rotteführung) ausgewaschen werden.

Verluste von mineralisiertem Stickstoff sind neben der Auswaschung von Nitrat insbesondere durch die Ausgasung von Ammoniak möglich.

Ammonium steht über zwei chemische Reaktionen mit Ammoniak im Gleichgewicht (FENN ET AL., 1981):



Die Konzentration an NH_3 ist dabei vor allem abhängig vom pH-Wert, aber auch von der Temperatur im Kompost (GEBEL, 1991). Je höher der pH-Wert und/oder die Temperatur ansteigen, umso größer ist die Ammoniakkonzentration und damit die Gefahr eines Stickstoffverlustes.

NH_3 -Verluste werden zudem durch hohe Belüftungsraten während einer aktiven Belüftung, bzw. auch durch häufige mechanische Umsetzung der Mieten begünstigt (VON RHEINBABEN, 1994).

2.3 Moderne quantitative Parameter zur Beurteilung der Veränderung der organischen Substanz im Kompostierungsverlauf

2.3.1 Huminstoffgehalte

ZAIED UND VAN DEN WEGH (2000) stellten fest, dass die Huminstoffbildung in einer Kompostmiete aus Gerstenstroh und Legehennenkot vor allem innerhalb der ersten 60 Kompostierungstage ($75 \text{ mg g}^{-1} \text{ org.S.}$), bei Mieten Temperaturen über 35°C stattfand. Im weiteren Verlauf ist kein weiterer relevanter Anstieg der Huminstoffe messbar. Zu gleichem Ergebnis kommt BANNICK (1989) bei Strohkomposten (Abb.1).

Auch bei Kompost aus Rindermist nahm nach INBAR ET AL. (1989) der Huminstoffgehalt innerhalb der ersten 40 Tagen deutlich stärker zu als im weiteren Kompostierungsverlauf, allerdings von 377 auf $710 \text{ mg g}^{-1} \text{ org.S.}$.

Insbesondere nimmt während des Kompostierungsprozesses der Gehalt an Huminsäuren zu, wohingegen der Gehalt an Fulvosäuren (*Ziechmann: Huminsäurevorstufen*) sinkt (OUATMANE, 2000; BANNICK UND ZIECHMANN, 1991; ROLETTO UND CERUTTI, 1985). TOMATI et al. (2000) konnten mittels Gelfiltration nachweisen, dass während des Kompostierungsverlaufes Huminsäurefraktionen mit Molekulargewichten $> 10^2 \text{ Kda}$ stetig zunahmen, während Fraktionen mit niedrigeren Molekulargewichten ($< 50 \text{ Kda}$) vollkommen verschwanden, was auf Polymerisationsreaktionen schließen lässt.

SCHEIDT (1989) stellte fest, dass neben dem Kompostalter auch die Zusammensetzung des Substrates eine determinierende Größe für die Menge an Huminstoffen in Komposten ist. In einjährigen Biomüllkomposten ($150\text{--}180 \text{ mg Hmst. g}^{-1} \text{ org.S.}$) fand er signifikant höhere Huminstoffmengen als in Fichtenrindenkomposten ($80 \text{ mg Hmst. g}^{-1} \text{ org.S.}$).

Nach AMLINGER (1993) sowie auch DANNEBERG und SCHAFFER (1984) spielt die Luftzuführung eine entscheidende Rolle für den Humifizierungsprozeß. Eine gute Sauerstoffversorgung fördert stärker die Mineralisierung als die Humifizierung. Die höchsten Huminstoffkonzentrationen innerhalb einer Kompostmiete ermittelte ZIECHMANN (1996) im Mietenzentrum unter anaeroben Verhältnissen.

2.3.2 Spezifische Molekülstrukturen in der organischen Substanz

Moderne spektroskopische Methoden (z.B. FT-IR-, ^{13}C -NMR-Spektroskopie) werden zunehmend auch zur Charakterisierung der organischen Substanz in Komposten, z.B. zur Dokumentation der Veränderung der Zusammensetzung im Kompostierungsverlauf, erfolgreich eingesetzt (z.B. GRUNDMANN, 1990; ZIECHMANN, 1996).

Die Ergebnisse aus FT-IR-Spektroskopie und Festkörper- ^{13}C -NMR-Spektroskopie bestätigen sich in vergleichenden Studien weitgehend gegenseitig (GRUNDMANN, 1990; INBAR ET AL., 1989; ZECH UND ALT, 1986). Da die zu erwartenden zusätzlichen Ergebnisse nicht in Relation zu dem hohen finanziellen Aufwand der Festkörper- ^{13}C -NMR standen, wurde auf ihre Durchführung verzichtet zu Gunsten einer größeren Anzahl an Proben in der FT-IR-Spektroskopie.

Nach THENG et al. (1966) sowie NIEMEYER, CHEN UND BOLLAG (1992), entsprechen die Absorptionsbanden bei **WZ 2918** asymmetrischen und bei **WZ 2850** symmetrischen Streckschwingungen von aliphatischen C-H-Bindungen, z.B. in Methyl- oder Methylengruppen (MACCARTHY & RICE, 1985).

Während der Kompostierung kommt es zu einer Abnahme der in Kompost stark ausgeprägten Aliphatenbanden (INBAR ET AL., 1989; INBAR, CHEN UND HADAR, 1991; GARCIA ET AL., 1992).

Bei **Wellenzahl 1710** werden C=O-Streckschwingungen, hauptsächlich der Carboxylgruppen (COOH), angeregt (MACCARTHY & RICE, 1985; STEVENSON, 1982). Die Höhe der auftretenden Peaks können als Maß für den Säurecharakter der Substanz dienen. Nach THENG UND POSNER (1967) korreliert die Absorption bei WZ 1710 mit der Austauschkapazität, sowie ebenfalls mit dem pH-Wert der Probe; THENG UND POSNER fanden Ausschläge nur bei pH-Werten unter 7.

OUATMANE ET AL. (2000) stellten allgemein geringe Absorptionen bei WZ 1710 fest, INBAR ET AL. (1989) fanden in ihren Untersuchungen an Rindermistkompost eine Zunahme der Carboxylgruppen während der Kompostierung.

Nach SENESI ET AL. (1989) entspricht der Bereich um **WZ 1620** der C=C-Streckschwingung ungesättigter aromatischer Gruppen mit konjugierten C=O- und/oder COO⁻ Bindungen. Durch den Kompostierungsprozeß wird der aromatische Charakter der organischen Substanz verstärkt (SENESI UND BRUNETTI, 1996; GARCIA ET AL., 1992; INBAR, CHEN UND HADAR, 1991; CHEFETZ ET AL., 1998; OUATMANE ET AL., 2000)

Bei **WZ 1510** zeigt sich nach MAC CARTHY & RICE (1985) eine Streckschwingung aromatischer C=C-Bindungen. Nach STEVENSON (1982) ist diese Bande grundsätzlich nicht stark ausgeprägt. HABERHAUER ET AL. (1998) fand bei zunehmendem Zersetzungsgrad von Streu auf Waldböden (L zu H-Horizont) eine Zunahme der Absorption bei WZ 1630, dagegen eine Abnahme des Peaks bei WZ 1510. GRUNDMANN (1990) stellte fest, dass die Aromatenschwingungen in den Bereichen 1605 und 1515 in Rindenkomposten besonders ausgeprägt sind gegenüber Gartenkomposten.

Um **WZ 1030** zeigen sich nach der Zerstörung der Tonminerale mit Flusssäure in den Kompostproben C-O-Streckschwingungen in Polysacchariden (SENESI ET AL., 1989).

INBAR ET AL. (1989) fanden bei der Untersuchung von Rindermistkompost eine Abnahme der Polysaccharide im Kompostierungsverlauf.

2.4 Qualitativer Ansatz zur Beurteilung von Kompostierungsprozess und Kompostqualität

2.4.1 Chroma-Boden-Test

Begutachtete Veröffentlichungen zu Forschungen über die Bildentstehung und Aussagen des Chromatests in bezug auf Boden und Kompost sind vergleichsweise selten. Demgegenüber stehen einige Diplomarbeiten (KANZLER, 1991; BLANK, 1991; BANGERT, 1993), deren interessante Versuchsansätze und Ergebnisse hier trotz dieser Einschränkung Erwähnung finden sollen.

Bei der Rundfilterchromatographie nach E. PFEIFFER (1959) handelt es sich um eine technisch einfache, relativ schnelle qualitative Methode zur Beurteilung von Nahrungsmitteln, Kompost und Bodenhumus. Humifizierungsprozesse in Komposten und Erden wurden untersucht von PFEIFFER (1959a, 1959b, 1960), SABARTH (1962), KOEPF (1964), HERTELENDY (1974, 1975), BRINTON (1979), INOKO (1979), JIMENEZ und GARCIA (1989), BLANK (1991) und KANZLER (1991).

Bereits PFEIFFER (1959) und SABARTH (1962) beobachteten, dass sich die Entwicklung der organischen Substanz im Verlauf der Bodenentwicklung gemäß der Bodenreaktion, des Bodentyps und der Nutzung, sowie auch entsprechend während des Kompostierungsverlaufs, durch die Veränderung von Strukturelementen und Farben im Chromatogramm abbildet. Dies legt nahe, dass der Chromatest als Ergänzung zu analytischen Daten angewendet werden kann, um ein charakteristisches Bild des Entwicklungsgrades humifizierenden Materials zu erhalten. PFEIFFER (1959): „Diese qualitative chromatographische Methode ersetzt nicht irgend eine andere, rein chemische Analyse (...). Durch ihre Einfachheit gibt sie jedoch eine rasche Orientierung.“

Nach JIMENEZ und GARCIA (1989) bietet der Chromatest einen schnellen Überblick über den Reifegrad von Komposten. Eine zuverlässige Interpretation ist jedoch nur möglich bei großer Sorgfalt in der Handhabung der Methode, um eine hohe Reproduzierbarkeit zu gewährleisten.

Grundlegende Gestaltungsmerkmale von Boden- und Kompostchromatogrammen sind charakteristische ringförmige Zonierungen, in denen sich die bildgestaltenden Substanzen in unterschiedlichen Ausbreitungen, Farben (Weiß-, Gelb-, Rot-, Pink-, Violett-, Rot-, Braun-, Grautöne) und Helligkeiten abbilden. Zudem können in unterschiedlich deutlichen Ausprägungen radiäre Strukturen und Zacken auftreten.

Abbildung 2 zeigt die grundlegende Bildgestalt von Kompostchromatogrammen (Nomenklatur nach VOITL und GUGGENBERGER, 1986).

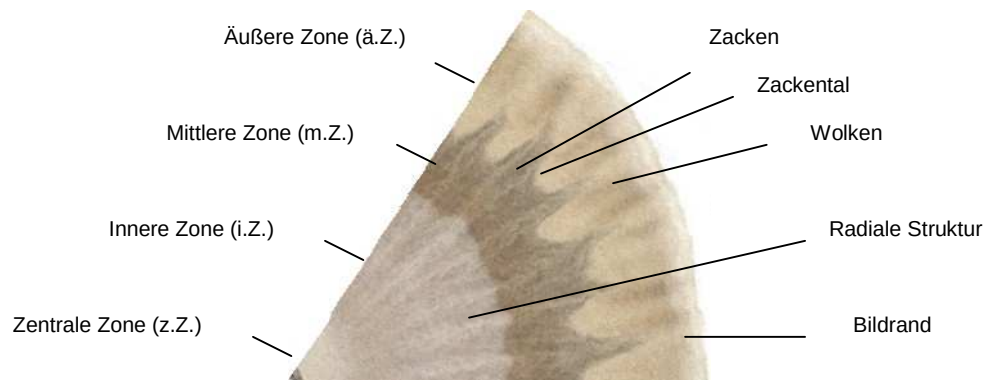


Abb. 2: Die Bildgestalt von Kompostchromatogrammen mit ihren wesentlichen Merkmalen.

Die Bildgestalt der Chromatogramme beruht im Wesentlichen auf der Zusammensetzung der laugelöslichen organischen Substanz. Im Zuge einer Fällungschromatographie werden aus einem NaOH-Extrakt (Laufmittel AgNO_3) die schwach polymerisierten, mobilen Extraktbestandteile von den höher polymerisierten Anteilen getrennt und optisch beurteilt (HERTELENDY, 1975; JIMENEZ U. GARCIA, 1989; BANGERT, 1993). Nach KONONOVA (1966) verteilen sich die aus dem Kompostmaterial extrahierten Stoffe auf dem Rundfilterchromatogramm in Abhängigkeit von ihrer Molekülgröße, sowie ihrer Bindungsaffinität zum Silber (FINGER et al., 1990).

Grundsätzlich ist die Farbintensität der Chromatogramme abhängig von der Menge der extrahierten organischen Bestandteile im Natronlaugeextrakt. Je

dunkler die Färbung des Gesamtbildes, desto höher ist die Extrahierbarkeit der organischen Substanz (BRINTON, 1983). Dabei wandern die schwach polymerisierten, mobileren Verbindungen an den Rand des Filterpapiers, wohingegen die hoch polymerisierten Bestandteile im Zentrum verbleiben. Ein Kompost wird demnach als reif beurteilt, wenn die Färbung der zentralen Zone dunkel ist, die der Randzone dagegen hell, was einem relativ hohen Polymerisationsgrad der organischen Substanz entspricht (HERTELENDY, 1975; JIMENEZ U. GARCIA, 1989).

Untersuchungen von BLANK (1991) und KANZLER (1991) zufolge hat die Huminsäurefraktion des Alkaliextraktes maßgeblichen Einfluss auf die Zonierung und Strukturierung des inneren Chromabereichs, aber auch auf die Farbe und Wolkenbildung in der äußeren Zone. Die niedermolekulareren Fulvosäuren sind dagegen für die Farbgebung der zentralen, inneren und mittleren Zone verantwortlich.

Eigene Vorversuche zur Bildentstehung zeigten, dass Chromatogramme aus Extrakten mit mineralischen Präparaten ohne organische Substanz (Silikaben, Algenkalk) große Ähnlichkeit mit der Grundstruktur und -färbung reiner Natronlauge besitzen. Die Färbung der Chromatogramme ist mit leichten Farbvarianten gleichmäßig braun, ohne weitere Strukturen wie radiale Linien oder Zacken. Sie zeigen nur eine deutliche Ringbildung im Bereich der Silbernitrat-Fließgrenze (4 cm- Markierung), die auf veränderte Reaktionsbedingungen außerhalb der AgNO_3 - Beschichtung zurückzuführen ist.

Verschiedene Autoren berichten übereinstimmend von typischen Veränderungen bestimmter Bildelemente im Verlauf der Kompostierung (HERTELENDY, 1975; BRINTON, 1983; VOITL und GUGGENBERGER, 1986; JIMENEZ und GARCIA, 1989; BLANK, 1991; KANZLER, 1991; BECKMANN und STÖLZER, 1994):

Demnach wird mit fortschreitendem Kompostalter:

- die Färbung der Chromas insgesamt heller
- der Radius der z.Z. kleiner
- die z.Z. dunkler
- die Strukturierung (radiäre Strukturen) stärker
- die Braunfärbung der i.Z. stärker
- die m.Z. breiter, die i.Z. entsprechend schmaler
- die Zackenbildung zunehmen und deutlicher ausgeprägt
- die ä.Z. heller mit zunehmend glatter Kontur.
- Bei reifen Komposten kann es zur Ausbildung von wolkenartigen Strukturen zwischen den Zacken kommen.

Zudem wird vielfach eine charakteristische Veränderung der Farbtöne von braun nach grau mit zunehmendem Kompostalter beobachtet (PFEIFFER, 1959; HERTELENDY, 1975; VOITL und GUGGENBERGER, 1986).

BLANK (1991) und KANZLER (1991) stellten die Abnahme der Farbintensität von braun nach grau vor allem im Bereich der ä.Z. fest, und bringen dies in Zusammenhang mit der fortschreitenden Zersetzung höhermolekularer Bestandteile im Kompostmaterial. Parallel dazu beobachten sie eine intensivere Farbigkeit und Strukturierung der i.Z. und m.Z., vermutlich bedingt durch die gebildeten niedermolekularen Spaltprodukte.

Die biologische Aktivität während der intensiven Mineralisierungsprozesse in der meso- und thermophilen Phase zeigt sich nach HERTELENDY (1975) und VOITL und GUGGENBERGER (1986) in einer rosafarbenen bis rötlichen Tönung der zunächst noch unstrukturierten i.Z.. Im Zuge des Reifungsprozesses nehmen Komposte zunehmend die charakteristischen Bildgestalten von Chromatogrammen humusreicher Ackerböden an: intensive Brauntönung in der i.Z. und m.Z., helle Randzone, in die klar abgegrenzte Zacken ragen. Bei weiterer Lagerung mit fortschreitender Mineralisierung wird erneut eine rosa bis violette Tönung in der, nun mit radialen Strukturen durchzogenen, i.Z. sichtbar.

Die Ausbildung deutlicher Zacken beginnt nach BECKMANN und STÖLZER (1994) erst nach Beendigung der intensiven mikrobiellen Aktivität in der meso- und thermophilen Phase.

Die bislang veröffentlichten Berichte über Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Anwendung des Chroma-Boden-Tests zur Qualitätsbestimmung von Komposten beruhen, soweit erkennbar, auf Forschungen mit kleinem Stichprobenumfang.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, auf breiter Basis unterschiedlicher Kompostierungsverfahren und -bedingungen, die Eignung des Chroma-Boden-Testes bezüglich seiner Aussagefähigkeit zu überprüfen.

2.5 Anforderungen an die Qualität von Fertigkomposten

Komposte können in Abhängigkeit verschiedener qualitätsbestimmender Parameter in unterschiedlichen Bereichen zur Anwendung kommen. Eine Übersicht über mögliche Einsatzbereiche gibt Tabelle 1.

Tab. 1: Einsatzbereiche von Kompost aus getrennt erfassten organischen Abfällen und ihre Anteile an der Kompostverwertung (LVG HANNOVER-AHLEM et al., 1997; KERN, 1999).

Einsatzbereich	Verwendungszweck	Anteil an der Gesamtproduktion [%]
Garten- und Landschaftsbau	Anlage von Grünflächen; Mulchung, Rekultivierung	25 – 30
Landwirtschaft	Bodenverbesserung, Düngung	25
Erden- und Substratherstellung (Erdenwerke)	Mischkomponente von Blumen-erden und Kultursubstraten	10
Hobbygartenbau	Pflanzerden, Eintopfsubstrate, Mulchung	10
Erwerbsgartenbau	Baumschul-, Zierpflanzen- und Gemüseanzuchtsubstrate	5 – 10
Sonstige	Obst- und Weinbau; Sonderkulturen; Baugewerbe; Forstwirtschaft; Deponieabdeckung; Biofilter	20

Grundsätzlich müssen Kompostprodukte unabhängig des angestrebten Anwendungsbereiches bestimmte Anforderungen erfüllen: Sie müssen hygienisch unbedenklich sein (Seuchenhygiene, Freiheit von keimfähigen Samen und austriebfähigen Pflanzenteilen) und dürfen festgelegte Grenz- bzw. Richtwerte für den Gehalt an Steinen, Fremd- und Schadstoffen nicht überschreiten. Sie müssen pflanzenverträglich, d.h. frei von phytotoxischen Stoffen sein (RAL, 1992).

Differenziertere Qualitätskriterien und Güterichtlinien gelten des weiteren für die Verwendung der Komposte als **Frischkompost** (Rottegrad II oder III; mind. 40 % org.S. i.d.TS; Anwendungsgebiete: Landwirtschaft, Deponieabdeckung usw.), **Fertigkompost** (RG IV oder V; mind. 20 % org.S. i.d.TS; Anwendungsgebiete: Garten- und Landschaftsbau, Landwirtschaft, Hobbygartenbau usw.) oder **Substratkompost** (RG V, mind. 15 % org.S. i.d.TS, Grenzwerte für Pflanzennährstoffe und Salzgehalt; Anwendungsgebiete: Mischkomponente in Substraten der Erdenherstellung und Erwerbsgartenbau).

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über Soll- und Grenzwerte verschiedener Parameter für Fertig- und Substratkomposte:

Tab. 2: Soll- bzw. Grenzwerte verschiedener Parameter für Fertig- und Substratkomposte (Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., 1999; (b) Koch 1989)

Parameter	Soll- bzw. Grenz- oder Richtwerte
Ammonium-N ^(b)	< 3 mg kg ⁻¹ FS
Nitrat-N ^(b)	500 mg kg ⁻¹ FS
mineralisierter N (NO ₃ + NH ₄) (bei Substratkomposten)	< 300 mg l ⁻¹ FS
Nitrit-N ^(b)	< 1 mg kg ⁻¹ FS
Phosphat löslich (P ₂ O ₅) (bei Substratkomposten)	< 1200 mg l ⁻¹ FS (bei 40 % Kompostanteil) < 2400 mg l ⁻¹ FS (bei 20 % Kompostanteil)
Kalium löslich (K ₂ O) (bei Substratkomposten)	< 2000 mg l ⁻¹ FS (bei 40 % Kompostanteil) < 4000 mg l ⁻¹ FS (bei 20 % Kompostanteil)
Salzgehalt (KCl) (bei Substratkomposten)	< 2,5 g l ⁻¹ (bei 40 % Kompostanteil) < 5g l ⁻¹ (bei 20 % Kompostanteil)

Chemisch-physikalische Untersuchungsmethoden können nur einzelne Aspekte der Pflanzenverträglichkeit eines Kompostes beleuchten. Da jedoch z.B. bei unsachgemäßer Rotteführung lösliche oder gasförmige phytotoxische Stoffe gebildet werden können, die analytisch nicht erfasst werden, ist die Überprüfung der pflanzenphysiologischen Verträglichkeit eines Kompostes nur im Pflanzenversuch mit hinreichender Sicherheit möglich (KEHRES ET AL., 1994; GUSENLEITNER ET AL., 1982). Pflanzentests sollen dabei Auskunft geben über generelle Schadwirkungen von Komposten (UEBER ET AL., 1996), beispielsweise auch über synergetische oder antagonistische Effekte einzelner Komponenten (AHLF, 1989).

Geeignete Testpflanzen müssen u.a. eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Schadwirkungen und eine schnelle, gleichmäßige Keimung sowie zügiges Wachstum aufweisen (KEHRES ET AL., 1994).

Zur Untersuchung von Fertigkomposten wurde durch die BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT e.V. (1998) der Keimpflanzenversuch mit **Sommergerste** (*Hordeum vulgare* L.) nach KEHRES ET AL. (1994) in einer Prüfmischung mit 25 % Kompostanteil, sowie auch mit 50 % Kompostanteil als Standardtest festgelegt. Ein Fertigkompost gilt als pflanzenverträglich, wenn keine sichtbaren Nekrosen und Chlorosen an den Blättern auftreten und der Frischmasseertrag der Variante mit 25 % Kompostanteil mindestens 90 % des Ertrages des Vergleichssubstrates (Einheitserde) erreicht. Werden diese Anforderungen erfüllt, kann Kompost zur Verwendung als Bodenverbesserungsmittel und Dünger empfohlen werden. Erreicht auch die Variante mit 50 % Kompostanteil mindestens 90 % des Frischmasseertrages des Vergleichssubstrates, kann der geprüfte Kompost darüber hinaus auch als Mischkomponente in Blumenerden und Kultursubstraten empfohlen werden.

Potentielle Substratkomposte müssen zudem mittels des **geschlossenen Kressetests** (*Lepidium sativum* L.) nach GRANTZAU (1997) bzw. NASILOWSKI und GRANTZAU (1992) auf das Vorhandensein gasförmiger Schadstoffe wie z.B. H_2S oder NH_3 untersucht werden.

Chinakohl (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* L.) zeichnet sich durch eine hohe Empfindlichkeit aus und kann nach VDLUFA (1997) als genereller Schadanzeiger dienen. Chinakohl reagiert nach GOSSOW ET AL. (1995a und b) mit sig-

nifikant verringertem Wachstum auf suboptimale pH-Werte, Mikronährstoffmangel und –überschuss, Herbizid- und Schwermetallgehalte.

3 Material und Methoden

3.1 Herkunft und Charakterisierung der untersuchten Komposte

In der Zeit von Oktober 1999 bis November 2001 wurde die Entwicklung von 22 Komposten aus 10 verschiedenen Kompostierungsanlagen in Norddeutschland durch regelmäßige Probenahmen untersucht. Bei der Auswahl der Kooperationspartner waren insbesondere ein breites Spektrum an unterschiedlichen Kompostierungsverfahren und die Intentionen der Betreiber zur Vermarktung des Endproduktes entscheidend. Durch Beginn der Versuchsserien in verschiedenen Monaten konnten jahreszeitlich bedingte Unterschiede in der Zusammensetzung der Bioabfälle berücksichtigt werden. Die Beprobung der Kompostmieten fand in der Regel im 14-tägigen Rhythmus statt. Je nach Kompostierungsdauer der einzelnen Komposte (3-18 Wochen) wurden somit bis zu neun Proben pro Miete gezogen ($\emptyset$: 6x).

In Übereinstimmung mit den Betreibern der Kompostwerke werden die Angaben zur Herkunft der Proben verschlüsselt. Die verwendete Nomenklatur gibt Herkunft (schematisierte Werksbezeichnung) und Mietenbezeichnung an (z.B. 2.3 = Werk 2, Versuchsmiete 3). In der Bezeichnung der Einzelproben wird zusätzlich das Kompostalter in Wochen angegeben (z.B. W10 = Woche 10).

Tabelle 3 enthält Informationen zu Ausgangsmaterial, Kompostierungsverfahren und Bearbeitung der laufend beprobten Mieten, sowie Angaben zu den Komposten, die zusätzlich im Rahmen der weiteren Untersuchungen an Fertigkomposten eingesetzt wurden.

Tab. 3: Angaben zu Kompostierungsbeginn, Ausgangsmaterial, Kompostierungsverfahren, Mieten-führung und Versuchsdauer der beprobten Komposte. Die jeweils letzten Proben der Komposte mit der Bezeichnung (FK) wurden zusätzlich im Rahmen weitergehender Untersuchungen von Fertigkomposten eingesetzt.

Probe	Input	Verfahren/ Mietenführung	Versuchsdauer
1.1	Nov. 98: 100 % Bioabfall aus dezentraler Besiedlung, hoher Laubanteil und Gartenabfälle, frisch, relativ feucht.	Gesamtinput: 986 t, große Tafelmieten in gekapselter Halle, Druckbelüftung, wöchentliches Wenden mit Wendegerät. Nach 6 Wochen Stillstand der Anlage während 2 Wochen, nach 10 Wo Stillstand während weiterer 5 Wochen; anschließend Austrag (534 t). Letzte Probenahme 1 Wo vor Austrag.	16 Wochen
1.2	Nov.98: 100 % Bioabfälle aus dezentraler Besiedlung; v.a. Laub und Gartenabfälle. Küchenabfälle kaum sichtbar.	Gesamtinput: 928 t, große Tafelmieten in gekapselter Halle, Druckbelüftung, wöchentliches Wenden mit Wendegerät. Nach 4 Wochen Stillstand der Anlage während 2 Wochen; nach 8 Wo Stillstand während weiterer 5 Wochen; anschließend Austrag (500 t).	14 Wochen
2.1 (FK 7)	Nov. 98: 70 % Bioabfälle aus ländlicher Siedlungsstruktur, hoher Anteil Laub und Gartenabfälle, sehr feucht, 30 % Strauchschnitt.	7 Tage in geschl., zwangsbelüfteten Rotteboxen, anschl. 2,5 m hohe überdachte Tafelmiete. Weitere 17 Wo. Rotte; insgesamt 6 x mittels Radlader umgesetzt, 1x bewässert.	18 Wochen
3.1 (FK 8)	Nov. 98: 70 % Bioabfälle, 1/3 städtisch, 2/3 ländliche Bebauung; 30 % Strauchschnitt; gesamt hoher Gartenanteil, frisch, eher trocken.	10 Tage Tunnelkompostierung, dabei tägliches Wenden und Belüften. Anschliessend Tafelmiete, 2 m Höhe. Während 2 Monaten ohne Abdeckung oder Überdachung, dabei zeitweise Temp. unter 0 °C und größere Regenmengen. Kompost vernässt. Verlagerung unter Dach während der folgenden 2 Monate. Umsetzen 14-tägig mit Radlader.	18 Wochen
2.2	März 99: 100 % Bioabfälle aus ländlichem Einzugsbereich, davon ca. 75 % Gartenabfälle, 25 % Küchenabfälle, feucht.	1 Woche Boxenkompostierung, zwangsbelüftet, anschließend überdachte Mietenkompostierung, insges. 3 x umgesetzt mittels Radlader, 1 x bewässert.	15 Wochen
3.2 (FK 13)	März 99: 100 % Bioabfälle aus ländlichem Einzugsbereich, davon ca. 70 % frische Gartenabfälle (Strauch- und Rasenschnitt), 30 % Küchenabfälle, trocken.	10 Tage Tunnelkompostierung, dabei tägliches Wenden und Belüften, anschließend überdachte Tafelmiete, 2,30 m Höhe, 14-tägig umgesetzt mittels Radlader.	12 Wochen
4.1 (FK 12)	März 99: 10 % frische Gemüseabfälle, 30 % nasser Rindermist, 34 % Pressrückstände (Bärentraubenblätter und Roskastanien, geschreddert), 25 % nasser Fertigkompost, 1 % Bentonit, 0,15 % Gesteinsmehl, Bakterienpräparat.	Dreiecksmieten, Höhe 1,20 - 1,50 m, Fließabdeckung, 38 x gewendet mit Spezialwendemaschinen, entsprechend dem Temperaturverlauf der Miete.	10 Wochen
2.3 (FK 16)	April 99: 100 % Bioabfälle aus ländlichem Einzugsbereich, davon ca. 70 % Gartenabfälle, 30 % Küchenabfälle, feucht.	1 Woche Boxenkompostierung, zwangsbelüftet, anschließend überdachte Mietenkompostierung, insges. 3 x umgesetzt mittels Radlader, 2 x bewässert.	23 Wochen

Probe	Input	Verfahren/ Mietenführung	Versuchsdauer
4.2 (FK 14)	April 99: 10 % frische Gemüseabfälle, 30 % nasser Rindermist, 20% Pressrückstände aus Rosskastanien, 20 % Erde, 10 % nasser Fertigkompost, 7 % Trester, Bentonit, Urgesteinsmehl, Bakterienpräparat.	Dreiecksmieten, Höhe 1,20 - 1,50 m, Fließabdeckung, 44 x gewendet mit Spezialwendemaschinen, entsprechend dem Temperaturverlauf der Miete.	10 Wochen
4.3 (FK 19)	Okt.99: 10 % frische Gemüseabfälle, 25 % Pressrückstände (Bärentraubenblätter), 10 % Dinkelspelzen, 20 % Rindermist, 25 % Erde, 5 % Fertigkompost, 800 kg Bentonit, 40 kg Gesteinsmehl, Bakterienpräparat.	Dreiecksmieten, Höhe 1,20 - 1,50 m, Fließabdeckung, 27 x gewendet mit Spezialwendemaschinen, entsprechend dem Temperaturverlauf der Miete, 4 x bewässert.	13 Wochen
6.1 (FK 21)	Okt.99: 60 % Strauchschnitt, 40% abgepresste Bioabfall-Gärrückstände.	Grünschnitt in geschlossenem Tunnel 4 Wochen zwangsbelüftet vorbehandelt, Bioabfall 30 Tage nassvergoren, anschliessend gemeinsame aerobe Nachrotte in überdachter, saugbelüfteter Dreiecksmiete. Höhe 2,5 m, Gesamt 30 m ³ , Probenahme kontinuierlich nur während der Nachrotte.	18 Wochen
7.1 (FK 17)	Okt.99: 48 % Strauch- und Holzhäcksel, 44 % Bioabfall (Mischung ländlicher und städtischer Einzugsgebiete im Verh. 50:50, nicht frisch), 8 % Erde.	Dreiecksmieten, Höhe 1,20 - 1,50 m, Fließabdeckung, 15 x gewendet mit Spezialwendemaschinen, entsprechend dem Temperaturverlauf der Miete, 1 x bewässert. Ges. 67,5 m ³ Input.	15 Wochen
7.2 (FK 18)	Okt.99: 48 % Strauch- und Holzhäcksel, 44 % Bioabfall (Mischung ländlicher und städtischer Einzugsgebiete im Verh. 70:30, nicht frisch), 8 % Erde.	Dreiecksmieten, Höhe 1,20 - 1,50 m, Fließabdeckung, 14 x gewendet mit Spezialwendemaschinen, entsprechend dem Temperaturverlauf der Miete, ges. 67,5 m ³ Input.	13 Wochen
5.1	Nov. 99: 70 % Biomüll, städtische Einzugsgebiete, 30 % Strauchschnitt, hoher Laubanteil, viele Störstoffe, Feuchtigkeit gut, rel. fein zerkleinert.	14 Tage in geschlossenem Tunnel, zwangsbelüftet, statisch, Absiebung.	3 Wochen
5.2 (FK 22)	Dez. 99: 75 % Biomüll aus städtischem Einzugsgebiet, 25 % holziges Überkorn aus Absiebung, sehr feucht.	21 Tage in geschlossenem Tunnel, zwangsbelüftet, statisch, umgelagert in 2. Tunnel für weitere 10 Tage. Anschließend Absiebung < 15 mm, Lagerung in 3 m hoher Miete mit sehr geringer Oberfläche, keine weitere Behandlung.	8 Wochen
5.3 (FK 23)	Dez. 99: 100 % Strauchschnitt, Feuchtigkeit gut, relativ fein zerkleinert.	28 Tage in geschlossenem Tunnel, zwangsbelüftet, statisch. Anschließend Absiebung < 15 mm, Lagerung in 3 m hoher Miete, keine weitere Behandlung.	6 Wochen
2.4	Aug.01: 100 % Bioabfall, überwiegend strukturschwache Gartenabfälle (Gras u.ä.), nass, Geruch sauer.	1 Woche Boxenkompostierung, belüftet, anschließend überdachte Mietenkompostierung, Höhe 2,5 m, insgesamt 4 x mittels Radlader umgesetzt, 1 x bewässert.	14 Wochen

Probe	Input	Verfahren/ Mietenführung	Versuchsdauer
9.1	Aug. 01: 100 % Bioabfall, ländlicher Einzugsbereich.	Vorbehandlung (mit Wasser versetzt, belüftet, gerührt) in 2 Aerobreaktoren: 3 Tage in Reaktor 1, abpressen, erneute Vernässung, 1 Tag in Reaktor 2, abpressen. Anschließend überdachte Mietenkompostierung, Höhe 1 m, Menge insges. ca. 7 m ³ . Wöchentliches Wenden mit Radlader.	15 Wochen
9.2	Aug. 01: 100 % Bioabfall, ländlicher Einzugsbereich.	Vorbehandlung (mit Wasser versetzt, belüftet, gerührt) in 3 Aerobreaktoren: 3 Tage in Reaktor 1, je 24 h in Reaktor 2 und 3 mit jeweils zwischengeschaltetem Abpressen und Wiedervernässen. Anschließend überdachte Mietenkompostierung, Höhe 1 m, Menge insgesamt ca. 6 t. Wöchentliches Wenden mit Radlader.	15 Wochen
9.3	Aug. 01: 100 % Bioabfall, ländlicher Einzugsbereich.	Vorbehandlung (mit Wasser versetzt, belüftet, gerührt) in 2 Aerobreaktoren: 3 Tage in Reaktor 1, abpressen, erneute Vernässung, 1 Tag in Reaktor 2, abpressen. Anschließend überdachte Mietenkompostierung, Höhe 1 m, Menge insges. ca. 7 m ³ . Wöchentliches Wenden mit Radlader.	11 Wochen
10.1	Aug. 01: 30 % Bioabfälle, in Vergärungsanlage bereits vorbehandelt, 70 % Strauchschnitt.	Bioabfälle in einstufiger, thermophiler Nassvergärung vorbehandelt. Mit Grünschnitt zu Trapezmiete aufgesetzt, Höhe 2,80 m, Breite 4 m, keine Überdachung. Während der ersten 4 Wochen auf saugbelüftetem Spaltenboden gelagert. Insgesamt 6 x mit Radlader umgesetzt.	14 Wochen
10.2	Aug. 01: 30 % Bioabfälle, in Vergärungsanlage bereits vorbehandelt, 70 % Strauchschnitt.	Bioabfälle in einstufiger, thermophiler Nassvergärung vorbehandelt. Mit Grünschnitt zu Trapezmiete aufgesetzt, Höhe 2,80 m, Breite 4 m, keine Überdachung. Während der ersten 4 Wochen auf saugbelüftetem Spaltenboden gelagert. Insgesamt 4 x mit Radlader umgesetzt.	10 Wochen
FK 1 (Werk 3)	vor Okt. 98: Bioabfälle, Strauchschnitt ohne genauere Angaben.	10 Tage Tunnelkompostierung, dabei tägliches Wenden und Belüften. Anschliessend Tafelmiete, 2 m Höhe. Weitere Angaben nicht möglich.	> 22 Wochen
FK 4 (Werk 1)	Nov. 98: 100 % Bioabfälle ohne weitere Angaben.	große Tafelmieten in gekapselter Halle, Druckbelüftung, wöchentliches Wenden mit Wendegerät während 10 Wochen. Anschließend Lagerung ohne Überdachung in großer Halde, Vernässung durch Starkregen.	17 Wochen
FK 5 (Werk 1)	Sept. 98: 100 % Bioabfälle ohne weitere Angaben.	große Tafelmieten in gekapselter Halle, Druckbelüftung, wöchentliches Wenden mit Wendegerät während 10 Wochen. Anschließend Lagerung ohne Überdachung in großer Halde, Vernässung durch Starkregen.	23 Wochen

Probe	Input	Verfahren/ Mietenführung	Versuchsdauer
FK 6 (Werk 5)	Jan. 99: Bioabfälle aus städtischem Einzugsgebiet, Grünschnitt, keine weiteren Angaben.	Tunnelkompostierung, zwangsbelüftet, statisch. Keine weiteren Angaben.	9 Wochen
FK 9 (Werk 2)	vor Okt. 98: Bioabfälle, keine weiteren Angaben.	7 Tage in geschlossenen, zwangsbelüfteten Rotteboxen, anschließend überdachte Mietenkompostierung, 2,5 m Höhe, Umsetzen mittels Radlader.	> 22 Wochen
FK 11	März 99: 100 % Bioabfälle	2-stufige thermophile Nassvergärung ohne aerobe Nachrotte.	2 Wochen
FK 20 (Werk 9)	Dez. 99: 100 % Bioabfälle, ländlicher Einzugsbereich.	Mietenführung siehe Kompost 9.1, 9.2.	6-8 Wochen

3.2 Gegenüberstellung der verwendeten Komposte in Bezug auf Ausgangsmaterial und Verfahrenstechnik

Tab. 4 gibt einen Überblick über Unterschiede und Ähnlichkeiten der verwendeten Komposte in Bezug auf das Ausgangsmaterial. Jahreszeitliche Unterschiede des Beginns der Kompostierung wirken sich deutlich auf die Zusammensetzung, insbesondere der Gartenanteile aus. In den Monaten Oktober und November fällt ein hoher Laubanteil auf, wohingegen im März mehr Strauchschnitt, in den Augustkomposten dagegen deutliche Mengen an Gras sichtbar sind. 18 der 22 untersuchten Komposte enthalten Bioabfälle in unterschiedlichen Mengen. Kompost 5.3 besteht dagegen aus 100 % Grünschnitt, während alle Komposte aus Werk 4 in der Hauptsache aus frischen Gemüseabfällen, Rindermist und Pressrückständen bestehen. Der Gehalt an holzigen Bestandteilen variiert zwischen 0 % und 90 %.

Tabelle 5 zeigt wesentliche Verfahrensunterschiede der untersuchten Kompostmieten: Bei 14 der 22 Mieten handelt es sich um große Tafelmieten mit einer Höhe von mindestens 2 m, die mit Ausnahme von 3.1 und der Mieten aus Werk 10 permanent überdacht oder eingehaust sind. Ein Luftaustausch

durch Diffusion kann in Mieten dieser Größe nur in einer Randzone von wenigen cm erfolgen. Im wesentlichen ist zu erwarten, dass das Material durch den Eigendruck so stark verdichtet ist, dass Luftzufuhr und CO₂-Ableitung gehemmt sind.

Geringeres Volumen und geringere Höhe in den Mieten der Werke 4, 7 und 9 ermöglichen im Vergleich einen wesentlich besseren Gasaustausch durch Diffusion.

Die Einschätzung der Sauerstoffversorgung erfolgte auf Basis des Verhältnisses Mietenoberfläche/-volumen, der Wendeintensität und eventuellen aktiven Belüftung. Hervorzuheben sind hier die Komposte aus Werk 4 mit niedrigen Dreiecksmieten und einer, dem Temperaturverlauf folgenden, intensiven mechanischen Behandlung (wöchentliche Umsetzfrequenz 2,1 bis 4,4) mit Spezialwendemaschinen, die eine gute Durchlüftung und Durchmischung sowie eine lockere Substratschüttung (Erhalten eines großen Porenvolumens) ermöglichen. Grundsätzlich nach derselben Methode arbeitet Werk 7, jedoch bei geringerer Wendehäufigkeit.

Anaerobe Vorbehandlung erfolgte an den Bioabfallanteilen der Komposte aus Werk 6 und 10 (40 % bzw. 30 % Bioabfälle), die anschließend mit vor-kompostiertem (Werk 6) oder frischem Grünschnitt (Werk 10) vermischt zur Miete aufgesetzt wurden.

Tab. 4: Überblick über Unterschiede und Ähnlichkeiten der beprobten Komposte bezüglich Kompostierungsbeginn, Gehalt an Küchen- und privaten Gartenabfällen, Strauchschnitt und anderen org. Materialien, Abschätzung des Gehalts an holzigen Bestandteilen (0≡ 0 %, 1≡ ca. 15 %, 2≡ ca. 25 %, 3≡ ca. 50 %, 4≡ ca. 60 %, 5≡ ca. 70 %, 6≡ ca. 80 %), C/N-Verhältnis sowie Wassergehalt im Ausgangsmaterial.

Kompost	Kompostierungsbeginn [Monat]	Gehalt Bioabfälle [%]	davon Gartenabfälle [%]	Zugabe Strauchschnitt [%]	andere Kompostierungsmaterialien	Gehalt an holzigen Bestandteilen [Werte von 0-6, zunehmende Holzanteile]	C/N-Verhältnis Komp.beginn	Wassergehalt Kompostierungsbeginn [%]
1.1	Nov.	100	80	-	-	3	16	58
1.2	Nov.	100	80	-	-	3	20	55
2.1	Nov.	70	80	30	-	5	17	64
3.1	Nov.	70	80	30	-	5	20	65
2.2	März	100	75	-	-	3	16	49
2.3	April	100	70	-	-	3	14	48
3.2	März	100	70	-	-	3	17	44
4.1	März	-	-	-	Gemüseabf., Rindermist, Preßrückstände, Fertigkompost, Zusätze	0	28	62
4.2	April	-	-	-	Gemüseabf., Rindermist, Preßrückstände, Fertigkompost, Erde, Zusätze	0	14	48
4.3	Okt.	-	-	-	Gemüseabf., Rindermist, Preßrückstände, Fertigkompost, Erde, Zusätze	0	20	49
5.1	Nov.	70	10	30	-	2	27	57
5.2	Dez.	75	10	25	-	2	29	61
5.3	Dez.	0	0	100	-	6	36	55
6.1	Okt.	40	0	60	-	3	14	31
7.1	Okt.	44	30	48	Erde	3	26	43
7.2	Okt.	44	40	48	Erde	3	23	47
2.4	Aug.	100	70	0	-	1	17	63
9.1	Aug.	100	60	0	-	1	25	54
9.2	Aug.	100	60	0	-	1	24	52
9.3	Aug.	100	60	0	-	1	25	53
10.1	Aug.	30	0	70	-	4	20	52
10.2	Aug.	30	0	70	-	4	19	53

Tab. 5: Vergleich der untersuchten Komposte bezüglich wesentlicher Verfahrensunterschiede: Mietengröße und –volumen, Zwangsbelüftung, Überdachung/Abdeckung, der ev. Vorbehandlungen der Bioabfälle, der durchschnittlichen Umsetzfrequenz pro Woche, der Sauerstoffversorgung (Abschätzung auf Basis der Materialstruktur, Mietenoberfläche/Mietenvolumen, Belüftung und Wendehäufigkeit: 1≡gering, 2≡ mäßig, 3≡ mittel, 4≡ gut, 5≡ gut+, 6≡ sehr gut) sowie der Kompostierungsdauer.

Kompost- probe Verfahrens- merkmal	1.1	1.2	2.1	3.1	2.2	2.3	3.2	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	5.3	6.1	7.1	7.2	2.4	9.1	9.2	9.3	10.1	10.2
Tafelmiete, Höhe mind. 2 m	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x			x				x	x
Zeilenkomp. oder kleine Tafelmiete, Höhe max. 1,50 m								x	x	x					x	x		x	x	x		
zeitweise aktiv belüftet	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x			x	x	x	x	x	x
permanent eingehaust oder überdacht	x	x	x	zeitweise	x	x	x				x	x	x	x			x	x	x	x		
Abdeckung mit Textilfließ								x	x	x					x	x						
ohne Überdachung oder Abdeckung				zeitweise																	x	x
anaerobe Vorbehandlung der Bioabfälle														x							x	x
Vorbehandlung der Bioabfälle durch aerobe Hydrolyse																		x	x	x		
Ø Umsetzfrequenz/ Woche	0,5	0,4	0,3	0,8	0,2	0,1	0,9	3,8	4,4	2,1	0	0,1	0	0,6	1	1,1	0,3	1	1	1	0,4	0,4
Abschätzung der O ₂ -Versorgung [Werte 1-6, zunehmend O ₂]	1	1	2	1	2	2	2	6	6	6	2	2	2	3	5	5	2	4	4	4	2	2
Kompostierungsdauer [W]	16	14	18	18	15	23	12	10	10	13	3	8	6	18	15	13	14	15	15	11	14	10

In Werk 9 wurden die Bioabfälle (100 %) mit einer speziell entwickelten Technik, der sogenannten „aeroben Hydrolyse“ vorbehandelt (Zusatz von Wasser bis TS ca. 25 %, konstante Belüftung und Bewegung mittels Rührwerk über 24 h, anschließende Abpressung. Insgesamt zwei- oder dreimalige Wiederholung des Prozesses, dabei Selbsterhitzung des Materials auf ca. 60 °C und pH-Wert-Absenkung).

Die unterschiedlich langen Kompostierungszeiten sind einerseits auf unterschiedliche Vermarktungsstrategien der Komposterzeuger zurückzuführen (z.B. Werk 5: 3-8 Wochen, Vermarktung als Frischkompost in der Landwirtschaft, keine Fertigkomposterzeugung), andererseits auf unterschiedlich optimale Kompostierungsbedingungen und dadurch bedingtes Erreichen unterschiedlicher Kompostqualitäten (z.B. Werk 4: gezielte Auswahl der Inputmaterialien und intensive Rottebegleitung und –behandlung mit dem Ziel, hochwertigen Kompost für eine biologisch-dynamisch wirtschaftende Gärtnerei herzustellen; Werk 2: geringe Behandlungsintensität bedingt eine lange Kompostierungsdauer).

3.3 Probenahme und Lagerung

Die Probenahme erfolgte nach den Vorgaben des Methodenbuches zur Analyse von Kompost (BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST, 1998).

Eine repräsentative Mischprobe von ca. 20 l je Kompost wurde noch am selben Tag in verschlossenen Behältern zur Untersuchung ins Labor transportiert und dort direkt verarbeitet oder aber gekühlt. Kleine Teilmengen der Mischproben, die für die $N_{\min}$ -Bestimmung vorgesehen waren, wurden bereits während des Transportes gekühlt.

Fertigkomposte, die für die Durchführung von Pflanzentests aufbewahrt wurden, lagerten während mehrerer Wochen in offenen, luftdurchlässigen Kunststoffsäcken bei Außentemperatur, geschützt vor Sonneneinstrahlung und Niederschlägen.

3.4 Temperaturmessungen am Mietenkörper

Tägliche rottebegleitende Temperaturmessungen an den Kompostmieten konnten durch die Werksleitung nur in den Kompostwerken 1, 4, 7 und 9 durchgeführt werden.

3.5 Analytik

Alle angeführten Messungen erfolgten im Allgemeinen in 3 Parallelen mit Ausnahme von Wassergehalt und $N_{\min}$ (2 Parallelen), sowie pH-Wert (einfach).

3.5.1 Allgemeine Analytik

Die Aufbereitung der Proben, die Bestimmung des **Wassergehaltes**, des **pH-Wertes** in 0,01 molarer $CaCl_2$ -Lösung, des **Glühverlustes** sowie auch **Rohdichte**, **Salzgehalt** (*Berechnung auf Basis der elektrischen Leitfähigkeit von KCl in der frischen Kompostlösung*) und die **löslichen Pflanzennährstoffe K_2O , MgO und PO_4^{3-}** (zusätzliche Untersuchungen an Fertigkomposten) erfolgten nach den Vorschriften des Methodenbuches zur Analyse von Kompost BUNDESGÜTE-GEMEINSCHAFT KOMPOST (1998).

Aus den Ergebnissen der Glühverlustmessungen der jeweils ersten und letzten Probe eines Kompostes wurde der Gesamtabbau der organischen Substanz im Kompostierungsverlauf ermittelt:

$$\text{Gesamtabbau} = \frac{(\text{GV A} - \text{GV E}) \times 100}{\text{GV A}}$$

GV A = Glühverlust zu Kompostierungsbeginn
GV E = Glühverlust am Kompostierungsende

Auch der **Rottegrad im Selbsterhitzungstest** wurde nach oben erwähnter Vorschrift bestimmt. Dabei wird mit Hilfe eines Maximumthermometers die Temperaturentwicklung der frischen Komposte im Dewargefäß (Isoliertes Gefäß ohne Deckel, Vol. 1,5 l, Innendurchmesser 100 mm) gemessen. Durch Einstellen eines den mikrobiellen Vorgängen angepassten Feuchtegehaltes und einer lockeren Schüttung sollen die Abbaubedingungen während des Versuches optimiert werden. Die Maximaltemperaturen, die innerhalb von 10 Tagen erreicht wurden, werden definierten Rottegraden zugeordnet, aus denen wiederum Produktbezeichnungen abgeleitet werden können (Tab.6).

Tab. 6: Einteilung der Rottegrade nach Maximaltemperatur im Selbsterhitzungstest

Rottegrad	Maximaltemperatur [°C]	Produktbezeichnung
I	> 60	Kompostrohstoff
II	50,1 – 60,0	Friskkompost
III	40,1 – 50,0	Friskkompost
IV	30,1 – 40,0	Fertigkompost
V	≤ 30	Fertigkompost

Die **Gesamtgehalte** an **Kohlenstoff** und **Stickstoff** wurden mittels C/N-Analyser (Fisons Instruments, NA 2000, N- Protein) bestimmt. Dazu wurden ca. 7 mg der 105 °C- trockenen und mit einer Kugelmühle fein gemahlenen Kompostproben eingesetzt.

Die Bestimmung des Gehaltes an **Ammonium- und Nitratstickstoff** erfolgte durch Mikrodestillation nach GERLACH (1973) und STÖCKER (1971). Nitritstickstoff wurde kolorimetrisch mit einer Modifikation der Griess-Ilosvay-Methode nach PAGE (1982) bestimmt.

3.5.2 Korngrößenanalyse

Die Korngrößenanalyse wurde aus Kapazitätsgründen an einer Auswahl von sieben repräsentativen Fertigkompostproben durchgeführt. Nach Vorbehandlung der Komposte mit 30 %iger H₂O₂ und 32 %iger HCl (Zerstörung von organischer Substanz und Kalk), spülen mit A.dest und trocknen (105 °C), wurden die Proben homogenisiert und unter Zugabe von 4 %iger Na-Polyphosphatlösung über einen Siebturm (630 µm, 200 µm, 63 µm, 20 µm) fraktioniert. Die Trennung der Fraktionen <20 µm erfolgte im Sedimentationsverfahren nach Atterberg.

3.5.3 Kationenaustauschkapazität

Die Kationenaustauschkapazität wurde exemplarisch an 34 Einzelproben unterschiedlichen Alters aus sieben verschiedenen repräsentativen Kompos-

ten gemessen, um deren Entwicklung im Kompostierungsverlauf festzustellen.

Dazu wurden je 5 g getrockneter Kompost dreimal in 25 ml 0,1 M SrCl_2 -Triethanolamin $\frac{1}{2}$ Stunde geschüttelt, bei 1130 G abzentrifugiert und über einen Faltenfilter (Schleicher und Schüll 595 $\frac{1}{2}$) dekantiert. Die Pellets wurden aufgeschüttelt und zweimal mit A.dest gespült, $\frac{1}{2}$ Stunde geschüttelt, abzentrifugiert und dekantiert. Nach dreimaligem Schütteln der Proben in 25 ml 0,1 M MgCl_2 -Lösung, zentrifugieren, dekantieren und auffüllen mit 0,1 M MgCl_2 auf 100 ml wurde die Konzentration an Sr in der Lösung am AAS (Varian SpectrAA-300) bestimmt.

3.5.4 Bestimmung des Huminstoffgehaltes

Die UV/VIS-Messung des Gehaltes an laugelöslichen Huminstoffen wurde nach WITT (1980) in Anlehnung an SPRINGER (1948) und SCHLICHTING UND BLUME (1995) an insgesamt 47 Einzelproben unterschiedlichen Alters aus sieben verschiedenen repräsentativen Komposten gemessen, um deren Entwicklung im Kompostierungsverlauf festzustellen.

Dazu wurde 0,5 g 105 °C- trockener Kompost zwei bis drei Stunden in 50 ml 0,05 N H_2SO_4 (Zerstörung von Carbonatverbindungen) unter gelegentlichem Umrühren gereinigt. Nach dem Abzentrifugieren bei 1130 G, wurde der Rückstand zwei bis viermal in A.dest gespült und zentrifugiert. Die Lösungen wurden verworfen. Der letzte Rückstand wurde in 100 ml [0,5 % NaOH + 0,5 % Na-Oxalat]- Lösung bei 100 °C eine Stunde verschlossen im Wasserbad extrahiert und nach dem Abkühlen abzentrifugiert.

Die Extinktion der klaren Lösung wurde mittels Photometer (Shimadzu UV-1202) bei 530 nm in 10 mm-Küvetten gegen den Blindwert gemessen.

Die Konzentration der gewonnenen Huminstofffraktionen errechnet sich anhand einer Eichkurve, die mit Huminsäure (Carl Roth, Art. 7821) im Konzentrationsbereich 0-100 mg/100 ml erstellt wurde. Nach WITT (1980) wird der Huminstoffgehalt auf die organische Substanz (Glühverlustdaten) bezogen in mg/g org.S., oder aber in % der organischen Substanz angegeben.

3.5.5 Charakterisierung spezifischer Molekülstrukturen

FT-IR-Spektren wurden nach MACCARTHY & RICE (1985) von 13 repräsentativen Komposten, an jeweils 2 Proben unterschiedlichen Alters, aufgenommen.

Um den Gehalt an Silicaten und Tonmineralen zu minimieren wurden 50 mg der bei 105 °C getrockneten Proben mit 1 ml [0,3 M HF + 0,1 M HCl]-Lösung 12 h geschüttelt, anschließend 10 min bei 1130 G zentrifugiert und zweimal mit Bi.dest gewaschen (12 h schütteln, 10 min zentrifugieren). Aus der anschließend gefriergetrockneten Probe wurden 2-5 mg im Verhältnis 1:100 mit Kaliumbromid fein vermahlen und unter 8 t Druck zu Pellets gepresst. Die Messung erfolgte am FT-IR-Spektrometer (FTS 7, Fa. Bio-Rad) innerhalb des Wellenzahlbereiches von 500 bis 4000 cm^{-1} . Die Ergebnisse wurden in Bezug zu 1 mg C (Werte aus C/N-Messung) gesetzt.

Zur Auswertung wurde nach HABERHAUER ET AL. (1998) die relative Absorption der einzelnen Wellenzahlen, herangezogen. Diese benennt den relativen Anteil eines Peaks an der Gesamtsumme der absoluten Absorptionen aller ausgewählten Wellenzahlen.

3.6 Chroma-Boden-Test

Der Chroma-Boden-Test nach PFEIFFER (1959a, 1959b), verändert nach BALZER (1989, 1993) und BANGERT (1993) wurde an der 10 mm-Siebfraktion des frischen Probenmaterials durchgeführt, die während ca. 14 Stunden luftgetrocknet wurde. In Ausnahmefällen wurden die Proben zur späteren Versuchsdurchführung zunächst tiefgekühlt gelagert.

2,5 g des gesiebten Materials wurden mit 50 ml NaOH (1 %ige Lösung) in 100 ml- Erlenmeyerkolben versetzt und, zur Eindämmung von Oxidationsreaktionen mit Parafilm verschlossen, während 3,5 Stunden im Wasserbad bei 28 °C extrahiert. Dabei wurde der Extrakt während der ersten 30 Minuten mittels mechanischer Seitwärtsbewegungen (140 Bewegungen/ min) durchmischt. Nach Beenden der Extraktionszeit wurde die Lösung vollständig in

Rollrandgläser (50 ml) dekantiert und fest verschlossen bis zur rasch folgenden Weiterverarbeitung aufbewahrt.

Für jeden Extrakt wurden zwei Rundfilter (150 mm Ø, Fa. Whatman No. 4) folgendermaßen für den papierchromatographischen Steigvorgang vorbereitet:

Nach Kennzeichnung von Zentrum sowie 4- und 6 cm-Radius mittels kleiner Bleistiftmarkierungen wurde mit Hilfe eines 2 mm-Stanzeisens ein sauberes Loch in die Mitte des Filterpapiers gestanzt, das während der folgenden Steigvorgänge mit kurzen Dochten derselben Papierqualität (s.u.) versehen wurde.

Zur Vermeidung von Verschmutzungen dürfen die Filter nur am Rand, außerhalb des 6 cm-Radius berührt werden.

Während der Steigvorgänge lagerten die Rundfilter horizontal auf Petrischalen (12 cm Ø), in deren Mitte sich kleine Uhrgläser (5 cm Ø) befanden.

Als Dochte wurden kleine Rechtecke der Papierqualität Whatman 4 (1,5 x 2,5 cm für den ersten Steigvorgang (AgNO_3 -Beschichtung); 2,0 x 2,5 cm für den zweiten Steigvorgang (NaOH-Extrakt)) über eine Nadel fest gerollt und sofort in die vorbereiteten Rundfilter gesteckt.

Zur Beschichtung der Filter mit Silbernitrat wurden jeweils 0,5 ml AgNO_3 -Lösung in die Uhrgläser pipettiert und die Dochte bis auf den Grund der Flüssigkeit getaucht. Beim Erreichen der 4 cm-Markierung durch die sich ausbreitende Lösung auf dem Filter wurden die Dochte mittels Pinzette aus dem Filter und die Uhrgläser aus den Petrischalen entfernt.

Bis zum Beginn des nächsten Steigvorgangs (Natronlaugeextrakt) wurden die Rundfilter in absoluter Dunkelheit (Lichtempfindlichkeit des Silbernitrats) auf den Petrischalen liegend, während 2 $\frac{1}{4}$ Stunden getrocknet.

Zur Standardisierung der papierchromatographischen Steigvorgänge müssen folgende Laborbedingungen gewährleistet sein:

- Raumtemperatur: $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$
- relative Luftfeuchte: $60\% \pm 3\%$
- Beleuchtung: abgedunkelter Raum mit minimaler Arbeitsbeleuchtung.

Die verschiedenen Arbeitsschritte erfolgten zeitlich koordiniert, sodass das Ende der Filtertrocknungszeit mit dem Dekantieren der Extrakte zusammentraf. Gegen Ende der Trocknungszeit wurden die Petrischalen mit sauberen Uhrgläsern bestückt und die aufliegenden Rundfilter mit neuen Dochten (Größe 2 x 2,5 cm) versehen.

Nach kurzem, kräftigem Schütteln wurden je 1,3 ml der Extrakte in die Uhrgläser pipettiert, die Dochte bis auf den Grund der Flüssigkeiten gesenkt und über jeden Filter eine Glasschale (Vol. 1,7 Liter, Ø 20 cm) als kleine Klimakammer gesetzt.

Beim Erreichen der 6 cm-Markierung durch die sich ausbreitenden Extrakte wurden die Dochte vorsichtig nach unten herausgezogen und die Filter zurück auf die Petrischalen gelegt.

Nach einer Trocknungszeit von zunächst sieben Stunden in absoluter Dunkelheit wurden die Filter während weiterer sechs Stunden standardisiertem Kunstlicht (Gleichmäßige Neonbeleuchtung durch mehrere parallele Lampen Sylvania Circline, universal white, Lichtstärke 9000 lux) ausgesetzt.

Die fertigen Chromatogramme wurden zum Schutz vor Farbveränderungen weiterhin in absoluter Dunkelheit aufbewahrt.

Die Auswertung der Chromatogramme erfolgte durch die Messung der Zonengrößen von z.Z., i.Z., m.Z., ä.Z. (durchschnittliche Größe), eine detaillierte Beschreibung der Zonenübergänge der i.Z./m.Z. sowie der auftretenden Strukturen (radiale Struktur, Wolken um Zackenspitzen) und Zacken (Menge, Länge). Die Farbbezeichnungen der verschiedenen Bildelemente (z.Z., i.Z., m.Z., ä.Z., Zacken) erfolgten mit Hilfe der MUNSELL COLOR CHARTS (1975), die ein passendes weites Spektrum an braunen und rotbraunen Farbtönen aufweisen. Lassen sich Farbtöne in den Chromatogrammen nicht exakt durch eine MUNSELL-Farbe benennen, werden gegebenenfalls zwei MUNSELL-Farben angegeben, die der zu beschreibenden Farbe am nächsten kommen, oder aber die MUNSELL-Farbe wird mit dem Zusatz h (hell) bzw. hh (sehr hell) versehen (Tab. A 6-8).

Eigene Vorversuche im Rahmen dieses Forschungsprojektes führten zu den oben genannten Entscheidungen bezüglich der Einwaagemengen/ 50 ml

NaOH, der Papierwahl, der Verwendung der 10 mm-Siebfraktion sowie des Dekantierens des Natronlaugeextraktes gegenüber dem Zentrifugieren:

- 2,5 g Kompost in 50 ml NaOH ergab in Kombination mit dem Chromatographiepapier „Whatman Nr.4“ (schnell laufend) gegenüber anderen üblichen Kombinationen (2,5 g Kompost/ „Whatman Nr.1“, mittelschnell laufend), (5 g Kompost/ „Whatman Nr.4“) und (5 g Kompost/ „Whatman Nr.1“) die ausgeprägtesten Differenzierungen in Zonierung und Strukturierung der Bildgestalten.
- Die 10 mm-Siebfraktion wird standardmäßig (BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST 1998) zur Durchführung aller Laboranalysen und Pflanzentests eingesetzt; ebenso spiegelt sie ein repräsentativeres Bild der inhomogenen Komposte wieder, als die oftmals gebräuchliche 2 mm-Fraktion.
- Zentrifugieren bringt gegenüber dem Dekantieren bei Komposten, im Gegensatz zu Böden mit einem wesentlich höheren Gehalt an mineralischen Bestandteilen, keinen Erkenntnisgewinn in der Auswertung der Chromatogramme. Zudem ist ein Anliegen dieser Arbeit, den Chromatetest ohne den Einsatz kostspieliger Geräte, auch für Praktiker ohne aufwendige Laborausstattung, zu etablieren.

3.7 Pflanzenverträglichkeitstests

Zur Überprüfung der Pflanzenverträglichkeit der weitergehend untersuchten Komposte wurden die Keimpflanzenversuche mit Sommergerste (KEHRES et al., 1994), Chinakohl (Gossow et al., 1995a und b) sowie der geschlossene Kresstest nach GRANTZAU (1997) angewandt. Die Versuche fanden unter gleichmäßigen Beleuchtungsbedingungen (künstliche Beleuchtung, mind. 3000 Lux/ 12 h täglich) statt.

Als Referenzsubstrat und Mischungskomponente für die Gerste- und Chinakohltests diente Einheitserde 0 (EE0, 70 % Weißtorf, 30 % Ton ohne Zugabe

von Nährstoffen), die Versuche wurden mit 3 Parallelen je Kompost durchgeführt. Für die Pflanzenverträglichkeitstests wurde abgeseibter Kompost (10 mm-Fraktion) verwendet, der für die **Gerste- und Chinakohltests** entsprechend den Angaben in Tab.7 mit EEO im Verhältnis 1:1 oder 1:3 gründlich vermischt wurde.

Tab. 7: Verwendete Kompostmischungen, Saatmenge und Versuchsdauer der Pflanzenverträglichkeitstests.

Testpflanze	Kompostanteil in der Prüfmischung	Saatmenge/ Topf [Anzahl oder Masse]	Versuchsdauer
Kresse	100 Vol.-%	0,5 g	7 Tage
Sommergerste	25 und 50 Vol.-%	50 Samen	8 – 10 Tage
Chinakohl	50 Vol.-%	30 Samen	21 Tage

Je 400 ml der Prüfmischungen wurden für die Gerste- und Chinakohltests in Kunststofftöpfe gefüllt, durch dreifaches Aufstoßen der Gefäße leicht komprimiert und mit einem wasserlöslichen Mehrnährstoffdünger auf 220 mg l⁻¹ N aufgedüngt.

Die in Tab.7 angegebene Saatmenge wurde gleichmäßig auf jeweils 1 Topf verteilt und mit 100 ml der jeweiligen Prüfmischung bedeckt. Während der Versuchsdauer wurden die Substrate mit Aqua dest. gleichmäßig feucht gehalten.

Für den **geschlossenen Kresstest** wurden je 250 ml feuchter Kompost bzw. EEO (angefeuchtet) in 1 l-Einmachgläser gefüllt. Mit Aqua dest. befeuchtete Watte pads (Ø 5,5 cm) wurden auf Aufhängevorrichtungen (*mit Draht verstärktes PE-Gewebe, Ø 6,5 cm, an drei Punkten Draht zur Befestigung am Glasrand*) gelegt, die so in die Gläser gehängt wurden, dass ihr Abstand zur Kompostoberfläche 2-3 cm betrug. Auf die befeuchteten Pads wurden je 0,5 g Kresse ausgesät und die Gläser mit den passenden Glasdeckeln abgedeckt. Durch die Drahtbefestigung der Aufhängevorrichtung am Glasrand blieb ein schmaler Lüftungsspalt von ca. 1 mm bestehen.

Zur Auswertung wurde nach 7 bis 21 Tagen (Tab.7) die gebildete Frischmasse bestimmt. Hierzu wurden die Pflanzen topfweise mit einer Schere direkt

über der Substratoberfläche, bzw. über der Watte abgeschnitten und sofort gewogen. Die Erträge wurden als relativer Frischmasseertrag in Prozent des mittleren Ertrags des Vergleichssubstrates (EE0) ausgedrückt.

3.8 Statistik

Die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes und der Standardabweichung erfolgte mit dem Programm Microsoft Excel 97. Potentielle Ausreißer in den Messreihen von N_{ges} und C wurden mit Hilfe des Testes auf Ausreißer nach Grubbs KLOCKENKÄMPER (1984) auf Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ geprüft.

Zur Bestimmung des Korrelationskoeffizienten wurde, um die Beziehung verschiedener Qualitätsparameter untereinander zu definieren, aufgrund von Datenart, -menge, und -verteilung der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman herangezogen und mit Hilfe des Programms WinSTAT für Excel (1999) berechnet.

Zur Korrelation der Analyseergebnisse mit den Bildmerkmalen der Chromatogramme wurde der Chi-Quadrat-Test (HORN UND VOLLANDT, 1995) angewandt. Dazu wurden sowohl die Analyseergebnisse, als auch die Ergebnisse aus dem Chromatest in Gruppen eingeteilt und einander in Mehrfeldertafeln gegenübergestellt.

Statistische Ergebnisse werden unter Angabe der Irrtumswahrscheinlichkeit α ($\alpha=0,05 \cong$ signifikant, $\alpha=0,01 \cong$ sehr signifikant, $\alpha=0,001 \cong$ hoch signifikant) dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Die Entwicklung der Komposte unter Betrachtung der Parameter Ausgangsmaterial, Wasser- und Sauerstoffversorgung, Abbau der organischen Substanz, C/N, pH, Selbsterhitzung, Mietemperatur und $N_{\min}$.

4.1.1 Komposte mit sehr intensiver und schneller Entwicklung (Komposte 4.1, 4.2, 2.4)

Kapitel 4.1.1 fasst Komposte zusammen, die einen Gesamtabbau der organischen Substanz $>40\%$ zeigen und den neutralen bis basischen Bereichs innerhalb der ersten 4 Kompostierungswochen erreichen.

Kompost 4.1 (Abb.3) enthält keine sichtbaren holzigen Bestandteile (Tab.4) und zeigt bei guter Wasser- und sehr guter Sauerstoffversorgung (Tab.5) eine Gesamtabbauleistung der organischen Substanz von $46,5\%$ (Tab. A3) während der 10-wöchigen Kompostierungszeit. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 28 auf 16 (Tab. A1). Das Ausgangsmaterial ist mit pH 6,6 leicht sauer. Bereits ab Woche 2 zeigt der Kompost mit pH-Werten $\geq 7,8$ eine beständige, deutlich basische Reaktion. Die Mietemperatur (Tab. A2) steigt binnen der ersten 2 Wochen auf $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, um anschließend bis Woche 8 stetig auf $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ abzusinken. Der Selbsterhitzungstest im Dewargefäß zeigt mit $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ in Woche 0 das Vorhandensein mikrobiell leicht verfügbarer organischer Substanz an; bereits ab Woche 2 stellt sich bei kontinuierlichen Temperaturen unter $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ Rottegrad V ein.

Der Ammoniumgehalt zeigt mit $125,9\text{ mg kg}^{-1}$ in Woche 2 sein Maximum, ebenso der Nitratgehalt mit $28,6\text{ mg kg}^{-1}$.

Kompost 4.2 entspricht Kompost 4.1 in Bezug auf Inputmaterial, Kompostierungsverfahren, die Temperaturentwicklungen in der Miete sowie auch im Selbsterhitzungstest und zeigt bei deutlich geringerem Gehalt an organischer Substanz im Ausgangsmaterial ($35,1\text{ g }100\text{ g}^{-1}$) ebenfalls eine Gesamtabbauleistung von 47% im Kompostierungsverlauf. Der Abbau findet im wesentlichen innerhalb der ersten fünf Wochen statt. Der Wassergehalt liegt mit Wer-

ten von 48 bis 36 g 100 g⁻¹ deutlich niedriger als in Kompost 4.1. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 14 auf 11, der pH zeigt von Beginn an eine kontinuierlich basische Reaktion, ohne anhaltend steigende Tendenz.

Der Ammoniumgehalt beträgt in den Wochen 1 und 3 über 1000 mg kg⁻¹ und sinkt im Folgenden rapide auf Werte unter 50 mg kg⁻¹, während der Nitratgehalt bei Temperaturen unter 50 °C im Kompost kontinuierlich auf 198,5 mg kg⁻¹ ansteigt.

Kompost 2.4 enthält ca. 15 % holzige Anteile und zeigt bei mäßiger Sauerstoffversorgung eine Gesamtabbauleistung von 42,9 %. Wie auch in Kompost 4.2 vollzieht sich die wesentliche Mineralisierungsleistung innerhalb der ersten 4 Wochen bei einem Wassergehalt von 37,7 – 42,3 g 100 g⁻¹, wenn auch der Wassergehalt im Inputmaterial mit 63,3 g 100 g⁻¹ höher liegt. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 17 auf 11, die ansteigenden pH-Werte erreichen in Woche 4 den alkalischen Bereich. Der Selbsterhitzungstest zeigt Temperaturen ≥ 60 °C bis Woche 4, um anschließend abzusinken auf Rottegrad V in Woche 14 und korreliert somit mit der Entwicklung des Glühverlustes. Der Gehalt an Ammonium liegt durchgängig über 2000 mg kg⁻¹, mit einem Maximum von 5262,7 mg kg⁻¹ in Woche 1. Die Nitratwerte steigen deutlich an ab Woche 5 bis auf 198,5 mg kg⁻¹ in Woche 11 bei Mietentemperaturen unter 50 °C.

Alle oben beschriebenen Komposte zeigen eine optimale Entwicklung der untersuchten Kompostparameter, obwohl die Komposte 4.2 und 2.4 verhältnismäßig niedrige Wassergehalte sowie auch sehr enge, suboptimale C/N-Verhältnisse im Inputmaterial aufweisen.

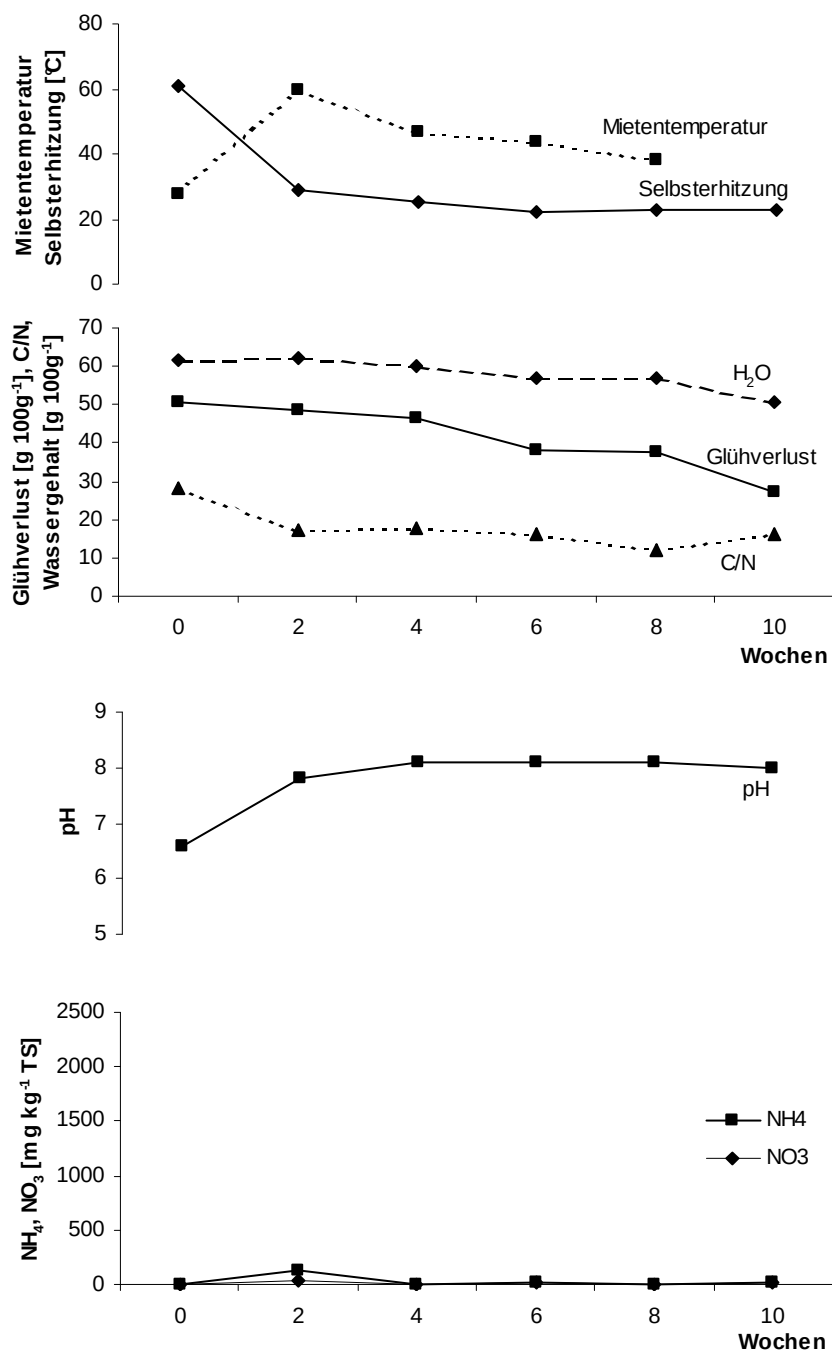


Abb. 3: Kompost 4.1: Entwicklung von Mietentemperatur, Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}.

4.1.2 Komposte mit intensiver und schneller Entwicklung (Komposte 7.1, 7.2, 10.1)

Kapitel 4.1.2 fasst Komposte zusammen die einen Gesamtabbau der organischen Substanz zwischen 30 und 40 % aufweisen und den neutralen bis basischen Bereich innerhalb der ersten 4 Kompostierungswochen erreichen.

Mit einem Holzanteil von ca. 50 % (Tab.4) und guter Sauerstoffversorgung (Tab.5) zeigt **Kompost 7.1** (Abb.4) eine Gesamtabbauleistung der organischen Substanz von 30,4 % (Tab. A3) gegenüber dem Ausgangsmaterial, wobei die stärkste Reduzierung zwischen Woche 2 und 4 stattfand. Im weiteren Kompostierungsverlauf ist nur noch eine geringfügige Mineralisierungsleistung erkennbar. Der Wassergehalt liegt durchgängig zwischen 42,5 und 35,7 g 100 g⁻¹ (Tab. A1), wobei er durch Bewässerung und Regenereignisse zwischenzeitlich leicht ansteigt (Tab.3). Das C/N-Verhältnis verengt sich von 25 auf 11. Der pH-Wert steigt von 5,0 im Ausgangsmaterial schnell an auf 8,1 in Woche 2. Die Reaktion bleibt weiterhin konstant basisch. Die Mieten-temperatur steigt auf 59 °C in Woche 2 (Tab. A2), und kühlt anschließend bis in Woche 9 auf Umgebungstemperatur ab. Der Selbsterhitzungstest zeigt bereits ab Woche 4 Temperaturen unter 25 °C und somit Rottegrad V. Er korreliert mit der Entwicklung des Glühverlustes.

Der maximale Ammoniumgehalt wurde mit 807,6 mg kg⁻¹ in Woche 2 ermittelt. Er sinkt weiterhin ab bis Woche 9 auf 13,5 mg kg⁻¹, um bis Woche 17 wieder leicht anzusteigen. Der Nitratgehalt schwankt zwischen 2,2 und 170,1 mg kg⁻¹.

Kompost 7.2 entspricht Kompost 7.1 bezüglich des Kompostierungsverfahrens, des Inputmaterials, der Sauerstoff- und Wasserversorgung und zeigt mit 39,3 % einen ähnlichen Gesamtabbau der organischen Substanz. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 23 auf 13 und der pH-Wert zeigt ab Woche 4 eine eindeutig basische Reaktion. Die Mientemperatur nimmt einen äquivalenten Verlauf wie in Kompost 7.1 und gleicht sich ebenso bereits in Woche 7 der Umgebungstemperatur an. Auch im Selbsterhitzungstest wird Rottegrad V in Woche 7 erreicht, was wiederum mit der Entwicklung der Woche 7 erreicht, was wiederum mit der Entwicklung der Glühverlustergebnisse

korreliert, die bis Woche 7 eine konstante Abnahme zeigen. Der Gehalt an Ammonium erreicht in Woche 2 mit $1083,4 \text{ mg kg}^{-1}$ sein Maximum, um anschließend kontinuierlich auf 46,1 Abnahme zeigen. Der Gehalt an Ammonium erreicht in Woche 2 mit $1083,4 \text{ mg kg}^{-1}$ sein Maximum, um anschließend

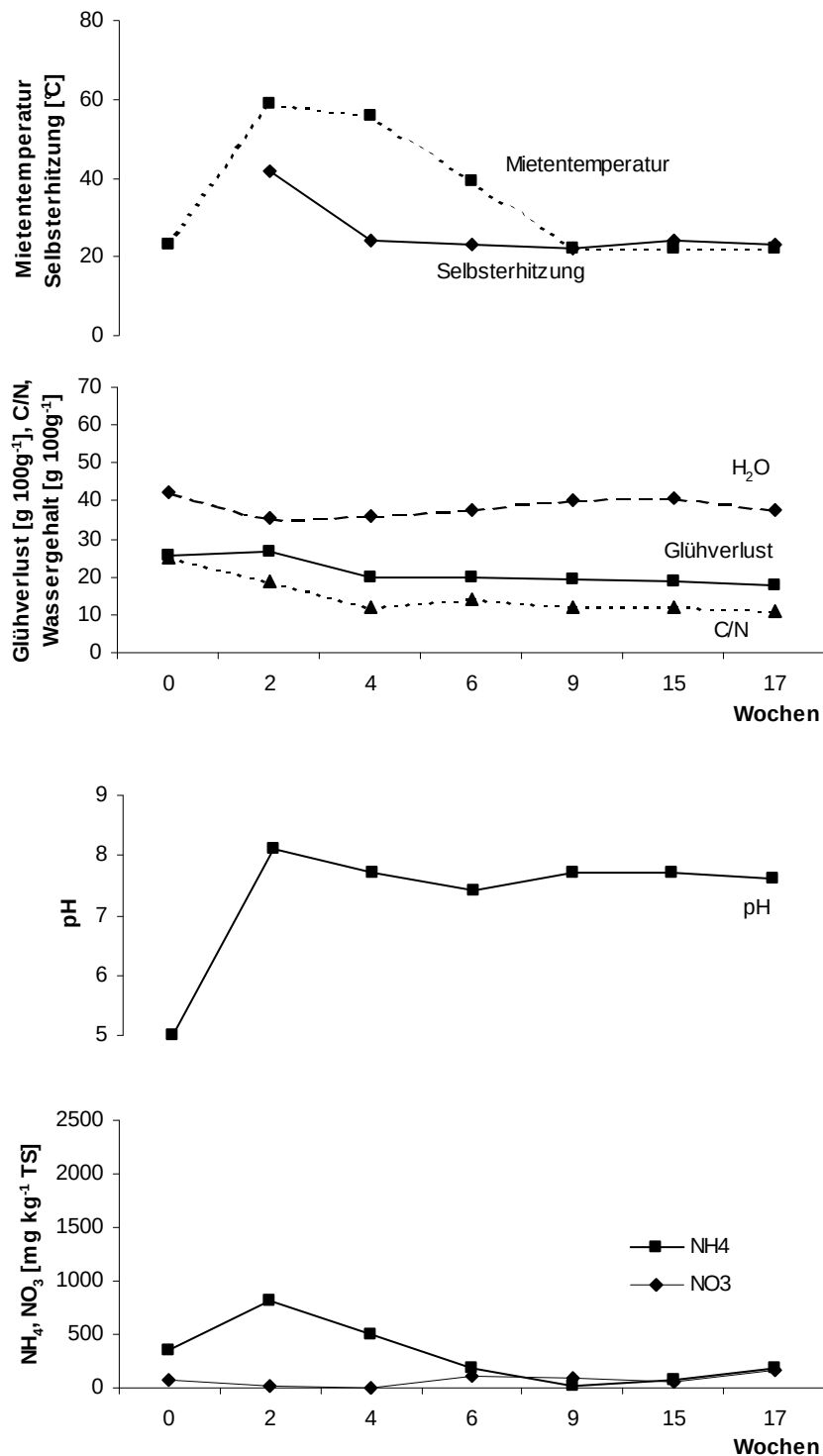


Abb. 4: Kompost 7.1: Entwicklung von Miettemperatur, Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und $N_{\min}$.

kontinuierlich auf 46,1 Abnahme zeigen. Der Gehalt an Ammonium erreicht in Woche 2 mit 1083,4 mg kg⁻¹ sein Maximum, um anschließend kontinuierlich auf 46,1 Abnahme zeigen. Der Gehalt an Ammonium erreicht in Woche 2 mit 1083,4 mg kg⁻¹ sein Maximum, um anschließend kontinuierlich auf 46,1 Abnahme zeigen. Der Gehalt an Ammonium erreicht in Woche 2 mit 1083,4 mg kg⁻¹ sein Maximum, um anschließend kontinuierlich auf 46,1 Abnahme zeigen. Der Gehalt an Ammonium erreicht in Woche 2 mit 1083,4 mg kg⁻¹ sein Maximum, um anschließend kontinuierlich auf 46,1mg kg⁻¹ abzusinken, während zwischen Woche 13 und 15 der Nitratgehalt von 81,9 auf 268,2 mg kg⁻¹ deutlich ansteigt.

Kompost 10.1 erreicht bei 60 % Holzgehalt und mäßiger Sauerstoffversorgung ebenfalls einen Gesamtabbau der organischen Substanz von 38,5 %, der insbesondere innerhalb der ersten beiden Kompostierungswochen sichtbar ist. Der Wassergehalt liegt durchgängig zwischen 52,2 und 44,3 g 100 g⁻¹. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 19 auf 13. Der pH-Wert erhöht sich kontinuierlich von 5,3 auf 8,2, wobei in Woche 4 der alkalische Bereich erreicht wird. Der Ammoniumgehalt bewegt sich durchgängig auf hohem Niveau zwischen 1965,8 und 408,9 mg kg⁻¹, eine relevante Nitratsteigerung ist nicht erkennbar.

Die hier beschriebenen Komposte zeigen alle eine etwas geringere Mineralisierungsleistung als die Komposte in Kap. 4.1.1. Die dargestellten Kompostierungsparameter entwickeln sich insgesamt optimal, obwohl der Wassergehalt der Komposte 7.1 und 7.2, sowie das C/N-Verhältnis von 7.2 und 10.1 als suboptimal zu bezeichnen sind.

4.1.3 Komposte mit mittlerer Entwicklungsintensität und –geschwindigkeit

(Komposte 2.2, 2.1, 2.3, 1.2, 3.1, 5.2, 9.3)

Kapitel 4.1.3 fasst Komposte zusammen, die einen Gesamtabbau der organischen Substanz zwischen 21 und 35 % zeigen und den neutralen bis basischen Bereich zwischen Woche 5 und 10 erreichen.

Kompost 2.2 (Abb.5) zeigt bei ca. 50 % holzigen Anteilen (Tab.4) und mäßiger Sauerstoffversorgung (Tab.5) eine Gesamtabbauleistung der organischen Substanz von 34,52 % (Tab. A3) während 14 Kompostierungswochen. Der Wassergehalt sinkt von 49,4 g 100 g⁻¹ im Ausgangsmaterial rapide auf unter 40 g 100 g⁻¹ (Tab. A1) ab. Bewässerung in Woche 5 führt zu einem zwischenzeitlichen Anstieg (Tab.3). Das C/N-Verhältnis verengt sich von 16 auf 11, der pH steigt von 4,5 im Ausgangsmaterial kontinuierlich auf 7,9 ab Woche 10. PH 7 wird in Woche 8 erreicht. Die Selbsterhitzung zeigt bis einschließlich Woche 8 Temperaturen über 60 °C und somit Rottegrad I, um schließlich bis Woche 14 abzusinken auf 27 °C (Tab. A2). Der Ammoniumgehalt steigt kontinuierlich an auf 2198,8 mg kg⁻¹ in Woche 12, der Nitratgehalt schwankt zwischen 0 und 35,6 mg kg⁻¹.

Kompost 2.1 entspricht Kompost 2.2 in Bezug auf das Kompostierungsverfahren, die Sauerstoffversorgung sowie die pH-Entwicklung. Er zeigt bei einem Holzgehalt von 70 % sowie einem Wassergehalt, der von 64,7 g 100 g⁻¹ langsam absinkt auf 40,5 g 100g⁻¹, einen Gesamtabbau von 21,7 % der organischen Substanz im Ausgangsmaterial. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 17 auf 9. Im Selbsterhitzungstest wurden, wie in Kompost 2.2, bis einschließlich Woche 9 Temperaturen über 60 °C gemessen, die weiterhin langsam absinken, und erst in Woche 18 Rottegrad V erreichen. Der Ammoniumgehalt befindet sich ab Woche 4 durchgängig auf hohem Niveau mit einem Maximum von 2594,9 g kg⁻¹ in Woche 6. Der Nitratgehalt zeigt eine langsam steigende Tendenz ab Woche 6 auf 77,9 mg kg⁻¹ in Woche 18.

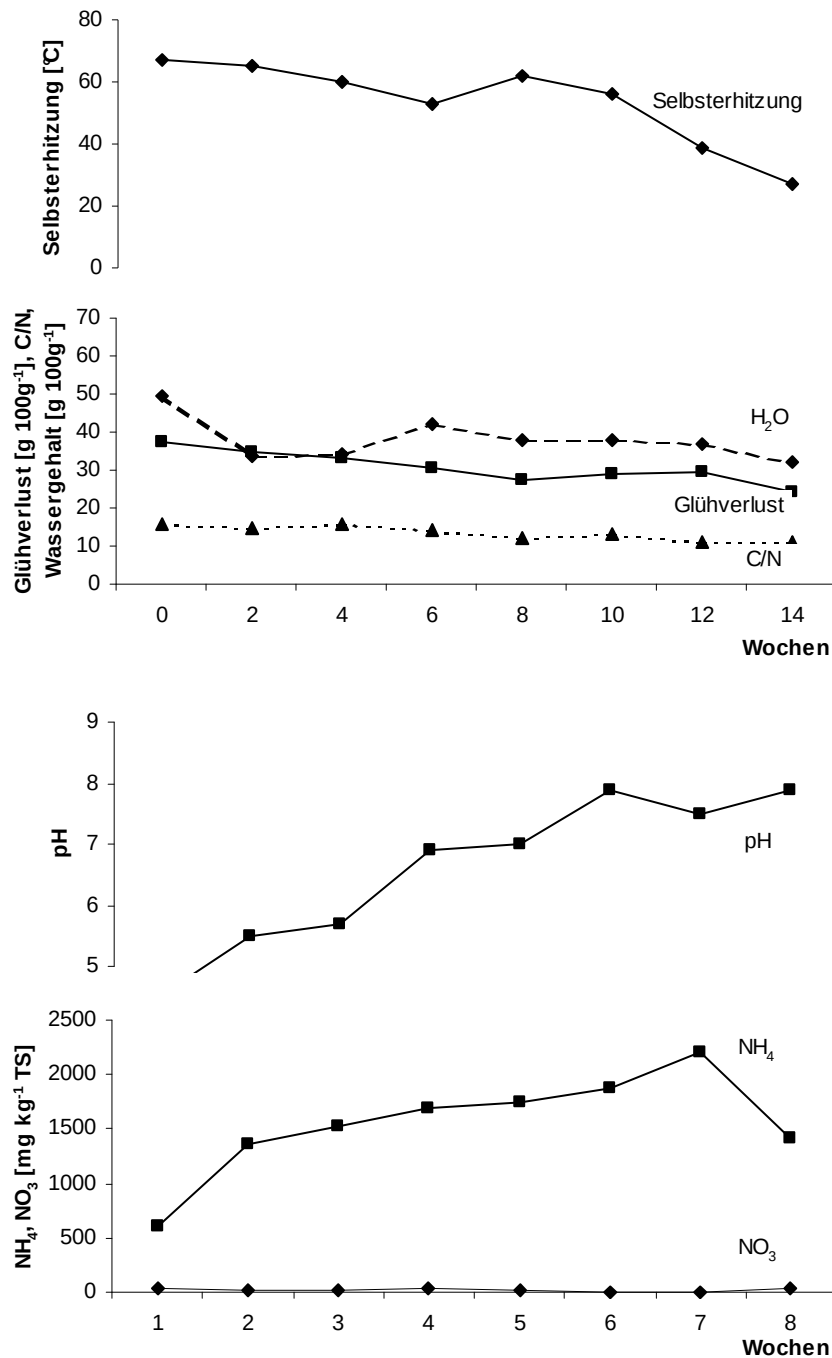


Abb. 5: Kompost 2.2: Entwicklung von Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}.

Kompost 2.3 entspricht Kompost 2.2 in Bezug auf das Kompostierungsverfahren, die Sauerstoff- und Wasserversorgung, den Gehalt an holzigen Bestandteilen sowie die Nitratgehalte und zeigt einen Gesamtabbau der organischen Substanz von 29 % während 24 Kompostierungswochen. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 19 auf 11, der pH im Ausgangsmaterial beträgt

4,6 und erreicht erst in Woche 10 mit 6,9 annähernd den neutralen Bereich. Der Selbsterhitzungstest zeigt bis einschließlich Woche 10 Temperaturen über 60 °C und damit das stetige Vorhandensein mikrobiell leicht abbaubarer Substanzen. Woche 24 zeigt schließlich Rottegrad V. Der Gehalt an Ammonium bleibt konstant auf hohem Niveau und zeigt den Maximalwert in Woche 8 mit 2571 mg kg⁻¹.

Kompost 1.2 enthält ebenfalls 50 % holzige Bestandteile und weist bei einer geringen Sauerstoffversorgung und einem Wassergehalt von 57,7 bis 46,9 g 100 g⁻¹ eine Abbauleistung der organischen Substanz von 30,9 % während 14 Wochen Kompostierungsdauer auf. Ein zwischenzeitliches Ansteigen des Wassergehaltes muss hier, trotz des Bemühens um Repräsentativität, auf Unregelmäßigkeiten in der Probenahme zurückgeführt werden. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 20 auf 13, der pH steigt von 5,5 im Ausgangsmaterial stetig an bis auf leicht basische Werte ab Woche 10. Die Mientemperatur steigt auf 60 °C in Woche 4 und 7, sinkt schließlich ab, um in Woche 14 nochmals auf 54 °C anzusteigen. Die Selbsterhitzung zeigt dagegen ein kontinuierliches Absinken der Temperatur von 42 °C in Woche 7 auf 30 °C in Woche 14. Der Ammoniumgehalt ist mit 1715,3 mg kg⁻¹ in Woche 0 am höchsten und sinkt weiterhin auf Werte zwischen 338,4 und 678,1 mg kg⁻¹. Der Nitratgehalt zeigt einen deutlichen Anstieg von 32,9 mg kg⁻¹ in Woche 10 auf 94,8 mg kg⁻¹ in Woche 14.

Kompost 3.1 zeigt bei 70 % holzigen Anteilen, geringer Sauerstoffversorgung und relativ hohem Wassergehalt (65–55 g 100 g⁻¹) eine Abbauleistung der organischen Substanz von 28,1 % gegenüber dem Ausgangsmaterial. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 20 auf 14, der pH steigt von 5 im Ausgangsmaterial auf Werte um 8 ab Woche 9. Die Selbsterhitzung weist in Woche 9 34 °C auf; weiterhin werden stetig Werte unter 30 °C gemessen. Der Ammoniumgehalt ist mit 969,3 mg kg⁻¹ in Woche 6 am höchsten und sinkt weiterhin ab auf 38,8 mg kg⁻¹ in Woche 18.

Kompost 5.2 entspricht Kompost 2.2 bezüglich der Sauerstoffversorgung sowie der Entwicklung des Gehaltes an mineralisiertem Stickstoff und zeigt bei einem Gehalt von 25 % holziger Bestandteile und bei 74,6 g 100 g⁻¹ organischer Substanz im Ausgangsmaterial einen Gesamtabbau von 23,3 % während der 8-wöchigen Kompostierungszeit. Das C/N-Verhältnis verengt

sich von 29 auf 13, der pH steigt von 5,5 im Ausgangsmaterial auf 7,1 in Woche 6, um bis Woche 8 wieder in den leicht sauren Bereich (6,5) abzusinken. Die Selbsterhitzung im Dewargefäß zeigt von Woche 3 nach Woche 6 eine rapide Veränderung von Rottegrad I nach Rottegrad V.

Kompost 9.3 enthält geringe Mengen Holz (15 %) und zeigt bei guter Sauerstoffversorgung und einem Wassergehalt von 53,2 bis 47,8 g 100 g⁻¹ einen Gesamtabbau der organischen Substanz von 21,35 % während 11 Wochen Kompostierungszeit. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 26 auf 14, der pH steigt von 5 im Ausgangsmaterial stetig bis auf 7,7. Die Neutralität wird bereits in Woche 5 erreicht. Die höchste Mientemperatur wurde mit 51 °C in Woche 3 gemessen und gleicht sich bis Woche 11 der Außentemperatur an. Im Dewargefäß zeigt sich ebenfalls in Woche 3 die höchste Temperatur (67 °C); bereits ab Woche 5 wird bei maximal 29 °C Rottegrad V erreicht. Der maximale Ammoniumgehalt beträgt in Woche 1 334,5 mg kg⁻¹ und sinkt weiterhin kontinuierlich ab auf 44,8 mg kg⁻¹. Der Nitratgehalt ist mit 28,4 mg kg⁻¹ in Woche 11 am höchsten.

Bei mäßig bis geringer Sauerstoffversorgung und suboptimalen C/N-Verhältnissen weisen die hier dargestellten Komposte eine gegenüber den bislang beschriebenen Komposten deutlich geringere Mineralisierungsleistung auf. Lang anhaltende hohe Temperaturen im Selbsterhitzungstest (Ausnahme 5.2) sowie anhaltend hohe oder ansteigende Ammoniumgehalte (Ausnahme 3.1) weisen auf einen verzögerten Abbau der vorhandenen organischen Substanz hin. Eine deutliche Ausnahme stellt Kompost 9.3 dar, der bei durchweg positiver Entwicklung der Parameter ebenfalls eine verhältnismäßig geringe Gesamtmineralisierung aufweist. Dies zeigt, dass das Spektrum der bislang üblichen Parameter den Rotteprozess nicht hinreichend beurteilen kann.

4.1.4 Komposte mit mittlerer Entwicklungsintensität über längere Zeit (Komposte 1.1, 9.1, 9.2)

Kapitel 4.1.4 fasst Komposte zusammen mit einem Gesamtabbau der organischen Substanz zwischen 20 und 30 %, die den neutralen bis basischen Bereich zwischen Woche 11 und 16 erreichen.

Bei einem Gehalt von ca. 50 % holziger Bestandteile (Tab.4), guter Wasserversorgung (durchgängig zwischen 62,6 und 48,7 g 100 g⁻¹ mit sinkender Tendenz) weist **Kompost 1.1** (Abb.6) trotz geringer Sauerstoffversorgung (Tab.5) eine Gesamtabbaurrate von 26,3 % auf (Tab. A3), wobei die organische Substanz während des gesamten Kompostierungsverlaufs fortwährend abnimmt. Das C/N-Verhältnis verengt sich in demselben Zeitraum von 16 auf 11 (Tab. A1). Der pH-Wert steigt von 5,1 im Ausgangsmaterial kontinuierlich an und erreicht in Woche 16 den neutralen Bereich (7,2). Die Temperatur innerhalb der Miete steigt bis Woche 6 langsam auf 70 °C und sinkt anschließend auf 46 °C in Woche 16 (Tab. A2). Die verhältnismäßig hohe Temperatur von 56 °C, die direkt nach dem Aufsetzen der Miete im Material gemessen wurde, korreliert mit dem niedrigen pH-Wert von 5,1 im Ausgangsmaterial und weist darauf hin, dass mikrobielle Abbauprozesse bereits zu Kompostierungsbeginn in vollem Gange waren. Die Selbsterhitzung im Dewargefäß beträgt in Woche 12 noch 39 °C und korreliert mit den noch sinkenden Glühverlustwerten, sowie auch mit dem seit Woche 4 kontinuierlich steigenden Ammoniumgehalt. In Woche 16 erreicht der Kompost mit 25 °C Rottegrad V. Der Ammoniumgehalt liegt während der gesamten Kompostierungszeit zwischen 272 und 877 mg kg⁻¹ mit kontinuierlich zunehmender Tendenz von Woche 4 bis Woche 16. Der Nitratgehalt steigt deutlich zwischen Woche 12 und Woche 16 von 41 auf 112,8 mg kg⁻¹ bei einer Mieten-temperatur unterhalb von 50 °C.

Kompost 9.1 zeigt bei deutlich geringerem Holzgehalt (15 %) gegenüber Kompost 1.1, guter Sauerstoffversorgung und einem Wassergehalt zwischen 53,9 und 37,8 g 100 g⁻¹ wie Kompost 1.1 einen Gesamtabbau der organischen Substanz von 26,3 %. Der Glühverlust nimmt dabei im Kompostierungsverlauf von 53,2 auf 39,2 g 100g⁻¹ ab, insbesondere innerhalb der ersten 5 Wochen. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 24 auf 13. Der pH steigt

von 5,1 auf 7,8 und erreicht in Woche 11 den alkalischen Bereich. Die Mientemperatur hat mit 53 °C in Woche 3 ihr Maximum und sinkt bis Woche 15 auf Umgebungstemperatur. Im Selbsterhitzungstest wird Rottegrad V bereits in Woche 11 erreicht. Der Ammoniumgehalt sinkt kontinuierlich von 1616,5 auf 115,9 mg kg⁻¹, der Nitratgehalt steigt deutlich nach Woche 11 an auf 124,5 mg kg⁻¹ in Woche 15.

Kompost 9.2 entspricht Kompost 9.1 bezüglich des Inputmaterials, der Sauerstoffversorgung, des Wassergehaltes, der C/N- und pH-Entwicklung und zeigt bei äquivalenter Entwicklung des Glühverlustes einen Gesamtabbau der organischen Substanz von 30,2 %. Die Entwicklung der Temperaturen in der Kompostmiete und im Selbsterhitzungstest, sowie auch des Gehaltes an mineralisiertem Stickstoff entsprechen ebenfalls Kompost 9.1.

Kompost 1.1 zeigt bei geringer Sauerstoffversorgung und sehr engem C/N-Verhältnis im Ausgangsmaterial einen suboptimalen Verlauf mit einer mittleren Abbauleistung der organischen Substanz. Lang anhaltende hohe Temperaturen im Dewargefäß sowie ein ansteigender Ammoniumgehalt weisen auf einen verzögerten Abbau der organischen Substanz hin. Die Komposte 9.1 und 9.2 zeigen eine insgesamt positive Entwicklung der dargestellten Parameter. Die Ähnlichkeit der Entwicklung zu Kompost 9.3 (Kap. 4.1.3) legt den Schluss nahe, dass die überraschend geringen Abbauleistungen dieser Komposte in Zusammenhang mit dem Kompostierungsverfahren stehen (vgl. Tab.3).

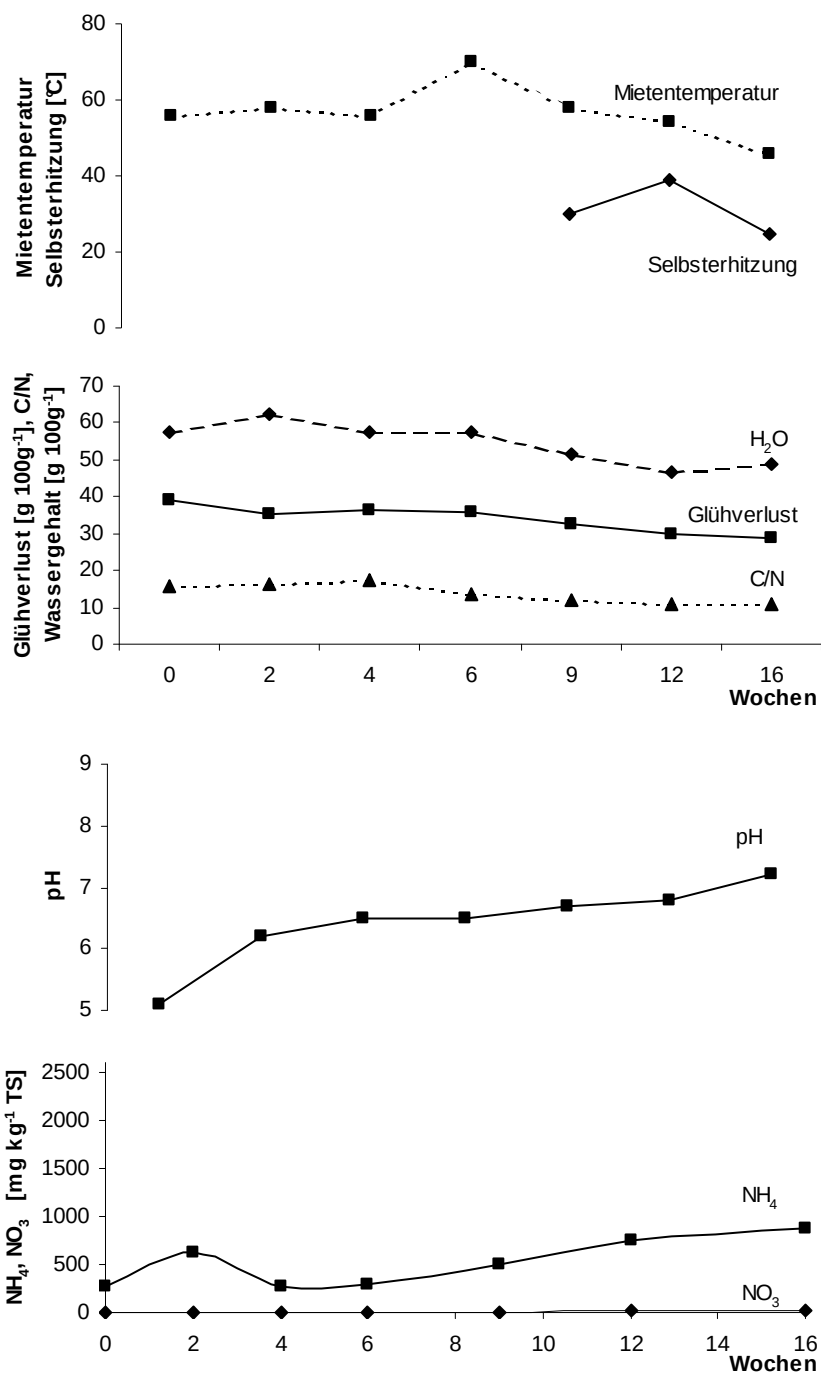


Abb. 6: Kompost 1.1: Entwicklung von Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}.

4.1.5 Komposte mit geringer Entwicklungsintensität

(Komposte 3.2, 10.2, 5.3, 5.1, 4.3, 5.2)

Kapitel 4.1.5 fasst Komposte zusammen mit einem Gesamtabbau der organischen Substanz bis 20 % und pH-Werten, die überwiegend dauerhaft im sauren Bereich bleiben bzw. erneut absinken.

Kompost 3.2 (Abb. 7) zeigt mit 50 % holzigen Anteilen (Tab.4), einer mäßigen Sauerstoffversorgung (Tab.5) und einem Wassergehalt, der überwiegend unter $35 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ liegt (Tab. A1), keinen Abbau der organischen Substanz während der 12-wöchigen Kompostierungszeit (Tab. A3). Dasselbe Ergebnis zeigt die Entwicklung des C/N-Verhältnisses. Zwischenzeitliche Erhöhungen des Wassergehaltes und des Glühverlustes müssen, trotz des Bemühens um Repräsentativität, auf Fehler in der Probenahme zurückgeführt werden. Der pH erhöht sich bis Woche 6 in den alkalischen Bereich, um anschließend wieder auf 6,3 abzufallen. Im Selbsterhitzungstest zeigen sich bis einschließlich Woche 12 Temperaturen über $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tab. A2), was mit den Ergebnissen der Glühverlustmessungen und der C/N-Entwicklung korreliert. Der Ammoniumgehalt zeigt tendenziell einen Anstieg im Kompostierungsverlauf bis auf $1584,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Ein Anstieg des Nitratgehaltes ist nicht erkennbar.

Kompost 10.2 zeigt entsprechend Kompost 3.2 bei 60 % holzigen Anteilen und mäßiger Sauerstoff-, jedoch optimaler Wasserversorgung keinen Abbau der organischen Substanz während der 10-wöchigen Kompostierungszeit. Das C/N-Verhältnis verengt sich allerdings von 19 auf 14, der pH zeigt bereits ab Woche 2 (7,5) eine deutliche basische Reaktion. Die Temperaturen im Selbsterhitzungstest steigen bis Woche 2 auf $68 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ab Woche 7 stellt sich, bei Temperaturen unter $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Rottegrad V ein. Der Ammoniumgehalt bewegt sich zwischen 264 und $1112,3 \text{ mg kg}^{-1}$, der Nitratgehalt ist in Woche 10 am höchsten.

Kompost 5.3 zeigt während der achtwöchigen Kompostierungszeit einen Gesamtabbau von 2,0 % bei 80 % holzigen Anteilen im Inputmaterial und einer Kompost 3.2 entsprechenden mäßigen Sauerstoffversorgung. Der Wassergehalt beträgt zwischen $55,2$ und $49,6 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Der erhöhte Messwert in Woche 3 weist, ebenso wie der parallel abweichende Glühverlustwert

auf Unregelmäßigkeiten in der Probenahme hin. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 36 auf 18, der pH bleibt stetig im sauren Bereich (max. pH 6,6). Der Selbsterhitzungstest zeigt ab Woche 6 Rottegrad V. Der Ammoniumgehalt beträgt maximal 161,6 mg kg⁻¹, der Nitratgehalt stets unter 30 mg kg⁻¹.

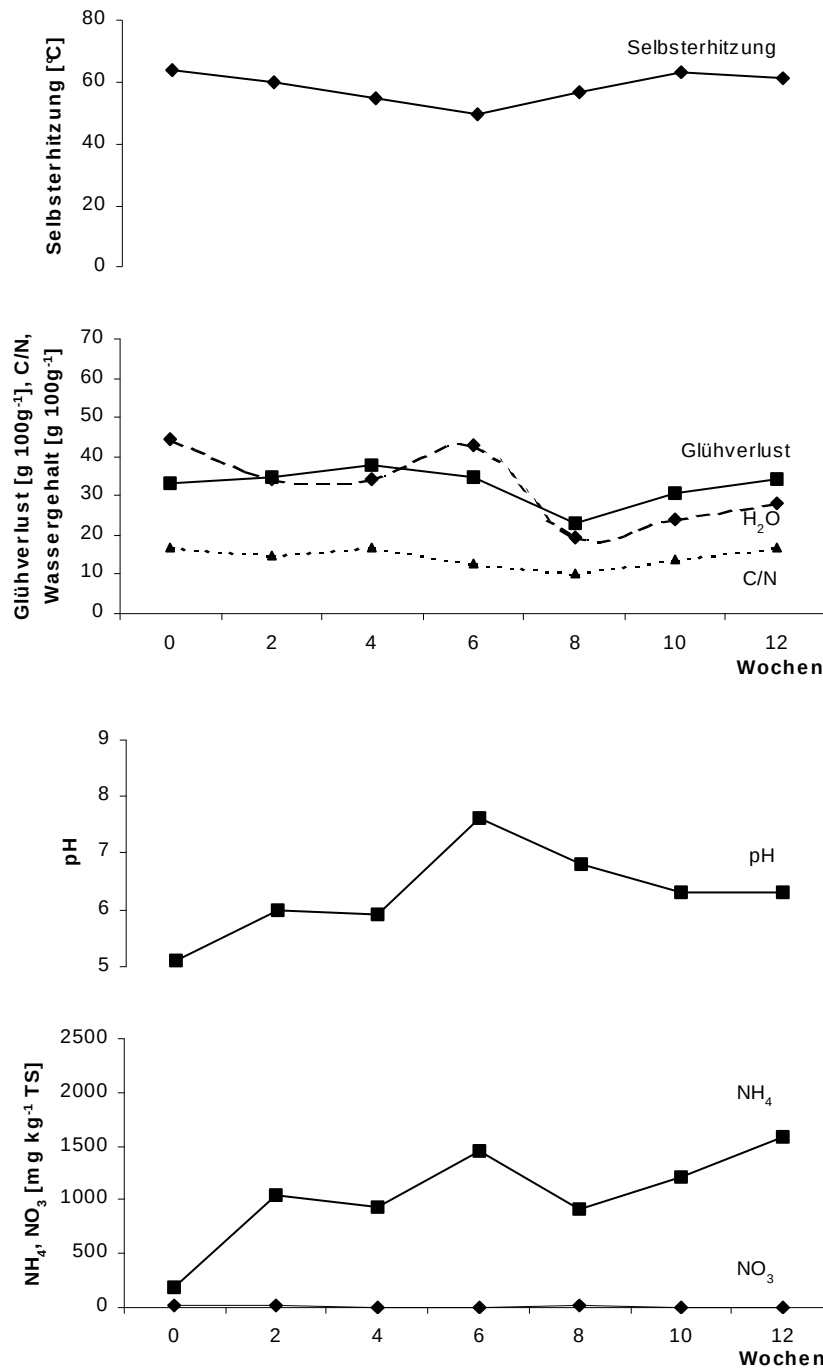


Abb. 7: Kompost 3.2: Entwicklung von Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}.

Kompost 5.1 zeigt bei ebenfalls mäßiger Sauerstoffversorgung und 25 % Holzanteil einen Gesamtabbau der organischen Substanz von 15,2 % während der dreiwöchigen Kompostierungszeit. Das C/N-Verhältnis verengt sich von 18 auf 15, der pH steigt an von 5,0 auf 6,2. Der Wassergehalt liegt zwischen 56,5 und 42,8 g 100 g⁻¹, der Selbsterhitzungstest zeigt erwartungsgemäß Rottegrad I. Der Ammoniumgehalt steigt an auf 1531 mg kg⁻¹, während der Nitratgehalt absinkt auf 28,1 mg kg⁻¹.

Kompost 4.3 zeigt bei 0 % holzigen Bestandteilen, sehr guter Sauerstoffversorgung und einem Wassergehalt zwischen 49,2 und 38,6 g 100 g⁻¹ (mehrfach bewässert, vgl. Tab.3) einen Gesamtabbau der organischen Substanz von 19,4 %, der ausschließlich zwischen der dritten und siebten Kompostierungswoche stattfand und mit der parallelen Verengung des C/N-Verhältnisses korreliert. Die pH-Werte liegen bis einschließlich Woche 7 im basischen Bereich mit sinkender Tendenz, um in Woche 13 auf 6,2 abzufallen. Die Mietemperatur bleibt bis Woche 5 über 50 °C und sinkt bis Woche 13 auf Umgebungstemperatur. Der Selbsterhitzungstest zeigt dagegen bereits ab Woche 3 stetig Rottegrad V bei Temperaturen unter 30 °C.

Der Ammoniumgehalt nimmt von 525,9 mg kg⁻¹ in Woche 1 stetig ab, der Nitratgehalt bleibt konstant auf niedrigem Niveau.

Kompost 5.2 entspricht Kompost 5.1 bezüglich des Holzanteils und der Sauerstoffversorgung und weist einen Gesamtabbau der organischen Substanz von 23,3 % auf. Dabei sinkt der Glühverlust insbesondere während der ersten 6 Wochen, was mit einer parallelen Verengung des C/N-Verhältnisses von 29 auf 13 korreliert. Der Wassergehalt im Ausgangsmaterial beträgt 60,8 g 100 g⁻¹ und reduziert sich bereits bis Woche 6 auf 31,5 g 100 g⁻¹ mit weiterhin sinkender Tendenz. Der pH steigt zwischen Woche 3 und 6 von 5,6 in den neutralen Bereich, um dann wieder abzusinken auf 6,5 in Woche 8. Der Selbsterhitzungstest zeigt bereits ab Woche 6 stetig Rottegrad V. Der Ammoniumgehalt steigt kontinuierlich von 908,9 auf 2213,8 mg kg⁻¹, der Nitratgehalt bewegt sich zwischen 78,5 und 16,9 mg kg⁻¹.

Die Komposte 3.2, 10.2 und 5.3 zeigen bei mäßiger Sauerstoffversorgung keinen Abbau der organischen Substanz. Bei Kompost 5.2 liegt ein Zusammenhang mit dem extrem hohen Holzgehalt und dem damit verbundenen

sehr weiten C/N-Verhältnis, bei 3.2 mit extrem geringem Wassergehalt nahe. Kompost 10.2 hat zwar ein suboptimal enges C/N-Verhältnis im Inputmaterial, zeigt ansonsten jedoch einen positiven Verlauf, der die mangelnde Mineralisierung nicht erklärt. Die Komposte 5.1, 4.3 und 5.2 zeigen eine Mineralisierungsleistung $>15\%$, wobei zu erwarten ist, dass in 5.1 die organische Substanz bei fortgesetzter Kompostierung auch weiterhin abgebaut worden wäre, wohingegen in Kompost 5.2 der rapide absinkende Wassergehalt als begrenzender Faktor anzusehen ist. Die verhältnismäßig geringe Mineralisierung in Kompost 4.3 kann möglicherweise in Zusammenhang gebracht werden mit Witterungseinflüssen (Kompostierungsbeginn Oktober, Abdeckung: Textilfließ, keine weitere Überdachung).

4.1.6 Komposte ohne erkennbar relevante Entwicklung (Kompost 6.1)

Kompost 6.1 (Abb.8), der ca. 50 % Holzanteile enthält (Tab.4) wurde im Zeitraum Woche 4 bis Woche 18 nach Beginn der Kompostierung beprobt und zeigt während dieses Zeitraums bei mäßig bis guter Sauerstoffversorgung (Tab.5) keinen Abbau der organischen Substanz. Die Ergebnisse aus Wassergehalts- als auch Glühverlustmessungen sind während des Kompostierungsverlaufs Schwankungen unterworfen, die auf die Probenahme zurückgeführt werden müssen. Die pH-Werte bewegen sich konstant im basischen Bereich mit sinkender Tendenz von 7,5 auf 7,1 in Woche 18. Das C/N-Verhältnis bleibt mit zwischenzeitlichen Schwankungen stabil bei 14. Der Selbsterhitzungstest zeigt in Woche 4 eine leichte Erwärmung auf $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ und weiterhin eine Angleichung an die Umgebungstemperatur. Der Ammoniumgehalt sinkt beständig von $914,4\text{ mg kg}^{-1}$ auf $60,5\text{ mg kg}^{-1}$, während der Nitratgehalt ab Woche 15 deutlich ansteigt auf $401,1\text{ mg kg}^{-1}$ in Woche 18.

Im Vergleich zu allen vorangehend dargestellten Komposten zeigt Kompost 6.1 nur geringfügige Entwicklungstendenzen während des betrachteten Zeitraums, die darauf schließen lassen, dass er sich bereits in der fortgeschrittenen Abkühlungsphase befindet. Über Veränderungen, die während der ersten vier Kompostierungswochen stattfanden, können keine weiteren Angaben gemacht werden. Es kann jedoch angenommen werden, dass wesentli-

che Entwicklungen, wie z.B. die Reduzierung der organischen Substanz, in diesem Zeitraum stattgefunden haben.

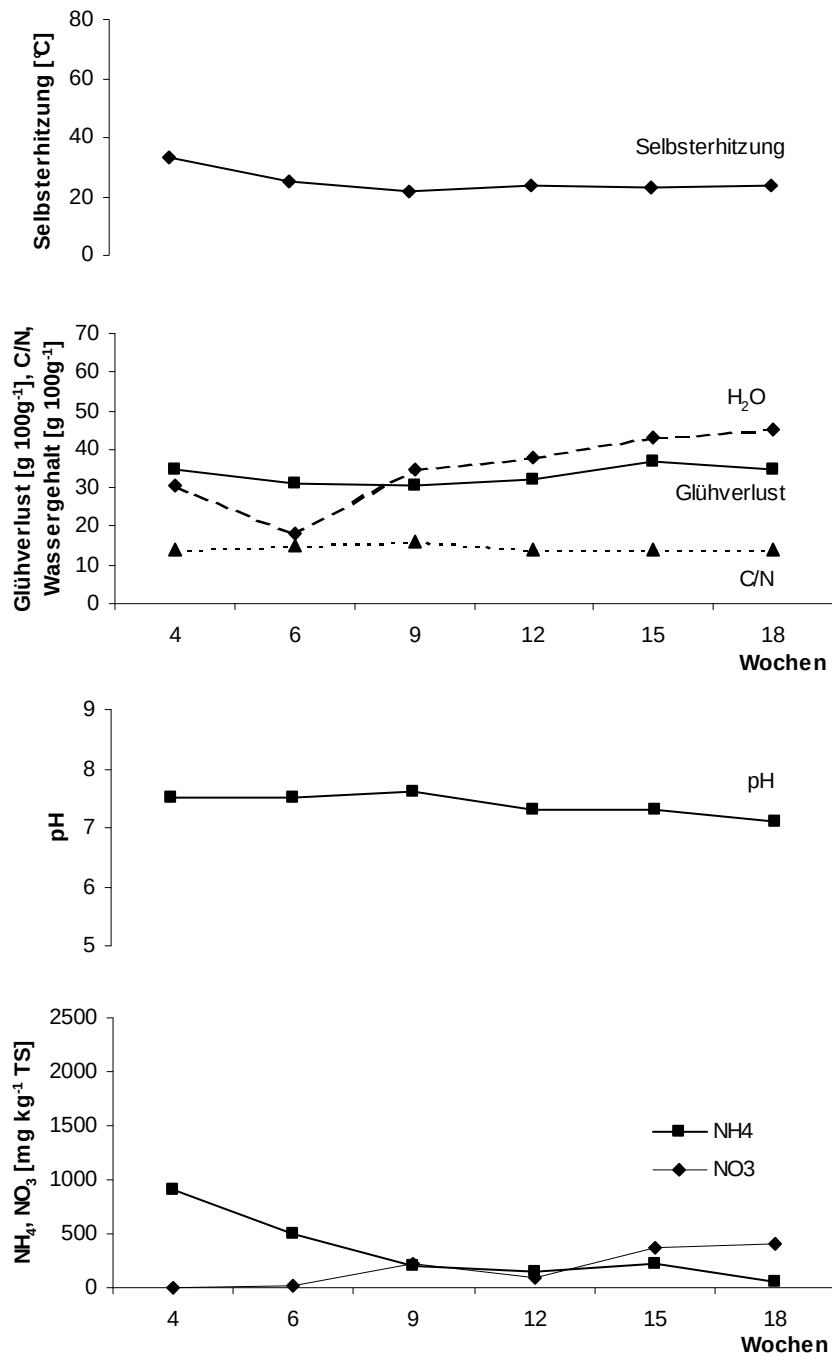


Abb. 8: Kompost 6.1: Entwicklung von Selbsterhitzung im Dewargefäß, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Glühverlust, pH und N_{min}.

4.2 Die Entwicklung der Komposte unter genauerer Betrachtung von Veränderungen der organischen Substanz

4.2.1 Die Entwicklung von Huminstoffgehalten und Kationenaustauschkapazität

Die stärkste Zunahme an Huminstoffen im Gesamtvergleich der untersuchten Komposte zeigen die Komposte 2.2, 7.1 und 2.3:

Kompost 2.2 (Abb. 9) zeigt über 14 Kompostierungswochen einen Anstieg von 239,4 % (Tab. A3) gegenüber der ersten Messung in Woche 0. Im selben Zeitraum steigt die KAK um 53,1 % (Tab. A3).

Kompost 7.1 (Abb. 10) weist gegenüber 2.2 insgesamt deutlich geringere Huminstoffgehalte auf ($80\text{--}251\text{ mg g}^{-1}$), zeigt jedoch einen ähnlich intensiven Anstieg (213,1 % über 15 Wochen). Die KAK steigt innerhalb der ersten beiden Kompostierungswochen um 71 % und bleibt weiterhin weitgehend unverändert.

Kompost 2.3 (Tab. A2) zeigt mit $112\text{--}328\text{ mg g}^{-1}$ ähnliche Huminstoffgehalte wie 2.2, allerdings ist der Anstieg von insgesamt 189,9 % gegenüber der ersten Messung durch die lange Kompostierungszeit (24 Wochen) deutlich flacher. Der Anstieg der KAK ist mit 59,6 % etwas höher als bei 2.2.

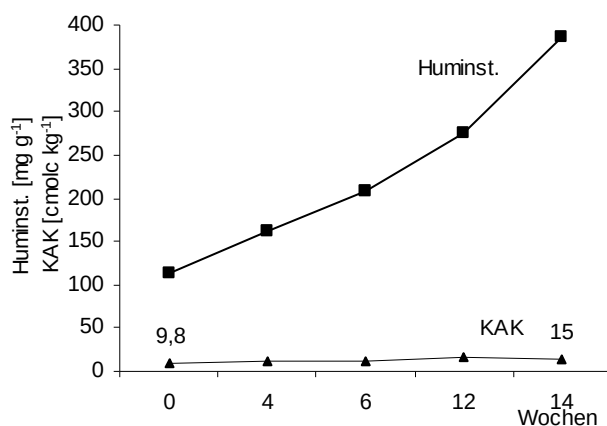


Abb. 9: Kompost 2.2: Entwicklung von Huminstoffgehalt/org.S. und KAK im Kompostierungsverlauf

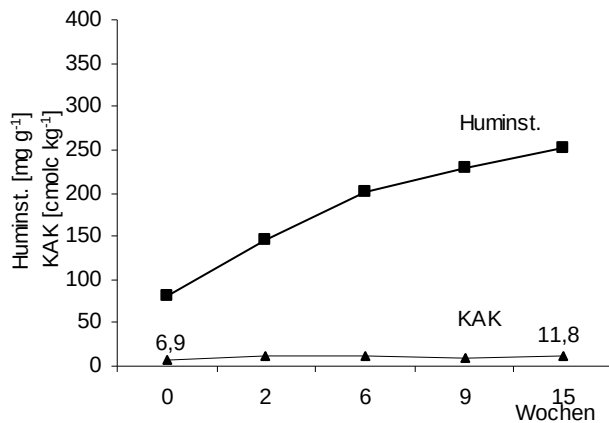


Abb. 10: Kompost 7.1: Entwicklung von Huminstoffgehalt/org.S. und KAK im Kompostierungsverlauf

Die Komposte 2.4, 4.2 und 1.1 zeigen Huminstoffzunahmen zwischen 76 und 43 % und liegen somit im Gesamtvergleich im mittleren Bereich:

Kompost 2.4 zeigt zwischen den Wochen 2 und 14 eine Huminstoffzunahme von 193 auf 338 mg g⁻¹ (75,5 %). Messungen der KAK liegen nicht vor.

Kompost 4.2 (Abb.11) zeigt bei Werten zwischen 122 und 199 mg g⁻¹ eine Zunahme der Huminstoffe von insgesamt 63 % während 10 Kompostierungswochen. Die KAK steigt zwischen Woche 1 und 3 deutlich von 12,7 auf 16,2 cmolc kg⁻¹ an, um zwischen den Wochen 5 und 9 wieder auf 14,4 cmolc kg⁻¹ zu sinken. Der Huminstoffgehalt in **Kompost 1.1** ist mit 281 mg g⁻¹ (Woche 6) und 403,9 mg g⁻¹ (Woche 16) vergleichsweise hoch. Die Gesamtzunahme gegenüber der ersten Messung in Woche 6 beträgt 43,7 %. KAK-Messungen liegen nicht vor.

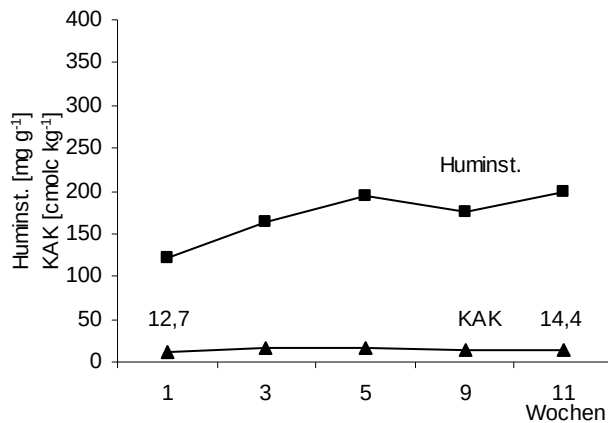


Abb. 11: Kompost 4.2: Entwicklung von Huminstoffgehalt/org.S. und KAK im Kompostierungsverlauf

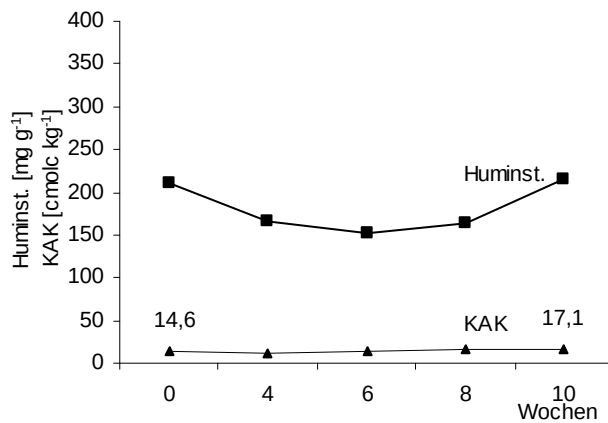


Abb. 12: Kompost 4.1: Entwicklung von Huminstoffgehalt/org.S. und KAK im Kompostierungsverlauf

Die Komposte 5.2, 3.1, 4.3 und 9.3 weisen eine, gegenüber den bislang dargestellten Komposten, deutlich geringere Gesamtzunahme der Huminstoffe (21-15 %) auf:

Kompost 5.2 zeigt während 5 Wochen Kompostierungszeit (Woche 3-8) eine Gesamtzunahme an Huminstoffen von 20,8 %. KAK-Messungen liegen nicht vor.

Kompost 3.1 zeigt einen deutlichen Anstieg des Huminstoffgehalts zwischen Woche 12 und 14 ($256-316 \text{ mg g}^{-1}$), der weiterhin stagniert. Gegenüber der ersten Messung in Woche 12 nimmt der Gesamtgehalt während der folgenden 6 Wochen um 19,1 % zu. Die KAK steigt in demselben Zeitraum um 19,1 % kontinuierlich von 15,0 auf $19,2 \text{ cmolc kg}^{-1}$. **Kompost 4.3** zeigt ebenfalls eine Gesamtzunahme an Huminstoffen von 19,1 %, allerdings bei deut-

lich flacherem Anstieg. Während 10 Wochen Kompostierung erhöht sich der Gehalt an Huminstoffen von 186 mg g⁻¹ (Woche 3) auf 221 mg g⁻¹ (Woche 13). KAK-Messungen liegen nicht vor. **Kompost 9.3** weist einen Anstieg des Huminstoffgehalts von 15,3 % in Woche 11 gegenüber 146 mg g⁻¹ in Woche 3 auf. KAK-Messungen liegen nicht vor.

Die Komposte 4.1, 6.1 und 10.2 zeigen eine geringfügige Zunahme oder aber eine Abnahme des Huminstoffgehalts im Verlauf der Kompostierung:

Kompost 4.1 (Abb. 12) zeigt eine deutliche Abnahme des Huminstoffgehalts bis Woche 6 mit anschließendem Wiederanstieg. In Woche 10 zeigt sich schließlich eine Zunahme von 2,7 % gegenüber der ersten Messung in Woche 0. Die KAK zeigt ebenfalls einen diskontinuierlichen Verlauf, allerdings mit einer deutlichen Zunahme von 17,1 % gegenüber Woche 0. **Kompost 6.1** weist mit 305 mg g⁻¹ in Woche 6 einen verhältnismäßig hohen Huminstoffgehalt auf und zeigt weiterhin bis Woche 15 eine Reduzierung um 8 %. Die KAK steigt dagegen kontinuierlich an um 27,2 %.

Der Huminstoffgehalt in **Kompost 10.2** nimmt bis Woche 7 gegenüber Woche 0 um 26,5 % ab. Der Huminstoffgehalt des Inputmaterials ist mit 226 mg g⁻¹ verhältnismäßig hoch. KAK-Messungen liegen nicht vor.

Mit der Zunahme der Huminstoffgehalte ist grundsätzlich ein Anstieg der KAK sichtbar, der allerdings nicht signifikant korreliert.

Eine Korrelation zwischen der Höhe der Gesamtzunahme an Huminstoffen und dem Gesamtabbau der organischen Substanz lässt sich nur in einzelnen Komposten erkennen: Kompost 4.1 zeigt bei guter Sauerstoffversorgung eine hohe Mineralisierungsleistung (46,5 %), begleitet von einer erwartungsgemäß geringfügigen Huminstoffbildung (2,7 %). Die Komposte 4.2 und 2.4 zeigen bei ähnlich hohem Gesamtabbau der organischen Substanz dagegen eine mittlere Produktionsleistung an Huminstoffen.

Kompost 2.2 weist eine mittlere Mineralisierungsleistung von 34,5 % auf, bei extrem hoher Zunahme an Huminstoffen (239,4 %); Kompost 9.3 zeigt dagegen bei ebenfalls mittlerer Mineralisierungsleistung einen deutlich geringeren Huminstoffanstieg (15,3 %). Die Komposte 6.1 und 10.2 lassen weder Huminstoffbildung, noch eine Mineralisierungsleistung erkennen.

4.2.2 Die Veränderung spezifischer Molekülstrukturen in der organischen Substanz

Die Absorptionen bei Wellenzahl 2918 (aliphatische C-H-Bindungen)

Eine mit -44 bis -49 % besonders ausgeprägte Reduzierung der Absorption bei WZ 2918 gegenüber der ersten Messung zeigen die **Komposte 4.2, 7.1 und 9.3**. Sie weisen alle bei guter bis sehr guter Sauerstoffversorgung (Tab.5) eine positive Entwicklung der Standardparameter (Kap. 4.1.1 bis 4.1.3) auf. Die Mineralisierungsleistungen und Huminstoffproduktionen sind dagegen sehr unterschiedlich.

Die **Komposte 2.2, 2.3, 2.4, 4.3 und 5.2** zeigen eine Abnahme des Peaks zwischen -34 bis -18 % (Tab. A5). Mit Ausnahme von Kompost 2.4 zeigen sie eine suboptimale Entwicklung der Standardparameter bei einer Mineralisierungsleistung im mittleren bis unteren Bereich (19-35 %). Die Sauerstoffversorgung während der Kompostierungsprozesse wird mit Ausnahme von Kompost 4.3 als mäßig eingeschätzt, die Huminstoffproduktionen sind sehr unterschiedlich.

Kompost 10.2 zeigt mit -10,8 % eine verhältnismäßig geringe Abnahme der Absorption, die **Komposte 6.1 und 4.1** sogar eine deutliche Zunahme von +22,2 und +35,6 %. Alle drei weisen eine Abnahme oder nur geringfügige Zunahme des Huminstoffgehaltes auf. Die Komposte 6.1 und 10.2 zeigen zudem keinen Abbau der organischen Substanz.

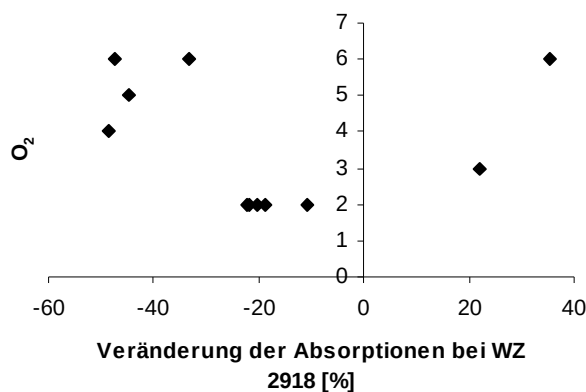


Abb. 13: Veränderung der Absorptionen bei WZ 2918 im Kompostierungsverlauf bei unterschiedlicher Sauerstoffversorgung (1≡ gering, 2≡ mäßig, 3≡ mittel, 4≡ gut, 5≡ gut+, 6≡ sehr gut) der einzelnen Komposte

Abbildung 13 zeigt, dass insbesondere eine gute bis sehr gute Sauerstoffversorgung der Kompostmieten zu einer starken Absorptionsabnahme bei WZ 2918 führt, was mit einer Reduzierung von aliphatischen C-H-Bindungen gleichzusetzen ist.

Die Absorptionen bei **WZ 2846** betragen in allen Komposten unter 6 % (Tab. A4). Die Entwicklung während des Kompostierungsverlaufes korreliert mit $r=0,8$ und $\alpha=0,004$ sehr signifikant positiv mit den Veränderungen bei WZ 2918.

Die Absorptionen bei Wellenzahl 1710 (COOH-Gruppen)

Im Bereich der WZ 1710 lässt sich in allen FT-IR-Spektren der hier untersuchten Komposte eine kleine Schulter am deutlich ausgeprägten Peak bei WZ 1623 erkennen. In 19 der hier untersuchten 24 Proben ist der Peak jedoch so schwach ausgeprägt, dass er im starken Peak bei WZ 1623 untergeht. Insgesamt sind die ermittelten Absorptionen bei WZ 1710 mit 2 % bis 16 % verhältnismäßig gering (Tab. A4).

Absorptionen über 8,9 % weisen die jungen Kompostproben der **Mieten 2.2, 4.1, 5.2 und 7.1** auf. Gegen Ende der entsprechenden Kompostierungsprozesse konnte dagegen keine Absorption mehr gemessen werden. **Kompost 4.2** zeigt erst in Woche 11 eine geringe Absorption von 2,4 %.

Mit Ausnahme von Kompost 4.2 weisen alle Proben, in denen Absorptionen ermittelt wurden, pH-Werte im sauren Bereich $< \text{pH } 6,6$ auf.

Die Absorptionen bei Wellenzahl 1623 (C=C-Streckschwingung aromatischer Gruppen)

In den untersuchten Proben finden sich bei WZ 1623 stets ausgeprägte Peaks, die überwiegend zwischen 30 und 60 % der relativen Absorptionen betragen (Tab. A4). 16 der 24 untersuchten Proben zeigen hier die stärksten Absorptionen innerhalb des aufgenommenen Spektrums (Abb. A1).

Die **Komposte 2.2, 5.2 und 7.1** zeigen im Kompostierungsverlauf eine starke Zunahme der Absorption (64-96 %, Tab. A5) bei einem Holzgehalt zwischen 25 und 50 % und einer mittleren Mineralisierungsleistung zwischen 23 und 31 %. Die Komposte 2.2 und 7.1 zeigen korrelierend eine sehr starke Zunahme der Huminstoffe (213 bis 240 %) gegenüber dem Inputmaterial. Die **Komposte 2.3 und 2.4** zeigen eine Zunahme der Absorption um 19 %. Auch ihre Huminstoffproduktion ist mit 75 bis 190 % vergleichsweise hoch. Die **Komposte 4.1, 4.2 und 10.2** weisen mit 3-6 % eine geringe Peaksteigerung auf, wobei auch die Huminstoffproduktion gegenüber 2.3 und 2.4 deutlich geringer ist. Die Komposte 4.1 und 4.2 enthalten, im Gegensatz zu allen oben dargestellten, kein Holz und zeigen bei optimaler Sauerstoffversorgung, ebenso wie Kompost 2.4, einen sehr starken Abbau der organischen Substanz. **Kompost 9.3** zeigt mit -0,6 % eine geringfügige Abnahme, die **Komposte 4.3 und 6.1** dagegen eine starke Abnahme (-23 bis -28 %) der Absorption. Alle drei weisen eine geringe Mineralisierungsleistung sowie auch eine geringe Produktion (bzw. Abnahme bei 6.1) an Huminstoffen auf.

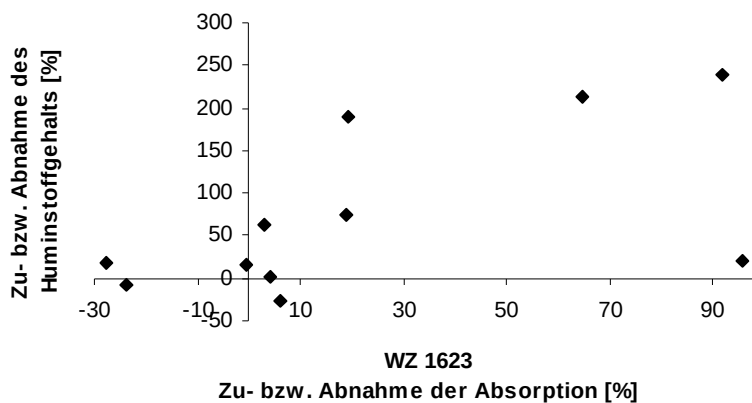


Abb. 14: Intensität der Zu- bzw. Abnahme der Absorption bei WZ 1623 gegenüber den Veränderungen des Huminstoffgehalts im Kompostierungsverlauf

Grundsätzlich korreliert die Zunahme der Absorption bei WZ 1623 mit der Stärke der Huminstoffproduktion in den Komposten mit $r=0,6$ signifikant (Abb. 14). Ein Huminstoffanstieg führt demnach im Allgemeinen zu einer Zunahme an aromatischen Verbindungen in den Komposten. Kompost 5.2 zeigt einen auffällig hohen Anstieg des Aromaten-, bei vergleichsweise geringem Anstieg des Huminstoffgehalts (Tab. A3).

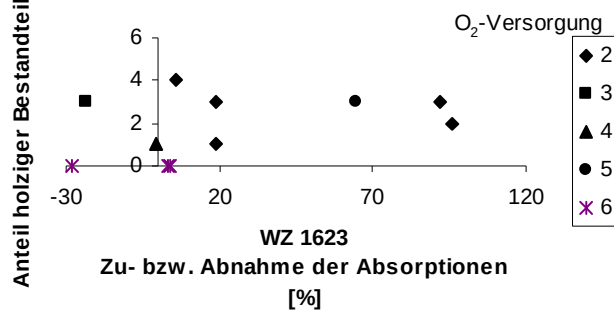


Abb. 15: Intensität der Zu- bzw. Abnahme der Absorption bei WZ 1623 im Kompostierungsverlauf gegenüber dem Anteil an holzigen Bestandteilen (0≡ 0%, 1≡ ca. 15%, 2≡ ca. 25%, 3≡ ca. 50%, 4≡ ca. 60%, 5≡ ca. 70%, 6≡ ca. 80%) sowie der Sauerstoffversorgung (2≡ mäßig, 3≡ mittel, 4≡ gut, 5≡ gut+, 6≡ sehr gut) in den einzelnen Komposten.

Eine starke Zunahme an Aromaten ist insbesondere in Komposten mit 25-50 % holzigen Anteilen im Inputmaterial und einer mäßigen Sauerstoffversorgung sichtbar (Abb. 15).

Die Absorptionen bei Wellenzahl 1508 (Streckschwingung aromatischer C=C-Bindungen)

Die Absorptionen bei WZ 1508 sind mit 0 bis 7,3 % (Tab. A4) deutlich schwächer als bei WZ 1623. Mit Ausnahme der Komposte 2.2 und 5.2 folgt die Entwicklung des Peaks im Kompostierungsverlauf bei allen Komposten den Absorptionsveränderungen bei WZ 1623 (Abb. A1). Die Komposte 2.2 und 5.2 zeigen, im Gegensatz zu sehr starken Absorptionszunahmen bei WZ 1623 eine Abnahme bei WZ 1508 (Tab. A5). Aufgrund hoher Standardabweichungen können diese Ergebnisse jedoch nicht als gesichert betrachtet werden.

Die Absorptionen bei Wellenzahl 1030 (C-O-Streckschwingung in Polysacchariden)

Die Ausprägung des Peaks bei WZ 1030 zeigt sich in den untersuchten Komposten mit Absorptionen von 0 bis 50 % extrem unterschiedlich (Tab. A4; Abb. A1).

Geringe, bzw. keine Absorptionen zeigen altersunabhängig die untersuchten Proben der **Komposte 2.1, 2.2, 2.3 und 2.4**. Sie entstammen alle demselben Kompostwerk, enthalten jedoch jahreszeitlich bedingt unterschiedliches Inputmaterial mit variierenden Holzanteilen (1-5). Die C/N-Verhältnisse liegen alle zwischen 14 und 17 (Tab.4). Verhältnismäßig hohe Absorptionen zeigen die **Komposte 4.2, 4.3, 6.1, 7.1, 9.3 und 10.2**. Korrelationen bezüglich des Inputmaterials oder des C/N-Verhältnisses lassen sich nicht herstellen.

Alle oben genannten Komposte zeigen eine Steigerung der Absorption im Kompostierungsverlauf, überwiegend zwischen 16 und 89 % (Tab. A5). Eine extreme Absorptionszunahme zeigt Kompost 9.3 (+1215 %) bei gleichzeitig starker Reduzierung der Absorption bei WZ 2918. Dies weist auf eine verstärkte Bildung von mikrobieller Biomasse während der Kompostierung hin, was mit der verhältnismäßig geringen Mineralisierungsleistung bei positiver Entwicklung der Standardparameter (Kap.4.1.3) korreliert.

Mit Ausnahme von 4.2 zeigen alle Komposte mit einem deutlichen Anstieg der Absorption bei WZ 1030, d.h. einer Zunahme der Polysacharide, einen vergleichsweise geringen oder mittleren Abbau der organischen Substanz (0-31 %).

4.3 Die Entwicklung der Chromatogramme im Kompostierungsverlauf

4.3.1 Die Größe und Farbe der zentralen Zone

Die Größe der zentralen Zone (z.Z.) variiert in den untersuchten Kompostproben zwischen 12 und 33 mm Durchmesser (Tab. A6, Abb. A2). Dabei ist die Übereinstimmung zwischen den beiden jeweils parallel angefertigten Chromatogrammen sehr hoch. Von 118 untersuchten Kompostproben zeigen lediglich Kompost 5.3/W0 mit 23 und 27 mm Ø eine große Abweichung, sowie auch Kompost 10.2/W7 mit 18 und 23 mm.

Sehr große z.Z. weisen einzelne Chromatogramme der Komposte 1.1 und 2.1 auf (1.1/W0: 33 mm, W16: 29 mm; 2.1/W14 und W18: 30 mm, Abb. 18 und 19). Mit einem Durchmesser von ≤ 26 mm zeigen die Komposte 1.2, 2.2, 2.3, 2.4, 3.1, 3.2, 4.2, 4.3, 5.1, 6.1, 7.1 und 7.2 deutlich kleinere zentrale Zonen, wobei 1.2 sowie 2.3 zu Beginn der Kompostierung etwas größere Durchmesser (1.2/W0: 28 mm; 2.3 bis W4: 27 mm) aufweisen.

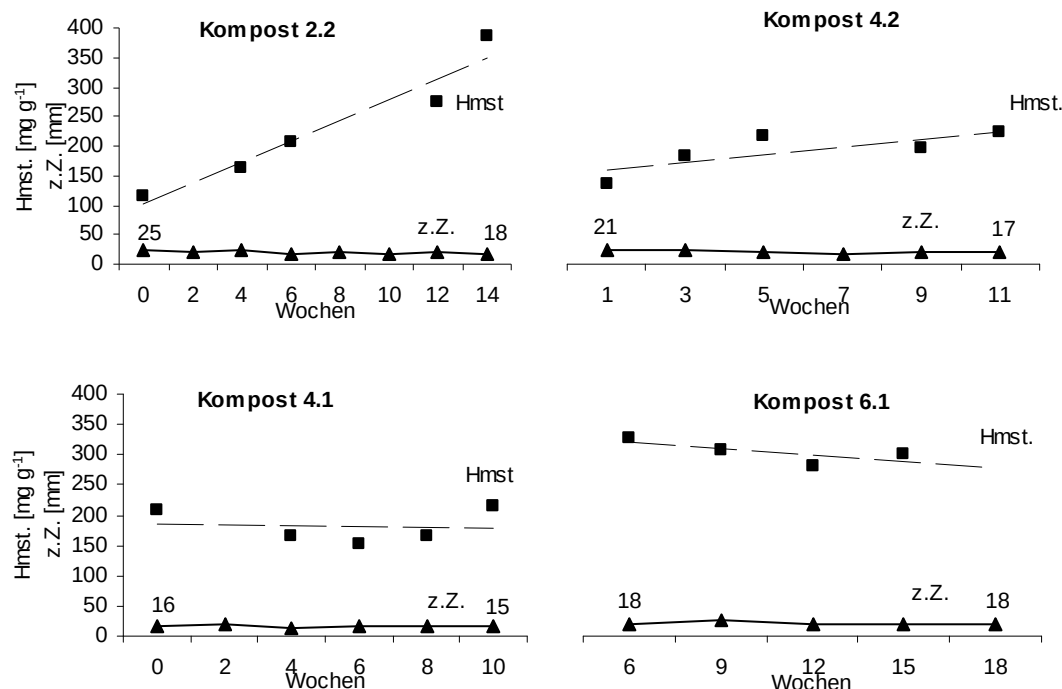


Abb. 16: Entwicklung der Größe der zentralen Zone in den Chromatogrammen sowie des Huminstoffgehaltes/org.S. im Kompostierungsverlauf in den Komposten 2.2, 4.1, 4.2 und 6.1

Die Komposte 4.1, 5.2, 9.1, 9.2, 9.3 und 10.2 zeigen mit einem Durchmesser von ≤ 20 mm die kleinsten z.Z. der untersuchten Komposte (Abb. 22 und 27). Die Komposte 5.3 und 10.1 gehören ebenfalls dieser Gruppe an, jedoch weisen beide in W0 mit 23 mm eine etwas größere z.Z. auf (Abb. 24).

Korrelationen zu Analysenergebnissen treten nicht auf.

Im Kompostierungsverlauf zeigen alle untersuchten Komposte Veränderungen im Durchmesser der zentralen Zone (Abb. A2), wobei viele (1.2, 2.2, 2.3, 4.2, 5.3 und 7.1) eine Verkleinerungstendenz aufweisen, die gegenüber allen anderen mit einer deutlich größeren prozentualen Zunahme an Huminstoffen korreliert (63-239 % gegenüber -26 bis +28 %; Ausnahme 2.4: 75 %, vgl. Tab. A3, Abb. 16).

Die zentrale Zone ist gegenüber den folgenden Zonen in allen Chromatogrammen erwartungsgemäß deutlich heller gefärbt. Die überwiegende Zahl der Chromas zeigt Farben der MUNSELL-Karte 10YR, insbesondere die Farben 8/1 und 8/2 (white), bzw. hellere Varianten dieser Farbtöne (mit Zusatz h=hell oder hh=sehr hell). Ihre Reproduzierbarkeit ist ebenfalls sehr hoch. Lediglich 3 Komposte zeigen leichte Abweichungen in den parallelen Chromatogrammen (5.3/W0, 10.2/W4, 10.2/W7, Tab. A6).

Einen deutlich rosafarbenen Ton (Farbkarte 5YR und 7,5YR) zeigen insbesondere die z.Z. der Komposte 4.1 und 4.3 sowie 5.3 (Tab. A6, Abb. 22, 23, 24). Ein Zusammenhang mit dem Inputmaterial liegt hier nahe (vgl. Tab.3).

Im Verlauf des Kompostierungsprozesses bleiben die Farbtöne der z.Z. unverändert (Komposte 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 5.1, 5.2, 9.1), oder aber zeigen Schwankungen. Eine gerichtete Farbentwicklung (zunehmende Verdunklung) zeigt ausschließlich Kompost 4.3 (MUNSELL-„values“ (=Helligkeitswerte) 8→6). Aus der Gegenüberstellung von Analysenwerten und unterschiedlichen Farbtönen der z.Z. in Mehrfeldertafeln (Tab. A9, A10) geht hervor, dass eine rötliche („pinkish“, „reddish“) oder aber verhältnismäßig dunkle („light gray“, „very pale brown“) Färbung der z.Z. hochsignifikant mit niedrigen Ammoniumwerten ($<1000 \text{ mg kg}^{-1}$) korreliert wie z.B. in Kompost 3.1/W0 (Abb. 21).

HERTELENDY (1975) und andere stellen eine Verengung der z.Z. während des Kompostierungsprozesses als Zeichen zunehmender Reife dar. Die hier untersuchten Komposte weisen diesbezüglich differenziertere Ergebnisse auf:

Eine zunehmende Verengung der z.Z., die über eine anfängliche Reduzierung während der ersten 2-4 Wochen hinaus geht, zeigen nur die Komposte, die gegenüber anderen eine deutlich größere prozentuale Zunahme an laugelöslischen Huminstoffen aufweisen.

Im Gegensatz zu BRINTON (1983) und anderen Literaturberichten bleibt die Farbe der z.Z. in den hier untersuchten Komposten in der Regel während des Kompostierungsverlaufes unverändert. Nur Kompost 4.3 zeigt die erwartete Verdunklung, bei insgesamt geringerer Entwicklungsintensität gegenüber den anderen Mieten aus Werk 4 (Kap. 4.1.5). Vielmehr stellt die Farbe der z.Z. ein inputspezifisches Merkmal dar. Auffällig sind dabei insbesondere die Chromatogramme der Komposte 4.1, 4.3 und auch 5.3, die dunkel bzw. rötlich gefärbt sind. Kompost 5.3 enthält gegenüber den Bioabfallkomposten 5.1 und 5.2, die aus demselben Kompostwerk stammen und wesentlich hellere z.Z. besitzen, ausschließlich Grünschnitt, die Komposte aus Werk 4 enthalten ebenfalls keine Bioabfälle (Tab. 4). Aus der Korrelation dunkler und rötlicher Farbtöne mit Ammoniumgehalten $<1000 \text{ mg kg}^{-1}$ lassen sich, isoliert betrachtet, keine weiterführenden Aussagen bezüglich der Aktivität im Kompost herleiten.

4.3.2 Die Breite und Farbe der inneren Zone

Die Breite der inneren Zone (i.Z.) variiert in allen untersuchten Kompostproben zwischen 9 und 32 mm (Tab. A6, Abb. A2). Dabei ist ihre Reproduzierbarkeit grundsätzlich sehr hoch. Lediglich bei fünf der insgesamt 118 Kompostproben zeigen sich Abweichungen in den parallel angefertigten Chromatogrammen, die 10 % der ermittelten Werte übersteigen (Tab. A6): 3.2/W12, 5.3/W0, 5.3/W8 (Abb. 24), 10.2/W4, 10.2/W7.

15 der untersuchten Komposte zeigen eine Zunahme der Zonenbreite im Kompostierungsverlauf (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.3, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 5.2, 5.3, 6.1, 7.1, 9.2, 9.3), wobei die i.Z. der Komposte 1.1, 6.1 und 7.1 sich erneut verschmälert (Abb. 18-27). Die i.Z. der Komposte 2.4, 5.1 und 7.2 bleiben $\pm$ gleich, alle anderen Komposte zeigen große Schwankungen.

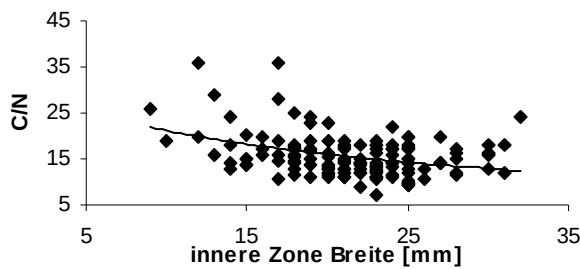


Abb. 17: Gegenüberstellung von C/N-Verhältnissen und der Breite der inneren Zone in den Chromatogrammen

Zwischen der Größenveränderung der i.Z. im Kompostierungsverlauf und den Analysenergebnissen bestehen keine Korrelationen. Die Gesamtbetrachtung aller Chromatogramme zeigt allerdings, dass Komposte mit vergleichsweise hohen C/N-Verhältnissen tendenziell kleinere i.Z. aufweisen (Abb. 17).

Die innere Zone zeichnet sich durch eine Vielfalt an auftretenden Farben aus, die überwiegend den MUNSSELL-Farbkarten 10YR (graue und beige-braune Farbtöne) bzw. 5YR und 7,5YR (rosa-violett-rote Farbtöne) zugeordnet werden können (Tab. A6). 7 Proben zeigen farbliche Abweichungen in den parallel angefertigten Chromatogrammen (3.1/W16, 3.2/W12, 5.3/W0, 5.3/W8, 7.1/W2, 10.2/W4, 10.2/W7).

Innerhalb der i.Z. kommt es oftmals zur Anordnung mehrerer Farben. Meist treten diese in Verbindung mit ausgeprägten radialen Strukturen auf, wie z.B. in Kompost 9.2/W8 (Abb.27), oder aber in Form von Ringbildung, wie z.B. in 3.1/W4 (Abb.21). Einige Komposte zeigen bezüglich der Farbanordnung (Ringbildung, radiale Mehrfarbigkeit) deutliche Standardabweichungen in den parallel angefertigten Chromatogrammen (3.1/W16, 3.2/W12, 7.1/W2, 10.2/W4 und 10.2/W7). Auf die weitergehende Auswertung der verschiedenen Ausbreitungsformen der braunen, oft auffälligen ringförmigen Ablagerungen wird aufgrund der großen Variabilität, die sich in den oben erwähnten Standardabweichungen zeigt, verzichtet.

Korrelationen zu Analysenergebnissen bestehen bezüglich der differenzierten Betrachtung der verschiedenen Farbtöne (grau, beige-braun, rosa-violett-rot):

Die Gegenüberstellung von pH-Werten mit der Farbe der i.Z. in Mehrfeldertafeln (Tab. A11) zeigt, dass rosa-violette Farbtöne tendenziell bei Komposten mit pH-Werten im sauren Bereich auftreten wie z.B. in 5.3/W0 (Abb. 24), während graue Farbtöne bei Komposten mit alkalischer Reaktion (z.B. 2.1/W9, Abb. 19) überwiegen. Weitere Aussagen bezüglich der Differenzierung der Farben nach verschiedenen Helligkeitswerten können nicht gemacht werden.

Graue und braune Farbtöne in der i.Z. weisen hochsignifikant auf Ammoniumgehalte unter 1000 mg kg^{-1} hin wie z.B. in Kompost 4.3/W1 (Abb. 23). Rosa-violette Farbtöne in der i.Z. treten dagegen gleichermaßen bei Ammoniumgehalten unter und über 1000 mg kg^{-1} auf (Tab. A12, A13).

Eine spezifische Verteilung der Farben in der inneren Zone zeigt sich bezüglich der Selbsterhitzungsfähigkeit der Komposte. Während graue Farbtöne (MUNSELL-Farben white, light gray, gray: 10YR: 8/1, 8/2, 7/1, 7/2, 6/1, 6/2) gleichermaßen in Komposten mit starker sowie schwacher mikrobieller Aktivität erscheinen (z.B. 2.1/W9 und 2.1/W18, Abb. 19), zeigen sich braune Farbtöne (MUNSELL-Farben very pale brown, pale brown und light yellowish brown: 10YR 8/3, 8/4, 7/3, 7/4, 6/2, 6/3, 6/4) tendenziell häufiger in Fertigungskomposten (Rottegrad V) wie z.B. 3.1/W12 (Abb. 21) als in Frischkomposten mit hoher mikrobieller Aktivität (Rottegrad I). Demgegenüber treten rosa-violette Farbtöne der Munsellfarbkarten 5YR und 7,5YR (8/1 bis 6/4, Tab. A14) tendenziell auf bei Komposten mit einer Selbsterhitzungsfähigkeit $>60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, wie z.B. Kompost 5.3/W0 (Abb. 24).

Eine zunehmende Braunfärbung im Kompostierungsverlauf, wie u. a. von BECKMANN UND STÖLZER (1994) beschrieben, zeigen die Komposte 4.3, 7.1 und 7.2.

Auch HERTELENDY (1975) und VOITL und GUGGENBERGER (1986) beobachteten, dass rosa-violette Farbtöne in der inneren Zone auf Komposte mit starker mikrobieller Aktivität (thermophile Phase) und damit korrelierenden pH-Werten im sauren Bereich hinweisen.

4.3.3 Die Breite und Farbe der mittleren Zone

Die Breite der mittleren Zone wird maßgeblich bestimmt durch die Ausbreitung von z.Z. und i.Z.; nach außen wird sie durch die Fließgrenze des Silbernitrates begrenzt, und endet stets 2 bis 10 mm außerhalb der 6 cm-Markierung. Entsprechend des Durchmessers von z.Z. & i.Z. beträgt sie zwischen 1 und 25 mm und kann bei extrem starker Ausdehnung von z.Z. & i.Z. auch ganz oder teilweise unter nach außen strahlenden Ablagerungen der i.Z. verschwinden (2.1/W18 (Abb. 19), 2.3/W4, 5.2/W6, 5.2/W8). Ihre Reproduzierbarkeit entspricht der der inneren Zone.

Während des Kompostierungsprozesses entwickelt sich die Breite der m.Z. überwiegend in entgegengesetzter Richtung der Ausbreitung der i.Z.. 13 von 22 untersuchten Komposten zeigen eine Verschmälerung der Zone (1.2, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 3.2, 4.1, 5.1, 5.2, 5.3, 7.2, 9.2, 9.3), während sie bei den Komposten 1.1, 4.2 und 4.3 $\pm$ gleich bleibt (Abb. A2). Kompost 9.1 zeigt eine Zunahme mit großen Schwankungen; starke Schwankungen bestimmen ebenfalls den Verlauf der Komposte 3.1, 6.1, 7.1, 10.1 und 10.2. Korrelationen mit Analyseenergebnissen bestehen nicht.

Die Farben der mittleren Zone lassen sich, ebenso wie die der i.Z., unterscheiden in graue, beige-braune und rötliche Farbtöne, die allerdings gegenüber der i.Z. deutlich dunkler sind (überwiegend Value 6 und 5, Tab. A7). In den parallel angefertigten Chromatogrammen zeigen die Komposte 3.1/W16, 5.3/W8, 7.1/W2, 10.2/W4 und 10.2/W7 geringe, 3.2/W12 deutlichere farbliche Abweichungen.

Die Komposte 9.1, 9.2 (Abb. 27), 9.3, 10.1 und 10.2 (Abb. 28) zeigen im Kompostierungsverlauf eine Abnahme der Farbintensität im Bereich der m.Z., die sich allerdings mit der MUNSELL-Nomenklatur nicht erfassen lässt. Deutlich fahlere Farben zeigen sich in Korrelation mit der Reduzierung der mikrobiologischen Aktivität (Selbsterhitzungstest $< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$). In den Komposten 10.1 und 10.2 sinkt parallel dazu der Ammoniumgehalt dauerhaft unter 1000 mg kg^{-1} .

Alle weiteren untersuchten Komposte zeigen keine gerichtete Entwicklung der Farbe in der m.Z.. Weitere Korrelationen zu Analyseergebnissen bestehen nicht.

Die oben beschriebene Abnahme der Farbintensität von braun nach grau wurde auch von PFEIFFER (1959), HERTELENDY (1975) und VOITL und GUGGENBERGER (1986) beobachtet.

4.3.4 Die Farbe der äußeren Zone

Die in der äußeren Zone auftretenden Farben lassen sich, mit 2 Ausnahmen, alle der MUNSELL-Farbtafel 10YR, Helligkeitswerte („Value“) 8 und 7 zuordnen (Tab. A8). Farbliche Abweichungen zwischen den parallel angefertigten Chromatogrammen der einzelnen Komposte sind nicht festzustellen.

Während des gesamten Kompostierungsverlaufes weisen alle Chromatogramme der Komposte 2.1 (Abb. 19), 2.2 (Abb. 20), 2.3, 2.4, 3.2 und 5.2 sehr intensiv gefärbte ä.Z. (10YR 8/4→7/6) auf. Die Komposte 1.1 (Abb. 18) und 1.2 zeigen eine entsprechende Färbung ab Woche 12 bzw. 10. Naheliegender ist hier ein Zusammenhang mit dem Kompostierungsverfahren und/oder dem Inputmaterial: Es handelt sich dabei ausschließlich um Bioabfallkomposte in großen Tafelmieten mit geringer bis mäßiger Sauerstoffversorgung. Demgegenüber zeigen die Komposte 4.1 und 4.3 (keine Bioabfälle, Zeilenkompostierung, sehr gute Sauerstoffversorgung) extrem blass gefärbte äußere Zonen in den Chromatogrammen. Einzelne Komposte zeigen im Kompostierungsverlauf eine zunehmende Farbintensität der ä.Z. (1.1, 1.2, 2.1 und 2.4), nur zwei Komposte weisen eine Aufhellung im Kompostierungsverlauf auf (4.2, 5.3, Abb. 24).

Die Gegenüberstellung mit dem C/N-Verhältnis (Tab. A15) zeigt eine hochsignifikante Korrelation zwischen $C/N > 15$ und einer sehr hellen Färbung der ä.Z. (h 10YR 8/2), wie z.B. in 4.1/W0 (Abb. 22), sowie zwischen intensiver Färbung (10YR8/4→7/6) und C/N-Verhältnissen < 15 (z.B. 2.1/W18, Abb. 19). Weiterhin zeigt sich die Tendenz, dass Komposte mit hell gefärbter

ä.Z. (h 10YR 8/2) vor allem pH-Werte im alkalischen Bereich aufweisen (Tab. A16), sowie auch hochsignifikant geringe Ammoniumgehalte (Tab. A18), insbesondere $<100 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tab. A17). Intensiv gefärbte ä.Z. (10YR 8/4 $\rightarrow$ 7/6) korrelieren demgegenüber mit Ammoniumgehalten $>1000 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tab. A18), insbesondere $>2000 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tab. A17), und weisen eine statistisch hochsignifikant starke mikrobiologische Aktivität auf ($>60^\circ\text{C}$ Selbsterhitzung). Komposte mit hell gefärbte r ä.Z. weisen dagegen eine Selbsterhitzung $< 30^\circ\text{C}$ auf (Tab. A19).

Weitere Korrelationen zu Analysenergebnissen bestehen nicht.

Eine intensive Färbung der ä.Z. ist bedingt durch größere Mengen schwach polymerisierter und damit mobilerer laugelöslicher organischer Substanzen (BRINTON, 1983) und lässt somit im Vergleich zu Chromatogrammen mit blass gefärbten ä.Z. Rückschlüsse auf die Humifizierung des Kompostes zu. Korrelationen bestehen hier zwar weder zum Gehalt an laugelöslichen Huminsäuren in den Komposten, noch zum Gehalt an Aromaten, jedoch fallen große Ähnlichkeiten zu Chromatogrammen verschiedener Bodentypen auf, die im Rahmen früherer Forschungen mittels Chroma-Boden-Test untersucht wurden (HABOLD, 1994). Die intensiv gefärbten ä.Z. der Komposte aus Werk 2 (z.B. Kompost 2.1, Abb. 19) entsprechen der Färbung der ä.Z. eines Rankers, sowie eines Podsols (Ah-Horizonte, Rohhumus, große Anteile unersetzter organischer Materials), wohingegen die Komposte aus Werk 4 (z.B. Kompost 4.1, Abb. 22) große Ähnlichkeit mit den Chromatogrammen eines Rendzina (Ah-Horizont, Humusform: Mull) aufweisen.

Entgegen BECKMANN UND STÖLZER (1994) u.a. findet eine Aufhellung der ä.Z. im Kompostierungsverlauf nur in 2 Komposten statt, die gegenüber allen anderen keine spezifischen Gemeinsamkeiten auf der Basis der erhobenen Daten erkennen lassen.

4.3.5 Die Menge, Länge und Farbe der Zacken

In der überwiegenden Zahl der Kompostchromatogramme (104 von 137) treten viele Zacken auf. Deutlich weniger häufig zeigen sich wenige oder sehr viele Zacken (Tab. A7). Die Länge der Zacken variiert zwischen „sehr kurz“ und „lang“, wobei „mittel bis lang“ (53 von 137 Fälle) gegenüber allen anderen Längenbezeichnungen deutlich überwiegt (Tab. A7). Die Reproduzierbarkeit von Menge und Länge der Zacken ist sehr hoch.

In 76 von 139 Chromatogrammen zeigen die ausgeprägten Zacken die Farben 6/1 oder 6/2 der Farbtafeln 10YR und 5Y (gray; light brownish gray). Deutlich seltener mit Häufigkeiten <20 zeigen sich hellere (7/1, 7/2) oder dunklere (5/1, 5/2) graue bzw. braune (6/3, 5/3, 5/4) Töne der Farbtafeln 10YR, 5Y oder 2,5Y; selten auch rötliche Farben der Tafeln 5YR und 7,5YR (Tab. A7).

Charakteristische Veränderungen lassen sich weder bezüglich der Zackenzahl, der Zackenmenge, noch der Zackenfarbe im Kompostierungsverlauf der einzelnen Komposte erkennen, ebenso wenig bestehen signifikante Korrelationen zu Analysenergebnissen.

Im Gegensatz zu Berichten von HERTELENDY (1975) und anderen zeigen die hier untersuchten Komposte bereits zu Beginn der Kompostierung ausgeprägte Zacken. Der Grund für dieses Ergebnis liegt in der Wahl des verwendeten Chromatographiepapiers (Whatman Nr. 4, mittelschnell fließend) kombiniert mit der Einwaagemenge Kompost im Natronlaugeextrakt (2,5 g/50 ml). Im Gegensatz zu anderen üblichen Kombinationen mit höherer Einwaagemenge (5 g Kompost/50 ml NaOH), oder aber dem langsamer fließenden Papier Whatman Nr. 1, zeigen sich hier in der Regel von Beginn der Kompostierung an klar strukturierte Bildgestalten in den Chromatogrammen, wohingegen bei der Wahl anderer Kombinationen wesentlich häufiger sogenannte Steighemmungen auftreten, wie bei Kompost 2.1/W0 (Abb. 19). Der Extrakt kann in diesen Chromatogrammen nicht ungehindert bis zur 6 cm-Markierung fließen, was zu unstrukturierten dunklen Ablagerungen im Bereich der i.Z. oder m.Z. führt und die Zackenbildung verhindert. Steighemmungen treten häufiger in jungen als in älteren Komposten auf.

4.3.6 Die Wolkenbildung im Bereich der Zackenspitzen

Im Bereich der Zackenspitzen zeigen sich unterschiedliche Mengen und Farbtintensitäten an Wolken (*keine bis sehr viele, hellbraun bis dunkelbraun*, Tab. A8), mit sehr guter Reproduzierbarkeit in den parallel angefertigten Chromatogrammen der jeweiligen Komposte. Dabei unterscheiden sich Input- und verfahrensbedingt Komposte mit geringer Menge und/oder Farbtintensität wie beispielsweise 4.1 (Abb. 22) von Komposten mit intensiver und/oder dunkler Wolkenbildung wie z.B. 2.1 (Abb. 19). Im Allgemeinen ist eine Zunahme der Wolken in Menge und/oder Farbtintensität im Kompostierungsverlauf zu erkennen. Ausnahmen sind hier die Komposte aus Werk 4 sowie 5.1, 5.3, 6.1, 7.1 und 10.2. Eine Besonderheit weisen die Proben 9.1/W15, 9.2/W15 (Abb. 27) und 9.3/W11 auf mit dunkelgrünen Wolken. Es handelt sich dabei um Fertigkomposte mit unauffälligen Analyseergebnissen. Bei durchweg positiver Entwicklung der untersuchten Kompostierungsparameter (vgl. Kap. 4.1) weisen alle drei einen überraschend geringen Gesamtabbau der organischen Substanz auf (Tab. A3). Ein Zusammenhang mit Besonderheiten im Inputmaterial oder aber mit dem speziellen Kompostierungsverfahren (vgl. Tab.3) liegt hier nahe.

Bezüglich Wolkenmenge und –farbe zeigt sich statistisch signifikant, dass Komposte mit vergleichsweise hohen Huminstoffgehalten ($>250 \text{ mg g}^{-1}$), wie z.B. Kompost 1.1/W16 (Abb. 18) viele oder sehr viele Wolken in den Chromatogrammen aufweisen (Tab. A22), die braun oder dunkelbraun gefärbt sind (Tab. A23). Eine derart intensive Wolkenbildung ist offensichtlich nicht allein auf den Huminstoffgehalt zurückzuführen, da sie auch in Chromatogrammen von Komposten mit geringerem Huminstoffgehalt auftreten. Hier allerdings zeigt sich statistisch signifikant eine hellere Farbe der Wolken (*hellbraun – braun*, Tab. A23), wie in 4.3/W1 (Abb. 23). Parallel dazu weisen Komposte mit einem hohen Aromatengehalt ($>40 \text{ \% Absorption bei WZ 1623}$) tendenziell eine starke Wolkenbildung (*viele und sehr viele*, Tab. A27) mit dunkelbrauner Färbung (Tab. A28) auf, wie in Kompost 2.1/W18 (Abb. 19). Starke Wolkenbildung an sich tritt jedoch auch bei niedrigerem Gehalt an Aromaten auf (Tab. A27), hier allerdings wiederum tendenziell mit hellerer Färbung (*hellbraun, braun*, Tab. A28), wie in 3.1/W18 (Abb. 21).

Bezüglich des Glühverlustes zeigt sich, ebenfalls signifikant, dass Komposte mit vielen oder sehr vielen Wolken einen mittleren Gehalt an organischer Substanz ($30\text{-}40\text{ g }100\text{ g}^{-1}$), ohne weitere farbliche Differenzierung aufweisen (Tab. A24). Komposte mit verhältnismäßig hohen C/N-Verhältnissen (>20 , i.e. *junge Komposte*, vgl. Tab. A1) zeigen, statistisch hochsignifikant, keine bis mittlere Wolkenbildung (Tab. A25) mit heller bis brauner Färbung (Tab. A26), wie beispielsweise 4.1/W0 (Abb. 22), wohingegen Komposte mit $\text{C/N} < 15$ viele bis sehr viele Wolken aufweisen (Tab. A25), mit überwiegend brauner bis dunkelbrauner Färbung (Tab. A26) wie Kompost 1.1/W16 (Abb. 18).

Statistisch hochsignifikant zeigt sich auch, dass Komposte mit verhältnismäßig hohem Ammoniumgehalt ($>1000\text{ mg kg}^{-1}$) eine intensivere Wolkenbildung (*sehr viele*, Tab. A29) mit brauner bis dunkelbrauner Färbung (Tab. A30) aufweisen (Kompost 2.1, Abb. 19), als Komposte mit geringerem Ammoniumgehalt (*keine bis viele*, Tab. A29; *hellbraun bis braun*, Tab. A30) wie Kompost 1.1/W0 (Abb. 18). In der Korrelation mit dem Selbsterhitzungstest zeigt sich statistisch signifikant, dass Frischkomposte mit starker mikrobieller Aktivität ($>60\text{ }^{\circ}\text{C}$) zu einer intensiven Wolkenbildung (*sehr viele*) in den Chromatogrammen neigen wie Kompost 2.1/W9 (Abb. 19) und Fertigkomposte ($<30\text{ }^{\circ}\text{C}$) wie 10.2/W10 (Abb. 28) überwiegend eine mittlere bis starke (*mittel und viele*) Wolkenbildung aufweisen (Tab. A31). Hellbraun gefärbte Wolken weisen tendenziell auf Fertigkomposte ($<30\text{ }^{\circ}\text{C}$) hin, wohingegen braune und dunkelbraune Wolken gleichermaßen bei Komposten unterschiedlicher mikrobieller Aktivität auftreten (Tab. A32).

Die oben dargestellten Korrelationen zwischen intensiver und dunkler Wolkenbildung in den Chromatogrammen einerseits und hohen Ammoniumgehalten bzw. hohen Temperaturen im Selbsterhitzungstest andererseits sind insbesondere bedingt durch die Komposte 2.1, 2.2, 2.3 2.4 und 3.2, die während des gesamten Kompostierungsprozesses intensive Wolken ausbilden bei dauerhaft sehr hohen Ammoniumgehalten, sowie auch lang anhaltend hohen Temperaturen im Selbsterhitzungstest (*mindestens bis einschl. W8, Ausnahme 2.4: bis einschl. W4*).

Entgegen den Berichten von VOITL UND GUGGENBERGER (1986) und anderen zeigen sich Wolken in den Chromatogrammen der hier untersuchten Kom-

poste fast ausnahmslos bereits zu Kompostierungsbeginn, während der meso- bzw. thermophilen Phase. In der Regel sind sie hier hellbraun bis braun gefärbt und in geringer bis mittlerer Anzahl vorhanden, sofern der Abbau der organischen Substanz ungehindert (ausreichende Sauerstoffversorgung und/oder ausreichende Materialdurchmischung) verläuft. Eine intensive Wolkenbildung (viele, sehr viele; braun, dunkelbraun) ist hingegen kennzeichnend für Komposte mit ungünstigen Kompostierungsbedingungen (große Tafelmieten mit suboptimaler Sauerstoffversorgung).

4.3.7 Die Farbe des Bildrandes

Die Farbe des Bildrandes wird überwiegend mit den MUNSSELL-Farben 10YR 8/2 und 8/3 beschrieben, oftmals mit dem Zusatz h (hell) oder hh (sehr hell, Tab. A8). Es zeigen sich leichte Farbabweichungen bezüglich der Bildrandfarbe in den parallel angefertigten Chromatogrammen der Komposte 3.1/W16, 5.3/W8, 7.1/W2, 10.2/W4 und 10.2/W7.

Wesentlich dunkler sind die Bildränder der Komposte 1.1/W12 (10YR 6/4) sowie 1.1/W16 (Abb. 18), 1.2/W14, 2.1/W14, 2.1/W16 (Abb. 19) und 2.1/W18 gefärbt, die hier starke Ablagerungen („nicht differenziert“) aufweisen. Es handelt sich dabei durchweg um ältere Komposte mit mittlerer Entwicklungsintensität und verzögertem Abbau der organischen Substanz (Gesamtabbau der org.S.: 21-31 %, Erreichen von RG V nach Woche 12, vgl. Kap. 4.1.3 und 4.1.4), die auch intensiv gefärbte ä.Z. aufweisen. Der Huminstoffgehalt wurde in 2 Fällen bestimmt und liegt mit $>320 \text{ mg kg}^{-1}$ verhältnismäßig hoch. Komposte mit sehr hell gefärbten Bildrändern (hh 10YR 8/2, 8/3), wie z.B. 4.1/W4 (Abb. 22) zeigen dagegen durchweg Huminstoffgehalte $<230 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tab. A20). Eine hochsignifikante statistische Korrelation zeigt sich in Tab. A21 bezüglich niedriger Ammoniumgehalte ($<1000 \text{ mg kg}^{-1}$) in Komposten mit hell gefärbten Bildrändern (mit Zusatz h oder hh), wie beispielsweise in Kompost 4.1/W4 (Abb. 22).

Ablagerungen im Bereich des Bildrandes, die diesen dunkel färben, oder aber sehr hell gefärbte Eintrocknungsränder, korrelieren eng mit der Farbinintensität der ä.Z. sowie der „Wolken“ und bringen gegenüber diesen Merkmalen keine neuen Erkenntnisse.

4.3.8 Die radiale Struktur

In der überwiegenden Zahl der Chromatogramme zeigt sich eine geradlinige Struktur, die „fein“ oder „grob“ gezeichnet ist. Eine „wackelige“ Struktur tritt nur in 19 von 142 Fällen auf (Tab. A8). Eine relevante Standardabweichung bezüglich dieses Merkmals weist lediglich Kompost 3.1/W16 (Tab. A8) auf.

Einige Komposte zeigen in den Chromatogrammen der ersten Probenahme eine fein gegliederte, im weiteren Verlauf jedoch eine grobe Struktur (1.1, 2.1, 2.2 mit Ausnahme in W6), andere weisen während der ersten 2 bis 7 Kompostierungswochen eine grobe, weiterhin aber eine feine Struktur auf (4.3, 5.3, 7.1 mit Ausnahme in W0, 7.2, 10.1, 10.2). Durchgehend grob strukturiert sind die Chromatogramme der Komposte 2.3, 2.4, 3.2 (Ausnahme W8), 5.1, 5.2 und 9.1. Die Komposte 6.1, 7.2, 9.2 und 9.3 gehören ebenfalls dieser Gruppe an, wobei sie in den Chromatogrammen der letzten Probenahmen eine feingegliederte Struktur zeigen. Die Komposte 1.2 und 3.1 zeigen eine wechselhafte Struktur im Kompostierungsverlauf. Eine Besonderheit stellen die Komposte 4.1 und 4.2 dar mit durchgehender Strukturbezeichnung „fein, gerade, undeutlich“ (4.2 ab W5).

Tab. A33 zeigt sehr signifikant, dass sowohl eine feine geradlinige, als auch undeutliche Struktur mit Huminstoffgehalten $<250 \text{ mg g}^{-1}$ korreliert (Abb. 22, Kompost 4.1), wohingegen Komposte mit Huminstoffgehalten $>250 \text{ mg g}^{-1}$ grobe, aber auch wackelige Strukturen in den Chromatogrammen aufweisen, wie z.B. Kompost 6.1/W9, Abb. 25. Allerdings ist das Merkmal „grobe Struktur“ für sich allein betrachtet kein Indikator für den Huminstoffgehalt, da es ebenso bei Komposten mit geringerem Huminstoffgehalt auftritt.

Tab. A34 zeigt, dass Komposte die vergleichsweise große Mengen organischer Substanz enthalten (Glühverlust $>50 \%$), tendenziell grobe Strukturen in den Chromatogrammen ausbilden (z.B. 2.1/W0, Abb. 19). Wiederum ist

das Merkmal „grobe Struktur“ für sich allein betrachtet kein Indikator für den Gehalt an organischer Substanz. Komposte mit vergleichsweise geringem Gehalt an aromatischen Strukturen (Absorption bei WZ 1623 <40 %) zeigen tendenziell feine, geradlinige Strukturen in den Chromatogrammen (Tab A35), wie Kompost 3.1/W18 (Abb. 21). Tendenziell weisen Komposte mit pH-Werten im sauren Bereich grobe, geradlinige Strukturen in den Chromatogrammen auf (Tab. A36), wie 9.2/W1 (Abb. 27). Allerdings sind grobe, geradlinige Strukturen allein kein Indikator für saure pH-Werte. Feine geradlinige Strukturen weisen tendenziell auf pH-Werte im alkalischen Bereich hin, wie in Kompost 4.1/W4 (Abb. 22).

Eine hochsignifikante Korrelation besteht bezüglich des Gehalts an Ammonium: Feine geradlinige oder auch undeutliche Strukturen, wie in 4.1/W0 (Abb. 22), weisen auf Komposte mit einem Ammoniumgehalt <1000 g kg⁻¹ hin. Komposte mit einem Ammoniumgehalt >1000 mg kg⁻¹ weisen grobe geradlinige Strukturen auf (z.B. 2.2/W8, Abb. 20), wobei dieses Merkmal ebenfalls bei Komposten mit geringerem Ammoniumgehalt auftritt (Tab. A37).

Während feine geradlinige Strukturen hochsignifikant mit einer Selbsterhitzungsfähigkeit <30 °C korrelieren (z.B. 7.2/W7, Abb. 26), zeigen sich grobe geradlinige Strukturen zwar häufiger in Komposten mit stärkerer mikrobieller Aktivität (>30 °C) wie in 9.2/W1 (Abb. 27), sind aber auch relativ oft in Chromatogrammen von Komposten mit RG V vertreten (Tab. A38).

Feine, geradlinige und zuweilen undeutliche radiale Strukturen sind also ein Zeichen für Komposte mit geringer mikrobieller Aktivität, alkalischer Reaktion, vergleichsweise niedrigen Huminstoffgehalten und geringem Aromatengehalt. Grobe und/oder wackelige Strukturen lassen sich dagegen nicht eindeutig mit Analysenergebnissen korrelieren. Eine Verstärkung der Strukturierung im Kompostierungsverlauf, wie z.B. von JIMENEZ UND GARCIA (1989) beschrieben, kann hier nicht bestätigt werden und steht möglicherweise im Zusammenhang mit der Wahl unterschiedlicher Konzentrationen an organischer Substanz im Natronlaugeextrakt sowie der Qualität des Chromatographiepapiers.

4.3.9 Die Grenze zwischen innerer und mittlerer Zone

Die Grenze zwischen innerer und mittlerer Zone zeigt sich als „scharfer“, „unscharfer“ oder „fließender“ Übergang. Deutlich seltener treten „stark“ oder „sehr stark fließende“ Übergänge auf (Tab. A7). Relevante Standardabweichungen zeigen sich in den parallel angefertigten Chromatogrammen der Komposte 3.1/W16, 3.2/W12, 7.1/W2, 10.2/W4 und 10.2/W7.

Die Gegenüberstellung mit den pH-Werten zeigt die Tendenz, dass „scharfe“ Übergänge wie beispielsweise in Kompost 2.1/W0 (Abb. 19) häufiger bei pH-Werten <7 , „fließende“ oder „stark-“ bis „sehr stark fließende“ Übergänge wie in 6.1/W9 (Abb. 25) häufiger bei pH-Werten >7 auftreten (Tab. A39). Bezüglich des Ammoniumgehalts zeigt sich hochsignifikant, dass „unscharfe“, „fließende“ oder „stark“ bis „sehr stark fließende“ Grenzen mit Ammoniumgehalten $<1000 \text{ mg kg}^{-1}$ korrelieren, wohingegen Komposte mit höheren Gehalten an Ammonium ($>1000 \text{ mg kg}^{-1}$) insbesondere „scharfe“ Übergänge aufweisen (Tab. A40), wie z.B. 2.1/W16 (Abb. 19). Die Korrelation mit dem Selbsterhitzungstest zeigt sehr signifikant, dass Komposte mit starker mikrobieller Aktivität überwiegend „scharfe“ Übergänge ausbilden (z.B. 2.1/W9, Abb. 19), wohingegen „fließende“ bis „sehr stark fließende“ Übergänge insbesondere bei Komposten mit einer Selbsterhitzung $<30 \text{ °C}$ auftreten (Tab. A41), wie z.B. in 4.3/W5 (Abb. 23).

Die Grenze zwischen i.Z. und m.Z. fand in der Literatur bislang keine Erwähnung, kann aber nach den oben dargestellten Ergebnissen einen Hinweis auf das Entwicklungsstadium eines Kompostes geben: Während eine scharf gezeichnete Grenze ein Zeichen für mikrobiell hochaktive Komposte mit hohem Ammoniumgehalt und pH-Werten im sauren Bereich ist, treten fließend bis stark fließende Übergänge in der Regel in Fertigkomposten mit alkalischer Reaktion und niedrigeren Ammoniumgehalten auf.

4.3.10 Besonderheiten in den Chromatogrammen

In der überwiegenden Zahl der Chromatogramme weisen die Zacken eine, der m.Z. ähnliche, braun bis graue Färbung auf. Manche Komposte zeigen

dagegen grau gefärbte Zacken, die sich deutlich von einer bräunlich gefärbten m.Z. abgrenzen. „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“, wie z.B. in Kompost 4.1/W10 (Abb.22) ist ein Merkmal, das tendenziell auftritt in Fertigkomposten (Tab. A46), sowie tendenziell bei geringen Huminstoffgehalten ($<200 \text{ mg kg}^{-1}$, Tab. A42) und engem C/N-Verhältnis (<15 , Tab. A43). Der pH befindet sich tendenziell im annähernd neutralen bis basischen Bereich ($>6,5$, Tab. A44), die Korrelation mit den Ammoniumgehalten zeigt eine deutliche Häufung im Bereich $<100 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tab. A45).

Dieses Merkmal ist im Zusammenhang mit der Beobachtung von z.B. PFEIFFER (1959) und HERTELENDY (1975) zu sehen, die eine Farbveränderung von braun nach grau mit zunehmendem Kompostalter beschreiben.

Das Merkmal „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“, wie z.B. in den Chromatogrammen von Kompost 2.1/W18 (Abb.19), tritt tendenziell in Fertigkomposten auf ($<30 \text{ °C}$, Tab. A51), bei einem Gehalt an organischer Substanz $>35 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ (Tab. A47), bei engem C/N-Verhältnis <15 (Tab. A48), pH-Werten im annähernd neutralen bis basischen Bereich ($> 6,5$, Tab. A49) sowie bei Ammoniumgehalten $>1000 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tab. A50), was Rückschlüsse auf einen verzögerten und/oder unvollständigen Abbauprozess zulässt.

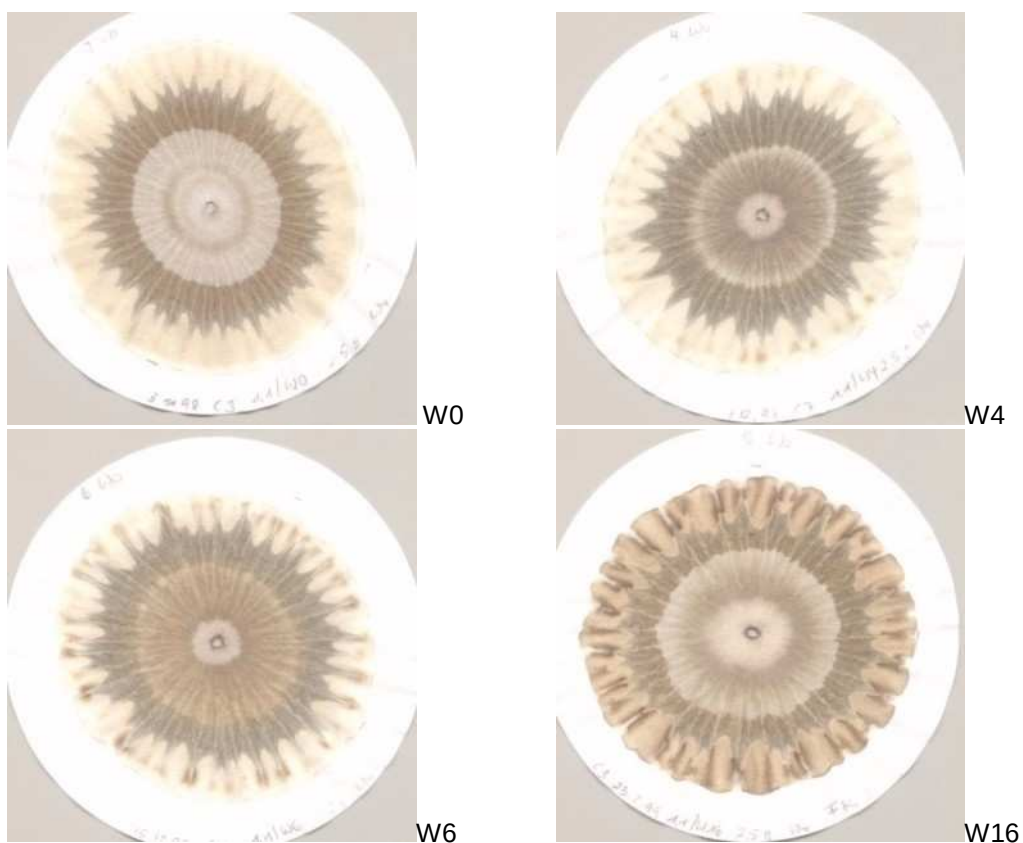


Abb. 18: Kompost 1.1: Chromatogramme der Proben W0, W4, W6, W16

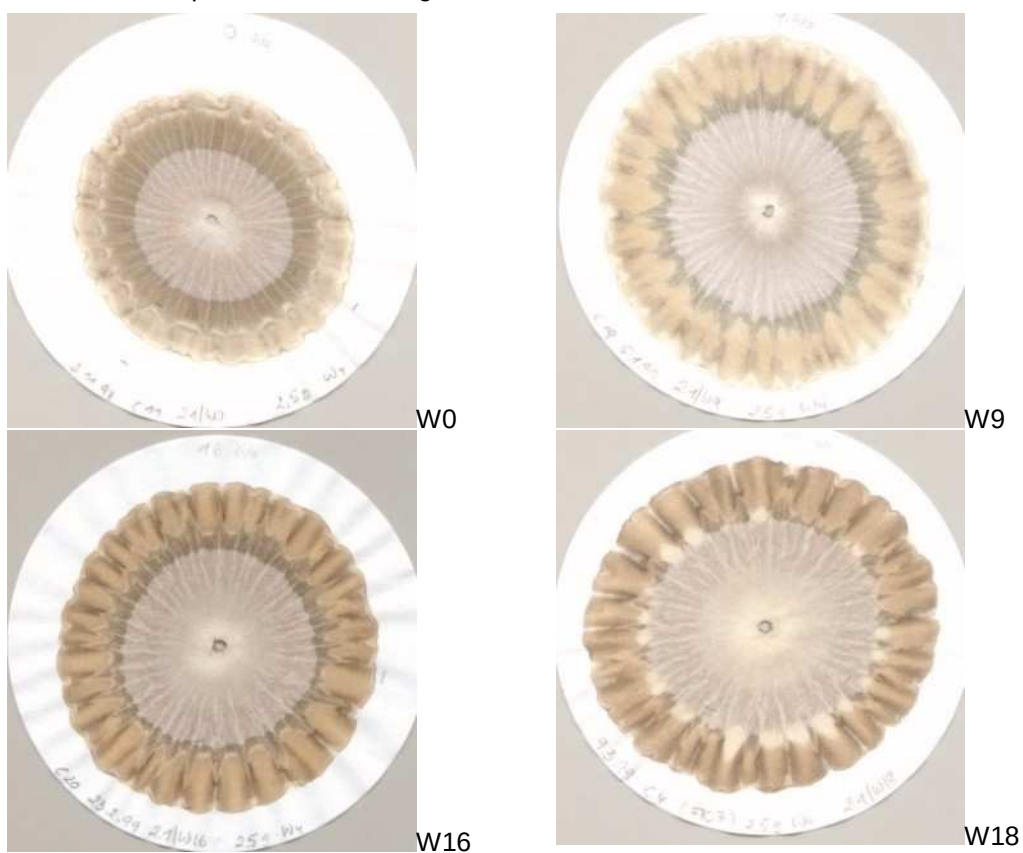


Abb. 19: Kompost 2.1: Chromas Proben W0, W9, W16, W18 (FK7)

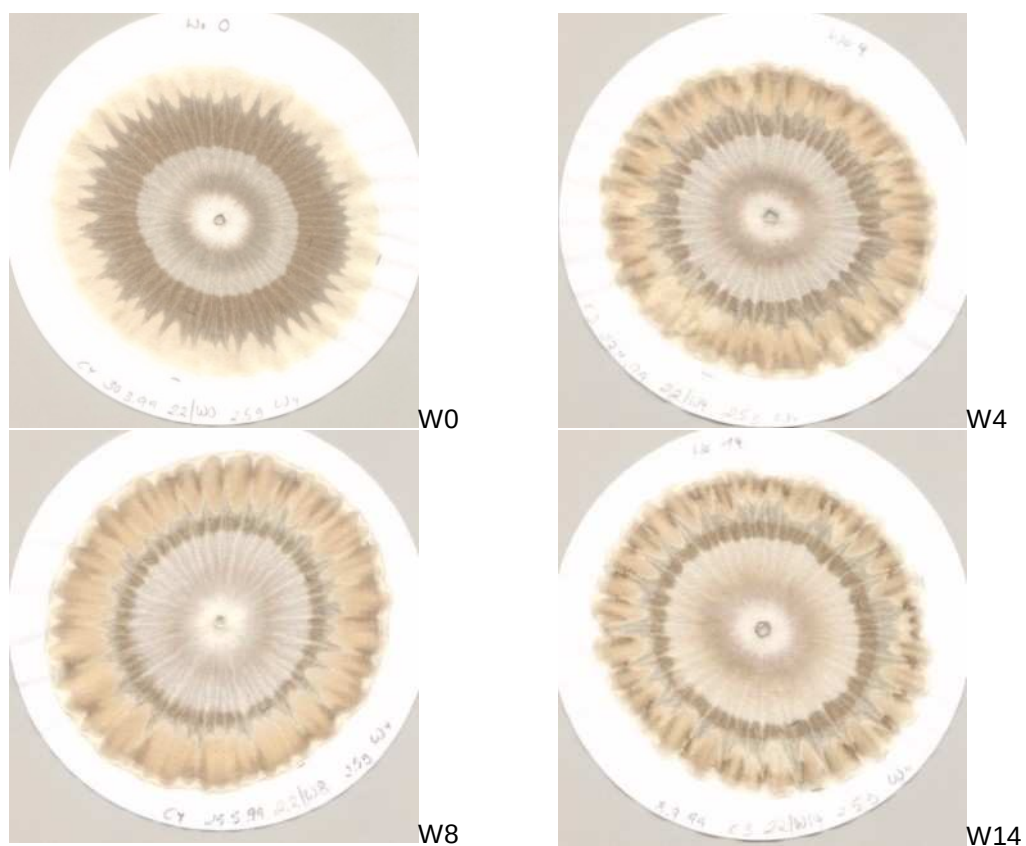


Abb. 20: Kompost 2.2: Chromatogramme der Proben W0, W4, W8, W14

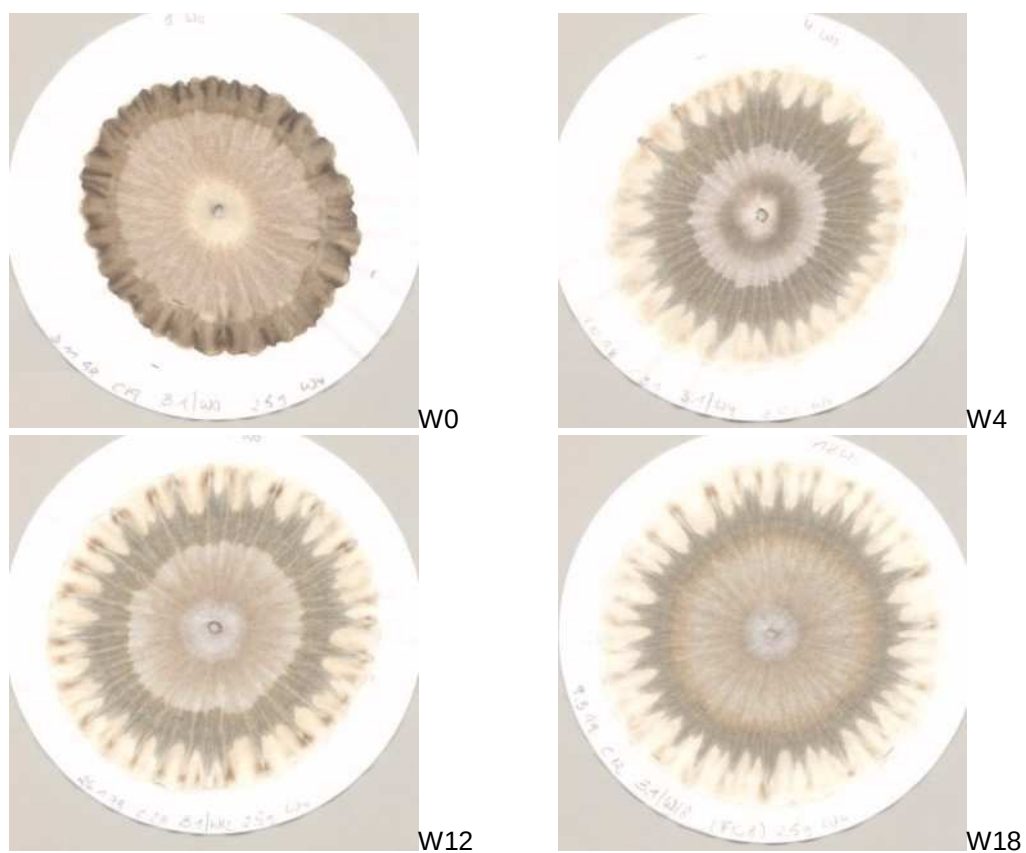


Abb. 21: Kompost 3.1: Chromas der Proben W0, W4, W12, W18 (FK 8)

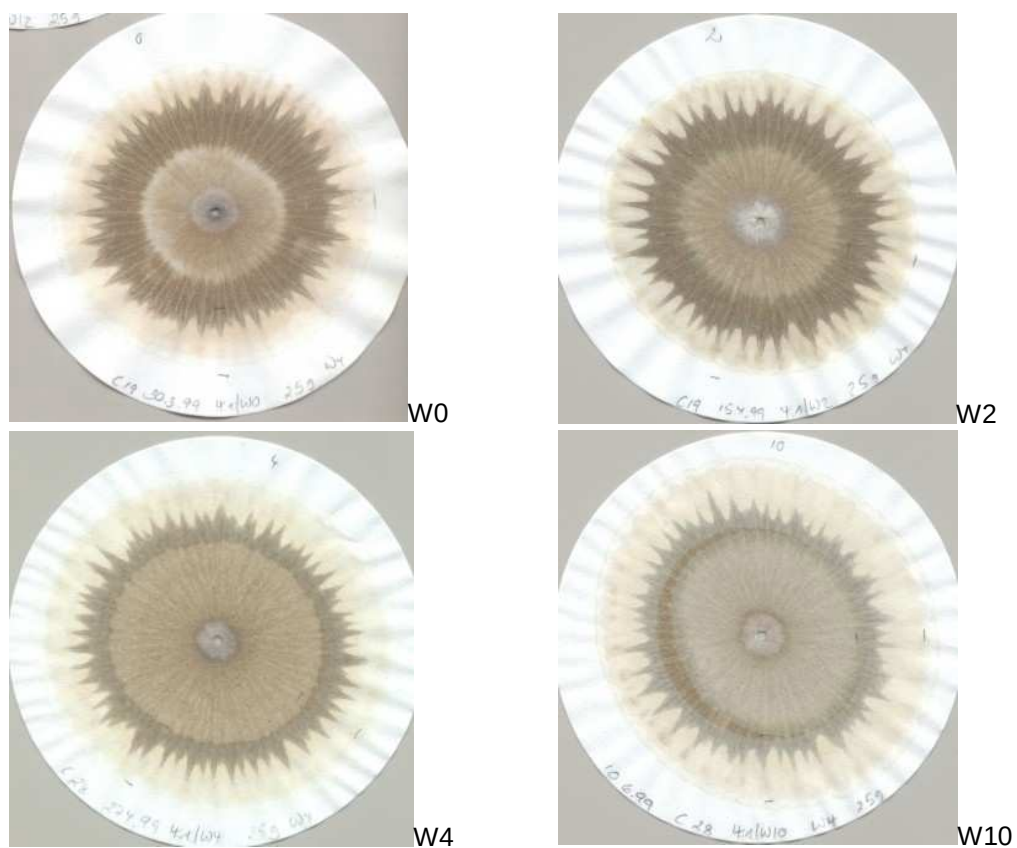


Abb. 22: Kompost 4.1: Chromas der Proben W0, W2, W4, W10 (FK 12)

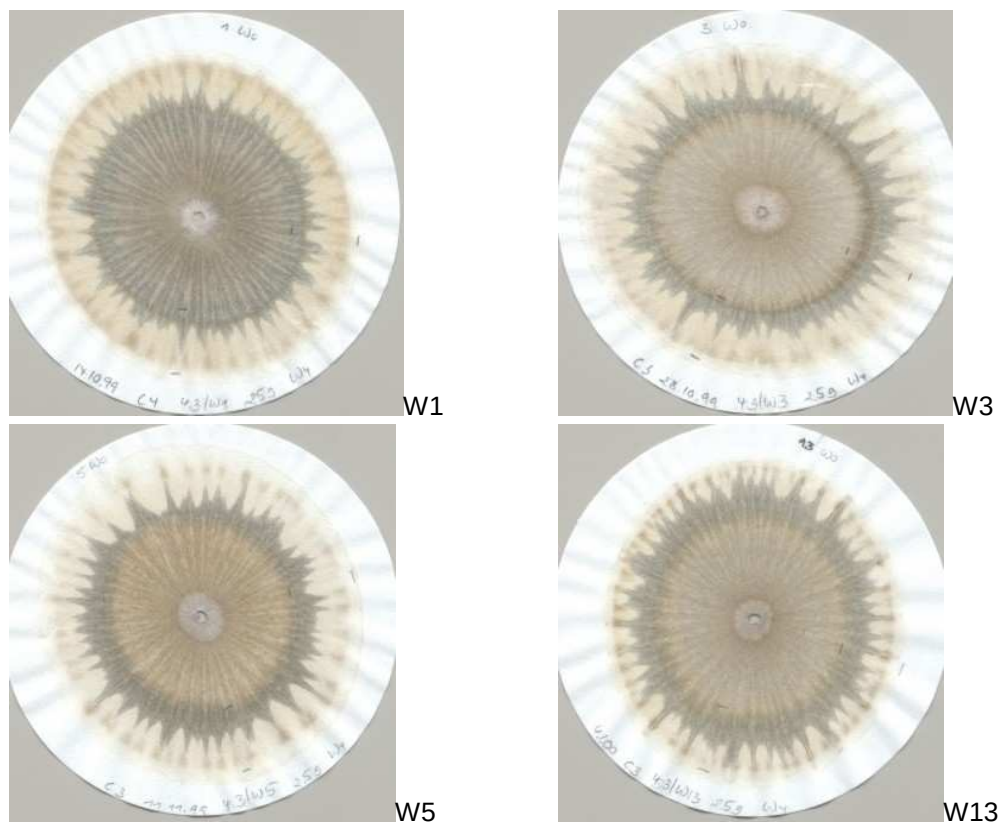


Abb. 23: Kompost 4.3: Chromas der Proben W1, W3, W5, W13 (FK 19)

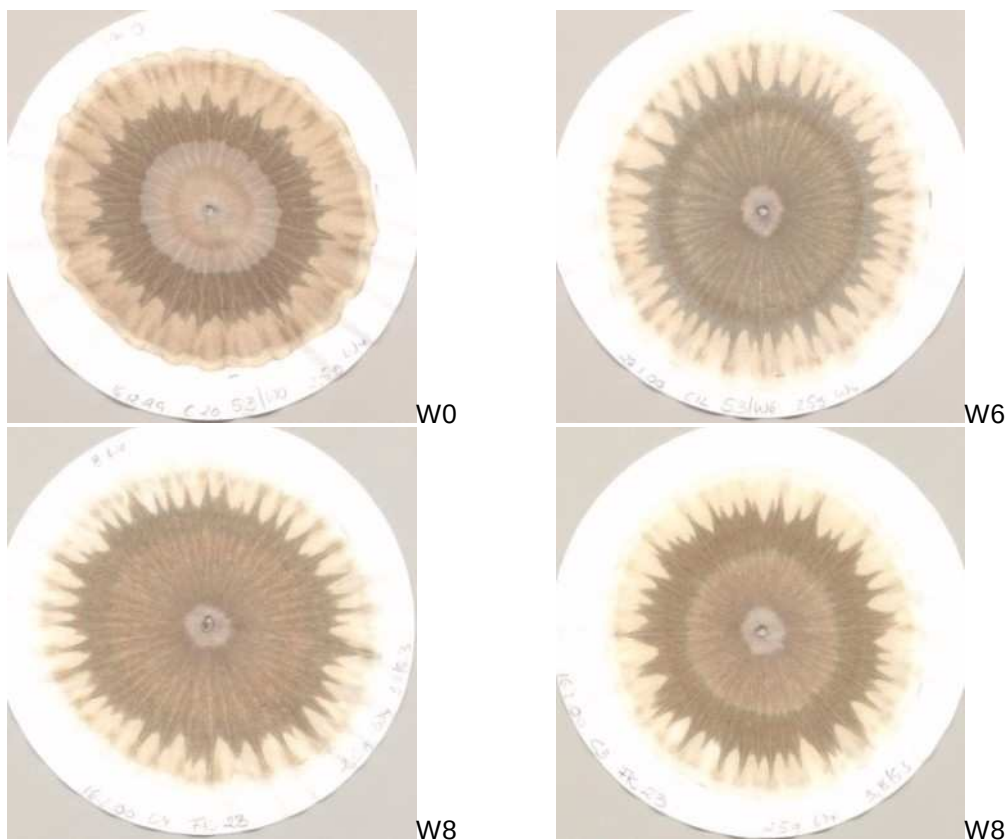


Abb. 24: Kompost 5.3: Chromas der Proben W0, W6, W8 (FK 23)

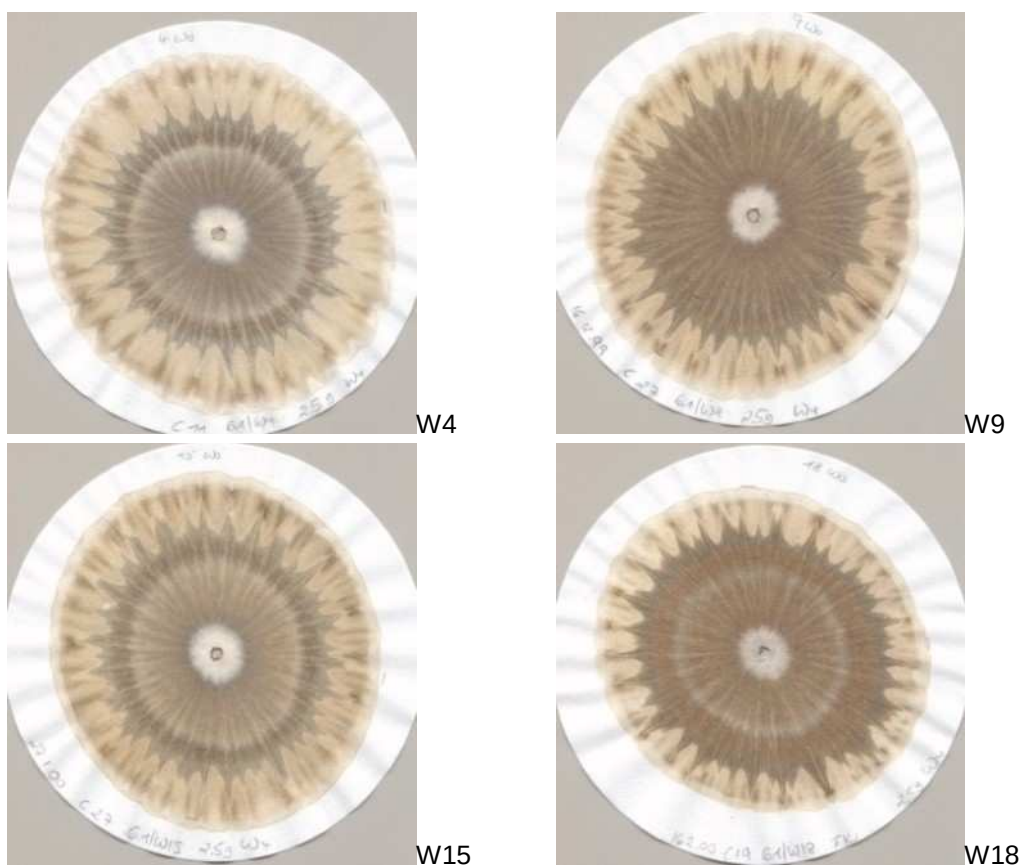


Abb. 25: Kompost 6.1: Chromas der Proben W4, W9, W15, W18 (FK 21)

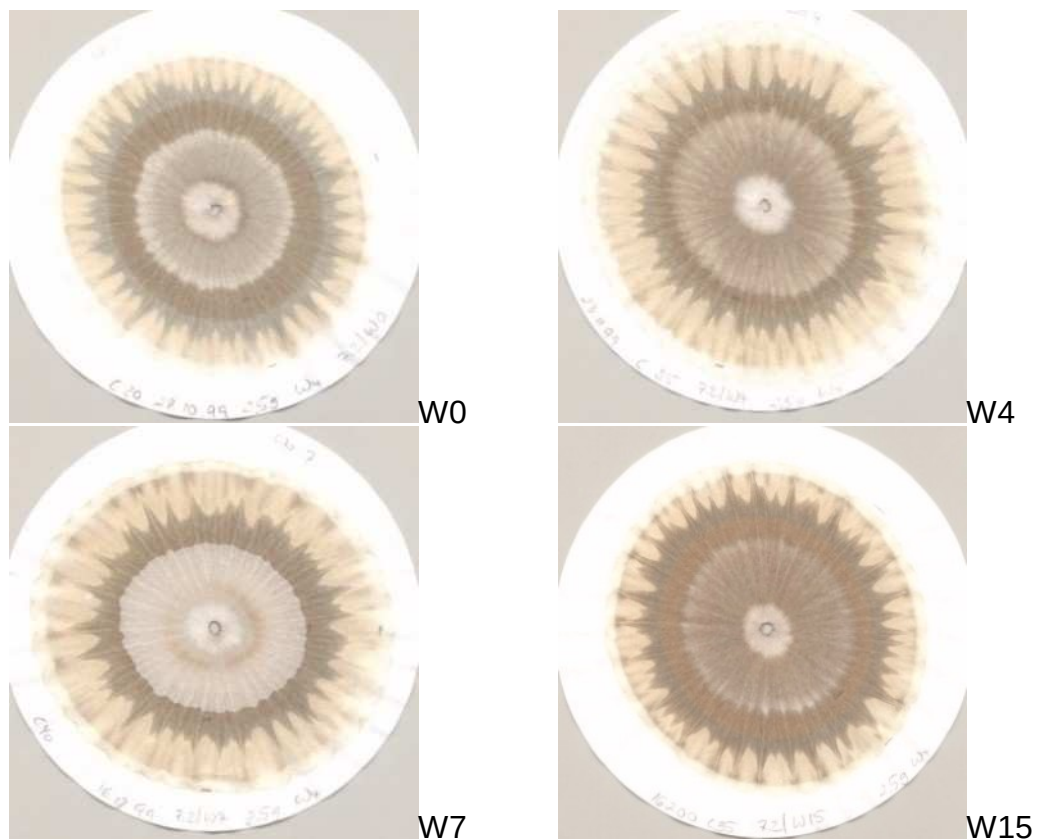


Abb. 26: Kompost 7.2: Chromatogramme der Proben W0, W4, W7, W15

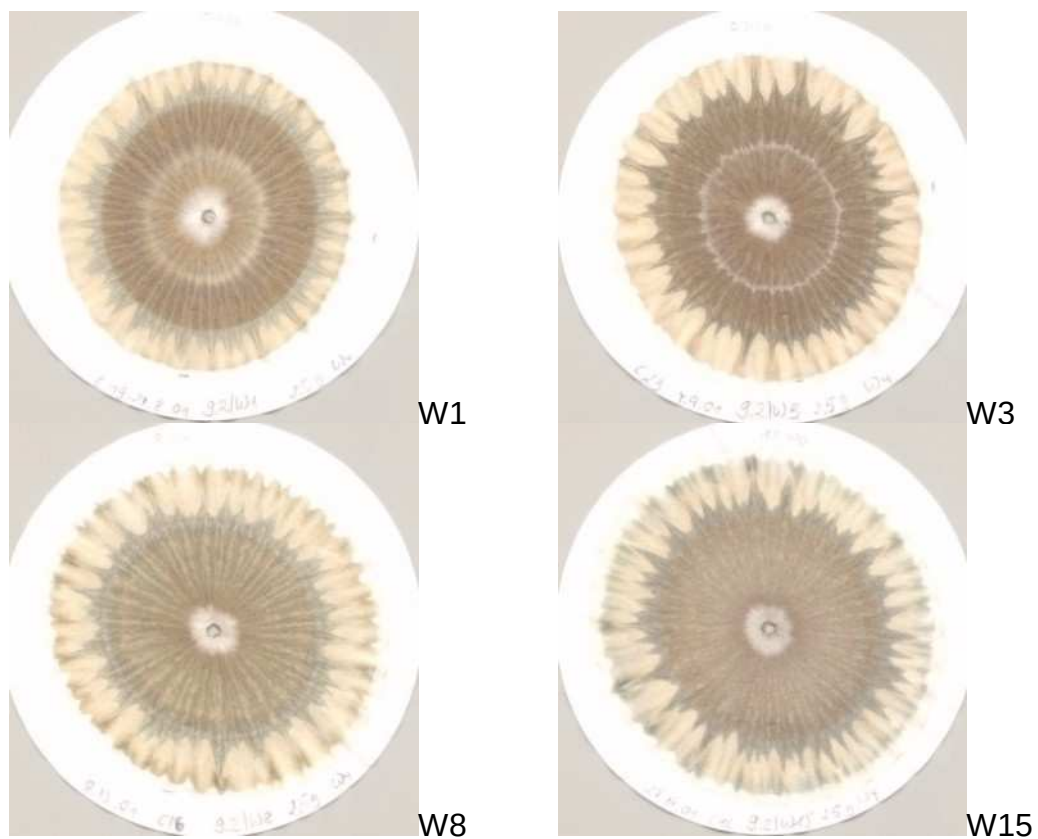


Abb. 27: Kompost 9.2: Chromatogramme der Proben W1, W3, W8, W15

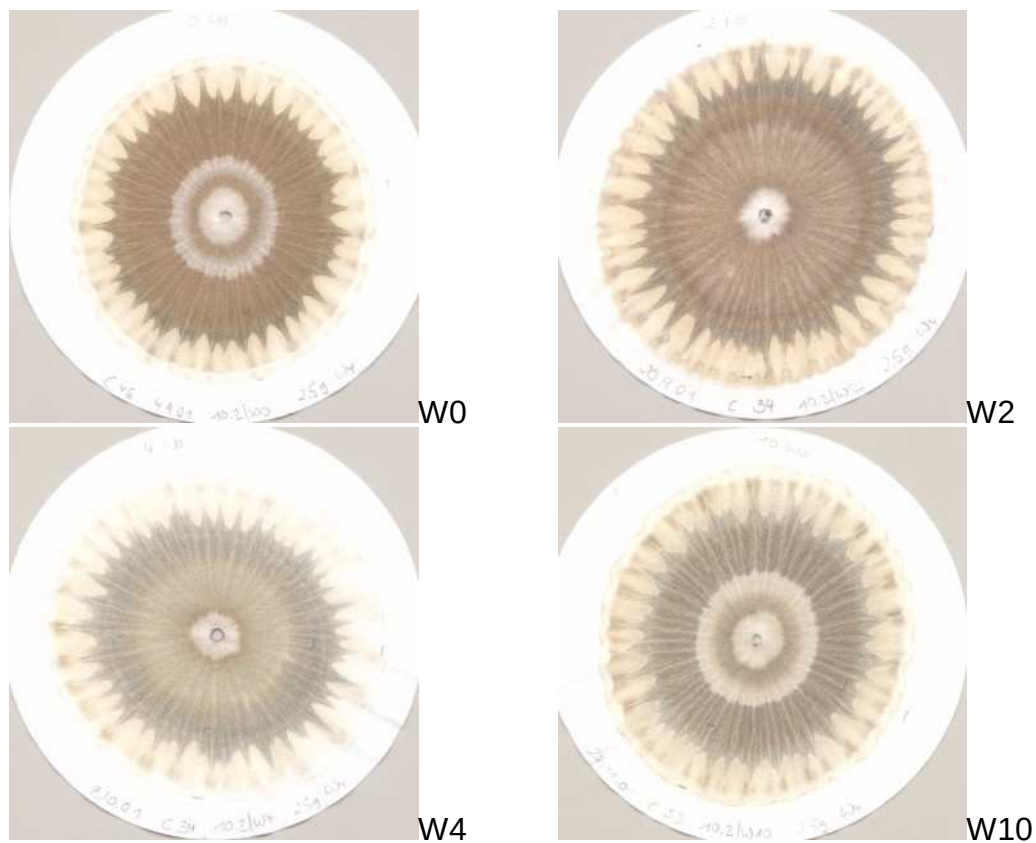


Abb. 28: Kompost 10.2: Chromatogramme der Proben W0, W2, W4, W10

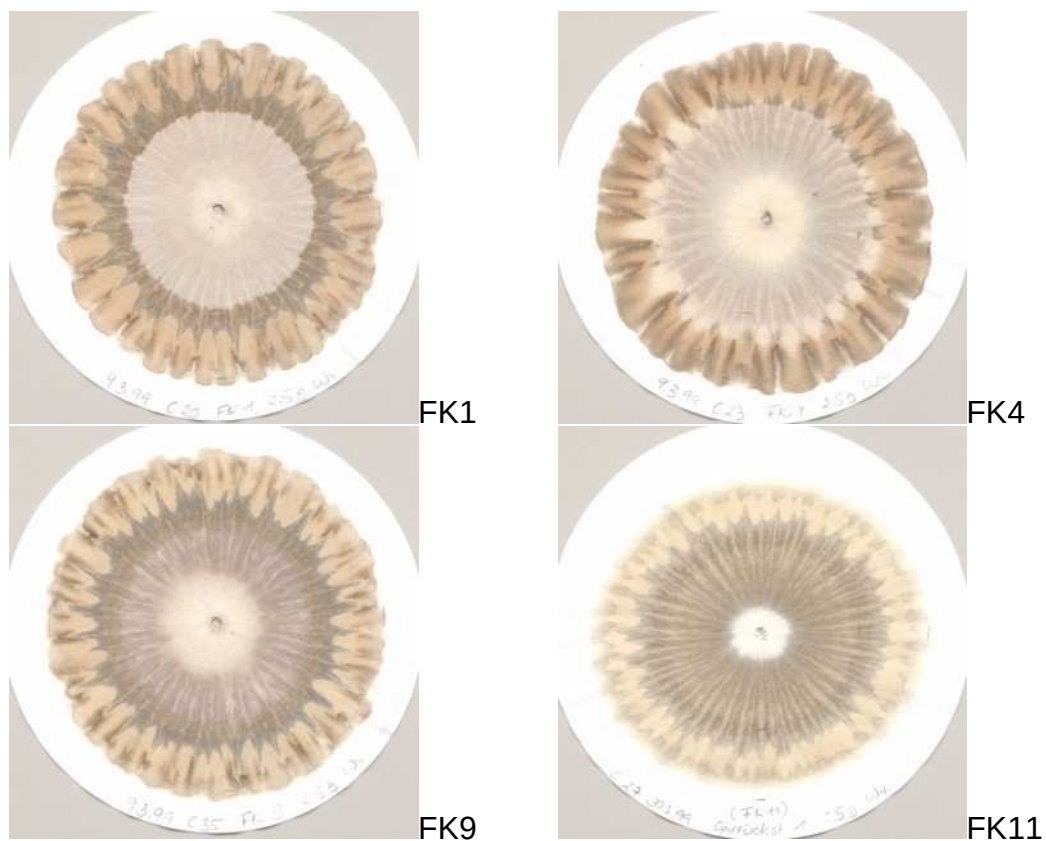


Abb. 29: Chromas zusätzlich untersuchter Fertigkomposte: FK 1, 4, 9, 11

4.4 Fertigkomposte – Analysenergebnisse und Korrelationen mit Bildmerkmalen der Chromatogramme

Der **Glühverlust** beträgt in den weitergehend untersuchten 19 Fertigkomposten zwischen 18 und 63 g 100 g⁻¹ (Tab. A52). Korrelationen zu Bildmerkmalen in den Chromatogrammen bestehen keine.

Der **pH-Wert** liegt zwischen 6,2 und 8,2 (Tab. A52), wobei Werte < pH 7 tendenziell mit rosa-violetten Farbtönen in der i.Z. korrelieren (Tab. A54, A57) wie z.B. bei FK 9 (Abb. 29), und auf einen suboptimalen oder unvollständigen Rotteprozess hinweisen (vgl. Kap. 4.3.2).

Der **Salzgehalt** beträgt zwischen 1,8 und 9,6 g l⁻¹, wobei Komposte mit hohen Salzgehalten (> 5 g l⁻¹) signifikant starke braune Ablagerungen am Bildrand der Chromatogramme („nicht differenziert“) aufweisen (Tab. A56, A58), wie beispielsweise FK 1 (Abb. 29). Ein ursächlicher Zusammenhang ist jedoch nicht wahrscheinlich, da nach HOFFMANN (1973) im Extrakt enthaltene Cl-Ionen durch die Reaktion mit dem Laufmittel AgNO₃ als AgCl einen schwerlöslichen weißen Niederschlag bilden, der sich durch die anschließende Belichtung grau verfärbt.

Das **C/N-Verhältnis** liegt zwischen 8,5 und 17,8, wobei eine signifikante Korrelation besteht zwischen verhältnismäßig weiten C/N-Verhältnissen (> 15) und rosa-violetten Farbtönen in der z.Z (MUNSELL-Karten 5YR und 7,5YR), wie in FK 12 (Abb.22). Demgegenüber zeigen Komposte mit C/N-Verhältnissen <10 Farben der MUNSELL-Karte 10YR (Tab. A54, A59).

Der Gehalt an **Ammonium** beträgt zwischen 2 und 983 mg l⁻¹ FS. Dabei korrelieren hohe Ammoniumgehalte (> 500 mg l⁻¹ FS) mit intensiv gefärbten ä.Z. (10YR 8/4→7/6) sowie auch signifikant mit intensiver Wolkenbildung (sehr viele) wie in FK 4 (Abb. 29), wohingegen Komposte mit geringem Ammoniumgehalt (< 10 mg l⁻¹ FS) hell gefärbte ä.Z. (10YR 8/2) und mittlere Wolkenbildung aufweisen (Tab. A56, A60 und A62). Auch bezüglich der Struktur in den Chromatogrammen zeigt sich ein signifikantes Ergebnis: Komposte mit einem hohen Gehalt an Ammonium (> 500 mg l⁻¹ FS) wie FK 7 (Abb. 19),

weisen eine grobe Struktur auf, wohingegen Komposte mit $\text{NH}_4 < 50 \text{ mg l}^{-1} \text{ FS}$ eine feine Struktur zeigen (Tab. A61).

Der **Nitratgehalt** liegt zwischen 0 und $227 \text{ mg l}^{-1} \text{ FS}$, wobei niedrige Nitratgehalte ($< 20 \text{ mg l}^{-1} \text{ FS}$) tendenziell mit intensiver Wolkenbildung korrelieren (sehr viele, Tab. A63), wie beispielsweise in FK 11 (Abb. 29).

Die untersuchten Komposte enthalten zwischen 287 und 4084 mg l^{-1} **Phosphat**, 881 und 10791 mg l^{-1} **Kalium** und zwischen 141 und 578 mg l^{-1} **Magnesium** in der Frischsubstanz (Tab. A52). Korrelationen zu Bildelementen der Chromatogramme bestehen weder zu oben genannten Nährsalzen, noch zum Gehalt an **Nitrit**, der zwischen $0,3$ und $11,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ FS}$ liegt.

Die **Selbsterhitzungsfähigkeit** der Komposte liegt mit Ausnahme von FK 13 (61°C) unter 30°C .

Der relative Frischmasseertrag im **geschlossenen Kresstest** variierte zwischen 18 und $97,4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Tab. A53, Abb. 30). Dabei bestehen hochsignifikante Korrelationen zwischen starken Wachstumsbeeinträchtigungen der Kresse ($< 80 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) einerseits und einer intensiven Färbung der ä.Z. (10YR 8/4 $\rightarrow$ 7/6, Tab. A64), starker und dunkler Wolkenbildung (viele, sehr viele Tab. A65; dunkelbraun, Tab. A66) sowie auch großer Ablagerungsmengen im Bereich des Bildrandes („nicht differenziert“, Tab. A67) andererseits (z.B. FK 1, Abb. 29). Komposte mit höheren Frischmasseerträgen der Kresse zeigen hellere ä.Z. (10YR 8/2, 8/3) und eine deutlich geringere bzw. hellere Wolkenbildung. Eine hochsignifikante Korrelation besteht auch zwischen relativen Frischmasseerträgen $< 80 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ und einer groben Struktur in den Chromatogrammen, wohingegen Komposte mit höheren Erträgen im geschlossenen Kresstest eine feine Struktur aufweisen (Tab. A68).

Der **Gerstetest** (Abb. 31) zeigt in den Untersuchungen mit 25% Kompost relative Frischmasseerträge zwischen 85 und $126 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Mit Ausnahme von FK 7 sind alle untersuchten Komposte als Bodenverbesserungsmittel und Dünger einsetzbar. Der Gerstetest mit 50% Kompost in der Prüfmischung ergab Erträge zwischen 40 und $124 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. 7 der untersuchten Komposte sind bei Erträgen $> 90 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ als Mischkomponente in Blumen-erden und Kultursubstraten einsetzbar. Korrelationen zu Bildelementen der Chromatogramme bestehen nicht.

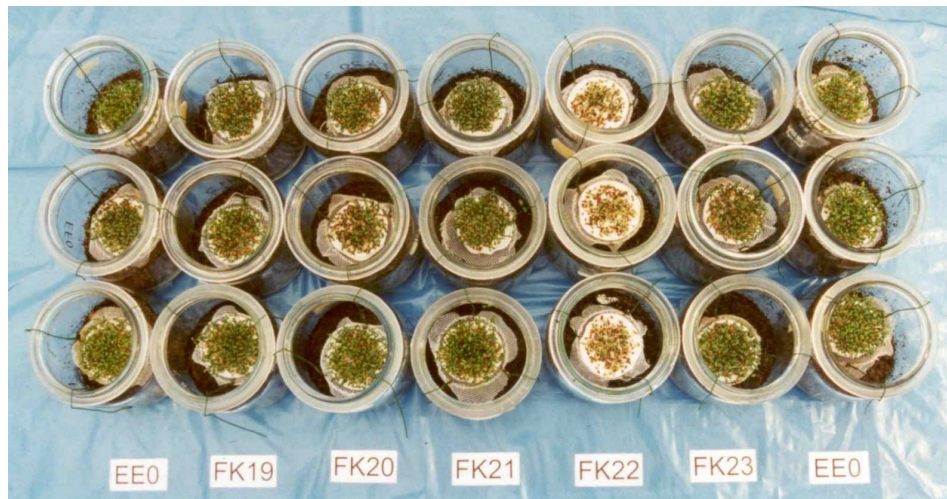


Abb. 30: Geschlossener Kressetest: EE0, sowie die Komposte 19 bis 23

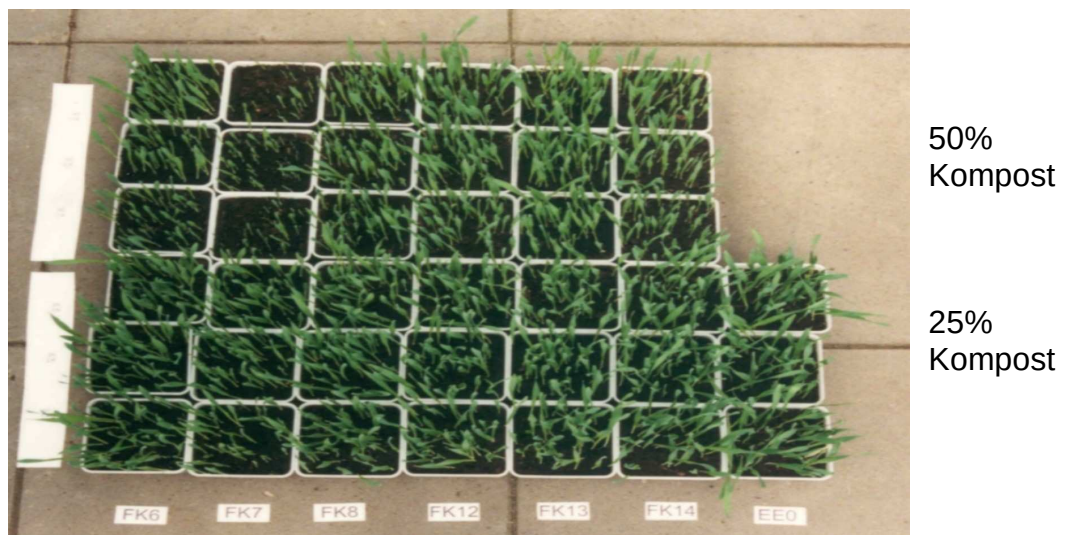


Abb. 31: Gerstetest auf 25% (untere 3 Reihen) und 50% Kompost (obere 3 Reihen): EE0, sowie FK 6 bis 8 und 12 bis 14.



Abb. 32: Chinakohltest: EE0, sowie die Komposte FK 6 bis 8 und 12 bis 14.

Im **Chinakohltest** (Abb. 32) wurden relative Frischmasseerträge zwischen 41 und 177 g 100 g⁻¹ ermittelt. Dabei weisen alle Komposte, mit Ausnahme von FK 6 und FK 7, Erträge über 90 g 100 g⁻¹ auf. Komposte mit Erträgen > 100 g 100 g⁻¹, wie beispielsweise FK 12 (Abb. 22), weisen tendenziell Korrelationen zu hell gefärbten ä.Z. (10YR 8/2 und 8/3, Tab. A69) und geringer, heller Wolkenbildung (wenige, mittel, Tab. A70; hellbraun, braun, Tab. A71) auf, wohingegen die ä.Z. bei Komposten mit eingeschränktem Wachstum gegenüber dem Vergleichssubstrat, wie z.B. FK 7 (Abb.19) dunkler gefärbt ist mit vielen oder sehr vielen, dunkelbraunen Wolken. Die Struktur ist in Chromatogrammen von Komposten mit hohen Frischmasseerträgen (> 100 g 100 g⁻¹) fein ausgeprägt, gegenüber groben und wackligen Strukturen bei geringeren Erträgen (Tab. A72).

4.5 Zusammenfassung der für die Kompostierungspraxis relevanten Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test

Verschiedene Bildelemente in Chromatogrammen von Komposten [2,5 g Kompost/ 50 ml NaOH; Filterpapier Whatman Nr. 4] lassen relevante Rückschlüsse auf die Qualität von Komposten zu:

- **Rosa-violette Farbtöne in der inneren Zone** sind ein Hinweis auf starke mikrobielle Aktivität und pH-Werte < 7. In Fertigkomposten sind sie ein Zeichen für den unvollständigen Abbau der organischen Substanz aufgrund suboptimaler Rotteführung.
- **Scharf gezeichnete Übergänge zwischen der inneren und mittleren Zone** kennzeichnen Komposte mit starker mikrobieller Aktivität, pH-Werten < 7 und einem hohen Gehalt an Ammonium.
- Eine **hell gefärbte äußere Zone** weist auf einen positiven Kompostierungsverlauf hin. Fertigkomposte mit heller ä.Z. enthalten wenig Ammonium und zeigen gute Ergebnisse im Keimpflanzentest.
- **Geringe und/oder helle Wolkenbildung** in der ä.Z. sowie auch **blass gefärbte Bildränder** weisen ebenfalls auf einen guten Rotteverlauf

hin bei verhältnismäßig niedrigem Gehalt an Huminstoffen und Ammonium.

- Eine **feine Struktur** ist kennzeichnend für Komposte mit positivem Rotteverlauf, deren mikrobielle Aktivität nach einer raschen und intensiven thermophilen Phase bald absinkt ($< 30\text{ °C}$ im Selbsterhitzungstest). Der pH-Wert erreicht rasch den alkalischen Bereich, der Gehalt an Huminstoffen und Ammonium ist verhältnismäßig gering. Fertigkomposte mit feiner Struktur enthalten nur geringe Mengen an Ammonium, die Pflanzenverträglichkeit ist gut.
- Eine **intensive Färbung der äußeren Zone** kennzeichnet mikrobiell hochaktive Komposte mit hohem Ammoniumgehalt und einem C/N-Verhältnis < 15 . Mit deutlichen Wachstumsbeeinträchtigungen im Keimpflanzenversuch ist zu rechnen.
- Eine **starke und dunkle Wolkenbildung** sowie auch **große Ablagemengen am Bildrand** weisen auf einen hohen Gehalt an Huminsäuren im Kompost hin, die unter suboptimalen Kompostierungsbedingungen akkumuliert wurden. Aufgrund eines verzögerten Abbaus der organischen Substanz ist auch in älteren Komposten noch mit potentiell starker mikrobieller Aktivität und hohem Ammoniumgehalt zu rechnen. Hohe Salzgehalte sind möglich, die Pflanzenverträglichkeit ist eingeschränkt.
- Eine **deutliche farbliche Abgrenzung der Zacken von der mittleren Zone** tritt auf in ausgereiften Komposten mit sehr geringem Ammoniumgehalt.
- **Weißer Flecken im Bereich der mittleren Zone** treten auf in Fertigkomposten, deren organische Substanz aufgrund suboptimaler Kompostierungsbedingungen nicht hinreichend abgebaut ist.
- Bei **grober Struktur** in Fertigkomposten ist mit Wachstumsbeeinträchtigungen im Keimpflanzenversuch zu rechnen.

Der Chroma-Boden-Test gibt keine Hinweise auf den Nährstoffgehalt (Kalium, Magnesium, Phosphat) in Fertigkomposten.

5 Diskussion:

Die Interpretation der Chromatogramme und ihre Aussage bezüglich der Qualität von Komposten.

Der Chroma-Boden-Test ist ein Abbild der laugelöslichen Huminstoffe.

Stets ausgeprägte Aromatengehalte und ein durchweg geringer Anteil an COOH-Gruppen sprechen für große Mengen an Huminsäuren gegenüber Fulvosäuren in den untersuchten Komposten. Eine Abnahme an Fulvosäuren zugunsten von Huminsäuren (ZIECHMANN, 1991; TOMATI et al., 2000 u. a.) konnte hier nicht festgestellt werden. Relevante Veränderungen in der Bildgestalt der Chromatogramme im Kompostierungsverlauf beruhen insbesondere auf quantitativen und qualitativen Veränderungen der im Kompost enthaltenen Huminsäuren, wie auch von BLANK (1991) und KANZLER (1991) dargestellt wurde.

Aus einer grundsätzlichen Aufhellung der Farben im Bereich der inneren, mittleren und äußeren Zone der Chromatogramme kann auf Polymerisationsreaktionen der Huminsäuren zu laugeunlöslichen Huminen geschlossen werden, wodurch die Extrahierbarkeit der organischen Substanz im Kompost absinkt (BRINTON, 1983). Polymerisationsreaktionen von nieder- zu höhermolekularen Huminsäuren zeigen sich in einer Aufhellung der äußeren Zone und/oder der Wolken bei gleichzeitiger Verdunklung (i.e. Braunfärbung) der inneren und/oder mittleren Zone im Kompostierungsverlauf, was auch von HERTELENDY (1975), sowie von JIMENEZ UND GARCIA (1989) als Zeichen zunehmender Reife angeführt wird. Eine Verdunklung der z.Z. im Kompostierungsverlauf (VOITL UND GUGGENBERGER, 1986 und andere) kann durch die vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt werden.

Eine grundsätzliche Verdunklung der Farben im Kompostierungsverlauf, die bei manchen Komposten insbesondere in der äußeren Zone zu beobachten war, ist ein Zeichen für eine Akkumulation von Huminsäuren durch Stagnation des Kompostierungsprozesses. Die Huminsäuren sind umso geringer polymerisiert, je weiter ihre Ablagerung vom Zentrum des Chromatogramms entfernt sind.

Die Verschiebung der Zonengrößen, die insbesondere im Bereich der inneren Zone, aber auch der zentralen Zone beobachtet werden konnte, ist ebenfalls auf quantitative Veränderungen von Huminsäuren durch Akkumulation, Polymerisations- oder aber auch Depolymerisationsreaktionen zurückzuführen. Allerdings kann eine sinnvolle Interpretation der Größenveränderungen, entgegen der Darstellung von BECKMANN UND STÖLZER (1994) und anderen, nur im Zusammenhang mit der allgemeinen Farbentwicklung innerhalb des Chromatogramms erfolgen. Die Vergrößerung der inneren Zone bei gleichzeitiger Verdunklung der mittleren oder äußeren Zone spricht für eine Depolymerisation von Huminsäuren zu kleineren Einheiten, die bis zu ihrer Ausfällung eine weitere Entfernung im Chromatographiepapier zurücklegen. Eine Vergrößerung der inneren Zone bei gleichzeitiger Aufhellung des Chromatogramms lässt hingegen Rückschlüsse auf Polymerisationsreaktionen zu laugeunlöslichen Huminen zu. Die Veränderung der Zonengrößen im Kompostierungsverlauf erscheinen, aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und der zur sinnvollen Interpretation notwendigen Kopplung mit der Farbentwicklung, wenig geeignet zur Gütebestimmung von Komposten.

Die Ausprägung der Struktur steht im Zusammenhang mit der Fließgeschwindigkeit des Extraktes auf dem Chromatographiepapier (HABOLD, 1994). Eine feine Struktur bildet sich aus bei höherer Fließgeschwindigkeit, bedingt durch schwach polymerisierte, mobile Extraktbestandteile. Langsam fließende Extrakte mit höher polymerisierten Anteilen hinterlassen hingegen grobe Strukturen. Eine Verstärkung der Struktur im Kompostierungsverlauf, wie von JIMENEZ UND GARCIA (1989) und anderen beschrieben, kann durch die vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt werden.

Aus der Gestaltung der Chromatogramme lassen sich deutliche Rückschlüsse auf die Qualität des Kompostierungsprozesses ziehen. Zwar zeigen sich keine direkten Zusammenhänge mit dem quantitativen Abbau der organischen Substanz, doch lassen sich über die sich abbildende Quantität und Qualität (*Abschätzung des Polymerisationsgrades*) der im Kompost enthaltenen Huminstoffe eindeutige Rückschlüsse ziehen auf die mikrobiellen Abbaubedingungen und damit auf die Effizienz des Rotteprozesses, wovon in

der Konsequenz in entscheidendem Maß auch die Pflanzenverträglichkeit des Produktes bestimmt wird.

Der Färbung der äußeren Zone und den sich hier möglicherweise abbildenden Wolken kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da sie auch ohne Kenntnis der Entwicklung der Bildgestalt während des Kompostierungsverlaufes klare Aussagen zulassen.

Essentielle Voraussetzung für die positive Entwicklung eines Kompostes ist eine gute Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen, was einerseits zu einer schnellen Mineralisierung der leicht verfügbaren organischen Substanz führt, andererseits aber auch eine verhältnismäßig geringe Neubildung von Huminsäuren bedingt (ZIECHMANN, 1996 u.a.). Dies spiegelt sich in einer hell gefärbten äußeren Zone und einer geringen sowie hellen Wolkenbildung wieder, bzw. in der Aufhellung derselben während des Rotteprozesses.

Eine dunkle Färbung der äußeren Zone und starke Bildung von Ablagerungen (Wolken) ist dagegen Kennzeichen für einen verzögerten Rotteprozess aufgrund Sauerstoffmangels, der zu einer Akkumulation gering polymerisierter Huminsäuren führt, sowie auch potentiell zur Anreicherung von Zwischenprodukten des Abbauprozesses (organische Säuren, phenolische Verbindungen, H_2S , NH_3), die als Grund für die überwiegend eingeschränkte Pflanzenverträglichkeit der Komposte zu betrachten sind.

Grundsätzlich ist durch die Anwendung von Komposten, unabhängig von der Qualität des Rotteprozesses, eine strukturstabilisierende Wirkung zu erwarten, da stets in relevantem Umfang Huminsäuren oder Humine enthalten sind. Ob Komposte, die bei optimalem Kompostierungsverlauf und somit bedingt geringerem Gehalt an Huminsäuren und höherem Gehalt an Huminen, eine vergleichsweise stärkere strukturstabilisierende Wirkung auf Böden haben, muss in weitergehenden, anwendungsbezogenen Untersuchungen geklärt werden.

Der Chroma-Boden-Test zeigt eine hohe Reproduzierbarkeit der relevanten Bildmerkmale und erfordert im Vergleich zu vielen analytischen Methoden einen geringen Aufwand an technischem Gerät. Die Ergebnisse liegen binnen 36 Stunden nach der Probenahme vor, was insbesondere gegenüber

dem Selbsterhitzungs- aber auch allen Pflanzentests eine deutliche Zeiterparnis bedeutet. Allerdings ist bei der Durchführung große Sorgfalt notwendig, da papierchromatographische Prozesse empfindlich, insbesondere gegenüber der Veränderung der Umgebungsbedingungen, reagieren.

Der Chroma-Boden-Test ermöglicht dem Anwender als Summenparameter einen raschen Einblick in die Qualität des laufenden Kompostierungsprozesses, und kann eine schnelle Einschätzung des Anwendungsrisikos von Fertigkomposten liefern. Als Mischkomponente in Substraten sind dabei nur solche Komposte geeignet, die im Chromatogramm eine hell gefärbte äußere Zone mit wenigen und insbesondere hellen Wolken aufweisen. Der Nährstoff- und Salzgehalt etwaiger Substratkomposte muss, vor allem bei Bioabfallkomposten, zusätzlich durch entsprechende Analysen ermittelt werden.

Chromatogramme mit hell gefärbter äußerer Zone lassen, ohne weitere Kenntnis des Kompostierungsprozesses, nur dann eine Abschätzung des Kompostalters zu, wenn weitere charakteristische Bildelemente zur Interpretation herangezogen werden können:

Eine rosa-violette Färbung der inneren Zone, und/oder eine scharf gezeichnete Grenze zwischen innerer und mittlerer Zone liefern Hinweise auf starke mikrobielle Aktivität. Andererseits weisen grau gefärbte Zacken, die sich farblich deutlich von der mittleren Zone abgrenzen, sowie auch eine fein gezeichnete Struktur, auf Fertigkomposte hin.

Um unreife Komposte ohne rosa-violette Färbung der inneren Zone sowie mit unscharf bis fließender Grenze zwischen i.Z. und m.Z. von Fertigkomposten sicher zu differenzieren, kann die Messung der Mietemperatur die notwendigen Informationen bezüglich der Kompostreife liefern.

6 Zusammenfassung

Die Qualitätsüberprüfung von Komposten ist durch die notwendige Anwendung einer Vielzahl an Methoden aufwendig und kostspielig. Mit dem Ziel, einen einfachen, schnellen und kostengünstigen Test für die Praxis zu etablieren, der die Qualität von Komposten einschließlich der enthaltenen Huminstoffe darstellen kann, wurde in der vorliegenden Arbeit die Tauglichkeit des Chroma-Boden-Tests zur Qualitätsanalyse von Komposten untersucht.

Eine Vielzahl unterschiedlicher Komposte aus verschiedenen Kompostierungsanlagen wurde im Verlauf des Rotteprozesses dem Chroma-Boden-Test unterzogen sowie auch mit praxisüblichen Methoden untersucht (Wassergehalt, pH-Wert, Glühverlust, C/N-Verhältnis, mineralisierter Stickstoff, Selbsterhitzungstest). Die qualitative Entwicklung der organischen Substanz wurde über Messungen des Gehalts an laugelöslichen Huminstoffen sowie mittels IR-Spektroskopie dokumentiert. Zudem wurden 19 Fertigkomposte zusätzlich auf ihren Salzgehalt, die Pflanzennährstoffe Mg, K und PO_4^{3-} , sowie auf ihre Pflanzenverträglichkeit mittels verschiedener Pflanzentests untersucht.

Die Korrelation der Analysenergebnisse mit den differenzierten Bildelementen der Chromatogramme (Zonengrößen und -farben, Strukturen) ergab, dass insbesondere die Farbe der äußeren Zone und die sich hier bildenden wolkenartigen Ablagerungen deutliche Rückschlüsse auf die Qualität des laufenden Kompostierungsprozesses bzw. eines Fertigkompostes zulassen. Dabei ist eine hell gefärbte äußere Zone Hinweis auf eine gute Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen, was zu einer schnellen Mineralisierung der leicht verfügbaren organischen Substanz führt, andererseits aber auch eine verhältnismäßig geringe Neubildung von Huminsäuren bedingt. Eine dunkle Färbung der äußeren Zone und starke Bildung von Ablagerungen ist dagegen Kennzeichen für einen verzögerten Rotteprozess aufgrund Sauerstoffmangels, der zu einer Akkumulation gering polymerisierter Huminsäuren führt, sowie auch potentiell zur Anreicherung pflanzenschädlicher Zwischenprodukte des Abbauprozesses. Weitere Bildmerkmale wie die Färbung der inneren Zone oder die Ausprägung der radialen Struktur unterstützen die Ab-

schätzung der mikrobiellen Aktivität in Komposten mit positivem Rotteverlauf, deren Chromatogramme eine hell gefärbte äußere Zone aufweisen.

Der Chroma-Boden-Test ermöglicht dem Anwender somit als Summenparameter einen raschen Einblick in die Qualität des laufenden Kompostierungsprozesses und kann eine schnelle Einschätzung des Anwendungsrisikos von Fertigkomposten liefern, sofern die Methode sorgfältig gehandhabt wird.

7 Literaturverzeichnis

- AHLF W. (1989): Biotests zur ökotoxikologischen Beurteilung von Schwermetallen in Böden. In: Behrens, D. und Wiesner, J. (Hrsg.): Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden. Expertengespräch der DECHEMA-Arbeitsgruppe „Bewertung von Gefährdungspotentialen im Bodenschutz“ 1/88, 271-280.
- AIKEN G./ MCKNIGHT D. ET. AL. (1985): Humic substances in soil, sediment and water. Geochemistry, Isolation and Characterisation. New York.
- ALDAG R./ ROCHUS W. (1981): Menge und Verteilung des Stickstoffs in Fulvo-, Humin- und Kieselsäure-Huminsäuren eines Müll-Klärschlamm-Kompostes. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 144, 587-596.
- AMLINGER F. (1993): Handbuch der Kompostierung. Hrsg.: Ludwig-Boltzmann-Institut für biologischen Landbau. Wien.
- BALZER F./ BALZER-GRAF U. (1989): Rundfilterchromatogramm nach Pfeiffer- eine ganz-heitliche Untersuchungsmethode. Labor für Bodenuntersuchungen und Spurenmetall-Analytik Dr. Balzer, Amönau.
- BALZER U. (1993): mündliche Mitteilungen.
- BANGERT D. (1993): Zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Chroma-Boden-Testes als bildschaffender Methode. Diplomarbeit an der TU Berlin, FB Landschaftsentwicklung.
- BANNICK C.G. (1989): Simulationsversuche zur Mietenkompostierung unter Berücksichtigung der Wirkung verschiedener Stickstoffzusätze auf den Abbau organischer Stoffgruppen und die Bildung von Huminstoffen. Diss. FB Agrarwissenschaft, Georg-August-Universität Göttingen.
- BANNICK C.G./ ZIECHMANN W. (1991): Huminstoffbildung während der Kompostierung. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 154, 233-236.
- BECKMANN J./ STÖLZER S. (1994): Unterschiedliche praxisübliche Kompostierungs-verfahren im Spiegel chemischer und physikalischer Parameter

sowie des Chroma-Boden-Tests. Barsinghäuser Berichte Heft 39; Inst. f. ökol. Zukunftsperspektiven, Barsinghausen.

BECKMANN M. (1997): Handbuch Kompostierung und Qualitätssicherung. Bremen.

BERNER A./ BIERI M. (1991): Bericht über den heutigen Stand zur Beurteilung der Qualität von Komposten. Literaturstudie im Auftrag des Kehrichtzweckverbandes Zürich Oberland u. a.

BIDLINGMAIER W. (1985): Biologische Grundlagen der Kompostierung. In: Thome´ - Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): Kompostierung von Abfällen 2. 7-23. Berlin.

BIDLINGMAIER W. (1992): Charakteristik fester Abfälle im Hinblick auf ihre biologische Zersetzung. In: Die Behandlung und Beseitigung fester Abfälle durch biologische Verfahren. MuA Lfg. 11/00.

BIDLINGMAIER W./ DENECKE M. (1998): Grundlagen der Kompostierung. MuA Lfg. 11/98.

BLANK S. (1991): Untersuchungen zur Bildentstehung der Pfeiffer'schen Rundfilterchromatographie und Beurteilung von Chromas verschiedener Bodentypen (anmooriger Gley, Moor, Marsch, Ranker, Rendzina) und unterschiedlicher Komposte in Zusammenhang mit ihren analytischen Kenndaten. Diplomarbeit an der Universität Oldenburg, FB 7, Bodenkunde.

BRINTON W. F. JR.: (1983): A qualitative method for assessing humus condition. Knorr, D. (ed.): Sustainable food systems, AVI Inc., Westport, Connecticut, 382-393.

BUNDESGESETZBLATT I S. 2705 (1994): Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG). Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Bonn.

- BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST (Hrsg.) (1998): Methodenbuch zur Analyse von Kompost. Köln.
- BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST (Hrsg.) (1999): Güte- und Prüfbestimmungen für Kompost.
- CHEFETZ B./ ADANI F./ GENEVINI P./ TAMBONE F./ HADAR Y./ CHEN Y. (1998): Humic-acid transformation during composting of municipal solid waste. In J. Environ. Qual. 27, 794-800.
- CHEN Y./ INBAR Y. (1993): Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. In: Science and Engineering of composting, International Composting Research Symposium, Columbus, Ohio, 551-600.
- DANNEBERG O.H./ SCHAFER K. (1984): Kompostuntersuchungen mit chromatographischer Unterscheidung von Humin- und Nichthuminstoffen. Landwirtsch. Forsch. 37, Kongressband.
- FENN L.B./ TAYLOR R.M./ MATOCHA J.E. (1981): Ammonia losses from surface-applied nitrogen fertilizer as controlled by soluble calcium and magnesium: General theory. Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 1128-1131.
- FINGER W./ POST B./ KLAMBERG H. (1990): Wechselwirkungen zwischen Boden-Huminstoffen und Metall-Ionen. I. Isolierung und Charakterisierung der Bodenhuminstoffe. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 153, 305-312.
- FINSTEIN M.S./ MILLER F.C. (1985): Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness. Composting of agricultural and other wastes, ed. J.K.R. Gasser. Elsevier Appl.Sci.Publ., 13-26.
- FRICKE K. (1989): Rottesteuerung und Qualitätssicherung. 1. Witzenhäuser Abfalltage, 7.-9. Juni 1989. Grundlagen zur Kompostierung von Bioabfällen. Fricke, Turk, Vogtmann (Hrsg.), Band 1.

- FRICKE K./ NIEßEN H./ TURK T./ VOGTMANN H. (1992): Qualität verschiedener Komposte in Abhängigkeit vom Rotteausgangsmaterial und dessen Sammelungsgebiet. Abfall-Wirtschaft 9: Gütesicherung und Vermarktung von Bioabfall-kompost, Witzenhausen.
- GARCIA C./ HERNANDEZ T./ COSTA F. (1992): Comparison of humic acids derived from city refuse with more developed humic acids. Soil Sci. Plant Nutr. 38, 2, 339-346.
- GEBEL J. (1991): Möglichkeiten einer umweltgerechten und wirtschaftlichen Aufbereitung von Gülle. Müll und Abfall, 23, 518-528.
- GERLACH A. (1973): Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Stickstoffnettomineralisation. Scripta Geobotanica. Verlag E. Goltze, Göttingen.
- GLATHE H. (1985): Biologie der Rotteprozesse bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen. In: Kumpf, Maas, Straub: Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung. Berlin.
- GOLUEKE C.G. (1977): Biological reclamation of solid waste. Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania.
- GOMEZ A./ LEJEUNE C. (1986): Comparison of the physical and chemical properties of humic acids extracted from a podzolic soil and a mature city refuse compost. De Bertoldi M., Ferranti M.P., L'Hermite P., Zucconi F. (Eds.): Compost: Production, Quality and Use. Essex 1986, 495-500.
- GOSSOW W./ GRANTZAU E./ SCHARPF H.C. (1995a): Keimpflanzentest zur Substratprüfung (Teil 1). Deutscher Gartenbau 49 (26), 1568-1571.
- GOSSOW W./ TEMMING W./ GRANTZAU E./ SCHARPF H.C. (1995b): Keimpflanzentest zur Substratprüfung (Teil 2). Deutscher Gartenbau 49 (28), 1702-1706.
- GRABBE K. (1996): Grundlagen der Bioprozessführung bei der Kompostierung biogener Reststoffe und ihre Relevanz zur Herstellung reproduzier-

barer Kompostqualitäten. Biologische Abfallbehandlung III, K. Wiemer, M. Kern (Hrsg.), Witzhausen.

GRANTZAU E. (1997): Geeignete Keimpflanzen zur Prüfung der Pflanzenverträglichkeit von Komposten, Substraten und Böden. In: Müll-Handbuch (Methoden zur Prüfung gartenbaulicher Anwendung; Verwertung von Abfällen im Landbau), Berlin, 1-9.

GRUNDMANN J. (1990): Humifizierung und Mineralisation organischer Substanz bei der Biomüllkompostierung unter dem Einfluss verschiedener Zusätze. Dissertation, Göttingen.

GRUNDMANN J. (1991): Reifegradbestimmung von Komposten durch Huminstoffanalytik. Eignung und Methode. „Müll und Abfall“ 5/1991, S. 268 ff.

GRÜNEKLEE C.E./ KLEIN T. (1993): Bedeutung der Huminstoffbildung für die biologische Restmüllstabilisierung. Biologische Abfallbehandlung. K. Wiemer, M. Kern (Hrsg.), Witzhausen.

GÜNZLER H./ BÖCK H. (1990): IR-Spektroskopie. Verlag Chemie, Weinheim.

GUSENLEITNER J./ MÜLLER H./ NIMMERVOLL W. (1982): Linzer Substrat-Test. Eine biologische Prüfung der Pflanzenverträglichkeit von Komposten und Pflanzerden. Die Bodenkultur 33 (4), 305-313.

HABERHAUER G./ RAFFERTY B./ STREBL F./ GERZABEK M.H. (1998): Comparison of the composition of forest soil litter derived from three different sites at various stages using FTIR spectroscopy. Geoderma (83), 331-342.

HARADA Y./ INOKO A. (1975): Cation-exchange properties of soil organic matter. Soil Sci. Plant. Nutr., 26, 127-134.

- HABOLD N. (1994): Zu Kenntnisstand und Methodenentwicklung des Chroma-Boden-Testes. Diplomarbeit, C.v.O.-Universität Oldenburg, FB. Biologie.
- HELM M. (1995): Prozeßführung bei der Kompostierung von organischen Reststoffen aus Haushalten. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- HERTELENDY K. (1974): Paper chromatography, a quick method to determine the degree of humification of refuse compost. IRCWD News No.7, Herausgeber: WHO International Reference Centre for Wastes Disposal, Duebendorf/CH.
- HERTELENDY K. (1975): Papierchromatographische Methode zur raschen Beurteilung des Humifizierungsgrades von Müllkomposten. "Müll und Abfall" 1975/6, S.167 ff.
- HOFFMANN K. (1973): Anorganische Chemie. 21.Auflage. Braunschweig.
- HORN M./ VOLLANDT R. (1995): Multiple Tests und Auswahlverfahren. Fischer Verlag, Stuttgart, 17ff.
- INBAR Y./ CHEN Y./ HADAR Y. (1991): Carbon-13 CPMAS NMR and FTIR Spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of solid wastes from wineries. Soil Sci., Vol. 152, No.4.
- INBAR, Y./ CHEN Y./ HADAR Y. (1989): Solid-State Carbon-13 Nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 53, 1695-1701.
- INOKO A. (1979): A rapid test for the check of maturity of city refuse compost using a paper chromatographic method. Soil Science and Plant Nutrition 25, 279-280.
- JÄGER B./ SCHENKEL W. (2001): Biologie der Rotteprozesse bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen. MuA Lfg. 2/01.

- JIMÉNEZ E.I./ GARCÍA V.P. (1989): Evaluation of city refuse compost maturity: a review. Biological wastes: agricultural, industrial and organic wastes and their development, 27, 115-142. Elsevier Appl.Sc.Publ.
- JIMÉNEZ E.I./ GARCÍA V.P. (1991): Composting of domestic refuse and sewage sludge. I. Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation-exchange capacity. Resources, Conservation and Recycling, 6, 45-60.
- JOURDAN B. (1988): Zur Kennzeichnung des Rottegrades von Müll- und Klärschlammkomposten. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, 30, Bielefeld.
- KANZLER C. (1991): Untersuchungen zur Bildentstehung der Pfeiffer-schen Rund-filterchromatographie und Beurteilung von Chromas verschiedener Bodentypen (Braunerde, Parabraunerde, Plaggenesch, Podsol) und unterschiedlicher Komposte in Zusammenhang mit ihren analytischen Kenndaten. Diplomarbeit an der Universität Oldenburg, FB 7, Bodenkunde.
- KEHRES B. (1990): Zur Qualität von Kompost aus unterschiedlichen Ausgangsstoffen. Diss. FB Landwirtschaft, GH Kassel.
- KEHRES B. (2001): Stand und Perspektiven der Bioabfallverwertung. In: Galenkemper, B. et. al.: Münsteraner Schriften zur Abfallwirtschaft, Band 4. 7. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, 29.-31. Januar 2001, 156-166.
- KEHRES B./ GOTTSCHALL R./ VOGTMANN H. (1994): Bestimmung und Bewertung der Pflanzenverträglichkeit von Kompost im Pflanzenversuch mit Sommergerste. Müll u. Abfall 4/94.
- KERN M. (1999): Stand und Perspektiven der biologischen Abfallbehandlung in Deutschland. In: Wiemer, K. und Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung III, biologisch, mechanisch, thermisch. Witzenhhausen, 293-321.
- KERN M./ SCHENKEL W. (2000): Die Behandlung und Beseitigung fester Abfälle durch biologische Verfahren. MuA Lfg.11/00.

- KHAIRY A.H./ ZIECHMANN W. (1981): Die Veränderung von Huminsäuren in alkalischer Lösung. "Zeitschrift für Pflanzenernährung u. Bodenkunde".
- KLOCKENKÄMPER R. (1984): Statistische Bewertung von Analyseverfahren und –ergebnissen. Gesellschaft deutscher Chemiker, Dortmund.
- KNORR D. (1982a): Use of a circular chromatographic method for the distinction of collard plants grown under different fertilizing conditions. "Biological Agriculture and Horticulture", Vol.1, p. 29 ff.
- KOCH E. (1989): Schnelltest zur Qualitätskontrolle von Kompost. „Müll und Abfall“ 8/89, S. 426 ff.
- KOEPF H.H. (1964): Soil tests and chromatograms. "Bio-Dynamics" No.69 p.1 ff.
- KÖGEL-KNABNER I. (1993): Biodegradation and humification processes in forest soils. In: Bollag J.-M., Stotzky G. (Eds.): Soil Biochemistry, Vol.8 Marcel Dekker, New York, pp. 101-135.
- KÖGEL-KNABNER I./ SIEBERT S./ LEIFELD J. (1996): Humifizierungsprozesse von Kompost nach der Ausbringung auf den Boden. In: Stegmann (Hrsg.): Neue Techniken der Kompostierung. Hamburger Berichte Band 11; Economica Verlag, Bonn.
- KONONOVA M.M. (1966): Soil organic matter. Pergamon Press, Oxford.
- KONONOWA, M.M. (1958): Die Humusstoffe des Bodens. Berlin.
- KÖRNER I./ MALTZ I./ RITZKOWSKY M./ HARTZ J./ JENSEN U./ BRILSKY H./ STEGMANN R. (1996): Stickstoffdynamik bei der Kompostierung. Stegmann (Hrsg.): Neue Techniken der Kompostierung. Hamburger Berichte Band 11; Economica Verlag, Bonn.
- KROGMANN U. (1994a): Neueste Erkenntnisse über die Grundlagen der Kompostierung. EP 4/94.

- KROGMANN U. (1994b): Kompostierung. Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung. Hamburger Berichte; 7: Abfallwirtschaft.- Bonn: Economica Verlag.
- KÜHNER M./ SIHLER A. (1996b): Qualitätskriterium Rottegrad. Grenzen und Möglichkeiten. Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau.
- KUNTZE H. (1994): Physiko-chemische Bodeneigenschaften. In: Kuntze, H., Roeschmann, G. und Schwertfeger, G.: Bodenkunde. 113-131, Stuttgart.
- LAGA M 10 (1995): Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost aus Müll und Müll/ Klärschlamm. Merkblatt 10 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall. Müllhandbuch, Berlin.
- LVG HANNOVER-AHLEM/ PLANCoTEC WITZENHAUSEN/ INST. FÜR PFLANZENERNÄHRUNG DER TU HANNOVER (1997): F- u. E-Vorhaben Substratentwicklung auf Kompostbasis, Abschlussbericht. DBU (Hrsg.): Initiativen zum Umweltschutz. Osnabrück.
- MACCARTHY P./ RICE J.A. (1985): Spectroscopic methods (other than NMR) for determining functionality in humic substances. In Aiken G. et al.: Humic substances in Soil, sediment and water. Geochemistry, Isolation and Charakterisation. New York, 526-559.
- MATHUR S.P./ OWEN G./ DINEL H./ SCHNITZER M. (1993): Determination of com-post bio-maturity. I. Literature Review. Biological Agriculture and Horticulture 10 (1993): 65-85.
- MUNSELL COLOR (1975): Munsell Soil Color Charts. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland.
- NASILOWSKI K./ GRANTZAU E. (1992): Kompostqualität durch Keimlingspflanzen testen. Gartenbau- Magazin 1 (12) 46-47.
- NIEMEYER J./ CHEN Y./ BOLLAG J.M. (1992): Characterization of humic acids, composts and peat by diffuse reflectance Fourier-Transform IR. Journal Soil Science Society of America, 56, 135-140.

- NIESE G. (1959): Mikrobiologische Untersuchungen zur Frage der Selbsterhitzung organischer Stoffe. Archiv für Mikrobiologie 34, 285-318. 1959.
- OUATMANE A./ PROVENZANO M.R./ HAFIDI M./ SENESI N. (2000): Compost maturity assessment using calorimetry, spectroscopy and chemical analysis. Compost Science & Utilisation, Vol 8, 2, 124-134.
- Page A.L. (Hrsg.) (1982): Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties, 2. Auflage. Madison, Wisconsin, USA.
- PETERSEN U./ STÖPPLER-ZIMMER H. (1996b): Anwendungsversuche mit Komposten unterschiedlichen Reifegrades. Stegmann (Hrsg.): Neue Techniken der Kompostierung. Hamburger Berichte Band 11; Economica Verlag, Bonn.
- PFEIFFER E. (1959a): The art and science of composting. "Bio-Dynamics" No 50, p.2 ff.
- PFEIFFER E. (1959b): Eine qualitative chromatographische Methode zur Bestimmung biologischer Werte. "Lebendige Erde" 1959/5, S.205 ff.
- PFEIFFER E. (1960): Chromatographische Untersuchungen an Samen, Mehlen, Hefen und deren Produkten. "Lebendige Erde" 1960/5, S.204 ff.
- PICCOLO A. / ZACCHEO P. / GENEVINI P.G. (1992): Chemical characterization of humic substances extracted from organic-waste-amended soils. Bioresour. Technol. 40, 275-282.
- POPP L. (1997): Reifekriterien und Einsatzmöglichkeiten für Komposte aus Bioabfall im Gartenbau und Garten-Landschaftsbau. Aachen: Shaker.
- POPP L./ FISCHER P. (1995): Beurteilung der Kompostqualität. in: Kuratorium f. Technik u. Bauwesen i. d. Landwirtschaft, 36-41, Landwirtschaftsverlag Münster.
- POPP L./ FISCHER P. (1996): Biological parameters to estimate the effect of biogenic waste composts on Plant Growth in Pot Trials. De Bertoldi M.,

- Sequi P., Lemmes B., Papi T. (Eds.): The Science of Composting . Blackie Academic & Professional, London, 294-305.
- RAL. DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG E.V. (1992): Kompost. Gütesicherung RAL-GZ 251. Bonn.
- ROCHUS W. (1978): Die Ausbildung des Humuskomplexes im Verlauf der Verrottung von Siedlungsabfällen. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 27/78, 79-86.
- ROLETTO E. UND CERUTTI M. (1985): Investigation on Humic Substances from decomposing spruce bark. Agric. Wastes 13, 137-148.
- SABARTH E. (1962): Chromatograms of soils: B.D. preparations and their source materials. "Bio-Dynamics" No.62, 9 ff.
- SCHEFFER F./ SCHACHTSCHABEL P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde 13. Auflage, Stuttgart.
- SCHEIDT M. (1989): Über die Humusqualität verschiedener Komposte. Mitteilgn. dtsch. bodenkundl. Gesellsch., 59/I, 465-470.
- SCHINNER F./ ÖHLINGER R./ KANDELER E. (1991): Bodenbiologische Arbeitsmethoden. Springer-Verlag, Berlin.
- SCHLICHTING E./ BLUME H.P. (1995): Bodenkundliches Praktikum. Hamburg.
- SENESI N./ BRUNETTI G. (1996): Chemical and physico-chemical parameters for quality evaluation of humic substances produced during composting. De Bertoldi M., Sequi P., Lemmes B., Papi T. (Eds.): The Science of Composting . Blackie Academic & Professional, London, 195-212.
- SENESI N./ MIANO T.M./ PROVENZANO M.R./ BRUNETTI G. (1989): Spectroscopic and compositional comparative characterization of I.H.S.S. reference and standard fulvic and humic acids of various origin. Sci. Total Environ. 81/82: 143-156.

- SEQUI P. (1996): The role of composting in sustainable agriculture. De Bertoldi M., Sequi P., Lemmes B., Papi T. (Eds.): The Science of Composting . Blackie Academic & Professional, London, 23-59.
- SIHLER A./ BIDLINGMAIER W. (1993): Analysenübersicht von Komposten und deren Ausgangsmaterialien unterschiedlicher Herkunft. Dokumentation des BMFT-Statusseminars „Neue Techniken zur Kompostierung“ in Hamburg.
- SPRINGER U. (1948): Beitrag zur Fraktionierung der echten Huminstoffe. Bodenk. u. Pflanzenernähr. 32, 3, 129-146.
- STEVENSON F.J. (1982): Humus chemistry. Genesis, composition, reactions. New York.
- STÖCKER G. (1971): Die Bestimmung von Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Stickstoff mit einer Mikrodestillationsmethode bei ökologischen Untersuchungen. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 11 (3), 183-192.
- THENG B.K.G./ POSNER A.M. (1967): Nature of the carbonyl groups in soil humic acid. Soil Sci. 102: 70-72.
- THENG B.K.G./ WAKE J.R.H./ POSNER A.M. (1966): The infrared spectrum of humic acid. Soil Sci. 104: 191-201.
- THOMÉ-KOZMIENSKY K.J. (1995): Biologische Abfallbehandlung. Berlin.
- Tomati U./ Madejon E./ Galli E. (2000): Evolution of humic acid molecular weight as an index. Compost Science & Utilisation, Vol 8, 2, 108-115.
- UEBER E./ GRANTZAU E./ SCHARPF H.-C. (1996): Chinakohl-Keimpflanzen signalisieren Schadfaktoren. TASPO-Gartenbaumagazin 5 (4), 38-41.
- VDLUFA (Hrsg.) (1978): Methodenbuch Band I (Die Untersuchung von Böden), 2. Teillieferung: A 10.2.1 Nachweis von pflanzenschädigenden Stoffen in Böden, gärtnerischen Substraten und Komposten. Bonn.

- VOITL H./ GUGGENBERGER E. (1986): Der Chroma-Boden-Test. Wien.
- VON RHEINBABEN W. (1994): Ammoniakfreisetzung bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen in Abhängigkeit von variierten Belüftungsraten in halbtechnischen Versuchen. Müll und Abfall, 8/94.
- WELTE E. (1956): Zur Konzentrationsmessung von Huminsäuren. "Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde", Nr. 74, S.219 ff.
- WITT J. (1980): Die Humusstoffbestimmung als Grundlage für die Erkennung des Reifegrades von Siedlungsabfallkompost. Landwirtsch. Forsch., Sonderheft 38, Trier.
- ZAIED H./ VAN DEN WEGH I. (2000): Vergleich von physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Parametern hinsichtlich ihrer Eignung zur Bestimmung der Kompostreife. Müll und Abfall 8, 464-468.
- ZECH W./ ALT H. (1986): IR-, H-NMR- und C-NMR-spektroskopische Untersuchungen dioxanlöslicher Substanzen in Coniferenstreu. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 149, 262-270.
- ZIECHMANN W. (1980): Huminstoffe. Weinheim.
- ZIECHMANN W. (1981): Über Eigenschaften, Aufbau und Bedeutung der Huminstoffe. TELMA, 11, 159-176.
- ZIECHMANN W. (1996): Huminstoffe und ihre Wirkungen. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akad. Verlag.
- ZIECHMANN W./ ROCHUS W./ SACHSE B. (1970): Die Bildung von Huminstoffen als Kennzeichen der Umsetzung von Müllkompost. Landw. Forsch. Sonderheft 25/ II, 47-58.
- ZUCCONI F./ FORTE M./ MONACO A./ DE BERTOLDI M. (1981): Biological evaluation of compost maturity. BioCycle July/ August 1981, 27-29.

8 Anhang 1

Tab. A1: Analysenergebnisse: Wassergehalt, pH (CaCl₂), Glühverlust, N_{ges.}, C_{ges.}, C/N

Probe	Wassergehalt [g 100 g ⁻¹]	pH-Wert CaCl ₂	Glühverlust [g 100 g ⁻¹]	N _{ges.} [g 100 g ⁻¹]	C _{ges.} [g 100 g ⁻¹]	C/N
1.1/W0	57,7 ±0,3	5,1	38,9 ±3,0	1,1 ±0,1	17,4 ±1,3	16
1.1/W2	62,6 ± --	6,2	35,5 ±0,5	1,3 ±0,1	20,2 ±1,2	16
1.1/W4	57,3 ±0,7	6,5	36,2 ±0,7	1,0 ±0,1	17,1 ±1,2	17
1.1/W6	57,4 ±0,2	6,5	35,7 ±1,9	1,3 ±0,1	17,8 ±1,8	14
1.1/W9	51,6 ± --	6,7	32,4 ±0,9	1,2 ±0,1	14,7 ±0,7	13
1.1/W12	46,9 ±1,1	6,8	30,0 ±1,6	1,6 ±0,1	17,3 ±1,3	11
1.1/W16	48,7 ±0,1	7,2	28,7 ±1,6	1,7 ±0,0	17,8 ±0,6	11

1.2/W0	54,7 ± --	5,5	39,0 ±1,0	1,1 ±0,1	22,1 ±0,2	20
1.2/W2	62,8 ±0,2	5,3	38,8 ±1,0	1,4 ±0,1	20,4 ±0,9	15
1.2/W4	59,7 ±0,6	6,2	38,14 ±1,5	1,2 ±0,1	19,1 ±1,3	16
1.2/W7	56,4 ± --	6,8	34,6 ±0,6	1,4 ±0,0	18,8 ±0,5	14
1.2/W10	49,5 ±0,8	7,1	30,2 ±1,2	1,5 ±0,2	17,3 ±2,1	11
1.2/W14	53,4 ±0,9	7,2	26,9 ±2,1	2,0 ±0,3	26,0 ±1,4	13

2.1/W0	64,7 ±1,2	4,8	50,2 ±5,7	1,7 ±1,0	29,5 ±1,5	17
2.1/W2	50,0 ± --	5,5	49,7 ± --	1,9 ±0,1	24,9 ±0,8	13
2.1/W4	51,2 ±0,9	5,7	45,9 ±3,4	1,9 ±0,1	23,5 ±0,5	12
2.1/W6	51,4 ±1,9	6,3	46,7 ±1,0	1,9 ±0,0	28,1 ±0,3	15
2.1/W9	45,4 ± --	7,8	43,2 ±2,5	2,3 ±0,2	26,1 ±3,3	12
2.1/W12	43,0 ±0,7	8,2	40,1 ±1,0	2,1 ±0,2	22,2 ±2,3	11
2.1/W14	42,7 ±0,1	8,3	36,1 ±1,1	2,1 ±0,1	20,5 ±1,6	10
2.1/W16	43,4 ±0,9	8,4	38,3 ±0,5	2,4 ±0,2	22,6 ±2,7	9
2.1/W18	40,5 ±1,1	8,1	39,3 ±1,8	2,1 ±0,2	20,0 ±1,7	9

2.2/W0	49,4 ±0,6	4,5	37,3 ±1,0	1,2 ±0,0	19,7 ±0,6	16
2.2/W2	33,9 ±0,3	5,5	35,1 ±1,6	0,9 ±0,0	13,0 ±1,8	15
2.2/W4	34,1 ±1,1	5,7	32,8 ±2,2	0,9 ±0,0	14,9 ±0,5	16
2.2/W6	41,9 ±1,4	6,9	30,4 ±1,1	0,9 ±0,1	12,5 ±1,3	14
2.2/W8	38,2 ±0,4	7	27,6 ±0,2	0,7 ±0,1	9,1 ±0,5	12
2.2/W10	38,1 ± --	7,9	29,1 ±1,8	1,2 ±0,0	15,6 ±0,5	13
2.2/W12	37,1 ±1,0	7,5	29,4 ±1,6	1,6 ±0,1	17,9 ±1,0	11
2.2/W14	32,0 ±0,5	7,9	24,4 ±0,6	1,6 ±0,0	17,5 ±0,6	11

2.3/W0	47,7 ±0,4	4,6	35,8 ±0,7	0,8 ±0,0	15,8 ±1,8	19
2.3/W2	38,2 ±0,4	6	34,5 ±1,4	1,0 ±0,1	15,0 ±1,5	14
2.3/W4	30,7 ±0,6	6,1	31,9 ±2,7	1,4 ±0,0	12,5 ±0,2	9
2.3/W6	35,2 ± --	5,8	31,4 ±0,7	1,0 ±0,1	14,3 ±1,7	14
2.3/W8	36,9 ±0,3	5,5	33,5 ±2,1	1,2 ±0,1	17,9 ±1,8	15
2.3/W10	32,8 ±3,6	6,9	29,4 ±2,8	1,2 ±0,0	20,1 ±0,4	17
2.3/W24	39,1 ±1,0	8,2	25,4 ±2,2	1,5 ±0,1	16,3 ±1,6	11

Probe	Wassergehalt [g 100 g ⁻¹]	pH-Wert CaCl ₂	Glühverlust [g 100 g ⁻¹]	N _{ges.} [g 100 g ⁻¹]	C _{ges.} [g 100 g ⁻¹]	C/N
2.4/W0	63,3 ±0,2	4,4	53,9 ±1,2	1,6 ±0,0	27,2 ±0,8	17
2.4/W2	37,7 ±0,3	6,8	43,7 ±1,5	1,5 ±0,0	21,0 ±0,2	14
2.4/W4	42,3 ±1,9	7,5	35,7 ±0,3	1,8 ±0,2	21,7 ±2,7	12
2.4/W7	36,2 ±0,4	8,5	33,1 ±0,7	1,3 ±0,1	16,8 ±0,2	13
2.4/W10	33,8 ±0,9	8,4	29,0 ±1,4	1,4 ±0,2	14,2 ±1,6	11
2.4/W14	34,2 ±0,1	8,6	30,8 ± 1,9	1,5 ±0,1	16,3 ±1,1	11

3.1/W0	65,0 ±1,2	5,0	50,5 ±3,9	1,1 ±0,0	21,6 ±0,1	20
3.1/W4	58,5 ±0,4	6,3	41,8 ±4,1	1,4 ±0,0	20,7 ±0,3	14
3.1/W6	60,04 ± --	6,4	45,4 ±0,6	1,8 ±0,1	24,8 ±1,5	14
3.1/W9	60,8 ± --	8	38,0 ±1,0	1,7 ±0,1	22,8 ±1,4	14
3.1/W12	59,3 ±0,2	7,9	37,8 ±1,2	2,3 ±0,0	30,1 ±0,6	13
3.1/W14	57,7 ±1,0	7,9	35,5 ±0,6	1,8 ±0,1	24,9 ±2,6	14
3.1/W16	57,7 ±0,8	8,1	35,6 ±1,0	1,8 ±0,1	20,8 ±1,5	11
3.1/W18	55,1 ±0,5	7,7	36,3 ±2,5	1,7 ±0,2	23,4 ±1,8	14

3.2/W0	44,5 ±3,0	5,1	32,6 ±2,4	1,2 ±0,0	19,5 ±0,1	17
3.2/W2	33,8 ±2,0	6	34,9 ±4,0	0,8 ±0,1	12,5 ±0,9	15
3.2/W4	33,6 ±2,6	5,9	38,1 ±3,4	1,1 ±0,1	18,9 ±0,7	17
3.2/W6	42,7 ±2,7	7,6	35,2 ±0,6	1,1 ±0,1	14,7 ±0,6	13
3.2/W8	19,5 ±0,3	6,8	23,4 ±2,4	1,2 ±0,1	12,0 ±1,2	10
3.2/W10	24,2 ± --	6,3	30,8 ±1,0	1,7 ±0,2	22,3 ±1,5	14
3.2/W12	28,1 ±1,2	6,3	34,4 ±2,8	1,1 ±0,1	18,7 ±1,3	17

4.1/W0	61,8 ±0,1	6,6	50,6 ±0,9	1,2 ±0,3	32,8 ±0,2	28
4.1/W2	62,2 ±0,8	7,8	48,8 ±2,6	1,0 ±0,0	17,8 ±0,2	17
4.1/W4	60,0 ±0,4	8,1	46,5 ±5,1	1,3 ±0,1	22,8 ±0,8	18
4.1/W6	56,9 ±0,2	8,1	38,0 ±1,3	1,2 ±0,0	20,4 ±0,3	16
4.1/W8	56,7 ±2,2	8,1	37,7 ±1,4	1,4 ±0,1	16,7 ±0,7	12
4.1/W10	50,6 ± --	8	27,0 ±2,2	0,8 ±0,0	13,6 ±0,6	16

4.2/W1	48,3 ±1,5	7,6	35,1 ±0,8	1,0 ±0,1	13,9 ±0,8	14
4.2/W3	37,1 ±0,1	8,1	24,4 ±2,2	1,0 ±0,0	12,0 ±0,3	12
4.2/W5	37,0 ±0,5	7,4	19,7 ±0,7	1,2 ±0,0	8,6 ±0,5	7
4.2/W7	35,0 ± --	7,5	21,7 ±0,7	1,7 ±0,1	15,8 ±0,4	10
4.2/W9	35,7 ±0,2	6,9	21,2 ±0,5	1,1 ±0,1	12,7 ±1,4	12
4.2/W11	35,9 ±0,0	7,4	18,6 ±0,5	0,7 ±0,0	7,9 ±0,4	11

4.3/W1	49,2 ±0,5	7,5	35,9 ±3,7	1,1 ±0,1	21,7 ±0,9	20
4.3/W3	46,3 ±0,1	7,4	36,6 ±2,6	0,9 ±0,0	18,4 ±0,2	20
4.3/W5	38,6 ±1,0	7,2	32,6 ±1,2	1,1 ±0,1	15,7 ±0,8	15
4.3/W7	45,3 ±0,6	7,3	29,1 ±2,0	0,9 ±0,0	15,1 ±0,4	17
4.3/W13	47,3 ±0,4	6,2	29,0 ±1,3	1,1 ±0,0	17,9 ±1,0	17

5.1/W0	56,5 ±0,0	5,0	66,4 ±1,8	2,0 ±0,2	35,0 ±0,3	18
5.1/W3	42,8 ±0,7	6,2	56,3 ±1,6	2,1 ±0,3	31,9 ±0,4	15

Probe	Wassergehalt [g 100 g ⁻¹]	pH-Wert CaCl ₂	Glühverlust [g 100 g ⁻¹]	N _{ges.} [g 100 g ⁻¹]	C _{ges.} [g 100 g ⁻¹]	C/N
5.2/W0	60.8 ±1.0	5,5	74.6 ±1.9	1.4 ±0.0	39.1 ±1.2	29
5.2/W3	50.4 ±4.6	5,6	67.4 ±2.3	1.8 ±0.1	31.1 ±0.5	18
5.2/W6	31.5 ±0.3	7,1	59.5 ±4.7	2.4 ±0.3	27.7 ±3.5	12
5.2/W8	26.2 ±0.3	6,5	57.2 ±5.7	2.6 ±0.1	32.7 ±2.8	13

5.3/W0	55.2 ±0.3	5,2	48.0 ±2.7	0.7 ±0.0	25.6 ±0.5	36
5.3/W3	58.3 ±0.5	6,3	42.2 ±0.9	1.0 ±0.0	24.1 ±0.3	23
5.3/W6	54.6 ±0.9	6,6	48.0 ±1.4	0.9 ±0.1	16.1 ±0.2	18
5.3/W8	49.6 ±0.7	6,4	47.0 ±4.5	1.1 ±0.0	19.6 ±0.3	18

6.1/W4	30.7 ±0.3	7,5	34.8 ±2.3	1.3 ±0.2	18.1 ±0.2	14
6.1/W6	18.2 ±0.3	7,5	31.2 ±0.7	1.2 ±0.1	18.1 ±0.2	15
6.1/W9	34.6 ±0.6	7,6	30.4 ±2.8	1.1 ±0.0	17.2 ±0.3	16
6.1/W12	37.8 ±0.5	7,3	32.2 ±2.5	1.3 ±0.1	18.5 ±1.0	14
6.1/W15	43.4 ±0.9	7,3	36.8 ±1.4	1.6 ±0.1	22.1 ±0.6	14
6.1/W18	44.8 ±0.4	7,1	35.3 ±1.4	1.3 ±0.1	18.4 ±0.7	14

7.1/W0	42.5 ±1.3	5,0	25.7 ±2.5	0.4 ±0.0	11.1 ±0.2	25
7.1/W2	35.7 ±0.0	8,1	26.4 ±2.0	0.8 ±0.0	15.4 ±0.2	19
7.1/W4	36.3 ±2.4	7,7	19.9 ±1.1	0.8 ±0.0	9.6 ±0.4	12
7.1/W6	37.8 ±1.8	7,4	19.6 ±0.6	0.85 ±0.0	10.6 ±0.6	14
7.1/W9	40.2 ±0.2	7,7	19.4 ±1.9	0.9 ±0.0	11.1 ±1.0	12
7.1/W15	40.8 ±0.4	7,7	18.6 ±0.9	1.0 ±0.1	11.2 ±0.1	12
7.1/W17	37.6 ±1.0	7,6	17.9 ±1.1	0.9 ±0.1	10.4 ±0.9	11

7.2/W0	47.4 ±1.1	4,8	33.0 ±3.3	0.8 ±0.0	17.3 ±0.5	23
7.2/W2	40.4 ±1.4	6,8	25.0 ±2.2	0.7 ±0.0	12.0 ±0.3	17
7.2/W4	39.4 ±2.2	7,8	23.9 ±0.7	0.7 ±0.0	13.1 ±0.1	18
7.2/W7	35.5 ±0.4	7,4	18.5 ±0.9	0.8 ±0.0	10.9 ±0.1	13
7.2/W13	37.8 ±0.3	7,7	19.5 ±1.2	0.8 ±0.0	9.2 ±0.2	12
7.2/W15	32.8 ±0.7	7,1	20.1 ±1.8	0.8 ±0.1	10.7 ±0.7	13

9.1/W1	53.9 ±0.1	5,1	53.2 ±1.1	1.0 ±0.1	24.2 ±1.7	24
9.1/W3	47.8 ±0.0	6,0	46.6 ±1.7	1.1 ±0.0	24.9 ±0.3	22
9.1/W5	42.2 ±2.5	6,9	40.6 ±2.1	1.2 ±0.0	19.8 ±2.6	17
9.1/W8	42.3 ±0.1	5,9	41.6 ±2.0	1.9 ±0.2	30.1 ±2.2	16
9.1/W11	37.8 ±0.6	7,8	36.0 ±1.2	1.5 ±0.2	21.1 ±2.2	15
9.1/W15	38.8 ±0.2	7,8	39.2 ±5.6	1.4 ±0.1	18.9 ±1.5	13

9.2/W1	52.3 ±0.1	5,2	53.0 ±0.6	1.1 ±0.1	26.2 ±1.8	24
9.2/W3	47.1 ±0.9	5,6	47.4 ±1.2	1.1 ±0.0	26.4 ±0.2	24
9.2/W5	42.5 ±0.7	6,4	40.4 ±0.2	1.3 ±0.1	24.3 ±1.5	19
9.2/W8	38.8 ±0.1	6,4	41.0 ±2.4	1.2 ±0.0	20.6 ±1.8	17
9.2/W11	39.7 ±0.1	7,6	37.6 ±2.7	1.4 ±0.2	20.4 ±2.1	14
9.2/W15	43.1 ±0.1	7,7	37.0 ±0.9	1.3 ±0.1	19.0 ±2.4	14

Probe	Wassergehalt [g 100 g ⁻¹]	pH-Wert CaCl ₂	Glühverlust [g 100 g ⁻¹]	N _{ges.} [g 100 g ⁻¹]	C _{ges.} [g 100 g ⁻¹]	C/N
9.3/W3	48,3 ±0,2	6,5	50,1 ±3,4	1,2 ±0,0	24,8 ±1,1	20
9.3/W1	53,2 ±0,1	5,0	48,5 ±0,4	0,9 ±0,0	24,1 ±0,4	26
9.3/W5	47,0 ±0,1	7,0	43,0 ±1,6	1,2 ±0,1	20,4 ±1,4	17
9.3/W8	44,9 ±0,5	7,4	37,5 ±0,2	1,5 ±0,2	21,1 ±2,0	14
9.3/W11	47,8 ±0,1	7,7	38,1 ±0,5	1,4 ±0,2	18,7 ±2,5	14

10.1/W0	52,2 ±0,9	5,3	50,8 ±1,3	1,4 ±0,0	26,5 ±0,8	19
10.1/W2	44,3 ±0,6	6,4	38,4 ±2,3	1,1 ±0,0	20,7 ±0,3	20
10.1/W4	49,8 ±0,4	7,9	33,0 ±1,0	0,8 ±0,1	13,6 ±1,2	16
10.1/W7	48,0 ±0,7	7,7	30,6 ±0,7	1,0 ±0,1	15,7 ±0,2	15
10.1/W10	49,8 ±0,4	7,7	32,1 ±1,1	1,3 ±0,1	16,3 ±1,6	13
10.1/W14	47,3 ±0,5	8,2	31,2 ±1,2	1,1 ±0,0	14,5 ±0,7	13

10.2/W0	53,5 ±1,3	6,8	30,8 ±0,6	0,9 ±0,0	17,0 ±0,1	19
10.2/W2	48,5 ±1,3	7,5	30,9 ±3,9	0,9 ±0,0	16,5 ±1,1	18
10.2/W4	48,2 ±0,4	7,7	30,4 ±1,1	0,9 ±0,0	15,1 ±0,3	18
10.2/W7	49,6 ±0,0	7,7	33,4 ±0,9	1,3 ±0,1	16,5 ±1,7	13
10.2/W10	50,5 ±0,1	8,0	33,6 ±2,1	1,5 ±0,1	20,6 ±0,8	14

Tab. A2: Analysenergebnisse: N_{min}, Selbsterhitzung, KAK, Huminstoffe in der organischen Substanz; Messergebnisse: Mieten-temperatur

Probe	NH ₄ [mg kg ⁻¹ TS]	NO ₃ [mg kg ⁻¹ TS]	Selbsterh. [°C] /RG	KAK [cmolc kg ⁻¹]	Huminst/ org.S. [mg g ⁻¹]	Mieten- temp.[°C]
1.1/W0	276.0 ± --	18.2 ± --	-	-	-	56
1.1/W2	617.3 ±5,2	3.3 ±0,4	-	-	-	58
1.1/W4	272.0 ±10,4	0.0 ±0,0	-	-	-	56
1.1/W6	281,0 ±2,4	3,5 ±0,5	-	-	281,0 ±10,0	70
1.1/W9	503.1 ±0,0	31.3 ±0,5	30 / V	-	-	58
1.1/W12	752.3 ±5,9	41,0 ±4,7	39 / IV	-	-	54
1.1/W16	877.8 ±6,4	112.8 ±10,2	25 / V	-	403.9 ±39,1	46

1.2/W0	1715.3 ±3,9	12.3 ±0,9	-	-	-	50
1.2/W2	541.0 ±17,8	0.0 ±0,0	-	-	-	56
1.2/W4	338,4 ±2,6	16,5 ±1,6	-	-	-	60
1.2/W7	344,0 ±12,5	33,2 ±2,7	42 / III	-	-	60
1.2/W10	541,5 ±2,0	32,9 ±2,0	32 / IV	-	-	34
1.2/W14	678,1 ±0,0	94,8 ±6,7	30 / V	-	-	52

2.1/W0	578.0 ± --	15.7 ± --	-	-	-	-
2.1/W2	52,7 ±6,4	12,4 ±0,3	-	-	-	-
2.1/W4	2304,2 ±18,1	0,0 ±0,0	-	-	-	-
2.1/W6	2594,9 ±10,9	14,0 ±1,6	-	-	-	-
2.1/W9	610,5 ±10,1	25,5 ±1,9	66 / I	-	-	-
2.1/W12	2243,8 ±122,5	25,4 ±0,0	48 / III	-	-	-
2.1/W14	2449,1 ±14,3	14,8 ±1,5	38 / IV	-	-	-
2.1/W16	2305,0 ±24,9	40,3 ±3,4	34 / IV	-	-	-
2.1/W18	2044,2 ±5,4	77,9 ±6,9	22 / V	-	326,2 ±3,1	-

2.2/W0	614,2 ±4,1	35,6 ±2,1	67 / I	9,8 ±0,3	114,1 ±0,9	-
2.2/W2	1368,5 ±11,4	11,0 ±1,7	65 / I	-	-	-
2.2/W4	1533,4 ±15,6	21,7 ±0,1	60 / II	12,5 ±0,2	163,0 ±3,0	-
2.2/W6	1694,3 ±42,7	33,3 ±3,6	53 / II	12,7 ±0,4	207,1 ±2,5	-
2.2/W8	1752,6 ±6,6	20,5 ±0,0	62 / I	-	-	-
2.2/W10	1880,2 ±12,5	4,4 ±0,0	56 / II	-	-	-
2.2/W12	2198,8 ±59,0	0,0 ±0,0	39 / IV	15,4 ±0,6	275,8 ±1,9	-
2.2/W14	1423,0 ±1,6	27,6 ±1,6	27 / V	15,0 ±0,2	387,3 ±1,1	-

2.3/W0	1074,6 ±23,6	32,8 ±3,9	66 / I	10,9 ±0,4	112,5 ±1,4	-
2.3/W2	2132,3 ±49,8	34,3 ±1,7	66 / I	14,4 ±0,7	182,6 ±0,9	-
2.3/W4	1882,8 ±26,8	21,7 ±1,4	60 / II	14,4 ±0,1	230,8 ±2,2	-
2.3/W6	2270,8 ±29,3	10,9 ±0,3	58 / II	-	-	-
2.3/W8	2571,0 ±28,7	0,0 ±0,0	65 / I	14,2 ±0,4	186,0 ±0,4	-
2.3/W10	1831,2 ±9,5	41,3 ±4,7	63 / I	16,2 ±0,5	227,5 ±3,4	-
2.3/W24	2330,6 ±13,2	36,3 ±1,7	24 / V	17,4 ±0,4	328,1 ±0,7	-

2.4/W0	5262,7 ±112,0	0,0 ±0,8	65 / I	-	-	-
2.4/W2	2342,0 ±29,1	32,0 ±1,6	64 / I	-	193,0 ±4,6	-
2.4/W4	2592,1 ±10,2	37,8 ±2,7	60 / 2	-	-	-
2.4/W7	2084,1 ±4,6	27,1 ±1,5	44 / III	-	-	-
2.4/W10	2383,3 ±9,2	18,9 ±2,0	32 / IV	-	-	-
2.4/W14	2061,6 ±10,7	85,4 ±8,0	28 / V	-	338,2 ±1,8	-

Probe	NH ₄ [mg kg ⁻¹ TS]	NO ₃ [mg kg ⁻¹ TS]	Selbsterh. [°C] /RG	KAK [cmolc kg ⁻¹]	Huminst/ org.S. [mg g ⁻¹]	Mieten- temp.[°C]
3.1/W0	435.0 ± --	32.4 ± --	-	-	-	-
3.1/W4	835.4 ±21.3	2.0 ±0.8	-	-	-	-
3.1/W6	969.3 ±7.9	13.2 ±1.4	-	-	-	-
3.1/W9	837.4 ±35.6	21.8 ±1.2	34 / IV	-	-	-
3.1/W12	428.6 ±2.6	47.6 ±2.5	25 / V	15.0 ±0.4	256.1 ±4.2	-
3.1/W14	476.4 ±7.4	6.8 ±0.8	22 / V	17.3 ±0.8	316.4 ±1.8	-
3.1/W16	384.3 ±2.6	21.0 ±1.4	22 / V	18.1 ±0.4	300.4 ±2.0	-
3.1/W18	38.8 ±1.2	35.6 ±4.6	22 / V	19.2 ±0.3	305.0 ±9.7	-

3.2/W0	187.1 ±0.0	18.2 ±1.8	64 / I	-	-	-
3.2/W2	1051.3 ±25.6	17.2 ±0.6	60 / II	-	-	-
3.2/W4	933.4 ±9.3	0.0 ±4.6	55 / II	-	-	-
3.2/W6	1447.4 ±21.3	7.9 ±0.6	50 / III	-	-	-
3.2/W8	907.1 ±5.1	12.4 ±0.0	57 / II	-	-	-
3.2/W10	1211.5 ±45.8	7.6 ±0.7	63 / I	-	-	-
3.2/W12	1584.5 ±20.4	0.0 ±3.0	61 / I	-	-	-

4.1/W0	0,0 ±3,6	0,0 ±0,0	61 / I	14,6 ±0,5	209,4 ±4,7	28
4.1/W2	125,9 ±0,0	28,6 ±1,4	29 / V	-	-	60
4.1/W4	0,0 ±5,2	0,0 ±1,3	25 / V	12,5 ±0,4	165,9 ±5,1	47
4.1/W6	14,3 ±0,0	20,8 ±0,0	22 / V	14,1 ±0,2	152,2 ±4,6	44
4.1/W8	0,0 ±2,4	1,6 ±2,3	23 / V	17,5 ±0,3	164,3 ±1,5	38
4.1/W10	20,0 ±2,1	20,0 ±0,0	23 / V	17,1 ±0,6	215,1 ±2,6	-

4.2/W1	1470,3 ±23,6	11,0 ±1,4	60 / II	12,7 ±0,6	122,1 ±1,6	68
4.2/W3	1041,8 ±17,1	12,9 ±1,7	28 / V	16,2 ±0,4	162,8 ±1,0	57
4.2/W5	42,6 ±1,6	65,6 ±3,2	23 / V	16,4 ±0,1	193,9 ±1,5	48
4.2/W7	1,1 ±0,6	46,7 ±0,0	23 / V	-	-	43
4.2/W9	4,6 ±0,6	125,8 ±6,8	20 / V	14,4 ±0,5	176,3 ±0,4	38
4.2/W11	7,0 ±1,0	198,5 ±1,6	20 / V	14,4 ±0,2	199,0 ±1,1	30

4.3/W1	525,9 ±44,7	8,4 ±0,3	59 / II	-	-	69
4.3/W3	87,1 ±5,9	2,6 ±1,9	26 / V	-	186,0 ±6,1	60
4.3/W5	36,6 ±2,7	1,2 ±1,6	20 / V	-	-	51
4.3/W7	43,0 ±5,2	16,9 ±1,7	23 / V	-	-	36
4.3/W13	5,8 ±2,1	11,3 ±2,0	24 / V	-	221,6 ±2,3	20

5.1/W0	1387,8 ±40,6	63,8 ±4,6	67 / I	-	-	-
5.1/W3	1531,0 ±19,9	28,1 ±1,8	68 / I	-	-	-

5.2/W0	908,9 ±7,9	78,5 ±2,6	67 / I	-	-	-
5.2/W3	1440,2 ±6,5	22,4 ±1,2	62 / I	-	136,7 ±8,2	-
5.2/W6	1781,4 ±10,6	16,9 ±1,5	25 / V	-	-	-
5.2/W8	2213,8 ±5,7	20,7 ±2,7	24 / V	-	165,1 ±11,9	-

Probe	NH ₄ [mg kg ⁻¹ TS]	NO ₃ [mg kg ⁻¹ TS]	Selbsterh. [°C] /RG	KAK [cmolc kg ⁻¹]	Huminst./ org.S. [mg g ⁻¹]	Mieten- temp.[°C]
5.3/W0	119,6 ±4,6	18,0 ±1,6	65 / I	-	-	-
5.3/W3	17,2 ±5,7	8,6 ±0,0	68 / I	-	-	-
5.3/W6	45,9 ±3,6	12,1 ±1,7	29 / V	-	-	-
5.3/W8	161,6 ±12,7	29,4 ±0,3	23 / V	-	-	-

6.1/W4	914,4 ±3,0	5,2 ±0,4	33 / IV	-	-	-
6.1/W6	504,4 ±2,5	18,2 ±1,9	25 / V	16,9 ±0,4	304,7 ±1,2	-
6.1/W9	195,5 ±1,6	214,3 ±9,5	22 / V	17,4 ±0,1	284,8 ±0,5	-
6.1/W12	146,1 ±1,7	99,8 ±1,7	24 / V	18,0 ±0,2	261,0 ±1,0	-
6.1/W15	217,8 ±4,3	377,5 ±23,4	23 / V	21,5 ±0,4	280,2 ±0,8	-
6.1/W18	60,5 ±5,6	401,1 ±3,7	24 / V	-	-	-

7.1/W0	354,1 ±8,7	80,5 ±5,3	-	6,9 ±0,1	80,1 ±0,4	23
7.1/W2	807,6 ±16,5	17,8 ±1,9	42 / III	11,9 ±0,6	145,2 ±0,7	59
7.1/W4	493,0 ±0,0	2,2 ±0,0	24 / V	-	-	56
7.1/W6	176,3 ±5,0	107,7 ±1,6	23 / V	11,3 ±0,2	202,1 ±1,0	39
7.1/W9	13,5 ±1,9	96,7 ±3,5	22 / V	10,1 ±0,1	227,6 ±1,7	22
7.1/W15	67,2 ±6,4	64,3 ±2,6	24 / V	11,8 ±0,3	250,8 ±2,1	22
7.1/W17	178,5 ±9,3	170,1 ±13,8	23 / V	-	-	22

7.2/W0	417,7 ±10,0	44,6 ±0,0	63 / I	-	-	45
7.2/W2	1083,4 ±51,7	10,7 ±1,4	59 / II	-	-	59
7.2/W4	396,8 ±6,9	2,4 ±0,7	32 / IV	-	-	51
7.2/W7	127,2 ±1,1	113,4 ±1,1	20 / V	-	-	25
7.2/W13	147,0 ±16,8	81,9 ±0,7	23 / V	-	-	-
7.2/W15	46,1 ±9,3	268,2 ±10,7	19 / V	-	-	19

9.1/W1	1616,5 ±167,8	0,0 ±0,6	67 / I	-	-	-
9.1/W3	462,5 ±30,8	2,5 ±0,3	67 / I	-	-	53
9.1/W5	678,6 ±1,7	7,0 ±0,8	64 / I	-	-	48
9.1/W8	668,7 ±6,8	1,2 ±0,7	58 / II	-	-	49
9.1/W11	501,4 ±1,6	8,9 ±0,7	22 / V	-	-	49
9.1/W15	115,9 ±6,6	124,5 ±0,0	24 / V	-	-	19

9.2/W1	1406,5 ±32,2	129,9 ±7,0	58 / II	-	-	-
9.2/W3	336,6 ±17,1	0,0 ±0,0	49 / III	-	-	41
9.2/W5	411,9 ±12,2	27,0 ±2,2	60 / II	-	-	49
9.2/W8	321,7 ±4,9	0,0 ±1,6	30 / V	-	-	43
9.2/W11	173,8 ±5,1	16,0 ±1,2	24 / V	-	-	49
9.2/W15	55,9 ±1,8	68,8 ±3,7	24 / V	-	-	15

9.3/W1	334,5 ±6,5	0,0 ±0,0	59 / II	-	-	43
9.3/W3	215,2 ±9,6	14,9 ±1,8	67 / I	-	146,4 ±11,2	51
9.3/W5	108,7 ±3,7	0,0 ±1,8	29 / V	-	-	42
9.3/W8	67,1 ±3,7	11,4 ±1,8	21 / V	-	-	45
9.3/W11	44,8 ±1,9	28,4 ±1,0	24 / V	-	168,8 ±5,0	10

Probe	NH ₄ [mg kg ⁻¹ TS]	NO ₃ [mg kg ⁻¹ TS]	Selbsterh. [°C] / RG	KAK [cmolc kg ⁻¹]	Huminst./ org.S. [mg g ⁻¹]	Mieten- temp. [°C]
10.1/W0	1965,8 ±75,8	61,8 ±5,5	70 / I	-	-	-
10.1/W2	578,0 ±3,7	11,5 ±10,9	57 / II	-	-	-
10.1/W4	1006,8 ±10,0	17,0 ±2,0	62 / I	-	-	-
10.1/W7	408,9 ±5,7	0,0 ±3,7	32 / IV	-	-	-
10.1/W10	609,4 ±4,1	15,2 ±1,5	25 / V	-	-	-
10.1/W14	926,1 ±9,5	54,2 ±3,9	25 / V	-	-	-

10.2/W0	264,0 ±2,1	6,9 ±0,7	54 / II	-	226,4 ±7,5	-
10.2/W2	1112,3 ±5,9	28,7 ±2,9	68 / I	-	-	-
10.2/W4	394,3 ±1,9	0,0 ±1,9	36 / IV	-	-	-
10.2/W7	597,5 ±4,1	15,2 ±1,1	25 / V	-	166,5 ±20,2	-
10.2/W10	662,0 ±4,1	60,1 ±2,1	25 / V	-	-	-

Tab. A3: Gesamtabbau der organischen Substanz, Veränderung des Huminstoffgehaltes sowie der KAK während des Kompostierungsverlaufs der untersuchten Komposte

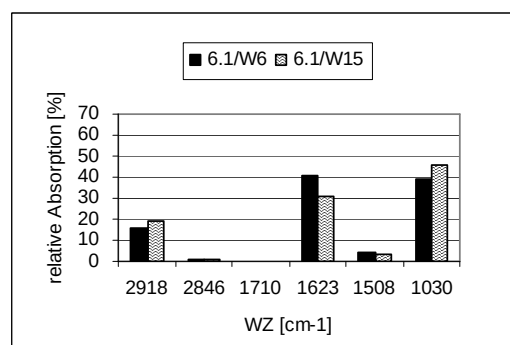
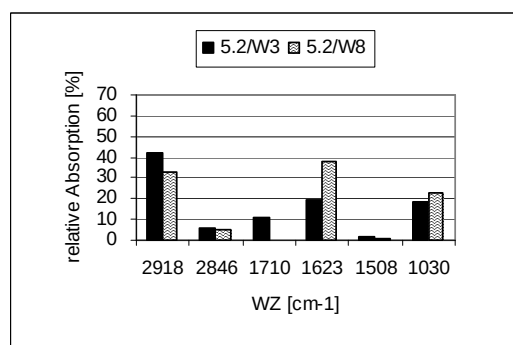
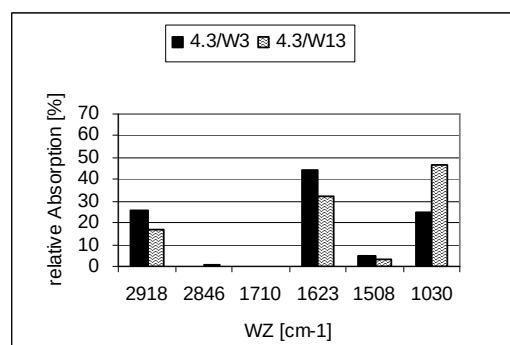
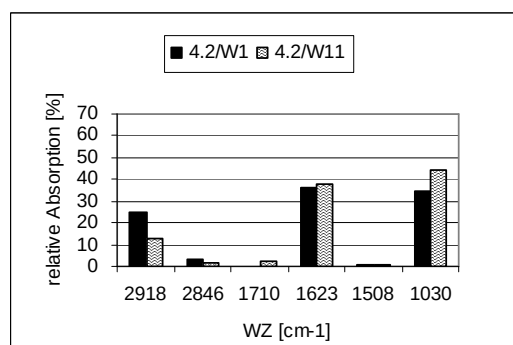
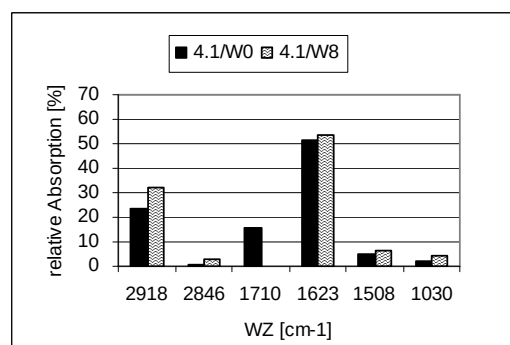
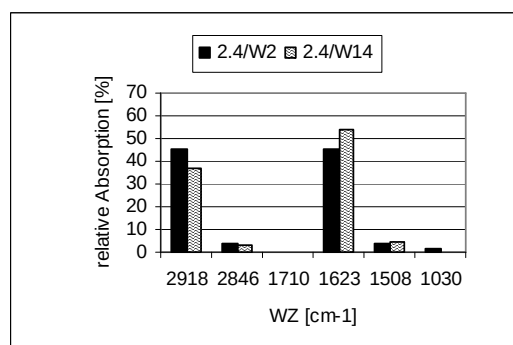
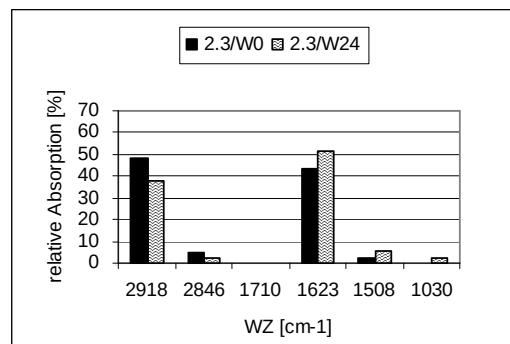
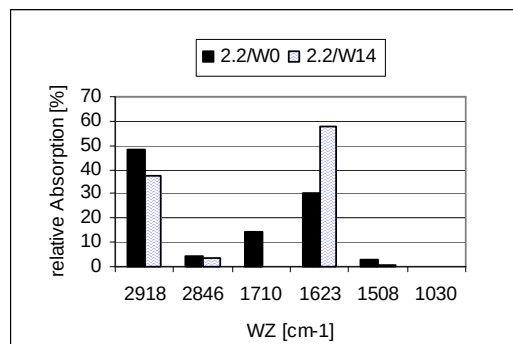
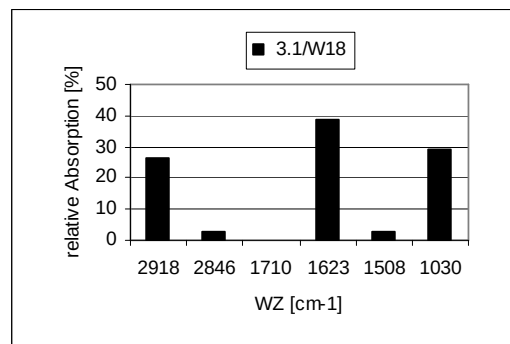
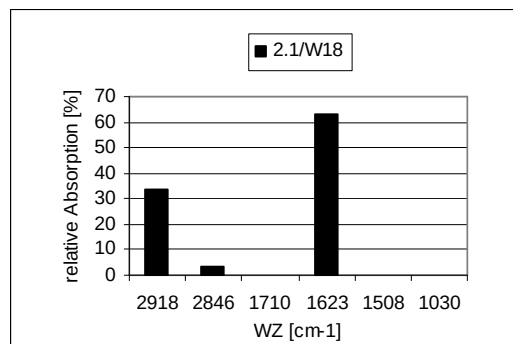
Kompost	Glühverlust erste Probe [g 100 g ⁻¹]	Glühverlust letzte Probe [g 100 g ⁻¹]	Gesamtabbau der organischen Substanz [%]	Huminstoff- gehalt erste Probe [mg g ⁻¹]	Huminstoff- gehalt letzte Probe [mg g ⁻¹]	Huminstoff- zunahme [%]	KAK- Zunahme [%]
1.1	38,9	28,7	26,3	281,0/W6	403,9/W16	43,7	-
1.2	39,0	26,9	31,0	-	-	-	-
2.1	50,2	39,3	21,7	-	326,2/W18	-	-
2.2	37,3	24,4	34,5	114,1/W0	387,3/W14	239,4	53,1
2.3	35,8	25,4	29,0	112,5/W0	326,1/W24	189,9	59,6
2.4	53,9	30,8	42,9	193,0/W2	338,2/W14	75,2	-
3.1	50,5	36,3	28,1	256,1/W12	305,0/W18	19,1	28,0
3.2	32,6	34,4	0			-	-
4.1	50,6	27,0	46,5	209,4/W0	215,1/W10	2,7	17,1
4.2	35,1	18,6	47,0	122,1/W1	199,0/W11	63,0	13,4
4.3	35,9	29,0	19,4	186,0/W3	221,6/W13	19,1	-
5.1	66,4	56,3	15,2	-	-	-	-
5.2	74,6	57,2	23,3	136,7/W3	165,1/W8	20,8	-
5.3	48,0	47,0	2,0	-	-	-	-
6.1	34,8	35,3	0	304,7/W6	280,2/W15	-8,0	27,2
7.1	25,7	17,9	30,4	80,1/W0	250,8/W15	213,1	71,0
7.2	33,0	20,1	39,3	-	-	-	-
9.1	53,2	39,2	26,3	-	-	-	-
9.2	53,0	37,0	30,2	-	-	-	-
9.3	48,5	38,1	21,4	146,4/W3	168,8/W11	15,3	-
10.1	50,8	31,2	38,5	-	-	-	-
10.2	30,8	33,6	0	226,4/W0	166,5/W7	-26,5	-

Tab. A4: Ergebnisse aus der FT-IR- Spektroskopie: relative Absorptionen bei den Wellenzahlen 2918, 2846, 1710, 1623, 1508 und 1030.

Probe	WZ 2918 [%]	WZ 2846 [%]	WZ 1710 [%]	WZ 1623 [%]	WZ 1508 [%]	WZ 1030 [%]
2.1/W18	33,4 ±1,0	3,7 ±0,2	0,0 ±0,0	63,0 ±1,2	0,0 ±0,0	0,0 ±0,0
2.2/W0	48,2 ±0,4	4,4 ±0,0	14,5 ±0,6	30,2 ±1,0	2,8 ±0,1	0,0 ±0,0
2.2/W14	37,7 ±1,7	3,8 ±0,1	0,0 ±0,0	57,9 ±2,0	0,5 ±0,9	0,0 ±0,0
2.3/W0	47,9 ±2,2	4,6 ±0,1	0,0 ±0,0	43,5 ±2,5	2,4 ±0,9	0,0 ±0,0
2.3/W24	38,2 ±1,3	2,3 ±0,8	0,0 ±0,0	51,9 ±2,5	5,3 ±0,4	2,5 ±2,7
2.4/W2	45,6 ±1,0	4,2 ±0,1	0,0 ±0,0	45,4 ±1,7	3,6 ±0,3	1,6 ±1,4
2.4/W14	37,0 ±0,8	3,2 ±0,1	0,0 ±0,0	53,9 ±1,3	4,9 ±0,6	0,0 ±0,0
3.1/W18	26,3 ±0,4	2,8 ±0,3	0,0 ±0,0	38,5 ±0,3	3,0 ±1,0	29,4 ±1,4
4.1/W0	23,8 ±0,4	0,9 ±0,0	15,9 ±1,7	51,6 ±0,6	5,2 ±0,4	2,0 ±1,1
4.1/W8	32,3 ±1,7	3,0 ±0,2	0,0 ±0,0	53,7 ±6,2	6,6 ±2,0	4,4 ±6,2
4.2/W1	24,6 ±0,7	3,4 ±0,6	0,0 ±0,0	36,4 ±4,7	1,2 ±0,3	34,4 ±5,6
4.2/W11	13,0 ±1,3	1,5 ±0,1	2,4 ±3,4	37,5 ±1,2	1,0 ±1,5	44,6 ±0,6
4.3/W3	25,8 ±0,3	0,0 ±0,0	0,0 ±0,0	44,5 ±2,3	4,8 ±0,0	24,9 ±2,6
4.3/W13	17,2 ±0,8	0,4 ±0,4	0,0 ±0,0	32,1 ±0,6	3,4 ±0,3	46,5 ±1,9
5.2/W3	42,4 ±0,4	5,6 ±0,1	11,2 ±0,1	19,3 ±0,2	2,0 ±0,1	18,3 ±0,4
5.2/W8	32,9 ±0,7	5,2 ±0,8	0,0 ±0,0	37,7 ±1,1	1,1 ±1,0	22,6 ±0,6
6.1/W6	16,0 ±0,2	0,5 ±0,0	0,0 ±0,0	40,5 ±0,4	3,9 ±0,3	39,0 ±0,1
6.1/W15	19,6 ±0,5	0,8 ±0,0	0,0 ±0,0	31,0 ±0,8	3,2 ±0,4	45,5 ±1,4
7.1/W0	29,8 ±0,4	3,3 ±0,0	8,9 ±0,7	18,8 ±0,6	1,1 ±0,1	38,1 ±0,7
7.1/W9	16,4 ±0,5	1,1 ±0,3	0,0 ±0,0	30,9 ±0,6	1,9 ±0,4	49,7 ±1,1
9.3/W3	43,1 ±3,5	3,8 ±0,3	0,0 ±0,0	38,8 ±3,4	7,3 ±0,7	2,6 ±0,1
9.3/W11	22,2 ±0,7	1,0 ±0,0	0,0 ±0,0	38,5 ±1,2	4,1 ±0,2	34,2 ±1,7
10.2/W2	25,7 ±1,0	2,5 ±0,1	0,0 ±0,0	32,0 ±0,6	4,7 ±0,2	35,1 ±1,5
10.2/W10	22,9 ±1,1	1,7 ±0,6	0,0 ±0,0	33,9 ±0,1	4,3 ±1,2	37,3 ±1,3

Tab. A5: Prozentuale Veränderungen der relativen Absorptionen bei den Wellenzahlen 2918, 2846, 1710, 1623, 1508 und 1030 im Kompostierungsverlauf. E bezeichnet dabei Veränderungen von oder gegen 0, die kursiv gedruckten Ergebnisse sind aufgrund hoher Standardabweichungen nicht gesichert.

Kompost	WZ 2918 Zu-/ Abnahme [%]	WZ 2846 Zu-/ Abnahme [%]	WZ 1710 Zu-/ Abnahme [%]	WZ 1623 Zu-/ Abnahme [%]	WZ 1508 Zu-/ Abnahme [%]	WZ 1030 Zu-/ Abnahme [%]
2.2	- 21,7	- 12,7	E	+ 91,9	- 81,3	0
2.3	- 20,3	- 50,4	0	+ 19,1	+ 116,0	E
2.4	- 18,8	- 24,8	0	+ 18,9	+ 35,8	E
4.1	+ 35,6	+ 222,3	E	+ 4,09	+ 27,7	+ 122,7
4.2	- 47,3	- 57,8	E	+ 3,08	- 12,1	+ 29,9
4.3	- 33,2	E	0	- 27,8	- 28,7	+ 86,5
5.2	- 22,4	- 7,6	E	+ 95,7	- 46,8	+ 23,8
6.1	+ 22,2	+ 5,2	0	- 23,6	- 18,7	+ 16,6
7.1	- 44,9	- 65,9	E	+ 64,7	+ 73,2	+ 30,3
9.3	- 48,4	- 74,0	0	- 0,6	- 44,0	+ 1214,6
10.2	- 10,8	- 33,9	0	+ 6,0	- 10,1	+ 6,2



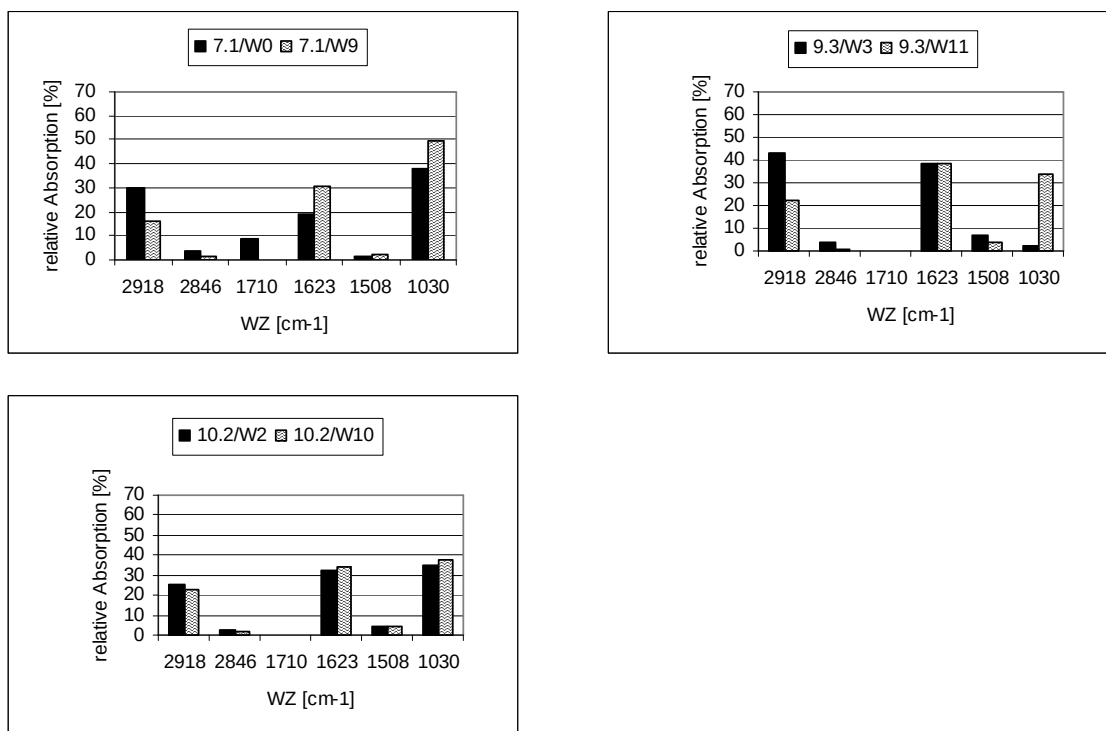


Abb. A1: FT/IR- Spektroskopie: Graphische Darstellung der relativen Absorptionen in den untersuchten Komposten

Tab. A6: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test: Durchmesser der zentralen Zone (z.Z.), sowie von z.Z.&i.Z.; Breite der inneren Zone (i.Z.), Ringausbreitung in i.Z. (0= kein sichtbarer Ring, 1= schmal, 2= breit, 3= dominant, mit schmalem hellem Ring an Grenze zu m.Z.) Farben der z.Z. und i.Z. (nach MUNSELL 1975)

Chroma-bez.	z.Z. & i.Z. Durchm. [mm]	z.Z. Durchm [mm]	z.Z. Farbe		i.Z. Breite [mm]	Ring in i.Z.	i.Z. Farbe	
1.1/W0	67	33	7,5 YR 8/2	pinkish white (pinkish gray)	17	1	5 YR 6/2 (10 YR 6/3)	pinkish gray; pale brown
1.1/W2	66	20	10 YR 8/2	white	23	1	10 YR 6/3 (10 YR 5/3)	pale brown; brown
1.1/W4	53	17	5 YR 7/3 (7,5 YR 7/2)	pinkish gray (pink)	18	3	10 YR 6/2 (10 YR 5/2) (10 YR 8/2)	light brownish gray; grayish brown; white
1.1/W6	61	17	10 YR 7/2	light gray	22	1	10 YR 6/3	pale brown
1.1/W9	66	16	5 YR 7/2	pinkish gray	25	1	10 YR 6/1 (10 YR 6/2)	gray; light brownish gray
1.1/W12	63	23	10 YR 8/2	white	20	2	10 YR 6/2 (10 YR 8/2)	light brownish gray; white
1.1/W16	63	29	10 YR 8/2	white	17	2	10 YR 6/3 (10 YR 8/1)	pale brown; white
1.2/W0	58	28	7,5 YR 7/2	pinkish gray	15	2	10 YR 6/3 (10 YR 8/2)	pale brown; white
1.2/W2	50	20	10 YR 8/2	white	15	2	10 YR 6/3; (10 YR 7/3) (10 YR 8/1)	pale brown; very pale brown; white
1.2/W4	56	20	7,5 YR 7/2	pinkish gray	18	2	10 YR 6/3; (7,5 YR 8/0)	pale brown; white
1.2/W7	48	18	7,5 YR 7/2	pinkish gray	15	1	5 Y 5/1 (10 YR 7/2)	gray; light gray
1.2/W10	61	21	10 YR 8/2	white	20	3	10 YR 6/3 (10 YR 8/2)	pale brown; white
1.2/W14	62	22	10 YR 8/2	white	20	3	10 YR 6/2 (10 YR 6/4)	light brownish gray; light yellowish brown
2.1/W0	59	23	10 YR 8/2	white	18	1	5 YR 6/2	pinkish gray
2.1/W2	64	18	10 YR 8/2	white	23	1	5 YR 7/2 (5 YR 6/2)	pinkish gray
2.1/W4	64	18	10 YR 8/2	white	23	1	5 YR 7/1 (5 YR 6/2)	light gray; pinkish gray
2.1/W6	82	26	10 YR 8/2	white	28	1	5 YR 7/1	light gray
2.1/W9	74	18	h 10 YR 8/2	hell white	28	1	5 YR 7/1 (10 YR 8/1)	light gray; white
2.1/W12	69	23	10 YR 8/2	white	23	0	5 YR 7/1 (5 YR 6/1)	light gray
2.1/W14	80	30	10 YR 8/2	white	25	0	10 YR 8/1 (10 YR 7/1)	white; light gray
2.1/W16	69	25	10 YR 8/2	white	22	0	10 R 6/1 (10 YR 8/2)	reddish gray; white
2.1/W18	80	30	10 YR 8/2	white	25	0	10 YR 7/1 (10 YR 8/2)	light gray; white
2.2/W0	57	25	hh 10 YR 8/2	hellhell white	16	2	10 YR 6/3 (5 YR 7/2)	pale brown; pinkish gray
2.2/W2	61	21	10 YR 8/2	white	20	2	5 YR 6/2 (5 YR 7/1)	pinkish gray; light gray
2.2/W4	63	23	10 YR 8/2	white	20	2	10 YR 6/2 (10 YR 8/1)	light brownish gray; white
2.2/W6	60	16	10 YR 8/2	white	22	2	10 YR 7/2 (10 YR 8/1)	light gray; white

Chroma bezeichn.	z.Z. & i.Z. Durchm. [mm]	z.Z. Durchm [mm]	z.Z. Farbe		i.Z. Breite [mm]	Ring in i.Z.	i.Z. Farbe	
2.2/W8	66	20	h 10 YR 8/2	hell white	23	2	10 YR 8/1 (10 YR 7/2)	white; light gray
2.2/W10	65	17	10 YR 8/2	white	24	2	10 YR 6/2 (10 YR 8/1)	light brownish gray; white
2.2/W12	69	21	h 10 YR 8/2	hell white	24	2	10 YR 7/2 (10 YR 8/1)	light gray; white
2.2/W14	70	18	10 YR 8/2	white	26	2	10 YR 7/3 (10 YR 8/2)	very pale brown; white
2.3/W0	61	27	h 10 YR 8/2	hell white	17	1	10 YR 6/3 (10 YR 7/2)	pale brown; light gray
2.3/W2	62	20	h 10 YR 8/2	hell white	21	1	10 YR 7/2	light gray
2.3/W4	77	27	h 10 YR 8/2	hell white	25	1	10 YR 7/2	light gray
2.3/W6	67	21	10 YR 8/2	white	23	1	10 YR 7/2 (10 YR 8/2)	light gray; white
2.3/W8	65	23	10 YR 8/2	white	21	1	7,5 YR 7/2 (10 YR 8/1)	pinkish gray; white
2.3/W10	73	25	h 10 YR 8/2	hell white	24	1	10 YR 7/2 (10 YR 8/2)	light gray; white
2.3/W24	66	20	hh 10 YR 8/2	hellhell white	23	1	10 YR 7/3 (10 YR 6/2)	very pale brown; light brownish gray
2.4/W0	66	20	h 7,5 YR 8/2	hell pinkish white	23	1	7,5 YR 6/4 (10 YR 7/2)	light brown; light gray
2.4/W2	65	23	10 YR 8/2	white	21	1	5 YR 7/1 (7,5 YR 8/2)	light gray; pinkish white
2.4/W4	66	22	10 YR 8/2	white	22	1	5 YR 7/2 (5 YR 7/1)	light gray; pinkish gray
2.4/W7	69	17	10 YR 8/2	white	26	1	10 YR 7/2 (10 YR 8/2) (5 YR 7/2)	white; light gray; pinkish gray
2.4/W10	64	26	10 YR 8/2	white	19	1	7,5 YR 7/2 (5 YR 6/1)	pinkish gray; light gray, gray
2.4/W14	70	22	7,5 YR 8/2	pinkish white	24	1	7,5 YR 7/2 (7,5 YR 8/2)	pinkish gray; pinkish white
3.1/W0	78	24	10 YR 8/3 (10 YR 7/3)	very pale brown	27	1	5 YR 6/3 (10 YR 8/2)	light reddish brown; white
3.1/W4	47	13	10 YR 8/2	white	17	2	10 YR 5/2 (5 YR 7/2)	pinkish gray; grayish brown
3.1/W6	46	16	10 YR 8/1	white	15	1	5 YR 6/2 (5 YR 7/1)	pinkish gray; light gray
3.1/W9	58	18	5 YR 7/1	light gray	20	3	10 YR 7/1 (10 YR 7/2)	light gray
3.1/W12	52	12	10 YR 8/1	white	20	3	10 YR 7/3 (7,5 YR 8/1)	very pale brown; white
3.1/W14	61	23	10 YR 8/1	white	19	3	10 YR 7/3 (7,5 YR 8/1)	very pale brown; white
3.1/W16	64	18	10 YR 8/1	white	23	2	10 YR 7/3 (10 YR 8/1)	very pale brown; white
3.1/W16	60	18	10 YR 8/1	white	21	2	10 YR 7/3 (10 YR 6/3) (5 YR 8/1)	very pale brown; pale brown; white
3.1/W18	70	20	5 YR 7/1	light gray	25	1	10 YR 7/2 (10 YR 8/2)	light gray; white
3.2/W0	57	19	7,5 YR 7/2	pinkish gray	19	3	10 YR 6/3 (10 YR 8/1)	pale brown; white
3.2/W2	57	21	h 10 YR 8/2	hell white	18	2	5 YR 6/2 (5 YR 7/1)	pinkish gray; light gray
3.2/W4	68	18	h 10 YR 8/2	hell white	25	2	10 YR 6/2 (10 YR 7/3)	light brownish gray; very pale brown

Chroma bezeichn.	z.Z. & i.Z. Durchm. [mm]	z.Z. Durchm [mm]	z.Z. Farbe		i.Z. Breite [mm]	Ring in i.Z.	i.Z. Farbe	
3.2/W6	64	18	10 YR 8/2	white	23	1	5 YR 6/1 (10 YR 8/1) (10 YR 7/3)	light gray, gray; white; very pale brown
3.2/W8	69	19	10 YR 8/2	white	25	1	10 YR 8/3 (7,5 YR 6/2)	pinkish gray; very pale brown
3.2/W10	64	18	10 YR 8/2	white	23	2	10 YR 8/3 (10 YR 6/2)	very pale brown; light brownish gray
3.2/W12	68	18	10 YR 8/2	white	25	2	10 YR 6/1 (10 YR 7/2)	light gray, gray; light gray
3.2/W12	59	17	10 YR 8/2	white	21	2	5 YR 6/2 (5 YR 7/1)	light brownish gray; light gray
4.1/W0	50	16	10 R 5/1 (10 R 6/1)	reddish gray	17	3	7,5 YR 6/4 (10 YR 8/1)	light brown; white
4.1/W2	61	19	5 YR 7/1	light gray	21	2	10 YR 7/3	very pale brown
4.1/W4	73	13	5 YR 7/2 (5 YR 6/2)	pinkish gray	30	1	10 YR 7/3	very pale brown
4.1/W6	76	16	5 YR 6/2	pinkish gray	30	1	10 YR 7/2	light gray
4.1/W8	73	17	5 YR 8/1	white	28	1	10 YR 8/1 (10 YR 8/2)	white
4.1/W10	71	15	5 YR 7/2	pinkish gray	28	1	10 YR 8/1	white
4.2/W1	57	21	h 5 Y 8/1	hell white	18	3	10 YR 8/1 (10 YR 6/3)	pale brown; white
4.2/W3	65	21	h 5 Y 8/1	hell white	22	3	10 YR 7/2 (10 YR 8/1)	white; light gray
4.2/W5	65	19	h 5 Y 8/1	hell white	23	2	10 YR 7/2	light gray
4.2/W7	65	15	5 YR 8/1	white	25	1	10 YR 7/2 (10 YR 7/3)	light gray; very pale brown
4.2/W9	68	18	5 YR 8/1	white	25	1	10 YR 7/3	very pale brown
4.2/W11	63	17	5 YR 8/1	white	23	1	10 YR 7/2	light gray
4.3/W1	65	15	10 YR 8/1	white	25	1	10 YR 6/1 (10 YR 7/2)	light gray, gray; light gray
4.3/W3	72	22	5 YR 7/2	pinkish gray	25	1	10 YR 7/2 (10 YR 7/1)	light gray
4.3/W5	70	20	5 YR 7/2	pinkish gray	25	1	10 YR 7/3	very pale brown
4.3/W7	68	20	5 YR 6/2	pinkish gray	24	1	10 YR 7/3	very pale brown
4.3/W13	72	16	5 YR 6/2	pinkish gray	28	1	10 YR 7/2	light gray
5.1/W0	66	20	10 YR 8/2	white	23	1	7,5 YR 7/2	pinkish gray
5.1/W3	69	25	10 YR 8/2	white	22	1	7,5 YR 7/2	pinkish gray
5.2/W0	44	18	10 YR 8/2	white	13	0	5 YR 7/2	pinkish gray
5.2/W3	64	16	10 YR 8/2	white	24	0	7,5 YR 7/2	pinkish gray
5.2/W6	82	20	10 YR 8/2	white	31	0	5 YR 6/2	pinkish gray
5.2/W8	78	18	10 YR 8/2	white	30	0	5 YR 6/2	pinkish gray
5.3/W0	47	23	10 YR 7/3	very pale brown	12	1	5 YR 6/4 (5 YR 6/2)	light reddish brown; pinkish gray
5.3/W0	61	27	10 YR 7/2	light gray	17	3	7,5 YR 6/4 (10 YR 7/2)	light reddish brown; light gray
5.3/W3	56	16	5 YR 6/2	pinkish gray	20	3	10 YR 7/2 (10 YR 6/2)	light brownish gray; light gray
5.3/W6	65	15	5 YR 6/2	pinkish gray	25	1	10 YR 6/2	light brownish gray

Chroma bezeichn.	z.Z. & i.Z. Durchm. [mm]	z.Z. Durchm [mm]	z.Z. Farbe		i.Z. Breite [mm]	Ring in i.Z.	i.Z. Farbe	
5.3/W8	59	17	7,5 YR 7/2	pinkish gray	21	1	7,5 YR 6/4	light brown
5.3/W8	79	17	7,5 YR 7/2 7,5 YR 6/2	pinkish gray	31	1	7,5 YR 6/4 (7,5 YR 5/4)	light brown; brown
6.1/W4	62	18	h 10 YR 8/2	hell white	22	3	10 YR 6/1 (10 YR 6/2) (10 YR 8/1)	light gray, gray; light brownish gray; white
6.1/W6	74	24	10 YR 8/2	white	25	1	10 YR 6/3	pale brown
6.1/W9	65	17	10 YR 8/2	white	24	1	10 YR 6/3	pale brown
6.1/W12	65	17	10 YR 8/1	white	24	1	10 YR 6/2	light brownish gray
6.1/W15	64	20	h 10 YR 8/2	hell white	22	3	10 YR 6/3 (10 YR 8/3)	very pale brown; pale brown
6.1/W18	54	18	10 YR 8/1	white	18	3	7,5 YR 6/4 (10 YR 7/2)	light brown; light gray
7.1/W0	56	20	10 YR 8/2	white	18	3	10 YR 6/2 (10 YR 7/1) (10 YR 8/2)	light brownish gray; white; light gray
7.1/W2	68	22	h 10 YR 8/2	hell white	23	1	10 YR 6/2	light brownish gray
7.1/W2	64	22	h 10 YR 8/2	hell white	21	3	10 YR 6/2 (10 YR 8/2)	white; light brownish gray
7.1/W4	62	20	h 10 YR 8/2	hell white	21	3	10 YR 8/1 (10 YR 6/3) (10 YR 6/2)	white; pale brown; light brownish gray
7.1/W6	67	19	h 10 YR 8/2	hell white	24	0	10 YR 6/3	pale brown
7.1/W9	63	17	10 YR 8/1	white	23	0	10 YR 7/3	very pale brown
7.1/W15	60	20	10 YR 8/2	white	20	2	5 YR 8/1 (10 YR 6/3)	pale brown; white
7.1/W17	59	17	5 YR 7/2	pinkish gray	21	0	7,5 YR 6/4	light brown
7.2/W0	59	21	5 YR 8/2	pinkish white	19	3	10 YR 6/2 (10 YR 7/2) (10 YR 8/2)	light brownish gray; light gray; white
7.2/W2	56	18	5 YR 8/2	pinkish white	19	3	10 YR 6/3 (10 YR 6/2) (5 YR 8/1)	pale brown; light brownish gray; white
7.2/W4	63	19	h 10 YR 8/2	hell white	22	2	10 YR 6/3 (10 YR 8/2)	pale brown; white
7.2/W7	64	20	5 YR 8/2	pinkish white	22	1	5 YR 7/1 (5 YR 6/4)	light gray; light reddish brown
7.2/W13	58	22	7,5 YR 8/2	pinkish white	18	2	5 YR 7/2	pinkish gray
7.2/W15	60	18	5 YR 7/2	pinkish gray	21	3	5 YR 6/4 (5 YR 8/1)	white; light reddish brown
9.1/W1	84	20	h 10 YR 8/2	hell white	32	1	10 YR 6/2 (10 YR 7/3)	light brownish gray; very pale brown
9.1/W3	65	17	h 10 YR 8/2	hell white	24	3	10 YR 6/4 (10 YR 7/1)	light yellowish brown; light gray
9.1/W5	54	18	10 YR 8/2	white	18	3	10 YR 6/4 (10 YR 7/1)	light yellowish brown; light gray
9.1/W8	76	16	10 YR 8/2	white	30	1	10 YR 6/3 (10 YR 8/4)	pale brown; very pale brown
9.1/W11	46	16	h 10 YR 8/2	hell white	15	3	10 YR 6/2 (5 YR 8/2)	light brownish gray; pinkish white
9.1/W15	60	20	h 10 YR 8/2	hell white	20	3	10 YR 6/3 (7,5 YR 7/2)	pale brown; pinkish gray

Chroma bezeichn.	z.Z. & i.Z. Durchm. [mm]	z.Z. Durchm [mm]	z.Z. Farbe		i.Z. Breite [mm]	Ring in i.Z.	i.Z. Farbe	
9.2/W1	46	18	h 10 YR 8/2	hell white	14	3	10 YR 6/2 (10 YR 6/4) (10 YR 8/2)	light brownish gray; white; light yellowish brown
9.2/W3	53	15	h 10 YR 8/2	hell white	19	3	10 YR 6/6 (7,5 YR 7/2)	brownish yellow; pinkish gray
9.2/W5	56	18	h 10 YR 8/2	hell white	19	3	10 YR 6/4 (10 YR 8/1)	light yellowish brown; white
9.2/W8	67	17	7,5 YR 8/2	pinkish white	25	1	10 YR 6/2 (10 YR 8/4)	light brownish gray; very pale brown
9.2/W11	71	17	10 YR 8/2	white	27	1	10 YR 7/2 (2,5 Y 6/2)	light gray; light brownish gray
9.2/W15	72	18	5 YR 7/2	pinkish gray	27	1	10 YR 7/2 (2,5 Y 6/2)	light gray; light brownish gray
9.3/W1	34	16	h 10 YR 8/2	hell white	9	3	10 YR 6/6 (10 YR 7/2)	brownish yellow; light gray
9.3/W3	49	17	h 10 YR 8/2	hell white	16	3	10 YR 6/6 (10 YR 7/1)	brownish yellow; light gray
9.3/W5	47	15	7,5 YR 7/2	pinkish gray	16	1	2,5 Y 6/4 (10 YR 6/3)	pale brown; light yellowish brown
9.3/W8	70	16	10 YR 8/2	white	27	1	10 YR 6/3 (10 YR 6/1)	pale brown; light gray, gray
9.3/W11	64	14	7,5 YR 7/2	pinkish gray	25	1	10 YR 7/2 (10 YR 6/2) (2,5 Y 6/2)	light gray; light brownish gray
10.1/W0	63	23	h 10 YR 8/2	hell white	20	2	10 YR 6/3	pale brown
10.1/W2	43	19	10 YR 8/2	white	12	2	10 YR 6/6 (5 YR 7/1)	brownish yellow; light gray
10.1/W4	46	20	h 10 YR 8/2	hell white	13	2	10 YR 6/4 (5 YR 7/1)	light yellowish brown; light gray
10.1/W7	51	13	7,5 YR 7/2	pinkish gray	19	1	2,5 Y 6/4 (2,5 Y 5/4)	light yellowish brown; light olive brown
10.1/W10	58	16	10 YR 8/2	white	21	1	10 YR 7/3 (10 YR 6/2) (10 YR 7/1)	very pale brown; light brownish gray; light gray
10.1/W14	47	19	7,5 YR 7/2	pinkish gray	14	2	10 YR 6/3 (10 YR 8/1)	pale brown; white
10.2/W0	39	19	10 YR 8/2	white	10	2	10 YR 6/6 (5 YR 6/1)	brownish yellow; light gray, gray
10.2/W2	64	18	h 10 YR 8/2	hell white	23	1	7,5 YR 6/4	light brown
10.2/W4	45	17	7,5 YR 8/2 (7,5 YR 7/2)	(pinkish white) (pinkish gray)	14	3	10 YR 8/1 (2,5 Y 6/4)	light yellowish brown; white
10.2/W4	54	18	7,5 YR 7/2	pinkish gray	18	1	2,5 Y 6/4	light yellowish brown
10.2/W7	64	18	7,5 YR 7/2	pinkish gray	23	1	10 YR 6/3	pale brown
10.2/W7	59	23	7,5 YR 8/2 (7,5 YR 7/2)	(pinkish white) (pinkish gray)	18	3	10 YR 6/3 (10 YR 8/1)	pale brown; white; brown
10.2/W10	48	20	7,5 YR 8/2 (7,5 YR 7/2)	(pinkish white) (pinkish gray)	14	2	10 YR 6/1 (10 YR 8/1) (10 YR 6/3)	light gray, gray; white; pale brown

Tab. A7: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test: Breite der mittleren Zone (m.Z.), Grenze i.Z./m.Z. (sch= scharf, usch= unscharf, fl= fließend, st fl= stark fließend, stst fl= sehr stark fließend, n.k.= nicht komplett, n.v.= nicht vorhanden) Menge und Länge der Zacken (we= wenige; mi= mittel; vie= viele, vievie= sehr viele, ku= kurz, s ku= sehr kurz, la= lang, einz. la= einzelne lange, 0= nicht vorhanden aufgrund Steighemmung), Farbe der m.Z. sowie der Zacken (nach MUNSELL 1975)

Chroma-bezeich.	Grenze i.Z./m.Z.	m.Z. Breite	m.Z. Farbe		Zacken-menge	Zacken-länge	Zackenfarbe	
1.1/W0	sch	13	10 YR 5/4 (10 YR 4/4)	yellowish brown (dark yellowish brown)	mi	mi	10 YR 5/1	gray
1.1/W2	fl	7	10 YR 5/2	grayish brown	vie	mi, einz. la	10 YR 6/1	light gray, gray
1.1/W4	usch	14	10 YR 5/1 (10 YR 5/2)	gray (grayish brown)	vie	mi	10 YR 5/1	gray
1.1/W6	fl	11	10 YR 5/1 (10 YR 5/2)	gray (grayish brown)	vie	la	10 YR 5/1	gray
1.1/W9	st fl	9	10 YR 5/1	gray	vie	la	10 YR 6/1	light gray, gray
1.1/W12	usch	13	10 YR 5/3	brown	vie	la	10 YR 6/2	light brownish gray
1.1/W16	usch	12	10 YR 5/4	yellowish brown	vie	mi - la	10 YR 5/2	grayish brown
1.2/W0	usch	13	10 YR 6/3 (10 YR 5/3)	pale brown (brown)	vie	ku - mi	10 YR 6/2	light brownish gray
1.2/W2	usch - fl	14	2,5 Y 5/2 (10 YR 5/1)	gray (grayish brown)	vie	mi	10 YR 6/1	light gray, gray
1.2/W4	sch	13	10 YR 5/2	grayish brown	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
1.2/W7	stst fl	25	5 YR 6/1	light gray, gray	vie	mi - la	5 Y 6/1	light gray, gray
1.2/W10	usch	13	10 YR 5/3	brown	vie	la	10 YR 7/2	light gray
1.2/W14	fl	10	10 YR 5/4	yellowish brown	vie	ku - la	10 YR 6/2	light brownish gray
2.1/W0	sch	12	2,5 Y 5/4	light olive brown	vie	s ku	2,5 Y 5/2	grayish brown
2.1/W2	sch	9	10 YR 5/2 (10 YR 5/4)	grayish brown (yellowish brown)	vie	mi, einz. la	10 YR 6/1	light gray, gray
2.1/W4	sch	2 - 8 (ungleichm)	2,5 Y 5/4	light olive brown	vie	mi, einz. la	10 YR 7/1	light gray
2.1/W6	usch	5	10 YR 5/2	grayish brown	vie	mi, einz. la	10 YR 6/1	light gray, gray
2.1/W9	sch	6	2,5 Y 5/2	grayish brown	vie	mi - la	10 YR 7/1	light gray
2.1/W12	usch	8	2,5 Y 5/2	grayish brown	vie	la	2,5 Y 6/2	light brownish gray
2.1/W14	fl	3	2,5 Y 5/2	grayish brown	vie	la	2,5 Y 5/2	grayish brown
2.1/W16	sch	2-5	10 YR 5/4	yellowish brown	vie	mi - la	2,5 Y 5/2	grayish brown
2.1/W18	usch	n.k.	2,5 Y 5/2	grayish brown	mi	ku - mi	2,5 Y 5/2	grayish brown
2.2/W0	sch	15	10 YR 5/3	brown	vieve	mi	10 YR 6/2	light brownish gray
2.2/W2	sch	11	10 YR 5/1 (10 YR 6/2)	gray (light brownish gray)	vie	mi - la	10 YR 7/2	light gray
2.2/W4	sch	8	10 YR 6/2	light brownish gray	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray

Chroma-bezeich.	Grenze i.Z/m.Z.	m.Z. Breite	m.Z. Farbe		Zacken-menge	Zacken-länge	Zackenfarbe	
2.2/W6	sch	11	10 YR 6/2 (10 YR 5/2)	light brownish gray (grayish brown)	vie	mi - la	10 YR 7/1	light gray
2.2/W8	usch	5	10 YR 6/2	light brownish gray	mi	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
2.2/W10	sch	10	10 YR 5/3	brown	vie	mi - la	10 YR 7/1	light gray
2.2/W12	sch	9	10 YR 5/4 (10 YR 5/6)	yellowish brown	vie	ku - la	10 YR 6/2	light brownish gray
2.2/W14	sch	7	10 YR 5/4	yellowish brown	vie	la	10 YR 6/1	light gray, gray
2.3/W0	sch	13	10 YR 5/2 (10 YR 5/3)	grayish brown (brown)	vie vie	ku	10 YR 6/1	light gray, gray
2.3/W2	sch	8	10 YR 5/3 (10 YR 7/6)	brown (yellow)	vie	la	10 YR 7/1	light gray
2.3/W4	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	mi	mi	10 YR 7/2	light gray
2.3/W6	sch	4	10 YR 5/3	brown	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
2.3/W8	sch	8	10 YR 5/2	grayish brown	vie	mi - la	10 YR 6/2	light brownish gray
2.3/W10	sch	7	10 YR 5/4	yellowish brown	vie	mi - la	10 YR 7/1	light gray
2.3/W24	stst fl	6	10 YR 6/1	light gray, gray	mi	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
2.4/W0	sch	12	10 YR 5/3 (10 YR 7/4)	brown (very pale brown)	vie vie	la	10 YR 7/2	light gray
2.4/W2	sch	6	7,5 YR 5/4	brown	vie	ku - mi	7,5 YR 5/4	brown
2.4/W4	sch	9	5 YR 5/4	reddish brown	vie	la	7,5 YR 5/4	brown
2.4/W7	sch	5	10 YR 5/2 (10 YR 6/3)	grayish brown (pale brown)	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
2.4/W10	sch	7	10 YR 5/3 (10 YR 7/3)	brown (very pale brown)	vie	mi - la	10 YR 6/2	light brownish gray
2.4/W14	sch	5	10 YR 6/3	pale brown	vie	la	10 YR 6/2	light brownish gray
3.1/W0	usch	12	10 YR 5/3 (10 YR 4/3)	brown	0	0	0	0
3.1/W4	sch	15	10 YR 5/3 (10 YR 5/1)	gray (brown)	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
3.1/W6	usch	15	10 YR 5/1 (10 YR 5/2)	gray (grayish brown)	mi	ku - la	10 YR 6/1 (10 YR 5/1)	gray
3.1/W9	fl	16	5 Y 5/1 (10 YR 5/1)	gray	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
3.1/W12	usch	12	10 YR 5/3 (5 YR 5/3)	brown (reddish brown)	vie	la	10 YR 5/2	grayish brown
3.1/W14	sch	14	10 YR 5/3	brown	vie	la	10 YR 6/2	light brownish gray
3.1/W16	stst fl	13	10 YR 6/4	light yellowish brown	vie	mi - la	10 YR 5/1	gray
3.1/W16	sch	13	10 YR 5/4	yellowish brown	vie	mi - la	10 YR 5/1	gray
3.1/W18	stst fl	12	5 YR 6/2	pinkish gray	vie	mi - la	10 YR 5/1	gray
3.2/W0	usch	15	10 YR 5/3	brown	vie vie	ku - mi	10 YR 5/2	grayish brown
3.2/W2	sch	12	10 YR 5/2	grayish brown	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
3.2/W4	usch	6	10 YR 5/6	yellowish brown	vie	mi - la	10 YR 5/2	grayish brown
3.2/W6	sch	8	10 YR 5/2 (10 YR 7/3)	very pale brown (grayish brown)	vie	mi - la	10 YR 7/2	light gray

Chroma-bezeich.	Grenze i.Z/m.Z.	m.Z. Breite	m.Z. Farbe		Zacken-menge	Zacken-länge	Zackenfarbe	
3.2/W8	usch	1-4	10 YR 5/6	yellowish brown	mi	mi	10 YR 6/1	light gray, gray
3.2/W10	usch	5	10 YR 6/6	brownish yellow	vie	ku - mi	10 YR 6/1	light gray, gray
3.2/W12	usch	7	10 YR 4/6	dark yellowish brown	vie	la	10 YR 6/1	light gray, gray
3.2/W12	sch	7-13	10 YR 5/2 (10 YR 7/3)	grayish brown (very pale brown)	vie	la	10 YR 6/1	light gray, gray
4.1/W0	usch	16	5 YR 5/3 (7,5 YR 5/4)	brown (reddish brown)	vievie	ku - mi	10 YR 5/3	brown
4.1/W2	usch	13	10 YR 5/3	brown	vievie	mi - la	10 YR 6/2 (10 YR 6/3)	light brownish gray (pale brown)
4.1/W4	usch	9	10 YR 5/2	grayish brown	vievie	mi	10 YR 6/2	light brownish gray
4.1/W6	usch (fl)	3-10	10 YR 6/1	light gray, gray	vievie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
4.1/W8	fl	10	10 YR 6/1	light gray, gray	vievie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
4.1/W10	fl	13	10 YR 6/1	light gray, gray	vievie	mi	10 YR 7/1 10 YR 6/1	light gray
4.2/W1	sch	12	10 YR 7/3 (10 YR 5/2)	very pale brown (grayish brown)	vievie	mi - la	10 YR 6/2	light brownish gray
4.2/W3	sch	12	10 YR 5/2 (10 YR 7/2)	grayish brown (light gray)	vievie	mi - la	10 YR 7/1	light gray
4.2/W5	st fl	9	7,5 YR 5/4	brown	vievie	ku - mi	10 YR 6/2	light brownish gray
4.2/W7	usch	10	7,5 YR 5/4	brown	vievie	mi	10 YR 7/2 (10 YR 6/2)	light gray (light brownish gray)
4.2/W9	usch	10	7,5 YR 5/4	brown	vievie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
4.2/W11	usch	12	7,5 YR 5/4	brown	vievie	la	10 YR 6/2	light brownish gray
4.3/W1	stst fl	10	10 YR 6/1	light gray, gray	vie	mi	10 YR 6/1	light gray, gray
4.3/W3	fl	10	10 YR 6/1 (10 YR 5/3)	light gray, gray (brown)	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
4.3/W5	fl	8	10 YR 6/1	light gray, gray	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
4.3/W7	stst fl	11	10 YR 6/1 (5 YR 6/6)	light gray, gray (reddish yellow)	vie	mi - la	5 YR 6/3	light reddish brown
4.3/W13	st fl	10	10 YR 6/1 (7,5 YR 5/4)	light gray, gray (brown)	vie	la	10 YR 6/1	light gray, gray
5.1/W0	sch	8	10 YR 5/3	brown	vie	ku	10 YR 5/2	grayish brown
5.1/W3	sch	7	10 YR 5/2 (10 YR 5/3)	grayish brown (brown)	vie	ku - mi	10 YR 6/2	light brownish gray
5.2/W0	sch	10	10 YR 5/1 (10 YR 6/4)	gray (light yellowish brown)	0	0	0	0
5.2/W3	sch	5	10 YR 6/1 (10 YR 6/4)	light gray, gray (light yellowish brown)	mi	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
5.2/W6	usch (n.k.)	0-2	n.k. 10 YR 5/3	brown	mi	ku - mi	10 YR 5/3	brown
5.2/W8	sch (n.k.)	0-3	n.k. 10 YR 5/4	yellowish brown	we	ku - la	10 YR 5/4	yellowish brown

Chroma- bezeich.	Grenze i.Z/m.Z.	m.Z. Breite	m.Z. Farbe		Zacken- menge	Zacken- länge	Zackenfarbe	
5.3/W0	usch	13	10 YR 5/3	brown	vie	ku	10 YR 6/2	light brownish gray
5.3/W0	usch	11	10 YR 5/3	brown	mi	ku - mi	10 YR 5/3	brown
5.3/W3	fl	18	10 YR 6/2	light brownish gray	vie	mi	10 YR 6/1	light gray, gray
5.3/W6	fl	10	10 YR 5/3	brown	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
5.3/W8	fl	12	7,5 YR 5/4	brown	vie	mi - la	10 YR 5/3	brown
5.3/W8	fl	6	7,5 YR 5/6	strong brown	vie	la	10 YR 6/3	pale brown
6.1/W4	usch	9	10 YR 5/2	grayish brown	vie	ku, einz. la	10 YR 6/2	light brownish gray
6.1/W6	stst fl	4	10 YR 6/4	light yellowish brown	vie	mi	10 YR 5/3	brown
6.1/W9	stst fl	7	10 YR 6/3	pale brown	vie	mi, einz. la	10 YR 5/2	grayish brown
6.1/W12	stst fl	11	10 YR 5/2	grayish brown	vie	la	10 YR 6/1	light gray, gray
6.1/W15	fl	8	10 YR 5/2	grayish brown	vie	ku - la	10 YR 6/2	light brownish gray
6.1/W18	usch	17	7,5 YR 5/4	brown	vie	ku - la	7,5 YR 5/4	brown
7.1/W0	fl	12	7,5 YR 5/4 (10 YR 6/1)	light gray, gray (brown)	vie	mi	10 YR 7/1 (10 YR 6/1)	light gray
7.1/W2	fl	10	10 YR 5/6	yellowish brown	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
7.1/W2	st fl	8	10 YR 5/3	brown	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
7.1/W4	usch	11	10 YR 6/2	light brownish gray	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
7.1/W6	fl	10	10 YR 5/6	yellowish brown	vie	ku - la	10 YR 6/3	pale brown
7.1/W9	fl	13	10 YR 5/6	yellowish brown	vie	ku - la	10 YR 6/2	light brownish gray
7.1/W15	sch	18	10 YR 6/2	light brownish gray	vie	ku - mi	10 YR 6/1	light gray, gray
7.1/W17	fl	10	7,5 YR 5/6 (10 YR 6/1)	light gray, gray (strong brown)	vie	ku - la	10 YR 6/2	light brownish gray
7.2/W0	usch	15	7,5 YR 5/4	brown	vie	mi	10 YR 6/1	light gray, gray
7.2/W2	usch	15	radial mehrfarbig; 10 YR 6/1 (10 YR 6/3)	light gray, gray (pale brown)	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
7.2/W4	usch	10	10 YR 5/6	yellowish brown	vie	ku - mi	10 YR 6/3	pale brown
7.2/W7	sch	9	10 YR 5/4	yellowish brown	vie	mi	10 YR 6/2	light brownish gray
7.2/W13	sch	12	10 YR 5/3	brown	vie	ku - mi	10 YR 6/2	light brownish gray
7.2/W15	fl	12	5 YR 5/6	yellowish red	vie	mi - la	5 YR 6/3	light reddish brown
9.1/W1	usch	6	10 YR 6/1	light gray, gray	vie	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
9.1/W3	usch	10	7,5 YR 5/4	brown	vie	mi, einz. la	7,5 YR 5/4	brown
9.1/W5	sch	17	7,5 YR 5/4	brown	mi	mi - la	10 YR 6/3	pale brown

Chroma- bezeich.	Grenze i.Z/m.Z.	m.Z. Breite	m.Z. Farbe		Zacken- menge	Zacken- länge	Zackenfarbe	
9.1/W8	fl	4	10 YR 6/1 (10 YR 6/2)	light gray, gray (light brownish gray)	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
9.1/W11	fl	18	10 YR 6/2	light brownish gray	vie	ku - la	10 YR 6/2	light brownish gray
9.1/W15	usch	15	10 YR 6/6	brownish yellow	vie	mi - la	10 YR 6/3	pale brown
9.2/W1	fl - st fl	20	7,5 YR 5/4 (7,5 YR 5/6)	brown (strong brown)	vie	ku - la	10 YR 7/1	light gray
9.2/W3	usch	16	7,5 YR 6/4 (7,5 YR 5/4)	light brown (brown)	vie	mi - la	7,5 YR 5/4	brown
9.2/W5	st fl	14	7,5 YR 6/4 (7,5 YR 5/4)	light brown (brown)	vie	ku - la	7,5 YR 5/4	brown
9.2/W8	fl	7	10 YR 6/1 (10 YR 7/3)	light gray, gray (very pale brown)	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
9.2/W11	fl	5	10 YR 6/6	brownish yellow	vie	ku - la	10 YR 6/2	light brownish gray
9.2/W15	fl	8	10 YR 6/6	brownish yellow	vie	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
9.3/W1	fl	21	7,5 YR 5/4	brown	vie	mi	10 YR 5/4	yellowish brown
9.3/W3	fl	18	10 YR 5/6	yellowish brown	mi	mi - la	10 YR 5/3	brown
9.3/W5	fl	6	10 YR 6/1	light gray, gray	mi	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray
9.3/W8	fl	8	10 YR 6/4	light yellowish brown	vie	mi - la	10 YR 6/2	light brownish gray
9.3/W11	fl	11	10 YR 6/4	light yellowish brown	vie	la	10 YR 6/1	light gray, gray
10.1/W0	stst fl	13	7,5 YR 5/4	brown	vie	mi - la	10 YR 6/2	light brownish gray
10.1/W2	sch	17	7,5 YR 6/4 (7,5 YR 5/4)	brown (light brown)	mi	ku - la	7,5 YR 5/4	brown
10.1/W4	sch - fl	20	7,5 YR 5/4 (7,5 YR 6/4)	brown (light brown)	vie	mi - la	10 YR 5/4	yellowish brown
10.1/W7	usch	14	10 YR 6/1	light gray, gray	vie	mi - la	10 YR 7/1 (10 YR 7/2)	light gray
10.1/W10	fl	15	10 YR 6/4	light yellowish brown	vie	mi - la	10 YR 6/2	light brownish gray
10.1/W14	usch	20	10 YR 6/3	pale brown	vie	ku - la	10 YR 7/1	light gray
10.2/W0	sch	21	7,5 YR 5/4 (7,5 YR 5/6)	brown (strong brown)	mi	ku	7,5 YR 5/4	brown
10.2/W2	fl	7 - 13	7,5 YR 5/4 (7,5 YR 6/4)	light brown, brown	vie	mi - la	10 YR 6/3	pale brown
10.2/W4	usch	16	2,5 Y 5/2	grayish brown	vie	mi	10 YR 6/1	light gray, gray
10.2/W4	st fl	16	2,5 Y 5/4	light olive brown	vie	mi	10 YR 7/1	light gray
10.2/W7	fl	10	7,5 YR 6/4	light brown	vie	mi - la	10 YR 6/3	pale brown
10.2/W7	usch	17	7,5 YR 5/4 (7,5 YR 6/4)	light brown, brown	vie	la	10 YR 6/2	light brownish gray
10.2/W10	sch	18	10 YR 6/3	pale brown	mi	mi - la	10 YR 6/1	light gray, gray

Tab. A8: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test: Farbe von äußerer Zone (ä.Z.) und Bildrand (nach MUNSELL 1975), Wolken um Zackenspitzen (kei= keine, we= wenige, mi= mittel, vie= viele, vievie= sehr viele, hbn= hellbraun, hbn= sehr hell braun, bn= braun, dbn= dunkelbraun, 0= nicht vorhanden aufgrund Steighemmung), **Struktur** (f= fein, gro= grob, ger= gerade, wack= wacklig) und Besonderheiten.

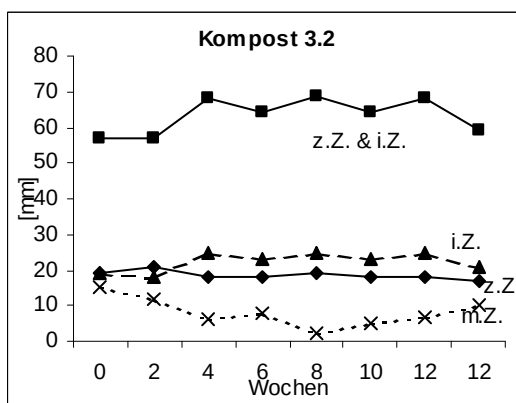
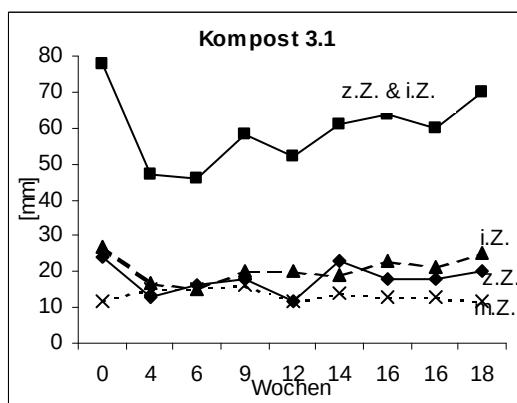
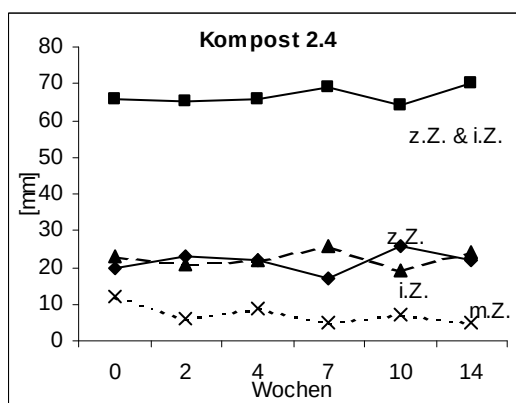
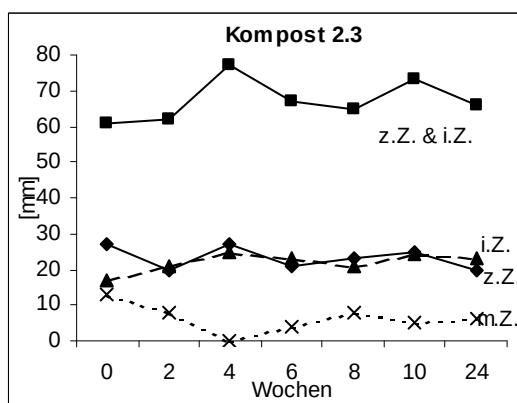
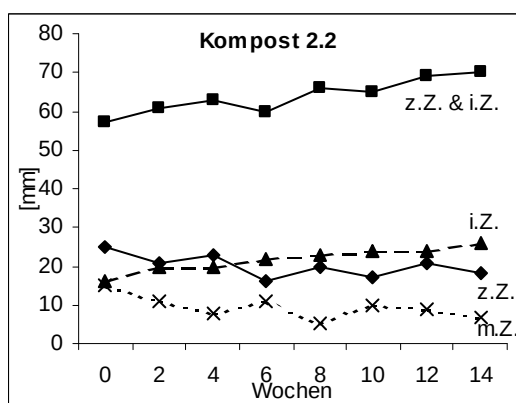
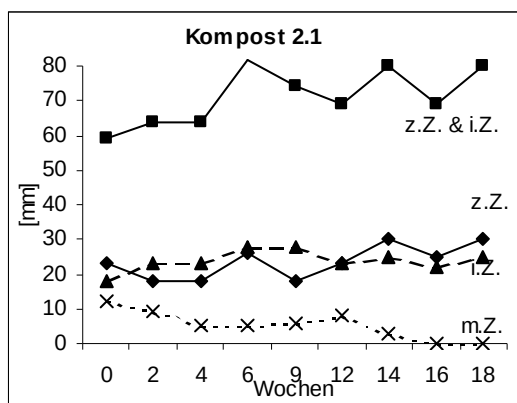
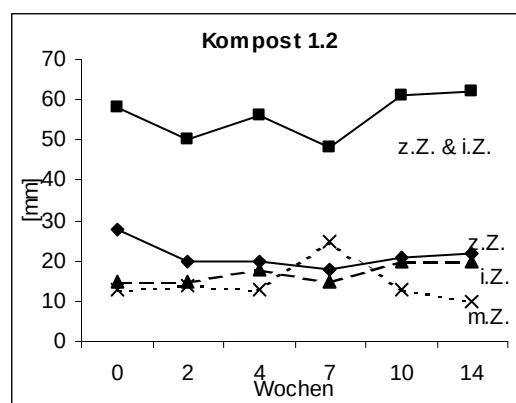
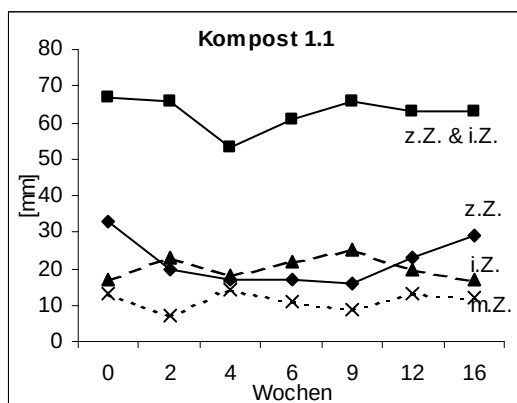
Chroma-bezeich.	ä.Z. Farbe		Wolken um Zackenspitzen	Bildrand Farbe		Struktur	Besonderheiten
1.1/W0	10 YR 8/3	very pale brown	kei	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
1.1/W2	10 YR 8/2	white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger undeutlich	
1.1/W4	10 YR 8/2	white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
1.1/W6	10 YR 8/2	white	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
1.1/W9	10 YR 8/2	white	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
1.1/W12	10 YR 7/4	very pale brown	vie dbn	10 YR 6/4	light yellowish brown	gro ger	
1.1/W16	10 YR 7/4	very pale brown	vievie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	gro wack	
1.2/W0	10 YR 8/3	very pale brown	mi dbn	10 YR 8/2	white	gro wack	
1.2/W2	10 YR 8/2	white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f wack	
1.2/W4	10 YR 8/2	white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
1.2/W7	10 YR 8/2	white	vie hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
1.2/W10	10 YR 8/4	very pale brown	vie dbn	10 YR 8/3	very pale brown	gro wack	
1.2/W14	10 YR 8/4	very pale brown	vievie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	f ger (gro ger)	
2.1/W0	10 YR 7/3	very pale brown	vie bn	10 YR 8/2	white	f ger	
2.1/W2	10 YR 8/4	very pale brown	vie bn, flächig nach außen laufend, dort ringförmig	hell 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.1/W4	10 YR 8/4	very pale brown	mi bn, flächig nach außen laufend, dort ringförmig	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.1/W6	10 YR 8/4	very pale brown	vievie bn, flächig nach außen laufend, dort ringförmig	10 YR 8/2	white	gro ger	
2.1/W9	10 YR 8/4	very pale brown	vie bn flächig nach außen laufend, dort ringförmig	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
2.1/W12	10 YR 8/4	very pale brown	vievie dbn, nach außen ziehend	10 YR 8/3	very pale brown	gro wack	weiße Flecken in m.Z.
2.1/W14	10 YR 7/4	very pale brown	vievie dbn, nach außen ziehend	nicht differenziert	nicht differenziert	gro ger	weiße Flecken in m.Z.
2.1/W16	10 YR 7/4	very pale brown	vievie bn, nach außen ziehend	nicht differenziert	nicht differenziert	gro wack	
2.1/W18	10 YR 7/4	very pale brown	vie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	gro wack	weiße Flecken in m.Z.

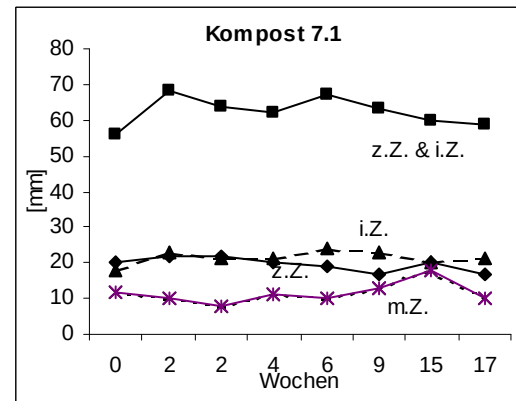
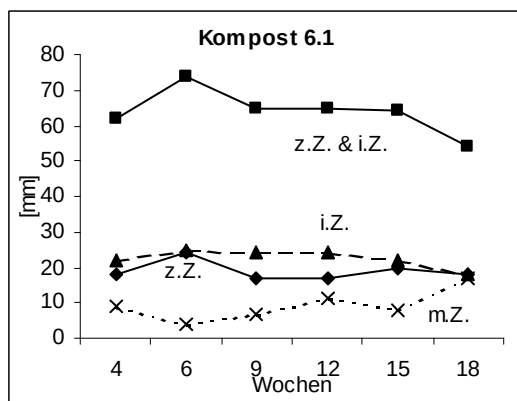
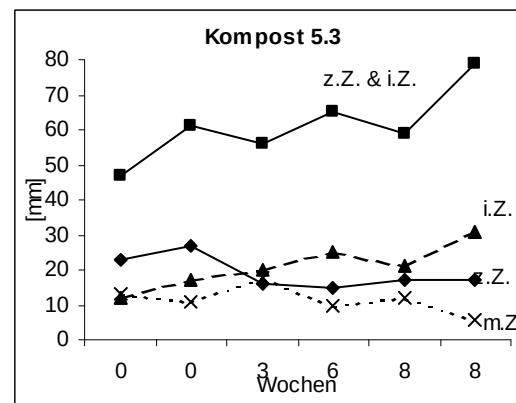
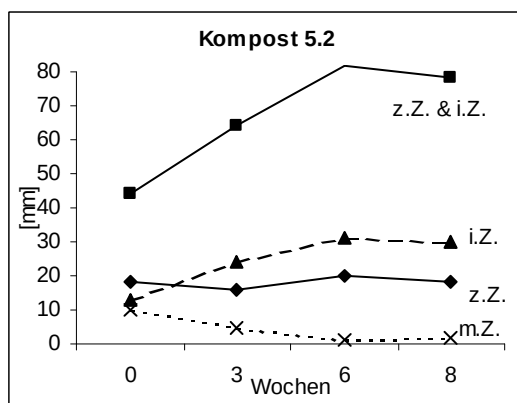
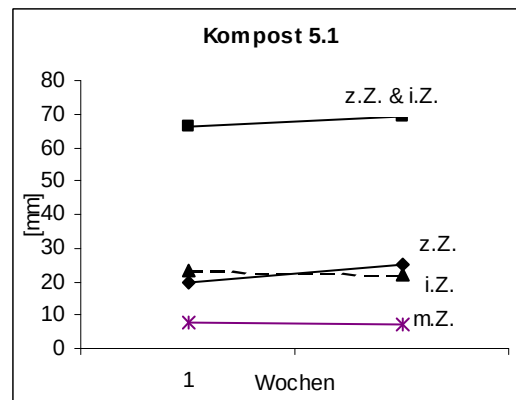
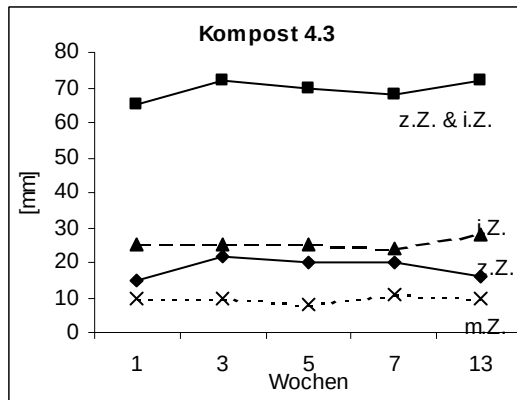
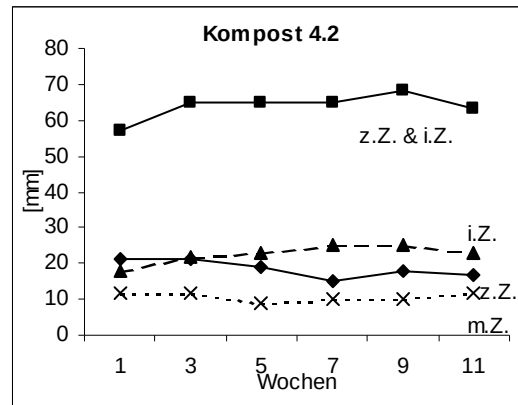
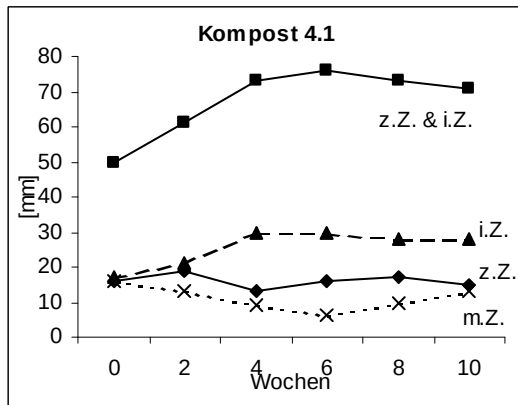
Chroma- bezeich.	ä.Z. Farbe		Wolken um Zacken- spitzen	Bildrand Farbe		Struktur	Besonderheiten
2.2/W0	10 YR 8/2	white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
2.2/W2	10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
2.2/W4	10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
2.2/W6	h 10 YR 8/3	very pale brown	vieve hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.2/W8	10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.2/W10	h 10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.2/W12	10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
2.2/W14	10 YR 8/4	very pale brown	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.3/W0	10 YR 8/3	very pale brown	vieve bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
2.3/W2	10 YR 8/4 (10 YR 8/6) leuchtend	very pale brown (yellow) leuchtend	vieve bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.3/W4	10 YR 8/4 (10 YR 7/6)	very pale brown (yellow)	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	weiße Flecken in m.Z.
2.3/W6	10 YR 8/4 (10 YR 8/6) leuchtend	very pale brown (yellow)	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.3/W8	10 YR 8/4	very pale brown	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	
2.3/W10	10 YR 8/6	yellow	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.3/W24	10 YR 8/3 (10 YR 7/4)	very pale brown	vie (vieve) dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	
2.4/W0	10 YR 7/6	yellow	vie dbn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
2.4/W2	7,5 YR 7/6	reddish yellow	vieve dbn	10 YR 8/3	very pale brown	gro ger	
2.4/W4	h 10 YR 7/6	hell yellow	vieve dbn	10 YR 8/3	very pale brown	gro ger	
2.4/W7	10 YR 8/4	very pale brown	vie dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	
2.4/W10	10 YR 7/4	very pale brown	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	
2.4/W14	10 YR 7/4	very pale brown	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	
3.1/W0	0	0	0	0	0	gro wack undeut- lich	
3.1/W4	10 YR 8/2 (10 YR 8/3)	white (very pale brown)	mi bn (hbn)	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
3.1/W6	10 YR 8/2	white	mi bn (hbn)	h 10 YR 8/2	hell white	gro wack	
3.1/W9	10 YR 8/2	white	vie hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
3.1/W12	10 YR 8/2	white	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro wack	
3.1/W14	10 YR 8/2	white	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro wack	
3.1/W16	10 YR 8/2	white	vie bn (hbn)	10 YR 8/2	white	f ger undeut- lich	

Chroma- bezeich.	ä.Z. Farbe		Wolken um Zacken- spitzen	Bildrand Farbe		Struktur	Besonderheiten
3.1/W16	10 YR 8/2	white	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	f wack	
3.1/W18	10 YR 8/2	white	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeut- lich	
3.2/W0	10 YR 8/3	very pale brown	vieve bn	10 YR 8/2	white	gro ger undeut- lich	
3.2/W2	10 YR 8/3	very pale brown	vie hbn (bn)	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
3.2/W4	10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	10 YR 8/2	white	gro ger	
3.2/W6	10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	10 YR 8/2	white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
3.2/W8	10 YR 7/6	yellow	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro wack	
3.2/W10	10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
3.2/W12	10 YR 8/4	very pale brown	vieve dbn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
3.2/W12	10 YR 8/4	very pale brown	vieve bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
4.1/W0	h 10 YR 8/2	hell white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutl	
4.1/W2	h 10 YR 8/2	hell white	mi hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutl	
4.1/W4	h 10 YR 8/2	hell white	we hbn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	f ger undeutl	
4.1/W6	h 10 YR 8/2	hell white	mi hbn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	f ger undeutl	
4.1/W8	h 10 YR 8/2	hell white	vie hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutl	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
4.1/W10	h 10 YR 8/2	hell white	mi hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutl	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
4.2/W1	10 YR 8/2	white	vieve hbn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	gro ger	
4.2/W3	10 YR 8/2	white	vieve bn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
4.2/W5	10 YR 8/2	white	mi hbn (bn)	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutl	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
4.2/W7	10 YR 8/2	white	we hbn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	f ger undeutl	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
4.2/W9	10 YR 8/2	white	mi hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutl	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
4.2/W11	10 YR 8/2	white	mi bn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	f ger undeut- lich	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
4.3/W1	h 10 YR 8/2	hell white	vie hbn	h 10 YR 8/2	hell white	gro wack	
4.3/W3	h 10 YR 8/2	hell white	mi hbn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
4.3/W5	h 10 YR 8/2	hell white	mi hbn	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	f ger	
4.3/W7	h 10 YR 8/2	hell white	mi hbn	10 YR 8/2	white	f ger	
4.3/W13	h 10 YR 8/2	hell white	mi hbn	10 YR 8/2	white	f ger	
5.1/W0	10 YR 8/4	very pale brown	mi bn	10 YR 8/2	white	gro ger	
5.1/W3	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	10 YR 8/2	white	gro ger	
5.2/W0	0	0	0	0	0	gro wack undeut- lich	

Chroma-bezeich.	ä.Z. Farbe		Wolken um Zacken-spitzen	Bildrand Farbe		Struktur	Besonderheiten
5.2/W3	10 YR 8/4	very pale brown	mi bn	10 YR 8/2	white	gro ger	
5.2/W6	10 YR 8/4	very pale brown	vieve dbn	10 YR 8/3	very pale brown	gro ger	weiße Flecken in m.Z.
5.2/W8	10 YR 7/4	very pale brown	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro wack	weiße Flecken in m.Z.
5.3/W0	10 YR 7/3	very pale brown	mi bn	10 YR 8/2	white	gro wack	
5.3/W0	10 YR 7/3	very pale brown	vie dbn	10 YR 8/2	white	gro wack undeutlich	
5.3/W3	10 YR 8/2	white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
5.3/W6	10 YR 8/2	white	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
5.3/W8	10 YR 8/2	white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
5.3/W8	10 YR 8/2	white	mi bn	10 YR 8/2	white	f ger	
6.1/W4	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn	h 10 YR 8/2	white	gro ger	
6.1/W6	10 YR 8/4	very pale brown	vieve dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	
6.1/W9	10 YR 8/3	very pale brown	vie dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	
6.1/W12	10 YR 8/3	very pale brown	mi dbn	10 YR 8/2	white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
6.1/W15	10 YR 8/4	very pale brown	vie bn	10 YR 8/2	white	gro ger	
6.1/W18	10 YR 8/3	very pale brown	mi dbn	h 10 YR 8/2	white	f ger undeutlich	
7.1/W0	h 10 YR 8/2	hell white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
7.1/W2	10 YR 8/4	very pale brown	vie bn	10 YR 8/2	white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
7.1/W2	10 YR 8/4	very pale brown	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
7.1/W4	10 YR 8/2	white	mi bn	10 YR 8/2	white	gro ger	
7.1/W6	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
7.1/W9	10 YR 8/2	white	mi bn	10 YR 8/2	white	f ger undeutlich	
7.1/W15	10 YR 8/2	white	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
7.1/W17	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutlich	
7.2/W0	10 YR 8/2	white	we hbn (bn)	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
7.2/W2	10 YR 8/2	white	mi hbn (bn)	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
7.2/W4	10 YR 8/3	very pale brown	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
7.2/W7	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
7.2/W13	10 YR 8/3	very pale brown	we hbn	10 YR 8/2	white	f ger	
7.2/W15	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
9.1/W1	10 YR 8/2	white	mi bn (hbn)	hh 10 YR 8/2	hellhell white	gro ger	

Chroma-bezeich.	ä.Z. Farbe		Wolken um Zacken-spitzen	Bildrand Farbe		Struktur	Besonderheiten
9.1/W3	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn (hbn)	hh 10 YR 8/3	hellhell very pale brown	gro ger	
9.1/W5	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	gro wack	
9.1/W8	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn (hbn)	hh 10 YR 8/3	hellhell very pale brown	gro ger	
9.1/W11	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
9.1/W15	10 YR 8/3	very pale brown	vie dgrün	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
9.2/W1	10 YR 8/3	very pale brown	mi hbn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
9.2/W3	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger (f ger)	
9.2/W5	10 YR 8/3	(very pale brown)	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
9.2/W8	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
9.2/W11	10 YR 8/3	very pale brown	vie hbn - bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger (f ger)	
9.2/W15	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	vie dgrün	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
9.3/W1	10 YR 8/3	very pale brown	we hbn (kei)	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	gro ger	
9.3/W3	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
9.3/W5	10 YR 8/2	white	mi hbn (bn)	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
9.3/W8	10 YR 8/2	white	mi bn	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	f ger	
9.3/W11	10 YR 8/2	white	vie dgrün	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
10.1/W0	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt
10.1/W2	10 YR 8/3	very pale brown	we bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger	
10.1/W4	10 YR 8/3	very pale brown	we bn	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	gro ger	
10.1/W7	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	mi hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
10.1/W10	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
10.1/W14	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
10.2/W0	10 YR 8/3	very pale brown	we hbn	hh 10 YR 8/3	hellhell very pale brown	gro ger	
10.2/W2	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn	hh 10 YR 8/3	hellhell very pale brown	f ger	
10.2/W4	10 YR 8/2	white	we hbn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	f ger	
10.2/W4	10 YR 8/2	white	we hbn	hh 10 YR 8/3	hellhell very pale brown	f ger	
10.2/W7	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn	h 10 YR 8/3	hell very pale brown	f ger	
10.2/W7	10 YR 8/3	very pale brown	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	
10.2/W10	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger	





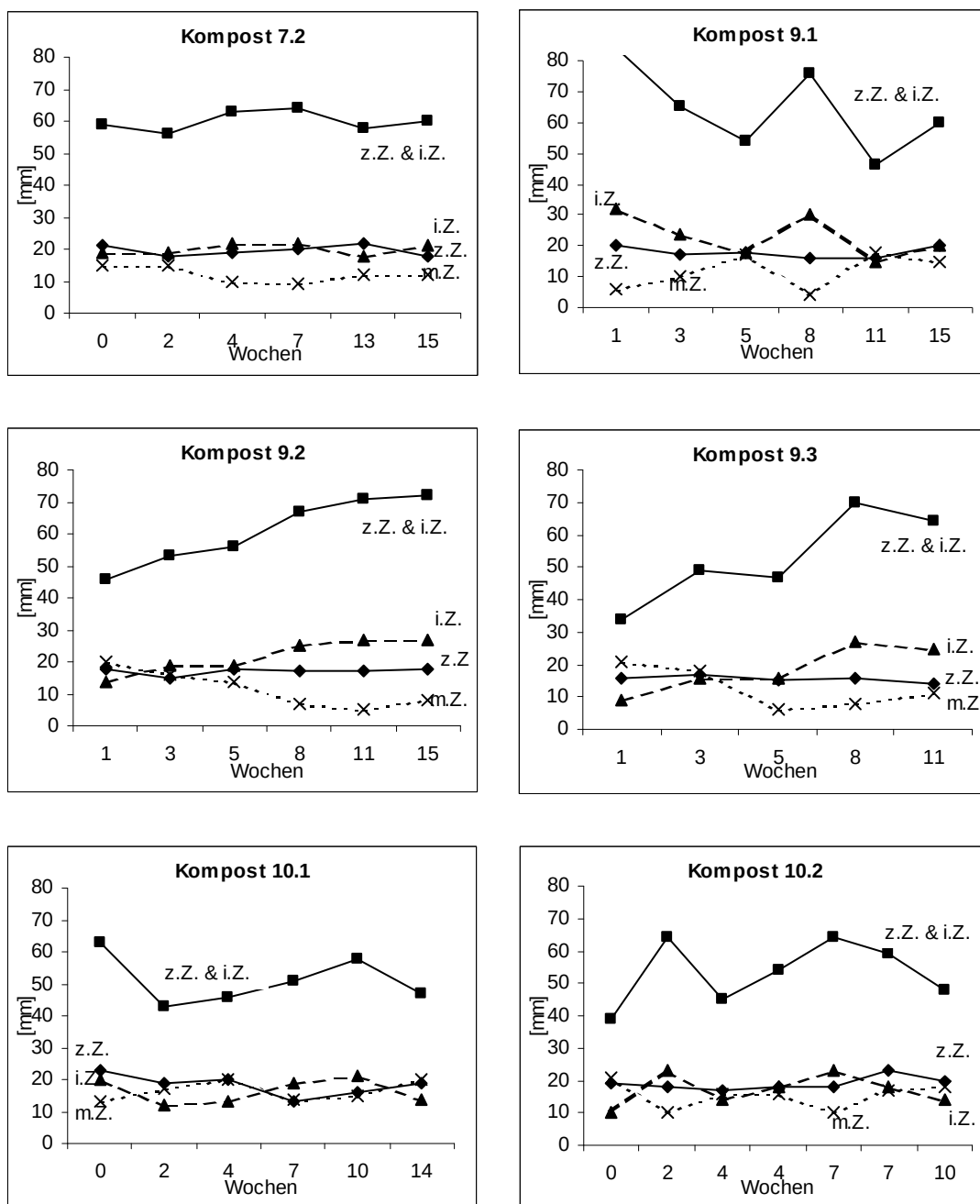


Abb. A2 Veränderung der Größen von zentraler, innerer und mittlerer Zone sowie des Durchmessers von z.Z. & i.Z. im Kompostierungsverlauf aller Komposte

Tab. A9: Gegenüberstellung von NH_4 -Werten und Farbe der zentralen Zone in einer Mehrfeldertafel.

NH₄ [mg kg⁻¹] Farbez. Z. [nach MUNSELL]		< 100	100-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	> 2000	Summe	%
grau-beige Farbtöne, zunehmende Dunkelheit	hh white	0	0	1	0	0	1	2	1,43
	h white	1	10	6	7	5	2	31	22,14
	white	9	9	17	8	7	11	61	43,57
	light gray	1	3	1	0	0	0	5	3,57
	very pale brown	0	2	0	0	0	0	2	1,43
rötliche Farbtöne, zunehmende Dunkelheit	h pinkish white	0	0	0	0	0	1	1	0,71
	pinkish white	0	6	2	1	0	1	10	7,14
	pinkish gray	12	11	3	0	1	0	27	19,29
	reddish gray	1	0	0	0	0	0	1	0,71
Summe		24	41	30	16	13	16	140	
%		17,14	29,29	21,43	11,43	9,29	11,43		100,00

Tab. A10: Gegenüberstellung von NH_4 -Werten und Farbe der zentralen Zone in einer Mehrfeldertafel zur statistischen Auswertung. χ^2 -Wert gemäß Matrix: 17,063.

NH₄ [mg kg⁻¹] FARBE Z.Z. [MUNSELL]	< 1000	> 1000	Summe	%
hh white → white	53	41	94	67,14
light gray, very pale brown	7	0	7	5,00
pinkish → reddish	35	4	39	27,86
Summe	95	45	140	
%	67,86	32,14		100,00

Tab. A11: Gegenüberstellung der Farbe der inneren Zone mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.

		pH	<5,5	5,5-6	6-6,5	6,5-7	7-7,5	7,5-8	>8	Summe
		Farbe i.Z. [nach MUNSSELL]								
graue Farbtöne zunehmende Dunkelheit		white (10YR 8/1, 8/2)	2	4	1	4	3	13	10	37
		light gray (10YR 7/1, 7/2)	6	1	6	5	5	7	5	35
		light gray, gray (10YR 6/1)	0	0	1	1	1	3	1	7
		gray, grayish brown (10YR 5/1, 5/2)	0	0	1	1	0	0	0	2
		Summe	8	5	9	11	9	23	16	81
beige-braune Farb- töne, zunehmende Dunkelheit		very pale brown (10YR 8/3, 8/4)	0	1	2	1	1	0	0	5
		very pale bn (10YR 7/3, 7/4)	2	1	0	1	2	8	4	18
		light brownish gray, pale brown, light yellowish brown (10YR 6/2, 6/3, 6/4)	9	4	7	7	8	15	5	55
		brown, yellowish brown (10YR 5/3, 5/4)	0	0	1	0	0	0	0	1
		Summe	11	6	10	9	11	23	9	79
rosa-violette Farbtöne, zu- nehmende Dunkelheit		white (5YR 8/1)	0	0	0	1	1	1	0	3
		pinkish white (5YR 8/2; 7,5YR 8/2)	0	0	0	1	0	0	1	2
		pinkish gray, pink (5YR 7/2, 7/3; 7,5YR 7/2, 7/3)	2	5	2	0	0	3	3	15
		light gray (5YR 7/1)	0	2	5	1	1	2	1	12
		pink. gray, light reddish bn, light brown (5YR 6/2, 6/3; 7,5YR 6/2, 6/4; 10R 6/2)	6	3	5	3	5	3	0	25
		light gray, gray (5YR 6/1; 10R 6/1)	0	0	0	1	0	1	2	4
		Summe	8	10	12	7	7	10	7	61

Tab. A12: Gegenüberstellung der Farbe der inneren Zone mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.

NH ₄ [mg kg ⁻¹] Farbe i.Z. [nach Munsell]		<100	100-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	>2000	Summe
graue Farbtöne zunehmende Dunkelheit	white (10YR 8/1, 8/2)	4	7	8	6	6	5	36
	light gray (10YR 7/1, 7/2)	11	8	3	2	3	6	33
	light gray, gray (10YR 6/1)	3	5	10	3	4	0	25
	gray, grayish brown (10YR 5/1, 5/2)	0	1	1	0	0	0	2
	Summe	18	21	22	11	13	11	96
beige-braune Farbtöne, zunehmende Dunkelheit	very pale brown (10YR 8/3, 8/4)	0	2	2	1	0	0	5
	very pale bn (10YR 7/3, 7/4)	6	5	3	2	1	1	18
	light brownish gray, pale brown, light yellowish brown (10YR 6/2, 6/3, 6/4)	5	19	19	6	5	1	55
	brown, yellowish brown (10YR 5/3, 5/4)	0	0	1	0	0	0	1
	Summe	11	26	25	9	6	2	79
rosa-violette Farbtöne, zunehmende Dunkelheit	white (5YR 8/1)	2	0	0	1	0	0	3
	pinkish white (5YR 8/2; 7,5YR 8/2)	0	0	0	0	0	2	2
	pinkish gray, pink (5YR 7/2, 7/3; 7,5YR 7/2, 7/3)	1	3	3	2	1	5	15
	light gray (5YR 7/1)	0	1	3	3	1	4	12
	pink. gray, light reddish bn, light brown (5YR 6/2, 6/3; 7,5YR 6/2, 6/4; 10R 6/2)	4	9	4	3	2	3	25
	light gray, gray (5YR 6/1; 10R 6/1)	0	1	0	1	0	2	4
	Summe	7	14	10	10	4	16	61

Tab. A13: Gegenüberstellung der Farbe der inneren Zone mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel zur statistischen Auswertung. Chi²-Wert gemäß Matrix 10,676.

NH ₄ [mg kg ⁻¹] Farbe i.Z. [Munsell]	< 1000	> 1000	Summe	%
graue Farbtöne	61	35	96	40,68
beige-braune Farbtöne	62	17	79	33,47
rosa-violette Farbtöne	31	30	61	25,85
Summe	154	82	236	
%	65,25	34,75		100,00

Tab. A14: Gegenüberstellung der Farbe der inneren Zone mit der Selbsterhitzungsfähigkeit in einer Mehrfeldertafel.

	Selbsterhitzung [°C]					
	Farbe i.Z. [nach MUNSELL]	< 30	30-40	40-50	50-60	> 60
graue Farbtöne zunehmende Dunkelheit	white (10YR 8/1, 8/2)	13	7	1	4	9
	light gray (10YR 7/1, 7/2)	10	3	2	5	13
	light gray, gray (10YR 6/1)	3	2	0	1	1
	Summe	26	12	3	10	23
		74				
beige-braune Farbtöne, zunehmende Dunkelheit	very pale brown (10YR 8/3, 8/4)	1	1	0	2	1
	very pale bn (10YR 7/3, 7/4)	13	0	0	2	1
	light brownish gray, pale brown, light yellowish brown (10YR 6/2, 6/3, 6/4)	20	7	2	6	14
	Summe	34	8	2	10	16
		70				
rosa-violette Farbtöne, zunehmende Dunkelheit	white (5YR 8/1)	2	0	0	1	0
	pinkish white (5YR 8/2; 7,5YR 8/2)	1	0	0	0	1
	pinkish gray, pink (5YR 7/2, 7/3; 7,5YR 7/2, 7/3)	3	1	2	0	7
	light gray (5YR 7/1)	1	0	1	1	6
	pink. gray, light reddish bn, light brown (5YR 6/2, 6/3; 7,5YR 6/2, 6/4; 10R 6/2)	9	1	0	1	8
	light gray, gray (5YR 6/1; 10R 6/1)	0	1	1	2	0
	Summe	16	3	4	5	22
		50				

Tab. A15: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel zur statistischen Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 13,718.

C/N		< 15	> 15	Summe	%
Farbe ä.Z. [MUNSELL]					
h 10YR 8/2		1	11	12	8,57
10 YR 8/2		25	16	41	29,29
10 YR 8/3		17	22	39	27,86
10 YR 8/4 → 7/6		30	18	48	34,29
Summe		73	67	140	
%		52,14	47,86		100,00

Tab. A16: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.

pH		< 7	> 7	Summe	%
Farbe ä.Z. [MUNSELL]					
h 10YR 8/2		3	9	12	8,57
10 YR 8/2		19	22	41	29,29
10 YR 8/3		18	21	39	27,86
10 YR 8/4 → 7/6		26	22	48	34,29
Summe		66	74	140	
%		47,14	52,86		100,00

Tab. A17: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.

NH ₄ [mg kg ⁻¹] Farbe ä.Z. [MUNSELL]	< 100	100-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	> 2000	Summe	%
h 10YR 8/2	9	2	1	0	0	0	12	8,70
10 YR 8/2	12	16	7	3	3	0	41	29,71
10 YR 8/3	2	19	11	5	2	1	39	28,26
10 YR 8/4 → 7/6	1	2	11	8	8	15	46	33,33
Summe	24	39	30	16	13	16	138	
%	17,39	28,26	21,74	11,59	9,42	11,59		100,00

Tab. A18: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel zur statistischen Auswertung, chi²-Wert gemäß Matrix: 39,609.

NH ₄ [mg kg ⁻¹] Farbe ä.Z. [Munsell]	< 1000	> 1000	Summe	%
h 10YR 8/2	12	0	12	8,57
10 YR 8/2	35	6	41	29,29
10 YR 8/3	31	8	39	27,86
10 YR 8/4 → 7/6	16	32	48	34,29
Summe	94	46	140	
%	67,14	32,86		100,00

Tab. A19: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; chi²-Wert gemäß Matrix: 17,362.

Selbsterhitzung [°C] Farbe ä.Z. [MUNSELL]	< 30	30-60	> 60	Summe	%
h 10YR 8/2	9	2	1	12	9,84
10 YR 8/2	17	9	5	31	25,41
10 YR 8/3	17	9	11	37	29,51
10 YR 8/4 → 7/6	9	15	18	42	35,25
Summe	52	35	35	122	
%	42,62	28,69	28,69		100,00

Tab. A20: Gegenüberstellung der Farbe des Bildrandes mit dem Huminstoffgehalt in einer Mehrfeldertafel.

Hmst [mg g^{-1}] Farbe Bildrand [Munsell]	< 200	200-300	> 300	Summe	%
hh 10YR 8/2; 8/3	5	1	0	6	11,76
h 10YR 8/2; 8/3	13	8	3	24	47,06
10YR 8/2; 8/3	5	8	5	18	35,29
10YR 6/4; nicht differenziert	0	0	3	3	5,89
Summe	23	17	11	51	
%	45,09	33,34	21,57		100,00

Tab. A21: Gegenüberstellung der Farbe des Bildrandes mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; Chi^2 -Wert gemäß Matrix: 14,152.

NH_4 [mg kg^{-1}] Farbe Bildrand [Munsell]	< 1000	> 1000	Summe	%
hh 10YR 8/2; 8/3	9	6	15	10,95
h 10YR 8/2; 8/3	61	15	76	55,47
10YR 8/2; 8/3	19	20	39	28,47
10YR 6/4; nicht differenziert	3	4	7	5,11
Summe	92	45	137	
%	67,15	32,85		100,00

Tab. A22: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit den Huminstoffgehalten in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; Chi^2 -Wert gemäß Matrix: 7,966.

Hmst [mg g^{-1}] Wolkenmenge	< 250	> 250	Summe	%
keine, wenige	5	0	5	10,20
mittel	11	3	14	28,57
viele	5	9	14	28,57
sehr viele	11	5	16	32,65
Summe	32	17	49	
%	65,31	34,69		100,00

Tab. A23: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit den Huminstoffgehalten in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 10,153.

Wolkenfarbe \ Hmst [mg g^{-1}]	< 250	> 250	Summe	%
keine, hellbraun	14	1	15	29,41
braun	13	9	22	43,14
dunkelbraun	5	8	13	25,49
dunkelgrün	1	0	1	1,96
Summe	33	18	51	
%	64,71	35,29		100,00

Tab. A24: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem Glühverlust in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 14,145.

Wolkenmenge \ GV [$\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$]	< 30	30-40	> 40	Summe	%
keine, wenige	4	10	5	19	14,07
mittel	14	12	17	43	31,85
viele	3	26	9	38	28,15
sehr viele	10	20	5	35	25,93
Summe	31	68	36	135	
%	22,96	50,37	26,67		100,00

Tab. A25: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 26,570.

Wolkenmenge \ C/N	< 15	15-20	> 20	Summe	%
keine, wenige	2	11	6	19	14,07
mittel	19	16	8	43	31,85
viele, sehr viele	50	21	2	83	61,48
Summe	71	48	16	135	
%	51,59	35,56	11,85		100,00

Tab. A26: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 19,510.

C/N Wolkenfarbe	< 15	15-20	> 20	Summe	%
keine, hellbraun	11	22	9	42	28,97
braun	39	25	7	71	48,97
dunkelbraun	21	6	2	29	20,00
dunkelgrün	3	0	0	3	2,07
Summe	74	53	18	145	
%	51,03	36,55	12,41		100,00

Tab. A27: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit der Absorption bei WZ 1623 in einer Mehrfeldertafel.

Absorption WZ 1623 [%] Menge der Wolken	< 20	30-40	40-50	> 50	Summe	%
keine, wenige	1	1	0	1	3	12,50
mittel	1	5	1	0	7	29,17
viele	0	4	0	3	7	29,17
sehr viele	0	2	3	2	7	29,17
Summe	2	12	4	6	24	
%	8,33	50,00	16,67	25,00		100,00

Tab. A28: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit der Absorption bei WZ 1623 in einer Mehrfeldertafel.

Abs. WZ 1623 [%] Wolkenfarbe	< 20	30-40	> 40	Summe	%
keine, hellbraun	1	3	3	7	29,17
braun	1	7	1	9	37,50
dunkelbraun	0	1	6	7	29,17
dunkelgrün	0	1	0	1	4,17
Summe	2	12	10	24	
%	8,33	50,00	41,67		100,00

Tab. A29: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 46,522.

NH₄ [mg kg⁻¹] Wolkenmenge	< 1000	> 1000	Summe	%
keine, wenige	18	1	19	14,07
mittel	35	8	43	31,85
viele	31	7	38	28,15
sehr viele	6	29	35	25,93
Summe	90	45	135	
%	66,67	33,33		100,00

Tab. A30: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.

NH₄ [mg kg⁻¹] Wolkenfarbe	< 100	100-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	> 2000	Summe	%
keine, hellbraun	13	16	5	3	1	0	38	26,95
braun	9	21	18	12	7	4	71	50,35
dunkelbraun	1	3	6	2	5	12	29	20,57
dunkelgrün	2	1	0	0	0	0	3	2,13
Summe	25	41	29	17	13	16	141	
%	17,73	29,08	20,57	12,06	9,22	11,35		100,00

Tab. A31: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 14,907.

Selbsterhitzung [°C] Wolkenmenge	< 30	30-60	> 60	Summe	%
keine, wenige	4	7	5	16	13,22
mittel	23	5	8	36	29,75
viele	17	11	7	35	28,93
sehr viele	7	12	15	34	28,10
Summe	51	35	35	121	
%	42,15	28,93	28,93		100,00

Tab. A32: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel.

Selbsterhitzung [°C] Wolkenfarbe	< 30	30-60	> 60	Summe	%
keine, hellbraun	16	11	7	34	26,77
braun	25	14	23	62	48,82
dunkelbraun	11	9	8	28	22,05
dunkelgrün	3	0	0	3	2,36
Summe	55	34	38	127	
%	43,31	26,77	29,92		100,00

Tab. A33: Gegenüberstellung der Struktur mit dem Huminstoffgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; Chi²-Wert gemäß Matrix: 11,993.

Hmst [mg g ⁻¹] Struktur	< 250	> 250	Summe	%
fein, gerade	15	2	17	28,33
grob gerade	16	10	26	43,33
wackelig	1	5	6	10,00
undeutlich	9	2	11	18,33
Summe	41	19	60	
%	68,33	31,67		100,00

Tab. A34: Gegenüberstellung der Struktur mit dem Glühverlust in einer Mehrfeldertafel.

Glühverlust [g 100 g ⁻¹] Struktur	< 30	30-35	35-40	40-50	> 50	Summe	%
fein, gerade	12	12	12	8	2	46	28,40
grob gerade	18	21	17	12	9	77	47,53
wackelig	2	1	8	5	3	19	11,73
undeutlich	7	1	6	3	3	20	12,35
Summe	39	35	43	28	17	162	
%	24,07	21,60	26,54	17,28	10,49		100,00

Tab. A35: Gegenüberstellung der Struktur mit der Absorption bei WZ 1623 in einer Mehrfeldertafel.

Absorption WZ 1623 [%]					
Struktur		< 40	> 40	Summe	%
fein, gerade		9	2	11	37,93
grob gerade		4	7	11	37,93
wackelig		1	1	2	6,90
undeutlich		3	2	5	17,24
Summe		17	12	29	
%		58,62	41,38		100,00

Tab. A36: Gegenüberstellung der Struktur mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.

pH					
Struktur		< 7	> 7	Summe	%
fein, gerade		15	31	46	28,40
grob gerade		42	35	77	47,53
wackelig		10	9	19	11,73
undeutlich		7	13	20	12,35
Summe		74	88	162	
%		45,68	54,32		100,00

Tab. A37: Gegenüberstellung der Struktur mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; Chi²-Wert gemäß Matrix: 38,162

NH ₄ [mg kg ⁻¹]					
Struktur		< 1000	> 1000	Summe	%
fein, gerade		44	2	46	28,40
grob gerade		39	38	77	47,53
wackelig		14	5	19	11,73
undeutlich		20	0	20	12,35
Summe		117	45	162	
%		72,22	27,78		100,00

Tab. A38: Gegenüberstellung der Struktur mit der Selbsterhitzungsfähigkeit in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 25,472

Struktur \ Selbsterhitzung [°C]	Selbsterhitzung [°C]			Summe	%
	< 30	30-60	> 60		
fein, gerade	27	9	4	40	28,78
grob gerade	19	22	28	69	49,64
wackelig	6	5	4	15	10,79
undeutlich	11	0	4	15	10,79
Summe	63	36	40	139	
%	45,32	25,90	28,78		100,00

Tab. A39: Gegenüberstellung der Grenze i.Z./m.Z. mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.

Grenze i.Z./m.Z. \ pH	pH		Summe	%
	< 7	> 7		
scharf	27	19	46	32,39
unscharf	21	20	41	28,87
fließend	13	24	37	26,06
stark fließend, sehr stark fließend	6	12	18	12,68
Summe	67	75	142	
%	47,18	52,82		100,00

Tab. A40: Gegenüberstellung der Grenze i.Z./m.Z. mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; χ^2 -Wert gemäß Matrix: 30,833.

Grenze i.Z./m.Z. \ NH ₄ [mg kg ⁻¹]	NH ₄ [mg kg ⁻¹]		Summe	%
	< 1000	> 1000		
scharf	17	29	46	32,39
unscharf	31	10	41	28,87
fließend	33	4	37	26,06
stark fließend, sehr stark fließend	15	3	18	12,68
Summe	96	46	142	
%	67,61	32,39		100,00

Tab. A41: Gegenüberstellung der Grenze i.Z./m.Z. mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel mit statistischer Auswertung; Chi²-Wert gemäß Matrix: 18,713.

Selbsterhitzung [°C] Grenze i.Z./m.Z.	< 30	30-60	> 60	Summe	%
scharf	10	10	20	40	32,26
unscharf	12	11	10	33	26,61
fließend	21	9	4	34	27,42
stark fließend, sehr stark fließend	9	6	2	17	13,71
Summe	52	36	36	124	
%	41,94	29,03	29,03		100,00

Tab. A42: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit dem Huminstoffgehalt in einer Mehrfeldertafel.

Huminstoffgehalt [mg g ⁻¹] Besonderheiten	< 150	150-200	200-250	250-300	> 300	Summe	%
Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt	2	8	3	2	1	16	32,65
Zackenfarbe ähnlich wie m.Z.	6	7	6	5	9	33	67,35
Summe	8	15	9	7	10	49	
%	16,33	30,61	18,37	14,29	20,41		100,00

Tab. A43: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel.

C/N Besonderheiten	< 12	12-15	15-17	17-19	> 20	Summe	%
Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt	6	16	1	6	3	32	23,02
Zackenfarbe ähnlich wie m.Z.	18	31	19	24	15	107	76,98
Summe	24	47	20	30	18	139	
%	17,27	33,81	14,39	21,58	12,95		100,00

Tab. A44: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.

pH Besonderheiten	< 5,5	5,5-6	6-6,5	6,5-7	7-7,5	7,5-8	> 8	Summe	%
Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt	4	3	2	4	6	8	5	32	23,02
Zackenfarbe ähnlich wie m.Z.	13	9	18	13	12	27	15	107	76,98
Summe	17	12	20	17	18	35	20	139	
%	12,23	8,63	14,39	12,23	12,95	25,18	14,39		100,00

Tab. A45: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.

Besonderheiten \ NH₄ [mg kg⁻¹]	< 100	100-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	> 2000	Summe	%
Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt	13	3	2	5	5	4	32	23,02
Zackenfarbe ähnlich wie m.Z.	11	37	28	11	8	12	107	76,98
Summe	24	40	30	16	13	16	139	
%	17,27	28,78	21,58	11,51	9,35	11,51		100,00

Tab. A46: Gegenüberstellung des Merkmals „Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt“ mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel.

Besonderheiten \ Selbsterhitzung [°C]	< 30	30-40	40-50	50-60	> 60	Summe	%
Zacken farblich von m.Z. abgegrenzt	14	0	2	5	7	28	22,95
Zackenfarbe ähnlich wie m.Z.	37	15	4	9	29	94	77,05
Summe	51	15	6	14	36	122	
%	41,50	12,30	4,92	11,48	29,51		100,00

Tab. A47: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit dem Glühverlust in einer Mehrfeldertafel.

Besonderheiten \ Glühverlust [g 100 g⁻¹]	<20	20-30	30-35	35-40	40-50	>50
weiße Flecken im Bereich der m.Z.	0	0	1	2	1	2

Tab. A48: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel.

Besonderheiten \ C/N	< 12	12-15	15-17	17-19	> 20
weiße Flecken im Bereich der m.Z.	4	2	0	0	0

Tab. A49: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.

Besonderheiten \ pH	< 5,5	5,5-6	6-6,5	6,5-7	7-7,5	7,5-8	> 8
weiße Flecken im Bereich der m.Z.	0	0	1	1	1	0	3

Tab. A50: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit dem Gehalt an Ammonium in einer Mehrfeldertafel.

NH₄ [mg kg⁻¹] Besonderheiten	< 100	100-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	> 2000
weiße Flecken im Bereich der m.Z.	0	0	0	1	2	3

Tab. A51: Gegenüberstellung des Merkmals „weiße Flecken im Bereich der m.Z.“ mit der Selbsterhitzung in einer Mehrfeldertafel.

Selbsterhitzung [°C] Besonderheiten	< 30	30-40	40-50	50-60	> 60
weiße Flecken im Bereich der m.Z.	3	1	1	0	1

Tab. A52: Analysenergebnisse der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: Wassergehalt, Rohdichte, Glühverlust, pH-Wert, Salzgehalt (KCl), C/N, Ammonium, Nitrat, Phosphat, Kaliumoxid, Magnesiumoxid, Nitrit, Selbsterhitzung.

Kompost	Wassergehalt [g 100 g ⁻¹]	Rohdichte [g l ⁻¹ FS]	Glühverlust [g 100 g ⁻¹]	pH	Salzgehalt (KCl) [g l ⁻¹ FS]	C/N	NH ₄ [mg l ⁻¹ FS]	NO ₃ [mg l ⁻¹ FS]	P ₂ O ₅ [mg l ⁻¹ FS]	K ₂ O [mg l ⁻¹ FS]	MgO [mg l ⁻¹ FS]	Nitrit-N [mg kg ⁻¹ FS]	Selbsterh. [°C]
FK 1	30,7 ±0,9	772,1 ±9,4	24,0 ±0,7	7,0	7,7	9,2 ±0,2	6,8 ±1,2	138,8 ±5,4	1918,2 ±18,6	6149,9 ±611,6	458,5 ±2,0	0,5	25
FK 4	28,4 ±0,6	685,4 ±6,9	23,0 ±0,9	8,1	9,6	8,5 ±0,1	583,3 ±2,2	72,8 ±2,1	1674,7 ±9,5	6150,0 ±63,8	439,5 ±25,1	0,7	21
FK 5	43,0 ±0,2	564,0 ±18,1	24,1 ±0,6	7,7	4,4	8,5 ±0,2	24,5 ±1,8	39,8 ±2,3	1719,7 ±88,9	3998,9 ±115,8	354,0 ±3,7	0,5	17,5
FK 6	16,6 ±0,1	426,4 ±26,6	33,8 ±0,6	7,3	6,6	10,1 ±0,0	89,5 ±4,3	66,0 ±1,3	1033,5 ±35,1	3683,8 ±204,3	264,6 ±5,7	1,5	28
FK 7	40,5 ±1,1	422,9 ±10,1	40,4 ±2,0	8,2	8,6	9,3 ±0,3	514,1 ±1,4	19,6 ±1,7	1479,1 ±11,6	5004,3 ±232,0	323,9 ±15,8	11,2	21
FK 8	55,1 ±0,5	537,8 ±8,1	35,0 ±3,1	7,9	4,0	11,5 ±0,6	9,4 ±1,7	8,6 ±1,1	1204,6 ±11,6	4694,5 ±203,0	351,5 ±1,6	0,4	19
FK 9	28,0 ±0,8	528,2 ±6,0	23,4 ±5,6	6,4	6,5	8,7 ±0,2	38,5 ±1,2	169,0 ±1,3	1003,8 ±5,7	3861,4 ±311,1	285,3 ±1,0	0,8	18
FK 11	66,4 ±0,1	355,7 ±7,2	62,6 ±0,2	8,1	4,6	12,8 ±1,2	473,6 ±4,4	0,0 ±0,0	2080,0 ±56,6	2427,5 ±102,1	415,2 ±9,1	2,0	n.g.
FK 12	51,0 ± -	928,8 ±5,9	27,0 ±3,2	8,0	6,1	16,4 ±0,3	9,1 ±5,5	9,1 ±0,0	2184,0 ±82,4	10790,2 ±253,3	397,4 ±52,9	0,3	23
FK 13	28,1 ±1,2	648,0 ±12,1	34,4 ±5,8	6,3	4,8	17,5 ±0,6	738,4 ±9,5	0,0 ±1,4	928,3 ±20,0	2933,2 ±451,9	434,9 ±6,4	2,1	61
FK 14	35,9 ±0,0	1063,0 ±23,6	18,6 ±0,6	7,4	9,1	10,9 ±0,1	4,8 ±3,4	135,2 ±1,1	4083,3 ±90,3	8818,2 ±283,7	578,0 ±2,2	0,7	20
FK 16	39,1 ±1,0	692,3 ±12,6	25,4 ±2,2	8,2	6,8	9,0 ±0,3	983,0 ±5,6	15,3 ±0,7	1510,2 ±11,5	4117,9 ±182,1	369,2 ±16,5	3,4	24
FK 17	40,8 ±0,4	829,4 ±17,0	18,6 ±0,9	7,7	4,2	11,7 ±0,3	33,0 ±4,6	32,4 ±1,3	1257,4 ±29,5	3032,2 ±90,5	258,2 ±15,0	0,6	22
FK 18	37,8 ±0,3	806,1 ±9,7	19,5 ±1,2	7,7	4,8	11,6 ±0,1	73,7 ±8,4	41,1 ±0,8	1189,9 ±38,0	3300,3 ±233,5	296,7 ±1,1	0,9	23
FK 19	47,3 ±0,4	685,3 ±8,6	29,0 ±1,3	6,2	4,5	17,1 ±0,2	2,1 ±0,7	4,1 ±3,6	984,1 ±26,4	4004,5 ±106,4	248,9 ±4,7	0,4	20
FK 20	43,8 ±0,5	660,2 ±3,5	28,5 ±0,4	6,7	3,3	14,2 ±0,1	12,7 ±7,2	226,6 ±4,4	362,0 ±17,8	881,5 ±206,9	141,8 ±1,9	0,6	23
FK 21	44,8 ±0,4	602,5 ±4,8	35,3 ±1,4	7,1	3,1	14,2 ±0,1	20,1 ±1,9	133,2 ±1,2	1953,0 ±35,6	3227,9 ±87,8	388,2 ±1,5	0,9	24
FK 22	26,2 ±0,3	352,5 ±2,6	57,2 ±5,7	6,5	6,6	12,5 ±0,5	575,6 ±1,5	5,4 ±2,5	1004,7 ±5,7	3300,8 ±17,5	254,8 ±17,8	n.g.	24
FK 23	49,6 ±0,7	442,7 ±4,6	47,0 ±4,5	6,4	1,8	17,8 ±0,2	36,1 ±2,8	6,6 ±1,9	287,0 ±6,9	1125,4 ±22,1	191,8 ±13,0	0,9	23

Tab. A53: Relative Frischmasseerträge aus den Pflanzentests der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: geschlossener Kresstest, Sommergerste auf 25% und 50% Kompost, Chinakohltest.

Kompost	geschlossener Kresstest relative FM/Topf [g 100g ⁻¹]	Gerstetest 25 % Kompost relative FM/Topf [g 100g ⁻¹]	Gerstetest 50 % Kompost relative FM/Topf [g 100g ⁻¹]	Chinakohltest 50 % Kompost relative FM/Topf [g 100g ⁻¹]
FK 1	38,1 ±8,7	n.g.	n.g.	n.g.
FK 4	43,8 ±15,7	n.g.	n.g.	n.g.
FK 5	57,9 ±24,1	n.g.	n.g.	n.g.
FK 6	31,0 ±2,4	105,9 ±6,0	74,9 ±4,3	83,4 ±6,7
FK 7	50,4 ±3,9	85,4 ±6,0	40,7 ±6,8	41,0 ±13,7
FK 8	61,3 ±12,3	97,0 ±2,5	77,9 ±6,7	113,2 ±5,0
FK 9	75,5 ±26,0	n.g.	n.g.	n.g.
FK 11	90,4 ±28,3	n.g.	n.g.	n.g.
FK 12	87,5 ±7,0	99,2 ±1,7	78,7 ±6,2	107,3 ±7,4
FK 13	78,7 ±19,8	103,3 ±3,4	95,5 ±5,0	96,7 ±16,9
FK 14	99,5 ±11,2	108,4 ±12,5	86,9 ±2,4	136,4 ±12,2
FK 17	91,9 ±7,0	105,7 ±3,1	102,4 ±7,4	148,2 ±17,5
FK 18	89,6 ±12,8	116,4 ±7,5	105,8 ±7,2	141,0 ±22,6
FK 19	83,6 ±15,7	117,5 ±3,8	110,0 ±9,1	155,5 ±21,0
FK 20	68,9 ±23,7	118,3 ±6,3	119,9 ±4,4	175,8 ±25,7
FK 21	97,4 ±19,7	125,3 ±2,8	121,0 ±6,8	176,9 ±14,8
FK 22	18,0 ±0,3	110,4 ±0,4	77,5 ±5,8	91,8 ±22,3
FK 23	88,8 ±16,3	118,8 ±4,3	123,8 ±2,6	127,3 ±8,4

Tab. A54: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: Durchmesser der zentralen Zone (z.Z.), sowie von z.Z.&i.Z.; Breite der inneren Zone (i.Z.), Ringausbreitung in i.Z. (0= kein sichtbarer Ring, 1= schmal, 2= breit, 3= dominant, mit schmalem hellem Ring an Grenze zu m.Z.) Farben der z.Z. und i.Z. (nach MUNSELL 1975)

Chroma-bezeich.	z.Z. & i.Z. Durchm. [mm]	z.Z. Durchm. [mm]	z.Z. Farbe		i.Z. Breite [mm]	Ring in i.Z.	i.Z. Farbe	
FK 1	70	35	10 YR 8/2	white	17	0	5 YR 7/2	pinkish gray
FK 4	75	30	10 YR 8/2	white	25	0	5 YR 7/1	light gray
FK 5	71	33	10 YR 8/2	white	18	0	7,5 YR 6/2	pinkish gray
FK 6	67	22	10 YR 8/2	white	24	0	5 YR 8/1 (5 YR 7/1)	white; light gray
FK 7	80	30	10 YR 8/2	white	25	0	10 YR 7/1 (10 YR 8/2)	light gray; white
FK 8	70	20	5 YR 7/1	light gray	25	1	10 YR 7/2 (10 YR 8/2)	light gray; white
FK 9	70	32	10 YR 8/2	white	20	0	7,5 YR 6/2	pinkish gray
FK 9	64	32	10 YR 8/2	white	16	1	5 YR 7/1	light gray; pinkish gray
FK 11	68	21	hh 10 YR 8/2	hellhell white	24	1	10 YR 6/3 (10 YR 7/2)	pale brown; light gray
FK12	71	15	5 YR 7/2	pinkish gray	28	1	10 YR 8/1	white
FK 13	59	17	10 YR 8/2	white	21	2	5 YR 7/1 (5 YR 6/2)	light brownish gray
FK 13	68	18	10 YR 8/2	white	25	2	10 YR 6/1 (10 YR 7/2)	light gray, gray; light gray
FK 14	63	17	5 YR 8/1	white	23	1	10 YR 7/2	light gray
FK 16	66	20	hh 10 YR 8/2	Hellhell white	23	1	10 YR 7/3 10 YR 6/2	very pale brown; light brownish gray
FK 17	60	20	10 YR 8/2	white	20	2	5 YR 8/1 (10 YR 6/3)	pale brown; white
FK 18	58	22	7,5 YR 8/2	pinkish white	18	2	5 YR 7/2	pinkish gray
FK 19	72	16	5 YR 6/2	pinkish gray	28	1	10 YR 7/2	light gray
FK 20	66	16	5 YR 7/1	light gray	23	2	10 YR 6/2 10 YR 6/3	light brownish gray; pale brown
FK 21	54	18	10 YR 8/1	white	18	3	7,5 YR 6/4 (7,5 YR 7/2)	light brown; light gray
FK 22	78	18	10 YR 8/2	white	30	0	5 YR 6/2	pinkish gray
FK 23	79	17	7,5 YR 7/2 7,5 YR 6/2	pinkish gray	31	1	7,5 YR 6/4 (7,5 YR 5/4)	light brown; brown
FK 23	59	17	7,5 YR 7/2	pinkish gray	31	1	7,5 YR 6/4	light brown

Tab. A55: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: Breite der mittleren Zone (m.Z.), Grenze i.Z./m.Z. (sch= scharf, usch= unscharf, fl= fließend, st fl= stark fließend, stst fl= sehr stark fließend, n.k.= nicht komplett, n.v.= nicht vorhanden) Menge und Länge der Zacken (we= wenige; mi= mittel; vie= viele, vievie= sehr viele, ku= kurz, s ku= sehr kurz, la= lang, einz. la= einzelne lange, 0= nicht vorhanden aufgrund Steighemmung), Farbe der m.Z. sowie der Zacken (nach MUNSELL 1975)

Chroma-bezeich.	Grenze i.Z./m.Z.	m.Z. Breite	m.Z. Farbe		Zacken-menge	Zacken-länge	Zackenfarbe	
FK 1	sch	10	10 YR 5/3	brown	vie	mi - la	10 YR 6/2	light brownish gray
FK 4	usch n.k.	0 - 2	10 YR 5/2	grayish brown	mi	ku	10 YR 5/2	grayish brown
FK 5	usch	9	10 YR 5/4	yellowish brown	vievie	ku - la	10 YR 5/2	grayish brown
FK 6	sch	7	10 YR 5/3	brown	vie	mi - la	10 YR 5/2	grayish brown
FK 7	usch	n.k.	2,5 Y 5/2	grayish brown	mi	ku - mi	2,5 Y 5/2	grayish brown
FK 8	stst fl	12	5 YR 6/2	pinkish gray	vie	mi - la	10 YR 5/1	gray
FK 9	usch	7	10 YR 5/4	yellowish brown	vie	ku - la	10 YR 5/1	gray
FK 9	sch	9	10 YR 5/3	brown	vie	ku - la	10 YR 5/1	gray
FK 11	st fl	9	10 YR 5/2 10 YR 7/2	grayish brown light gray	vie	ku - mi	10 YR 6/2	light brownish gray
FK12	fl	13	10 YR 6/1	light gray, gray	vievie	mi	10 YR 7/1 10 YR 6/1	light gray
FK 13	sch	7-13	10 YR 5/2 10 YR 7/3	grayish brown (very pale brown)	vie	la	10 YR 6/1	gray light gray
FK 13	usch	7	10 YR 4/6	dark yellowish brown	vie	la	10 YR 6/1	gray light gray
FK 14	usch	12	7,5 YR 5/4	brown	vievie	la	10 YR 6/2	light brownish gray
FK 16	stst fl	6	10 YR 6/1	light gray gray	mi	ku - la	10 YR 6/1	light gray, gray
FK 17	sch	18	10 YR 6/2	light brownish gray	vie	ku - mi	10 YR 6/1	light gray, gray
FK 18	sch	12	10 YR 5/3	brown	vie	ku - mi	10 YR 6/2	light brownish gray
FK 19	st fl	10	10 YR 6/1 (7,5 YR 5/4)	light gray, gray (brown)	vie	la	10 YR 6/1	light gray, gray
FK 20	st fl	6	10 YR 6/4	light yellowish brown	vie	mi	10 YR 6/1	light gray, gray
FK 21	usch	17	7,5 YR 5/4	brown	vie	ku - la	7,5 YR 5/4	brown
FK 22	sch (n.k.)	0-3	n.k. 10 YR 5/4	yellowish brown	we	ku - la	10 YR 5/4	yellowish brown
FK 23	fl	6	7,5 YR 5/6	strong brown	vie	la	10 YR 6/3	pale brown
FK 23	fl	12	7,5 YR 5/4	brown	vie	mi-la	10 YR 5/3	brown

Tab. A56: Ergebnisse aus dem Chroma-Boden-Test der weitergehend untersuchten Fertigkomposte: Farbe von äußerer Zone (ä.Z.) und Bildrand (nach MUNSELL 1975), Wolken um Zackenspitzen (kei= keine, we= wenige, mi= mittel, vie= viele, vievie= sehr viele, hbn= hellbraun, hhbn= sehr hell braun, bn= braun, dbn= dunkelbraun, 0= nicht vorhanden aufgrund Steighemmung), Struktur (f= fein, gro= grob, ger= gerade, wack= wacklig).

Chroma-bezeich.	ä.Z. Farbe		Wolken um Zackenspitzen	Bildrand Farbe		Struktur
FK 1	10 YR 7/4	very pale brown	mi (vie) dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	gro ger
FK 4	10 YR 7/4	very pale brown	vievie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	gro ger
FK 5	10 YR 7/4	very pale brown	vie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	f wack undeutl
FK 6	10 YR 8/4	very pale brown	vie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	gro ger
FK 7	10 YR 7/4	very pale brown	vie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	gro wack
FK 8	10 YR 8/2	white	vie bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutl
FK 9	10 YR 8/4	very pale brown	vievie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	gro wack
FK 9	10 YR 8/3	very pale brown	vie dbn	nicht differenziert	nicht differenziert	gro ger
FK 11	10 YR 8/3	very pale brown	vievie hbn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	gro ger
FK12	10 YR 8/2	white	mi hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutl
FK 13	10 YR 8/4	very pale brown	vievie bn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger
FK 13	10 YR 8/4	very pale brown	vievie dbn	h 10 YR 8/2	hell white	gro ger
FK 14	10 YR 8/2	white	mi bn	hh 10 YR 8/2	hellhell white	f ger undeutl
FK 16	10 YR 8/3 (10 YR 7/4)	very pale brown	vie (vievie) bn	10 YR 8/2	white	gro ger
FK 17	10 YR 8/2	white	mi bn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger
FK 18	10 YR 8/3	very pale brown	we hbn	10 YR 8/2	white	f ger
FK 19	10 YR 8/3	very pale brown	mi hbn	10 YR 8/2	white	f ger
FK 20	10 YR 8/2	white	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger undeutlich
FK 21	10 YR 8/3	very pale brown	mi dbn	h 10 YR 8/2	white	f ger undeutl
FK 22	10 YR 7/4	very pale brown	vievie dbn	10 YR 8/2	white	gro wack
FK 23	10 YR 8/3	very pale brown	mi bn	10 YR 8/2	white	f ger
FK 23	10 YR 8/3	very pale brown	we hbn	h 10 YR 8/2	hell white	f ger

Tab. A57: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der i.Z. mit dem pH-Wert in einer Mehrfeldertafel.

Farbe i.Z. [MUNSELL] \ pH	< 7	7 - 8	> 8	Summe
10 YR	3	3	6	12
5YR; 7,5 YR	9	5	1	15
Summe	12	8	7	27

Tab. A58: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe des Bildrandes mit dem Salzgehalt in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 6,35.

Farbe Bildrand [MUNSELL] \ Salzgehalt [g l ⁻¹]	< 5	> 5	Summe	%
hh & h 10YR 8/2	7	2	9	45,00
10 YR 8/2	2	2	4	20,00
nicht differenziert	1	6	7	35,00
Summe	10	10	20	
%	50,00	50,00		100,00

Tab. A59: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der z.Z. mit dem C/N-Verhältnis in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 6,85.

Farbe z.Z. [MUNSELL] \ C/N	< 10	10 - 15	> 15	Summe	%
10 YR	7	5	2	14	70,00
5 YR & 7,5 YR	0	2	4	6	30,00
Summe	7	7	6	20	
%	35,00	35,00	30,00		100,00

Tab. A60: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der ä.Z. mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel.

Farbe ä.Z. [MUNSELL] \ NH ₄ [mg l ⁻¹ FS]	< 10	10 - 50	50 - 500	> 500	Summe	%
10YR 8/2	3	1	0	0	4	19,05
10YR 8/3	1	4	1	1	7	33,33
10YR 8/4 → 7/6	1	2	1	6	10	47,62
Summe	5	7	2	7	21	
%	23,81	33,33	9,52	33,33		100,00

Tab. A61: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Struktur mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 13,2.

NH ₄ [mg l ⁻¹ FS] \ Struktur	< 10	10 - 50	50 - 500	> 500	Summe	%
fein	4	5	0	0	9	37,50
grob	1	2	2	6	11	45,83
wacklig	0	2	0	2	4	16,67
Summe	5	9	2	8	24	
%	20,83	37,50	8,33	33,33		100,00

Tab. A62: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem Ammoniumgehalt in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 14,4.

NH ₄ [mg l ⁻¹ FS] \ Wolkenmenge	< 10	10 - 50	> 50	Summe	%
wenige	0	1	0	1	4,55
mittel	4	3	0	7	31,82
viele	2	3	2	7	31,82
sehr viele	0	1	6	7	31,82
Summe	6	8	8	22	
%	27,27	36,36	36,36		100,00

Tab. A63: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem Nitratgehalt in einer Mehrfeldertafel.

NO ₃ [mg l ⁻¹ FS] \ Wolkenmenge	< 20	20-100	> 100	Summe
wenige	1	0	0	1
mittel	3	1	3	7
viele	2	3	2	7
sehr viele	5	1	1	7
Summe	11	5	6	22

Tab. A64: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der ä.Z. mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 12,4.

Kresse rFME [g 100 g ⁻¹] \ Farbe ä.Z. [MUNSELL]	< 80	80-90	> 90	Summe	%
10YR 8/2, 8/3	2	4	4	10	52,63
10YR 8/4 → 7/6	9	0	0	9	47,37
Summe	11	4	4	19	
%	57,89	21,05	21,05		100,00

Tab. A65: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 11,7.

Kresse rFME [g 100 g ⁻¹] Wolkenmenge	< 80	> 80	Summe	%
wenige, mittel	1	7	8	42,11
viele, sehr viele	10	1	11	57,89
Summe	11	8	19	
%	57,89	42,11		100,00

Tab. A66: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 10,4.

Kresse rFME [g 100 g ⁻¹] Wolkenfarbe	< 80	>80	Summe	%
hellbraun	0	4	4	21,05
braun	2	3	5	26,32
dunkelbraun	9	1	10	52,63
Summe	11	8	19	
%	57,89	42,11		100,00

Tab. A67: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Bildrandfarbe mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 8,1.

Kresse rFME [g 100 g ⁻¹] Farbe Bildrand [MUNSELL]	< 80	> 80	Summe	%
h & hh 10YR 8/2	3	6	9	47,37
10YR 8/2	1	2	3	15,79
nicht differenziert	7	0	7	36,84
Summe	11	8	19	
%	57,89	42,11		100,00

Tab. A68: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Struktur mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem geschlossenen Kresstest in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 11,4.

Kresse rFME [g 100 g ⁻¹] Struktur	< 80	> 80	Summe	%
fein	2	7	9	40,91
grob	9	1	10	45,45
wacklig	3	0	3	13,64
Summe	14	8	22	
%	63,64	36,36		100,00

Tab. A69: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Farbe der äußeren Zone mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem Chinakohltest in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 13,0.

Chinakohl rFME [g 100 g ⁻¹] Farbe äZ [MUNSELL]	< 90	90 - 100	> 100	Summe	%
10YR 8/2	0	0	4	4	30,77
10YR 8/3	0	0	4	4	30,77
10YR 8/4 → 7/6	2	3	0	5	38,46
Summe	2	3	8	13	
%	15,38	23,08	61,54		100,00

Tab. A70: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenmenge mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem Chinakohltest in einer Mehrfeldertafel; χ^2 -Wert: 9,5.

Chinakohl rFME [g 100 g ⁻¹] Wolkenmenge	< 100	> 100	Summe	%
wenige, mittel	0	7	7	53,85
viele, sehr viele	5	1	6	46,15
Summe	5	8	13	
%	38,46	61,54		100,00

Tab. A71: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Wolkenfarbe mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem Chinakohltest in einer Mehrfeldertafel.

Chinakohl rFME [g 100 g ⁻¹] Wolkenfarbe	< 100	> 100	Summe	%
hellbraun	0	3	3	23,08
braun	1	4	5	38,46
dunkelbraun	4	1	5	38,46
Summe	5	8	13	
%	38,46	61,54		100,00

Tab. A72: Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen der Fertigkomposte: Gegenüberstellung der Struktur mit dem relativen Frischmasseertrag aus dem Chinakohltest in einer Mehrfeldertafel.

Chinakohl rFME [g 100 g ⁻¹] Struktur	<100	>100	Summe
fein	0	8	8
grob	5	0	5
wacklig	2	0	2
Summe	7	8	15
%	46,67	53,33	

9 Anhang 2

Digitaler Anhang: Abbildung der Chromatogramme auf beiliegender CD.

Danksagung

Mein Dank gilt insbesondere apl. Prof. Luise Giani für ihre wohlwollende Begleitung und ihr Vertrauen in meine Arbeit, ihre stetige Diskussionsbereitschaft und konstruktive Kritik.

Herrn Prof. Dr. E. Krumbein danke ich für die Übernahme des Koreferats.

Vielen Dank an die MitarbeiterInnen der Arbeitsgruppe Bodenkunde der Universität Oldenburg, vor allem an Dr. Sven Kruse-Irmer für seine unermüdliche Hilfsbereitschaft in der Auseinandersetzung mit inhaltlichen Fragen und bei EDV-Problemen aller Art. Den Diplomandinnen Corinna Dasenbrook und Alexandra Gerhards, sowie auch Doris Oltmanns sei für ihre tatkräftige Mitarbeit in diesem Forschungsprojekt gedankt, Dr. Jutta Rach für ihre Hilfe bei allen Fragen zur Huminstoffanalytik.

Für ihre vielfältige Unterstützung sei der Firma Umweltschutz Nord und ihren MitarbeiterInnen gedankt, ebenso den MitarbeiterInnen der verschiedenen kooperierenden Kompostwerke, ohne deren freundliche Unterstützung bei den unzähligen Probenahmen die Durchführung dieses Forschungsprojektes nicht möglich gewesen wäre.

Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt danke ich für die Finanzierung des Forschungsvorhabens.

Ganz besonders möchte ich meinem Mann Jens und meinen Kindern Milan und Josefine danken für ihre Geduld und ihr Durchhaltevermögen in mancher schwierigen Phase während der Erstellung dieser Arbeit, sowie meinen FreundInnen, die mich durch die letzten Jahre begleitet, und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

Curriculum vitae

Persönliche Daten

Name, Vorname: Haßold-Piezunka, Nicola
geboren: 30.09.1965 in Augsburg
Familienstand: verheiratet, zwei Kinder

Schulbildung

1971-1975 Grundschole Göggingen, Augsburg
1975-1979 Gymnasium: Anna Barbara von Stetten'sches Institut,
Augsburg
1979-1985 Jakob Fugger Gymnasium, Augsburg, Abschluss: Abitur

Universitätsbildung

1986-1989 Studium der Biologie, Universität Konstanz
1989-1994 Studium der Biologie, Universität Oldenburg
1994 Diplomarbeit: „Zu Kenntnisstand und Methodenentwicklung des Chroma-Boden-Tests“

Berufstätigkeit

1997-2003 wissenschaftliche Angestellte in Forschung (Eignung des Chroma-Boden-Tests zur Bestimmung von Kompostqualität und Rottegrad) und Lehre (Seminare, Exkursionen) an der C.v.O.-Universität Oldenburg, AG Bodenkunde bei apl. Prof. Dr. L. Giani; dabei Anfertigung der vorliegenden Dissertation.