

Hohe Kompostqualität ist möglich

Räumliche und zeitliche Variabilität von Kompostinhaltsstoffen

Ergebnisse der Begleituntersuchungen
zum Kompostierungserlaß Baden-Württemberg



Begleituntersuchungen zum Kompostierungserlaß des Landes Baden-Württemberg:

Räumliche und zeitliche Variabilität der Inhaltsstoffe von Komposten

Bearbeiter: Dr. J. Breuer
Leb.-Chem. G. Drescher
Prof. Dr. H. Schenkel (Projektleiter)
Dr. K. Schwadorf

**Universität Hohenheim
Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie**

Für den eiligen Leser

Die wesentlichen Ergebnisse einer Untersuchung von 25 verschiedenen Bioabfall- bzw. Grüngutkompostierungsanlagen in Baden-Württemberg in den Jahren 1995 und 1996:

Die Orientierungswerte des Kompostierungserlasses für Schwermetalle und PCB sind einhaltbar.

Überschreitungen bei den Schwermetallen treten in bestimmten Anlagen gehäuft auf, können aber dort durch Verbesserung der Sammel-, Sortier- und Kompostiertechniken vermutlich noch gesenkt werden.

Die Orientierungswerte für PCB werden für die Summengehalte von allen Anlagen, für die Einzelkongenere von der überwiegenden Mehrzahl der Anlagen eingehalten.

Bioabfallkomposte haben tendenziell höhere PCB-Gehalte als Grüngutkomposte.

In den PAK-Gehalten unterscheiden sich Bioabfall- und Grüngutkomposte kaum.

Bei den PCB-Gehalten ist die räumliche und zeitliche Variation zwischen verschiedenen Komposten gering.

Die erhebliche räumliche und zeitliche Variation der PAK-Gehalte zwischen verschiedenen Komposten läßt auf jahreszeitliche Schwankungen der Zusammensetzung des Inputmaterials, Fehlwürfe, Änderung des Einzugsgebietes etc. schließen.

Die Inhomogenität von Komposten erfordert eine Doppelbeprobung der Kompostmieten mit getrennter Einfachbestimmung der Analyten. Damit kann vermieden werden, daß Einzelausreißer infolge der Inhomogenität der Komposte als Überschreitungen des Orientierungswertes durch die ganze Partie interpretiert werden.

Inhalt

1 Einführung und Problemstellung	4
2 Material	6
2.1 Charakterisierung der beprobten Kompostierungsanlagen	6
2.2 Kompostproben	7
2.3 Proben von Kompostierungsausgangsmaterial (Häckselgut)	10
3 Analysemethoden	11
3.1 Probennahme	11
3.2 Probenbezeichnung	11
3.3 Probenaufbereitung	12
3.4 Untersuchungsmethoden	13
3.5 Angabe der Ergebnisse	15
4 Ergebnisse	16
4.1 Räumliche Variabilität von Kompostinhaltsstoffen und Schadstoffen	16
4.1.1 pH-Werte und lösliche Pflanzennährstoffe	16
4.1.2 Salze und Anionen	16
4.1.3 Volumengewicht	18
4.1.4 Organische Substanz und Pflanzennährstoffe (Gesamtgehalte)	18
4.1.5 Schwermetalle (Kompostierungserlaß)	20
4.1.6 Weitere Elemente	25
4.1.7 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	27
4.1.8 Polychlorierte Biphenyle (PCB)	29
4.1.9 Chlorierte Pestizide, Organochlorpestizide	30
4.2 Zeitliche Variabilität von Kompostinhaltsstoffen und Schadstoffen	32
4.2.1 Lösliche Pflanzennährstoffe	32
4.2.2 Anionen	33
4.2.3 Pflanzennährstoffe (Gesamtgehalte)	34
4.2.4 Schwermetalle (Kompostierungserlaß)	35
4.2.5 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	38
4.2.6 Polychlorierte Biphenyle (PCB)	40
4.3 Inhaltsstoffe von Kompostierungsausgangsstoffen (Häckselgut)	41
4.4 Inhaltsstoffe von Einzel- und Mischproben einzelner Kompostmieten (Probenstatistik)	42
5 Zusammenfassung	47
6 Literatur	49

Einführung und Problemstellung

Nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (Anonym, 1994) stellt die Verwertung von Abfällen nach deren Vermeidung das wichtigste Ziel der Abfallwirtschaft dar. Wegen ihrer Gehalte an Pflanzennährstoffen und organischer Substanz können Komposte aus getrennt gesammelten organischen Abfällen der Haushalte in Landwirtschaft, Garten- und Landschaftsbau und Hausgärten als wertvolles Bodenverbesserungs- und Düngemittel verwertet werden. Die Landwirtschaft ist keineswegs auf diese Sekundärrohstoffdünger angewiesen, zumal ihr Wirtschafts- wie auch Handelsdünger in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung stehen. Sie kann jedoch durch die Verwertung geeigneter Reststoffe, wie zum Beispiel Komposte, eine wichtige Dienstleistung für die Gesellschaft erbringen (Kluge et al., 1996; VDLUFA, 1996a), da dadurch

- Energie- und Rohstoffreserven geschont werden,
- für Mensch, Tier und Pflanze essentielle Makro- und Spurenelemente (Nährstoffe) in den natürlichen Kreislauf zurück gelangen,
- Deponieraum eingespart und das Reaktionspotential von Deponien vermindert wird.

Bei diesem Verwertungspfad ist dem Schutz des Bodens besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da ja Stoffe in den Boden eingetragen werden, die sowohl Nährstoff- als auch Schadstoffcharakter haben können. Zu hoch mit Pflanzennährstoffen versorgte Böden können Ursache erheblicher Umweltbeeinträchtigungen sein. Dies kann der Fall sein, wenn an erodierende Bodenteilchen gebundenes Phosphat in Oberflächengewässer gelangt und diese eutrophiert, oder wenn Nitrat aus dem Oberboden ins Grundwasser ausgewaschen wird (Kerschberger, 1995). Die bei der Kompostanwendung in die Böden gelangenden Nährstoffmengen müssen daher bekannt sein, um eine Düngung nach guter fachlicher Praxis vornehmen zu können (Anonym, 1996). Dies gilt vor allem aber für die essentiellen Spurenelemente, die in höherer Konzentration auch Schadstoffcharakter haben können. Zusätzliche unerwünschte Stoffeinträge in Böden können über nicht essentielle Spurenelemente und organische Xenobiotika (wie Pflanzenschutzmittel) erfolgen. Aus Gründen des Bodenschutzes (Umwelt- und Verbraucherschutz) sollen daher nur schadstoffarme Komposte auf den Boden gelangen.

Das Land Baden-Württemberg verpflichtet daher im Rahmen des Kompostierungserlasses vom 1.7.1994 (Umweltministerium Baden-Württemberg, 1994b) die Betreiber von Kompostierungsanlagen in Abhängigkeit von der Größe der Anlage zu einer regelmäßigen Kontrolle von anorganischen und organischen Inhaltsstoffen durch ein analytisches Labor. Neben den Komposten müssen auch die Böden, auf die der Kompost ausgebracht werden soll, untersucht werden, um eine Düngung nach guter fachlicher Praxis zu ermöglichen und um eine übermäßige Schadstoffzufuhr zu verhindern.

Viele Betreiber von Kompostierungsanlagen führen auch freiwillige Produktkontrollen des Kompostes z.B. im Rahmen des Gütezeichens der Bundesgütegemeinschaft Kompost durch (Bundesgütegemeinschaft Kompost, o.J). Allerdings unterscheiden sich die zu prüfenden Parameter sowie die einzuhaltenden Grenz- bzw. Orientierungswerte der beiden Überwachungsverfahren.

Bei Inkrafttreten des Kompostierungserlasses stand dem Umweltministerium Baden-Württemberg (jetzt: Ministerium für Umwelt und Verkehr) nur eine eingeschränkte Datenbasis hinsichtlich des Nähr- und Schadstoffpotentials zur Bewertung der Kompostierung von Bioabfällen zur Verfügung. Es bestand daher der Bedarf, möglichst rasch einen Überblick darüber zu erhalten, mit welcher Variabilität hinsichtlich der Gehalte an Nährstoffen und unerwünschten Inhaltsstoffen in den hergestellten Komposten zu rechnen ist. Dabei ist sowohl die Variation zwischen verschiedenen Anlagen als auch die zeitliche Variation innerhalb der einzelnen Anlage in Abhängigkeit von verschiedenen Einflußgrößen wie Einzugsgebiet, Kapazität der Anlage, Ausgangsmaterialien usw. von Interesse.

Um das umwelttoxikologische Potential der Komposte möglichst umfassend bewerten zu können, sind auch Informationen über Kompostinhaltsstoffe erforderlich, die noch keinen gesetzlichen oder sonstigen Reglementierungen unterliegen, und daher gewöhnlich auch nicht analysiert werden.

Im Zusammenhang mit der chemischen Untersuchung von Komposten wird auch häufig die Frage nach der Repräsentanz von Untersuchungsergebnissen für die beprobte Kompostcharge aufgeworfen. Komposte stellen ein stückiges und - je nach Sortierung - relativ inhomogenes Untersuchungsmaterial dar, so daß Effekte der Probennahme und Probenaufbereitung erheblich zur statistischen Unsicherheit des Analyseergebnisses beitragen können. Zum Ausmaß solcher Effekte, auch in Abhängigkeit vom untersuchten Parameter, ist jedoch für Komposte noch relativ wenig bekannt. Da bei der umwelttoxikologischen Beurteilung von Stoffen die Kenntnis der Unsicherheit von Analyseergebnissen von großer Bedeutung ist, besteht hier erheblicher Informationsbedarf. Das gilt auch für das Formulieren von Analysenvorschriften. Hier sollte die erreichbare Analysengenauigkeit (Bestimmbarkeitsgrenze, Wiederholbarkeit) angegeben werden. Die Basis hierzu liefern u.a. in geeigneter Weise angelegte Ringversuche. Ein solches Vorgehen erfolgt zum Beispiel im Falle der Methoden für das Methodenbuch des VDLUFA (VDLUFA, 1991; 1995; 1996b).

Im Rahmen des Vorhabens, über das an dieser Stelle berichtet wird soll, wurde die Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie mit der Durchführung von **Begleituntersuchungen zum Kompostierungserlaß Baden-Württemberg** beauftragt. Ziel war es nach einer Erkundungsphase längerfristig, d.h. über etwa 1,5 Jahre hinweg, verschiedene Kompostierungsanlagen regelmäßig zu beproben, um Daten zur Variabilität wertgebender und unerwünschter Inhaltsstoffe der hergestellten Komposte zu erhalten. Dabei galt das Interesse sowohl dem Verhalten der Inhaltsstoffe innerhalb des Gesamtbeprobungszeitraums als auch dem Vergleich zwischen verschiedenen Anlagen (unterschiedliche Umschlagmengen, Kompostierungsverfahren, Ausgangsmaterialien). Weiterhin sollten an entsprechenden Haufwerken Studien zur Verteilung der Inhaltsstoffe durchgeführt werden, um die Technik der Probennahme weiter zu optimieren.

Die Ergebnisse dieses Projekts sollten dazu beitragen,

- die Akzeptanz der Kompostanwendung zu erhöhen, indem die Qualität zusätzlich kontrolliert wird,
- die Anlagenbetreiber bei der Eigenüberwachung durch ergänzende Untersuchungen zu unterstützen, um eine möglichst gute Qualität zu erzeugen und Fehlschläge zu vermeiden,
- die Vorgaben des Kompostierungserlasses durch zusätzliche repräsentative Untersuchungen weiter abzusichern oder erforderlichenfalls zu ergänzen.

Zwischenzeitlich sind Bemühungen um eine bundeseinheitliche Regelung im Rahmen einer Bioabfall- und Kompostverordnung bereits weit gediehen und werden von verschiedenen Interessengruppen, wie z.B. der Bundesgütegemeinschaft Kompost bzw. dem Bund der Entsorgungswirtschaft auf der einen Seite und Vertretern der Landwirtschaftsorganisationen auf der anderen Seite, heftig und zum Teil kontrovers diskutiert. Hier kann die vorgelegte Untersuchung eventuell zu einer Versachlichung der Diskussion beitragen. Auch der Verband der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) hat sich intensiv mit dem Thema befaßt und einen Vorschlag zur Qualitätsüberwachung von Düngemitteln aus Sekundärrohstoffen erarbeitet (VDLUFA, 1996a).

Material

Charakterisierung der beprobten Kompostierungsanlagen

Zur Ermittlung der räumlichen Variation von Kompostinhaltsstoffen sollten möglichst viele Kompostierungsanlagen in das Untersuchungsprojekt einbezogen werden. Das Umweltministerium hat mit Schreiben vom 23.11.1994 die Stadt- und Landkreise in Baden-Württemberg von dem Projektvorhaben informiert und um Teilnahme der entsorgungspflichtigen Körperschaften, die Kompostierungsanlagen betreiben oder einen Dritten mit dem Betrieb beauftragt haben, gebeten. Die Teilnahme erfolgte freiwillig. Fünfundzwanzig Kompostierungsanlagen in Baden-Württemberg waren zur Teilnahme bereit. Davon verarbeiten 13 Anlagen Bioabfall gemischt mit Grüngut (holzige Garten- und Parkabfälle) und 12 Anlagen Grüngut. Die beprobten Kompostierungsanlagen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Zur Codierung wurden die Anlagen nach dem Zufallsprinzip von 1 bis 25 nummeriert. Bioabfallkompostierungsanlagen sind durch das Kürzel „BIO-“, Grüngutkompostierungsanlagen durch das Kürzel „GRÜ-“ gekennzeichnet. Bei zwei der untersuchten Bioabfallkompostierungsanlagen (BIO-5 und BIO-6) beträgt der Anteil an Grüngut im Ausgangsmaterial mehr als 30 % (Tabelle 1).

In einer 1995 herausgegebenen Übersicht (Bundesgütegemeinschaft Kompost, 1995) von Kompostierungsanlagen in Deutschland werden in Baden-Württemberg 32 Anlagen mit einer jährlichen Kapazität von insgesamt 268.000 Tonnen genannt. Von diesen haben sich 18 Anlagen mit einer jährlichen Kapazität von insgesamt etwa 200.000 Tonnen an dem Projekt beteiligt. Das sind knapp 75 % der Anlagen. Obwohl die genannte Übersicht nicht vollständig ist (Bundesgütegemeinschaft Kompost, 1995), was auch daran zu sehen ist, daß nicht alle 25 am Projekt beteiligten Anlagen in der Übersicht der Bundesgütegemeinschaft Kompost erwähnt werden, kann also davon ausgegangen

werden, daß ein bedeutender Anteil des in den Jahren 1995 und 1996 in Baden-Württemberg erzeugten Kompostes von der Untersuchung erfaßt wurde.

Tabelle 1: Beprobte Kompostierungsanlagen.

Nr.	Verfahren	
BIO-3	Tafelmietenkompostierung	
BIO-4	Tafelmietenkompostierung	
BIO-5	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	a)
BIO-6	Tafelmietenkompostierung	a)
BIO-7	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
BIO-11	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, überdacht	
BIO-12	Boxenkompostierung	
BIO-13	Boxenkompostierung	
BIO-14	Containerkompostierung	
BIO-16	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
BIO-22	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
BIO-25	Tafelmietenkompostierung	
GRÜ-2	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-8	Tafelmietenkompostierung, offen	
GRÜ-9	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-10	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-15	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-17	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-18	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-19	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-20	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-21	Tafelmietenkompostierung, offen	
GRÜ-23	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	
GRÜ-24	Dreiecks-/Trapezmietenkompostierung, offen	

a) Grüngutanteil der Bioabfallkomposte > 30 %

Kompostproben

Anzahl und Zeitpunkte der zur Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Kompostinhaltsstoffen erfolgten Beprobungen sind den Tabellen 2 und 3 zu entnehmen.

Bei der Bewertung der Unterschiede zwischen den Anlagen (**räumliche Variabilität**) wird für die organischen Schadstoffe die jeweils erste Probe (Erstbeprobung) als Stichprobe herangezogen. Für die Bewertung der übrigen Parameter wird der Median aller Kompostproben aus der jeweiligen Anlage verwendet.

Zur Untersuchung der Variabilität von Kompostinhaltsstoffen innerhalb des Produktionsprozesses einzelner Anlagen (**zeitliche Variabilität**) wurden ausgewählte Grüngut-

und Bioabfall-Kompostierungsanlagen in Zeitabständen von etwa 4 Wochen bis 3 Monaten wiederholt beprobt (Tabellen 2 und 3). Die wichtigsten anorganische Inhaltstoffe wurden in jeder Probe untersucht.

Die organische Schadstoffe (PCB, PAK) wurden wegen des hohen Aufwandes bei der Analytik nur bei 4 Anlagen (BIO-1, BIO-14, GRÜ-17, GRÜ-19) in Zeitabständen von 2 bis 3 Monaten untersucht. Die Auswahl dieser Anlagen erfolgte so, daß eine Bioabfall- (BIO-14) und eine Grüngut-Kompostierungsanlage (GRÜ-17) den direkten Vergleich der beiden Kompostarten ermöglichen, da beide Anlagen Inputmaterial aus der gleichen Region verarbeiten. Die zweite Bioabfall-Kompostierungsanlage (BIO-1) wurde wegen ihres großen Einzugsgebietes (großer jährlicher Input an Bioabfall) und des anderen Anlagentyps ausgewählt. Weil der Vergleich von Bioabfall- und Grüngutkompost Rückschlüsse auf Schadstoffeintragungspfade zuläßt, wurde auch eine weitere Grüngut-Kompostierungsanlage (GRÜ-19) berücksichtigt.

Kompost stellt wegen seiner Inhomogenität eine schwierig zu beprobende Matrix dar. Daher sollte im Rahmen der Probennahme geprüft werden, inwieweit die Ergebnisse von jeweils 20 Einzelproben (für die anorganischen Inhaltsstoffe) bzw. 10 Einzelproben (für die organischen Schadstoffe) aus einer Kompostmiete mit denen einer Mischprobe aus der selben Kompostmiete übereinstimmen (**Probenstatistik**).

Tabelle 2: Probennahmen von Kompost 1995.

Die Zahlen in der Tabelle geben die jeweilige Probennummer an.

Anlage Nr.	Kalendermonat 1995											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BIO-1		K1			K22		K26		K44		K57	K68
BIO-3		K3			K21		K29		K46		K58	K72
BIO-4		K4			K19		K28		K45		K56	K67
BIO-5			K5				K31				K59	
BIO-6			K6		K20		K25	K43		K49	K64	K71
BIO-7			K7				K30					
BIO-11			K11				K40					
BIO-12			K12				K33					K66
BIO-13			K13			K23			K47			K65
BIO-14			K14		K17		K24	K41		K48	K60	K69
BIO-16					K16					K52		
GRÜ-2		K2					K27			K51		
GRÜ-8			K8				K35					
GRÜ-9			K9									
GRÜ-10			K10									
GRÜ-15			K15				K37			K53	K63	
GRÜ-17					K18			K42		K54	K61	K70
GRÜ-18							K32			K50		
GRÜ-19							K34				K62	
GRÜ-20							K36					

Tabelle 3: Probennahmen von Kompost 1996.

Die Zahlen in der Tabelle geben die jeweilige Probennummer an.

Anlage Nr.	Kalendermonat 1996								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BIO-1		K82	K96	K117		K133	K167		
BIO-3	K75		K85	K97	K124	K137	K165		
BIO-4	K74		K84	K104		K135			
BIO-5			K87	K114		K150			
BIO-6		K80	K94	K119	K131	K143			
BIO-7				K98		K139			
BIO-11		K76		K100					
BIO-12		K81		K101		K148			
BIO-13			K90	K112		K152			
BIO-14		K79	K93	K110	K126	K141			
BIO-16		K83							
BIO-22			K89				K163		
BIO-25							K164		
GRÜ-2			K92			K147			
GRÜ-8			K95		K129				
GRÜ-9									
GRÜ-10									
GRÜ-15		K77		K107		K140			
GRÜ-17		K78		K109	K127	K142			
GRÜ-18			K91			K146			
GRÜ-19	K73			K122		K154			
GRÜ-20				K106					
GRÜ-21			K88				K161		
GRÜ-23				K99			K159		
GRÜ-24						K145			

Für diese Untersuchungen wurden von den Anlagen BIO-1 und BIO-14 jeweils 20 Einzelproben Bioabfallkompost doppelt (A/B) gezogen und getrennt verpackt. Parallel dazu wurde jeweils eine Mischprobe genommen (Summe aus 20 Teilproben nach Diagonalisieren zur Volumenreduktion). Dieselbe Probennahme wurde auf der Anlage GRÜ-17 für Grüngutkompost durchgeführt.

Alle 20 Einzelproben und die Mischprobe wurden auf den Glühverlust, auf die 7 Schwermetalle Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg und Zn und auf die Elemente P, K, Mg, Ca und Na untersucht. Die Untersuchung auf die organischen Schadstoffe (PCB und PAK) wurde wegen der aufwendigen und kostspieligen Analytik auf jeweils 10 Einzelproben der Anlagen BIO-14 und GRÜ-17 beschränkt.

Proben von Kompostierungsausgangsmaterial (Häckselgut)

Zur Überprüfung der Ursache von Schwermetallkontaminationen wurden von verschiedenen Anlagen auch Proben von gehäckseltem Grüngut als Ausgangsmaterial der Kompostierung gezogen. Die Anlagen und Probennahmetermine sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Insgesamt wurden 51 Proben auf den Glühverlust, sowie auf die Elemente N, P, K, Mg, Ca, Na, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Fe, Mn, As, Co und Al untersucht.

Diese Proben wurden wie die Kompostproben doppelt gezogen. Die Aufarbeitung der Proben erfolgte analog zum Kompost, allerdings mußte das sehr sperrige Material vor der Probenteilung im Labor nochmals gehäckseln werden. Auf eine umfangreiche Beprobung von Bioabfällen und anderen Kompostierungsausgangstoffen wurde verzichtet, weil dazu in Baden-Württemberg gerade eine umfangreiche Studie vorgelegt wurde (Umweltministerium Baden-Württemberg, 1995a).

Tabelle 4: Probennahmen von Häckselgut 1996.

Die Zahlen in der Tabelle geben die jeweilige Probennummer an.

Anlage Nr.	Kalendermonat 1996								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BIO-1				K 118		K 134	K 160		
BIO-3					K 125	K 138	K 166		
BIO-4				K 105		K 136			
BIO-5				K 115					
BIO-6				K 120	K 132	K 144			
BIO-12				K 102		K 149			
BIO-13				K 113		K 153			
BIO-16				K 103					
GRÜ-8					K 130				
GRÜ-15				K 108					
GRÜ-17				K 111	K 128				
GRÜ-19				K 121		K 155			
GRÜ-20				K 116					
GRÜ-21							K 162		

Analysenmethoden

Probennahme

Die Probennahme erfolgte nach zwei verschiedenen Varianten, die sich an der Probennahmenvorschrift der Bundesgütegemeinschaft Kompost (1994) und der für das Methodenbuch des VDLUFA zur Analyse von Sekundärrohstoffdüngemitteln geplanten Methodenvorschrift anlehnen.

Variante A

Je nach Größe des Haufwerks werden bis zu vier (im Regelfall zwei) Aufgrabungen mit dem Radlader o.ä. quer zur Mietenlänge angelegt. Es entstehen bis zu 8 Profilwände aus denen zufällig verteilt bzw. entlang einer Diagonalen eine ausreichende Anzahl (20) Einzelproben entnommen werden. Zur Entnahme der Einzelproben werden mit dem Spaten 50 bis 100 cm tiefe Löcher senkrecht zur Profilwand gegraben, aus denen dann 5 l Kompost entnommen wird. Dies ergibt ein Gesamtprobenvolumen von 80 bis 100 l, das dann auf etwa 20 l reduziert wird (siehe „Herstellen der Sammelproben“).

Variante B

20 Probelöcher von 70 bis 100 cm Tiefe werden in einer Höhe von mindestens 100 cm über dem Boden zufällig verteilt senkrecht zur Mietenoberfläche in das Haufwerk gegraben. Aus diesen werden dann analog zur Variante A die Einzelproben entnommen.

Herstellen der Sammelprobe

Zum Homogenisieren und Reduzieren werden die Einzelproben auf einer Kunststoffplane ausgebreitet, diagonalisiert und ein Viertel verworfen. Dieser Vorgang wird wiederholt bis etwa 20 l als Sammelprobe übrigbleiben. Die Sammelprobe wird im Kunststoffsack ins Labor transportiert und dort bis zur weiteren Aufbereitung bei 4°C gelagert.

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten wurden die Einzelproben überwiegend nach Variante B gezogen. Der gesamte Vorgang wurde je Probennahmetermin zweimal durchgeführt (Doppelbeprobung), so daß je Termin und Kompostanlage zwei Mischproben aufgearbeitet und analysiert wurden.

Probenbezeichnung

Die Proben sind unter der Kategorieprobennummer „K“ fortlaufend durchnummeriert (K1 bis K167, vgl. Tabellen 2 und 3). Die beiden Doppelproben je Probennahmetermin sind durch die Buchstaben A und B unterschieden (K1A / K1B usw.). Bei den Beprobungen zur Probenstatistik wurden die Einzelproben durch Anhängen einer fortlaufenden Nummer (/1 bis /20) unterschieden.

Probenaufbereitung

Der Ablauf der Probenaufbereitung ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Ein Teil des frischen Kompostes (FS) wird auf 10 mm abgesiebt. Falls Siebüberlauf entsteht, wird dessen Anteil bestimmt (Wiegen von Siebdurchgang und Siebüberlauf). Der Trockensubstanzgehalt (TS) und das Schüttgewicht aller Fraktionen (Gesamtprobe, Siebüberlauf, Siebdurchgang) wird bestimmt. Vom frischen Siebdurchgang (FS < 10 mm) wird ein Glas (1 l Inhalt) gefüllt, mit Aluminiumfolie und Schraubdeckel verschlossen, beschriftet und eingefroren. Dieses Material dient zur Bestimmung der organischen Schadstoffe. Von der Gesamtprobe werden etwa 5 l bei 105°C getrocknet. Gleichzeitig kann der Trockensubstanzgehalt bestimmt werden. Ein Teil der getrockneten Probe wird im Mahlbecher aus Zirkonoxid in der Planetenschnellmühle vermahlen. Diese Probe dient zur Bestimmung der Gesamtgehalte und als Rückstellprobe und wird in PE-Weithalsflaschen verschlossen bei Raumtemperatur gelagert. Die löslichen anorganischen Inhaltsstoffe werden aus der FS <10 mm bestimmt.

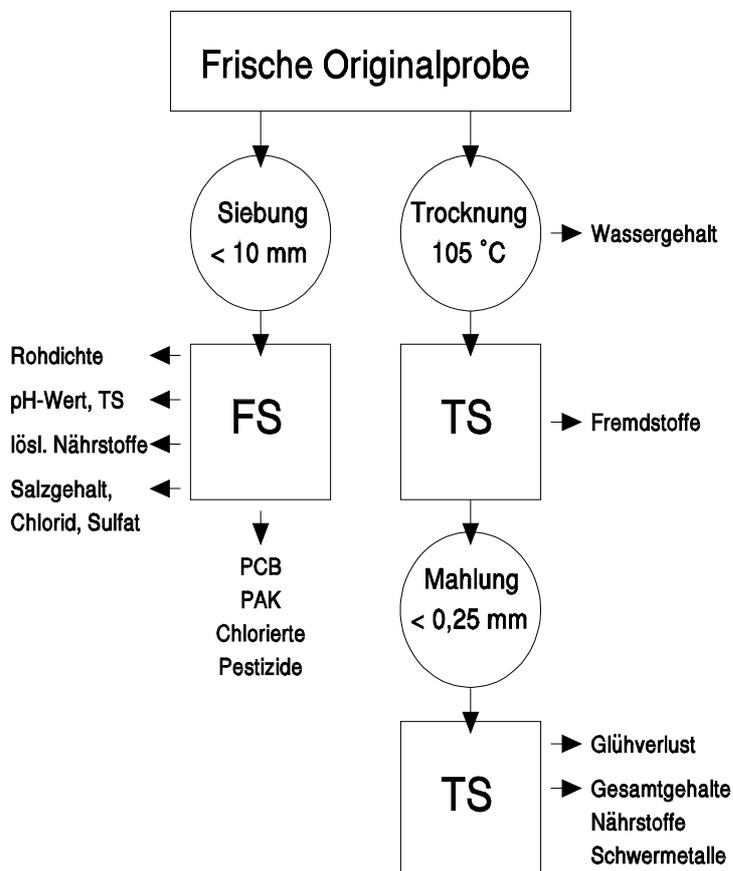


Abb. 1: Schematische Darstellung der Probenaufbereitung
FS: Frischsubstanz; TS: Trockensubstanz

Untersuchungsmethoden

Die verwendeten Methoden sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Untersuchungsmethoden

Parameter	Methode	Literatur
Wassergehalt (Trockenmasse) [Massen%]	Bestimmung durch Trocknung bei 105° C.	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 2.1.1
Volumengewicht (Rohdichte) [g l ⁻¹]	Standardisiertes Einrütteln der feuchten Probe in einem graduierten Meßgefäß	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 13.2.1
Fremdstoffgehalt [Massen% TS]	Auslese der Fremdstoffe aus Siebfraktionen der getrockneten Probe	BGK (1994): Methode II.10
Organische Substanz (Glühverlust) [Massen% TS]	Veraschen der Probe bei 550°C im Muffelofen	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 15.2
pH-Wert	Elektrometrische Messung der H ⁺ -Ionen-Aktivität in einer CaCl ₂ -Suspension	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 5.1.1
Salzgehalt [g l ⁻¹]	Extraktion der Probe im Verhältnis 1+10 (m+V) mit dest. Wasser und Berechnung des Salzgehaltes als KCl nach Messung der Leitfähigkeit des filtrierten Extraktes	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 13.4.1
Chlorid, Sulfat [mg kg ⁻¹ TS]	Bestimmung der Anionen im Wasserextrakt mittels Ionenchromatographie und Leitfähigkeitsdetektion. Herstellung des Wasserextraktes wie zur Salzgehalt-Bestimmung (VDLUFA-Methode A 13.4.1)	
Stickstoff (leicht löslich) N [mg l ⁻¹]	Extraktion mit CaCl ₂ -Lsg.; Destillation des Stickstoffs als Ammoniak nach Reduktion des Nitrat-Stickstoffs und anschließende titrimetrische Bestimmung.	
Nitrat-Stickstoff NO ₃ -N [mg l ⁻¹]	Spektralphotometrische Bestimmung im CaCl ₂ -Extrakt mittels Autoanalyser TRAACS 800	
Ammonium-Stickstoff NH ₄ -N [mg l ⁻¹]	Spektralphotometrische Bestimmung im CaCl ₂ -Extrakt mittels Autoanalyser TRAACS 800	
Phosphor (löslich) P ₂ O ₅ [mg l ⁻¹]	Spektralphotometrische Bestimmung im CAL-Extrakt.	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 6.2.1.1
Kalium (löslich) K ₂ O [mg l ⁻¹]	Flammenphotometrische Bestimmung im CAL-Extrakt.	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 6.2.1.1

Fortsetzung Tabelle 5:

Parameter	Methode	Literatur
Magnesium (löslich) Mg [mg l ⁻¹]	AAS-Bestimmung im CaCl ₂ -Extrakt	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 6.2.4.1
Gesamt-Stickstoff [Massen% TS]	Modifizierte Gesamtstickstoffbestimmung nach DUMAS mittels Stickstoff-Analysator macro N. Verbrennung der Probe im reinen Sauerstoffstrom. Nach Reduktion entstandener Stickoxide mit Kupfer zu elementarem Stickstoff wird der Gesamtstickstoff mit einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor bestimmt.	Kupka und Sieper (1988)
C/N-Verhältnis	Bestimmung des Gesamtstickstoffs. Bestimmung der Organischen Substanz. Das C/N-Verhältnis ist der Quotient aus Org. C [%TS] und Gesamt-Stickstoff N [%TS] Org. C ergibt sich durch Multiplikation der Org. Substanz [% TS] mit dem Faktor 0.58	BGK (1994)
Elemente (Gesamtgehalte) [mg kg ⁻¹ TS]	Bestimmung der Elementgesamtgehalte im Königswasseraufschluß. Druckaufschluß für die Bestimmung von Se und TI. Bestimmung von P, K, Mg, Ca, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Fe, Al, Na, Co und B mittels ICP-OES oder Flammen-AAS. Bestimmung von As und Se mittels Hydrid-AAS. Bestimmung von Hg mittels Kaltdampf-AAS. Bestimmung von TI mittels Graphitrohr-AAS.	VDLUFA (1991): VDLUFA-Methode A 2.4.3.1
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) [mg kg ⁻¹ TS]	Bestimmung von 20 PAK (16 EPA-PAK, Anthanthren, Benzo(e)pyren, Perylen, Triphenylen) mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC/MS auf 30m Kapillarsäule DB-5 MS).	VDLUFA (1995): VDLUFA-Methode PAK 3.3.3.
Polychlorierte Biphenyle (PCB) [mg kg ⁻¹ TS]	Bestimmung der 6 PCB-Kongeneren PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 mittels Gaschromatographie und ECD-Detektion (GC/ECD auf 50m Kapillarsäule CP-SIL 8 CB for Pesticides). Zur Absicherung der Befunde wurden die Probenextrakte zusätzlich auf einer 60m Kapillarsäule DB-5 MS untersucht.	VDLUFA (1993)

Fortsetzung Tabelle 5:

Parameter	Methode	Literatur
Organochlorpestizide [mg kg ⁻¹ TS]	Bestimmung der 26 Organochlorpestizide (Aldrin, cis-Chlordan, trans-Chlordan, oxy-Chlordan, o,p'-DDT, p,p'-DDT, o,p'-DDD, p,p'-DDD, o,p'-DDE, p,p'-DDE, Dieldrin, alpha-Endosulfan, beta-Endosulfan, Endrin, alpha-HCH, beta-HCH, gamma-HCH (Lindan), delta-HCH, epsilon-HCH, Heptachlor, cis-Heptachlorepoxyd, trans-Heptachlorepoxyd, Hexachlorbenzol (HCB), Isodrin, Methoxychlor, Mirex) mittels Gaschromatographie und ECD-Detektion (GC/ECD auf 50 m Kapillarsäule CP-SIL 8 CB For Pesticides). Zur Absicherung der Befunde wurden die Probenextrakte zusätzlich auf einer 60 m Kapillarsäule DB-5 MS untersucht.	VDLUFA (1993)

Angabe der Ergebnisse

Alle Angaben für Elementgesamtgehalte, wasserlösliche Anionen und organische Schadstoffe sind bezogen auf die bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknete Probe (Trockensubstanz: TS). Bei Parametern, für die der Kompostierungserlaß Orientierungswerte angibt, wird zusätzlich die dort vorgesehene Normierung der Stoffkonzentration (x) auf 30 % Glühverlust (GV) nach Gleichung

$$x_{30\% GV} = \frac{(x \cdot 70)}{(100 - GV)}$$

vorgenommen.

Lösliche Nährstoffgehalte sind bezogen auf das Volumen der Proben.

Erläuterung der statistischen Angaben:

Mittelwert: arithmetisches Mittel aller Meßwerte; **Median** (Zentralwert): jeweils 50% der Meßwerte liegen unter bzw. über diesem Wert; **25%-Perzentil:** 25% der Meßwerte liegen unter diesem Wert, 75% der Meßwerte liegen darüber; **75%-Perzentil:** 75% der Meßwerte liegen unter diesem Wert, 25% der Meßwerte liegen darüber.

Ergebnisse

Räumliche Variabilität von Kompostinhaltsstoffen und Schadstoffen

Die Ergebnisse sind für Grüngutkomposte und Bioabfallkomposte getrennt dargestellt. Im Text sind die Ergebnisse in Form zusammenfassender Auswertungen (Tabellen) und Abbildungen dargestellt. In den Tabellen wird unterschieden zwischen statistischen Daten die für alle Proben gerechnet wurden und solchen, die für die Medianwerte aller Proben der einzelnen Anlagen gerechnet wurden.

pH-Werte und lösliche Pflanzennährstoffe

Die **pH-Werte** der Bioabfallkomposte sind schwach sauer bis leicht alkalisch (pH 5,5 bis pH 8,5). Bei den Grüngutkomposten reicht die Spannweite von neutral bis leicht alkalisch (7,1 bis 8,4). In einem Viertel der untersuchten Komposte weisen pH-Werten von 8,0 bis 8,5 auf einen höheren Anteil an basischen Stoffen hin (Tabelle 6).

Die Bioabfallkomposte haben im allgemeinen etwas höhere Gehalte an löslichem **Phosphor** (P_2O_5 : 361 bis 2070 mg l⁻¹, Median 1082 mg l⁻¹) und **Kalium** (K_2O : 2181 bis 7935 mg l⁻¹, Median 4571 mg l⁻¹) als Grüngutkomposte (P_2O_5 : 321 bis 2056 mg l⁻¹, Median 754 mg l⁻¹, K_2O : 1297 bis 7564 mg l⁻¹, Median 3343 mg l⁻¹). Im Einzelfall können jedoch auch Grüngutkomposte sehr hohe Gehalte an löslichem Phosphor und Kalium aufweisen, insbesondere wenn der Anteil an Grasschnitt hoch ist oder Pferdemist beigemischt wurde (Tabellen 6 und 7).

Auch die löslichen **Stickstoffgehalte** von Bioabfallkomposten sind meist höher als die von Grüngutkomposten (Tabellen 6 und 7). Bei den untersuchten Bioabfallkomposten dominiert meist der Ammonium-Stickstoff gegenüber dem Nitrat-Stickstoff, was jedoch auch vom Reifegrad der Komposte abhängig ist (Tabelle 6).

Im Gehalt an löslichem **Magnesium** unterscheiden sich Bioabfall- und Grüngutkomposte kaum (Tabellen 6 und 7).

Salze und Anionen

Die **Salzgehalte** der Bioabfallkomposte reichen bei einem Median von 6,8 g l⁻¹ von 2,3 bis 14,1 g l⁻¹, die der Grüngutkomposte von 0,9 bis 5,0 g l⁻¹ (Median 2,3 g l⁻¹). Demnach weisen die Bioabfallkomposte gegenüber den Grüngutkomposten deutlich höhere Salzgehalte auf (Tabellen 6 und 7). Das gilt auch für die Anionen **Chlorid** und **Sulfat** (Tabellen 6 und 7). Vor allem die Chloridgehalte der Bioabfallkomposte sind zum Teil um ein mehrfaches höher als die der Grüngutkomposte. Einzelne Bioabfallkomposte weisen jedoch auch relativ niedrige Chloridgehalte auf (z. B. BIO-13). Das ist vermutlich durch die Auswaschung von Salzen während der Kompostierung bedingt. Daher haben vor allem Komposte aus solche Anlagen niedrige Salzgehalte, bei denen die Kompostierung ohne Abdeckung im Freien erfolgt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 6: Statistische Kennzahlen für die Gehalte an löslichen Nährstoffen und Salzen aller Kompostproben.

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte								
pH-Wert	[-]	7,7	7,9	5,5	7,5	8,1	8,5	196
Phosphor (P ₂ O ₅)	[mg l ⁻¹]	1181	1082	361	867	1469	2070	196
Kalium (K ₂ O)	[mg l ⁻¹]	4761	4571	2181	3758	5814	7935	196
Magnesium (Mg)	[mg l ⁻¹]	231	218	114	173	283	456	184
Stickstoff (N)	[mg l ⁻¹]	455	457	26	277	589	1027	196
NO ₃ -Stickstoff (N)	[mg l ⁻¹]	65	9	< 1	1	84	628	114
NH ₄ -Stickstoff (N)	[mg l ⁻¹]	341	325	3	192	493	898	114
Salz (als KCl)	[g l ⁻¹]	6,7	6,8	2,3	5,2	7,6	14,1	196
Chlorid (Cl ⁻)	[mg kg ⁻¹ TS]	4501	4410	930	3595	5475	8610	195
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	[mg kg ⁻¹ TS]	714	680	50	390	940	2870	195
Grüngutkomposte								
pH-Wert	[-]	7,8	7,9	7,1	7,7	8,0	8,4	86
Phosphor (P ₂ O ₅)	[mg l ⁻¹]	843	754	321	526	1058	2056	86
Kalium (K ₂ O)	[mg l ⁻¹]	3696	3343	1297	2555	4547	7564	86
Magnesium (Mg)	[mg l ⁻¹]	197	195	137	170	217	297	84
Stickstoff (N)	[mg l ⁻¹]	104	84	8	50	146	330	86
NO ₃ -Stickstoff (N)	[mg l ⁻¹]	27	4	< 1	1	29	247	44
NH ₄ -Stickstoff (N)	[mg l ⁻¹]	23	14	< 1	7	34	72	44
Salz (als KCl)	[g l ⁻¹]	2,5	2,3	0,9	1,8	3,2	5,0	86
Chlorid (Cl ⁻)	[mg kg ⁻¹ TS]	910	795	260	570	1090	2380	86
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	[mg kg ⁻¹ TS]	400	355	90	270	500	920	86

Tabelle 7: Statistische Kennzahlen für die Gehalte an löslichen Nährstoffen und Salzen von Komposten der Einzelanlagen.

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte (Medianwerte der Einzelanlagen)								
pH-Wert	[-]	7,7	7,8	6,8	7,5	8,0	8,2	13
Phosphor (P ₂ O ₅)	[mg l ⁻¹]	1166	1175	610	929	1437	1710	13
Kalium (K ₂ O)	[mg l ⁻¹]	4819	5078	3258	3840	5839	6082	13
Magnesium (Mg)	[mg l ⁻¹]	245	252	151	198	291	342	13
Stickstoff (N)	[mg l ⁻¹]	437	447	131	388	508	679	13
Salz (als KCl)	[g l ⁻¹]	6,6	7,0	3,8	6,3	7,3	9,4	13
Chlorid (Cl ⁻)	[mg kg ⁻¹ TS]	4450	4440	1770	3865	5035	7270	13
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	[mg kg ⁻¹ TS]	808	925	340	535	985	1185	13
Grüngutkomposte (Medianwerte der Einzelanlagen)								
pH-Wert	[-]	7,8	8,0	7,1	7,7	8,0	8,2	12
Phosphor (P ₂ O ₅)	[mg l ⁻¹]	890	838	446	577	906	1981	12
Kalium (K ₂ O)	[mg l ⁻¹]	3635	3563	2001	2540	3939	6723	12
Magnesium (Mg)	[mg l ⁻¹]	207	198	145	182	228	284	12
Stickstoff (N)	[mg l ⁻¹]	110	88	30	59	128	301	12
Salz	[g l ⁻¹]	2,6	2,5	1,4	1,6	2,8	4,6	12
Chlorid (Cl ⁻)	[mg kg ⁻¹ TS]	918	815	265	608	1056	2195	12
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	[mg kg ⁻¹ TS]	393	350	215	296	445	685	12

Eine Verringerung der Salzgehalte kann vermutlich dadurch erreicht werden, daß das Kompostsickerwasser nicht im Kreis gefahren wird, was in vielen Anlagen üblich ist, sondern die eventuelle Befeuchtung des Kompostes mit Frischwasser erfolgt. Das Kompostsickerwasser muß dann unschädlich auf andere Weise beseitigt werden.

Volumengewicht

Das **Volumengewicht** der frischen Komposte reicht von etwa 450 bis 860 g l⁻¹ (Tabelle 8). Im Mittel haben die Grüngutkomposte (Median 669 g l⁻¹) etwas höhere Volumengewichte als die Bioabfallkomposte (Median 594 g l⁻¹). Ursache sind die meist etwas höheren Wassergehalte der Grüngutkomposte (Tabelle 8).

Organische Substanz und Pflanzennährstoffe (Gesamtgehalte)

Die Gesamtgehalte an Organischer Substanz und Pflanzennährstoffen sind in den Tabellen 8 und 9 dargestellt.

Tabelle 8: Statistische Kennzahlen für Komposte.

Alle Werte außer dem Volumengewicht und dem C/N-Verhältnis sind bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C).

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte								
Volumengewicht frisch	[g l ⁻¹]	604	594	454	523	668	861	196
Trockenrückstand TS	[%]	65,0	65,4	45,5	58,9	70,7	84,4	196
Glühverlust	[%]	48,7	49,6	26,0	42,7	54,5	74,4	196
Stickstoff (N)	[%]	2,00	2,05	1,14	1,76	2,27	2,71	167
C/N-Verhältnis	[-]	14,5	13,7	9,4	12,1	16,5	24,8	167
Phosphor (P ₂ O ₅)	[%]	0,83	0,83	0,45	0,67	0,97	1,32	196
Kalium (K ₂ O)	[%]	1,35	1,34	0,77	1,11	1,55	2,18	196
Magnesium (MgO)	[%]	0,89	0,79	0,48	0,62	1,14	2,03	196
Calcium (CaO)	[%]	7,18	7,12	3,54	6,07	8,58	12,4	196
Grüngutkomposte								
Volumengewicht frisch	[g l ⁻¹]	668	669	453	619	736	818	86
Trockenrückstand TS	[%]	56,4	56,4	38,4	51,3	61,1	76,3	85
Glühverlust	[%]	45,1	44,2	24,0	41,0	50,2	73,4	86
Stickstoff (N)	[%]	1,33	1,35	0,94	1,14	1,50	2,10	70
C/N-Verhältnis	[-]	19,9	18,2	9,3	15,9	23,8	37,6	70
Phosphor (P ₂ O ₅)	[%]	0,51	0,52	0,29	0,40	0,60	1,07	86
Kalium (K ₂ O)	[%]	1,05	1,04	0,53	0,79	1,23	1,93	86
Magnesium (MgO)	[%]	0,71	0,65	0,40	0,58	0,81	1,35	86
Calcium (CaO)	[%]	7,72	7,58	2,55	6,40	8,53	17,3	86

Tabelle 9: Statistische Kennzahlen von Bioabfall- und Grüngutkomposten

Alle Werte sind bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C).

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25%-Perc.	75%-Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte (Medianwerte der Einzelanlagen)								
Glühverlust	[%]	46,5	49,8	29,5	43,4	53,4	56,0	13
Stickstoff (N)	[%]	1,93	1,96	1,36	1,72	2,18	2,41	12
Phosphor (P ₂ O ₅)	[%]	0,36	0,35	0,24	0,31	0,41	0,52	13
Kalium (K ₂ O)	[%]	1,34	1,34	0,98	1,08	1,45	1,74	13
Magnesium (MgO)	[%]	0,91	0,84	0,57	0,65	1,18	1,34	13
Calcium (CaO)	[%]	6,88	6,82	4,35	6,34	8,08	9,52	13
Grüngutkomposte (Medianwerte der Einzelanlagen)								
Glühverlust	[%]	43,8	43,7	24,3	42,1	49,2	59,8	12
Stickstoff (N)	[%]	1,36	1,28	0,96	1,20	1,49	2,02	11
Phosphor (P ₂ O ₅)	[%]	0,54	0,48	0,29	0,42	0,61	1,03	12
Kalium (K ₂ O)	[%]	1,06	1,05	0,62	0,82	1,17	1,83	12
Magnesium (MgO)	[%]	0,75	0,68	0,52	0,62	0,87	1,26	12
Calcium (CaO)	[%]	7,36	7,06	2,71	5,42	8,01	16,3	12

Der **Glühverlust (Gehalt an organischer Substanz)** aller Komposte reicht von etwa 25 bis 75 %, die Spanne ist also erheblich. Dabei besteht in der Spanne kein wesentlicher Unterschied zwischen Bioabfall- und Grüngutkomposten. Im Mittel aller Proben haben die Grüngutkomposte (Median 44,2 %) etwas geringere Gehalte an organischer Substanz als die Bioabfallkomposte (Median 49,6 %). Das bestätigt sich auch beim Vergleich der Kompostierungsanlagen (Tabelle 9).

Der **Stickstoff-Gesamtgehalt** der Bioabfallkomposte beträgt 1,14 bis 2,71 % (Median 2,05 %), der der Grüngutkomposte 0,94 bis 2,10 % (Median 1,35 %) (Tabellen 8 und 9). Demnach weisen die Bioabfallkomposte infolge des stickstoffreicheren Ausgangsmaterials höhere mittlere Stickstoffgehalte auf. Diese Stickstoffgehalte sind etwas höher als sie üblicherweise in der Literatur genannt werden (z.B. 0,88 bis 1,5 %, Umweltministerium Baden-Württemberg, 1994a).

Das **C/N-Verhältnis** der Bioabfallkomposte liegt zwischen 9 und 25 (Median 13,7), während Grüngutkomposte mit einem Median von 18,2 bei einer Spanne von 9 bis 38 meist ein weiteres C/N-Verhältnis aufweisen (Tabelle 8). Man geht davon aus, daß bei organischen Düngemitteln oder Bodenhilfsstoffen mit einem C/N-Verhältnis von mehr als 20 in der Regel eine Ergänzungsdüngung mit Stickstoff zur Vermeidung von Nährstoffsperrern im Boden erforderlich ist (Umweltministerium Baden-Württemberg, 1994a). Dies wird bei Bioabfallkomposten im Gegensatz zu einem Teil der Grüngutkomposte normalerweise nicht erforderlich sein.

Bei den Gesamtgehalten der Pflanzennährstoffe **Phosphor, Kalium** und **Magnesium** sind die Unterschiede zwischen Bioabfall- und Grüngutkomposten weniger ausgeprägt als beim Stickstoff. Meist haben Bioabfallkomposte jedoch etwas höhere Gehalte als Grüngutkomposte. Die Mediane (in %) betragen für Phosphor (P₂O₅) 0,83 (Bioabfallkomposte) und 0,52 (Grüngutkomposte), für Kalium (K₂O) 1,34 (Bioabfallkomposte) und 1,04 (Grüngutkomposte) und für Magnesium (MgO) 0,79 (Bioabfallkomposte) und 0,65 (Grüngutkomposte). Die Spanne der Nährstoffgehalte ist bei allen Elementen beträchtlich. Zwischen niedrigstem und höchstem Wert liegt meist ein Faktor > 2.

Die **Calciumgehalte** (CaO) aller Komposte betragen zwischen 2,5 und 17 %, wobei zwischen Bioabfall- (Median 7,12 %) und Grüngutkomposten (Median 7,58 %) kein deutlicher Unterschied zu erkennen ist (Tabellen 8 und 9). Die Spanne der Calciumgehalte der Grünkomposte ist erheblich größer als die der Bioabfallkomposte.

Die Variation der Nährstoffstoffgehalte ist sehr groß, was die große Bedeutung der Analyse von Komposten vor ihrer Verwertung in der Landwirtschaft unterstreicht. 10 Tonnen Kompost-

Trockenmasse können je nach Herkunft zwischen 100 und 250 kg Stickstoff, zwischen 30 und 130 kg P₂O₅, zwischen 50 und 200 kg K₂O und zwischen 40 und 200 kg MgO enthalten.

Schwermetalle (Kompostierungserlaß)

Die Gehalte an 7 Schwermetallen, für die der Kompostierungserlaß Orientierungswerte angibt, sind in der Tabelle 10 für die Anlagen zusammenfassend dargestellt. Alle Werte wurden zur Beurteilung mit den Orientierungswerte des Kompostierungserlasses auf 30 % Glühverlust normiert. Tabelle 11 zeigt die nicht normierten Werte. Für jede Anlage wurde der Medianwert aller vorliegenden Proben errechnet, weil die statistische Verteilung der Schwermetallgehalte der Einzelproben teilweise zu hohen Gehalten hin schief ist (sehr hohe Extremwerte kommen häufiger vor als sehr geringe). Am Beispiel der Häufigkeitsverteilung von Kupfer ist das in Abbildung 2 dargestellt. Zu beachten ist, daß die Klassenbreiten in der Abbildung unterschiedlich sind. Die Meßwerte sind also nicht normalverteilt, was Voraussetzung für die Verwendung arithmetischer Mittelwerte ist (z.B. Lorenz, 1992). Der arithmetische Mittelwert der Schwermetallgehalte ist bei einigen Elementen deutlich höher als der Median. Als Maß zur Abschätzung der mittleren Schwermetallgehalte der Komposte ist demnach der Median geeigneter als der arithmetische Mittelwert.

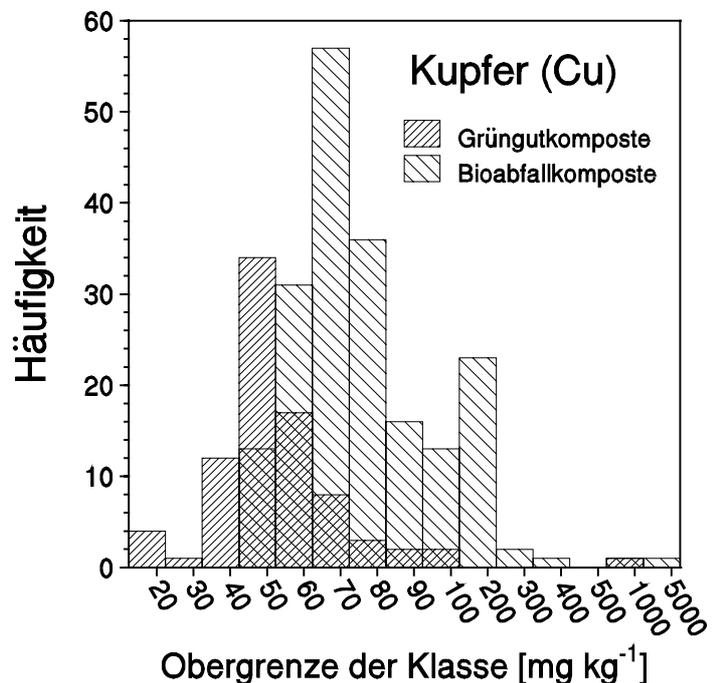


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der Kupfergehalte aller Proben. Die Klassenbreiten sind unterschiedlich!

Tabelle 10: Statistische Kennzahlen für die Gesamtgehalte der im Kompostierungserlaß geregelten Schwermetalle in den Komposten. Die Werte sind auf 30% Glühverlust normiert und bezogen auf die ofentrockene Probe (105° C)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte (Medianwerte der Einzelanlagen, normiert)								
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	66,2	69,2	41,4	54,0	75,7	104	13
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,46	0,45	0,26	0,39	0,58	0,61	13
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	40,0	38,5	30,9	33,0	41,3	68,7	13
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	70,3	70,7	44,9	66,1	78,6	105	13
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	19,1	17,8	13,9	16,7	20,2	32,5	13
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,24 ^C	0,235	0,13 ^C	0,185	0,284	0,39 ^C	13
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	251	258	151	227	277	310	13
Grüngutkomposte (Medianwerte der Einzelanlagen, normiert)								
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	42,5	39,7	19,0	29,5	48,5	87,9	12
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,42	0,38	0,17	0,27	0,44	1,08	12
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	36,3	36,7	15,2	30,9	38,6	72,6	12
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	45,8	49,3	17,8	42,2	53,9	70,1	12
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	16,2	16,0	13,2	14,2	18,4	19,6	12
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,17 ^C	0,160	0,057	0,12 ^C	0,18 ^C	0,482	12
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	171	183	77	154	196	242	12

Tabelle 11: Statistische Kennzahlen für die Gesamtgehalte der im Kompostierungserlaß geregelten Schwermetalle in den Komposten. Die Werte sind bezogen auf die ofentrockene Originalprobe (105° C)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte (Medianwerte der Einzelanlagen, nicht normiert)								
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	49,4	47,7	32,2	41,1	56,3	66,8	13
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,35	0,36	0,22	0,26	0,41	0,58	13
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	30,5	27,1	20,8	24,1	33,8	48,6	13
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	52,4	50,2	45,5	47,6	53,2	67,2	13
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	15,2	12,9	10,2	12,2	15,8	34,2	13
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,177	0,178	0,107	0,133	0,215	0,241	13
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	188	192	150	175	203	237	13
Grüngutkomposte (Medianwerte der Einzelanlagen, nicht normiert)								
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	33,6	27,7	18,1	26,3	38,1	63,0	12
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,33	0,29	0,16	0,24	0,34	0,92	12
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	28,3	28,5	14,4	21,6	31,1	52,7	12
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	35,2	34,8	17,4	30,4	39,6	58,6	12
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	13,2	12,7	10,6	11,5	14,8	16,7	12
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,134	0,121	0,060	0,093	0,145	0,353	12
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	133	140	73	117	153	174	12

Die Tabellen 12 (normiert auf 30% Glühverlust) und 13 (nicht normiert) geben einen Überblick über die statistische Verteilung der Schwermetallgehalte aller gezogenen Proben.

Die Grüngutkomposte haben meist geringere Schwermetallgehalte als die Bioabfallkomposte (Tabellen 10 bis 13). Besonders gilt dies für die Elemente Kupfer, Blei und Zink, aber auch für Quecksilber. Bei Chrom, Nickel und Cadmium ist kein Unterschied festzustellen. Daraus läßt sich schließen, daß die Belastung der Bioabfallkomposte mit Schwermetallen nicht allein auf die allgemeine Umweltbelastung und damit das Strukturmaterial, sondern zumindest teilweise auf Fehlwürfe (Fremdstoffe im Bioabfall) zurückzuführen ist. Aus der besonders deutlich rechtsschiefen statistischen Verteilung ihrer Gehalte ist zu schließen, daß dies besonders für Pb, Cu und Zn gilt.

Tabelle 12: Statistische Kennzahlen für die Gesamtgehalte der im Kompostierungserlaß geregelten Schwermetalle in Komposten. Die Werte sind auf 30% Glühverlust normiert und bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C).

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte, normiert								
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	75,4	64,7	22,9	50,0	85,2	579	194
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,45	0,44	0,17	0,36	0,53	0,84	179
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	40,3	37,8	20,1	33,5	41,9	105	196
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	104	69,8	41,6	61,5	84,1	4330	194
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	18,9	18,3	12,0	16,3	20,6	40,0	194
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,265	0,241	0,107	0,199	0,308	0,877	193
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	260	255	143	220	292	464	196
Grüngutkomposte, normiert								
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	44,8	41,3	18,5	35,0	47,5	209	84
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,41	0,36	0,13	0,26	0,44	1,71	82
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	39,7	36,0	15,1	32,5	41,2	151	86
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	55,6	47,4	17,7	40,6	55,5	581	84
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	17,3	17,3	11,6	14,6	19,1	26,7	84
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,207	0,149	0,055	0,134	0,197	1,39€	84
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	177	178	73	156	195	345	86

Tabelle 13: Statistische Kennzahlen für die Gesamtgehalte der im Kompostierungserlaß geregelten Schwermetalle in Komposten. Die Werte sind bezogen auf die ofentrockene Originalprobe (105° C)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte, nicht normiert								
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	53,3	47,0	19,0	37,8	62,0	435	194
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,33	0,32	0,11	0,26	0,41	0,70	179
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	29,6	27,0	13,9	22,9	33,3	93,5	196
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	68,4	52,2	34,0	45,6	61,2	2215	194
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	13,9	12,9	7,2	11,0	15,8	37,7	194
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,189	0,180	0,075	0,140	0,225	0,680	193
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	186	181	125	161	206	371	196
Grüngutkomposte, nicht normiert								
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	35,1	31,0	15,0	25,1	39,2	171	84
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,33	0,28	0,11	0,22	0,34	1,70	82
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	30,6	28,9	13,7	24,0	33,5	104	86
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	42,8	36,7	17,3	29,9	42,4	432	84
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	13,6	13,1	5,7	11,1	16,0	25,0	84
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,150	0,118	0,060	0,098	0,170	0,560	84
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	136	141	72,1	118	153	181	86

Tabelle 14: Anzahl und relativer Anteil der Orientierungswertüberschreitungen aller Proben bei den Schwermetallgehalten. Alle Werte sind auf 30 % Glühverlust normiert und bezogen auf die ofentrockene Probe (105° C).

Parameter	Einheit	Orientierungswert (incl. 5 % Toleranz)	Proben Anzahl	Überschreitungen Orientierungswert Anzahl	[%]
Bioabfallkomposte, normiert					
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	105	194	24	12,4
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	1,05	179	0	0,0
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	105	196	1	0,5
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	78,5	194	62	32,0
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	52,5	194	0	0,0
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	1,05	193	0	0,0
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	315	196	26	13,3
Grüngutkomposte, normiert					
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	105	84	1	1,2
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	1,05	82	3	3,7
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	105	86	3	3,5
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	78,5	84	5	6,0
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	52,5	84	0	0,0
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	1,05	84	2	2,4
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	315	86	1	1,2

Bioabfallkomposte:
Kupfergehalte > 78,5 mg kg⁻¹
n = 62

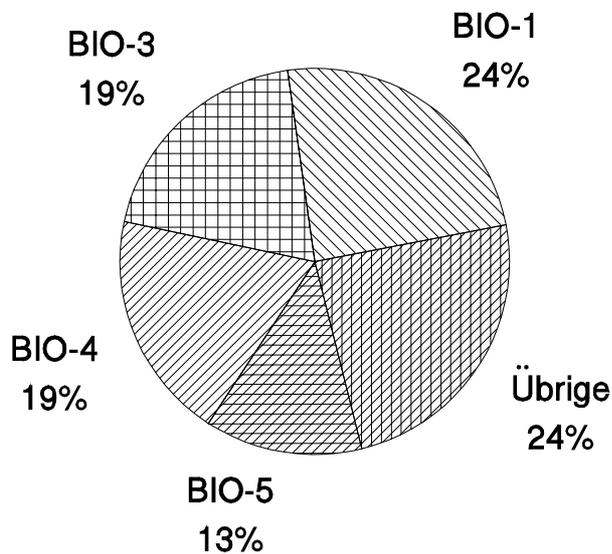


Abb. 3: Verteilung der Orientierungswertüberschreitungen beim Element Kupfer auf die einzelnen Bioabfallkompostierungsanlagen.

Bioabfallkomposte:
Bleigehalte > 105 mg kg⁻¹
n = 24

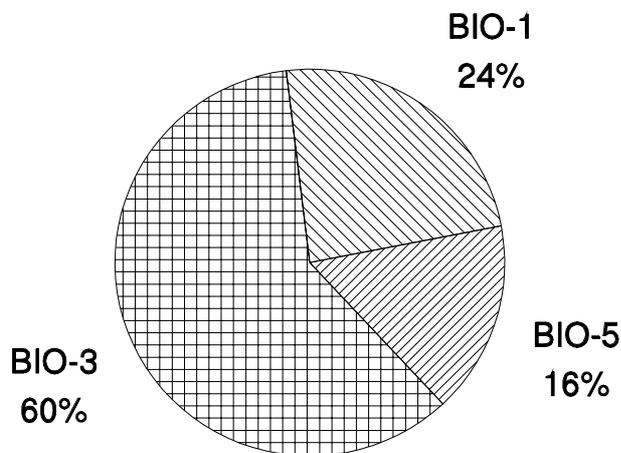


Abb. 4: Verteilung der Orientierungswertüberschreitungen beim Element Blei auf die einzelnen Bioabfallkompostierungsanlagen.

Die Ergebnisse für die einzelnen Proben (Tabellen 12 und 13) zeigen, daß es bei den **Grüngutkomposten** nur in wenigen Fällen zu Überschreitungen des Orientierungswerts kommt (Tabelle 14). Eine Kompostierungsanlage (GRÜ-20) weist deutlich erhöhte Cadmiumgehalte auf und 5 Einzelproben überschreiten den Orientierungswert für Kupfer. Die übrigen Überschreitungen der Orientierungswerte (1 bis 3 Proben je Element) betreffen maximal 3,5 % der Proben und sind daher unerheblich. Bei Nickel treten keine Überschreitungen der Orientierungswerte auf.

Bei den **Bioabfallkomposten** kommt es bei den Elementen Kupfer (32,0 % der Proben), Zink (13,3 % der Proben) und Blei (12,4 % der Proben) in größerem Umfang zu Orientierungswertüberschreitungen (Tabelle 14). Dabei konzentrieren sich die Orientierungswertüberschreitungen jedoch auf ältere Kompostierungsanlagen mit ungenügender Sortierung des Bioabfalls und solche Anlagen, in denen erst nach der Kompostierung die Fremdstoffe abgetrennt werden.

Bei **Kupfer** (Abbildung 3) entfallen von 62 Orientierungswertüberschreitungen 15 auf die Anlage BIO-1, jeweils 12 auf BIO-3 und BIO-4 und 8 auf BIO-5. Bei den übrigen Anlagen ist der Kupfergehalt in bis zu 3 Proben höher als der Orientierungswert. Offensichtlich liegt der Orientierungswert für Kupfer doch recht nahe am „Normalgehalt“ von Kupfer in Komposten, da hier nur eine vergleichbar geringe Tendenz zu erhöhten Gehalten in bestimmten Anlagen zu erkennen ist. Der Mittelwert (normiert auf 30% Glühverlust) aller Kupferbestimmungen in Bioabfallkomposten im Rahmen des Projektes beträgt 69,8 mg kg⁻¹. Bei der Beurteilung der Anzahl der Orientierungswertüberschreitungen muß jedoch berücksichtigt werden, daß in den verschiedenen Anlagen eine unterschiedliche Anzahl von Proben genommen wurden (vgl. Tabellen 2 und 3 und Kapitel 4.2.4 (zeitliche Variabilität).

Bei **Blei** (Abbildung 4) fallen von 24 Orientierungswertüberschreitungen 15 auf die Anlage BIO-3, 6 auf BIO-1 und 4 auf BIO-5. Bei **Zink** (Abbildung 5) entfallen von 26 Orientierungswertüberschreitungen 11 auf BIO-3 und 8 auf BIO-1. Beim Element **Chrom** tritt nur eine Orientierungswertüberschreitung auf. Bei **Cadmium**, **Nickel** und **Quecksilber** kommt es zu keinen Überschreitungen der Orientierungswerte.

**Bioabfallkomposte:
Zinkgehalte > 315 mg kg⁻¹
n = 26**

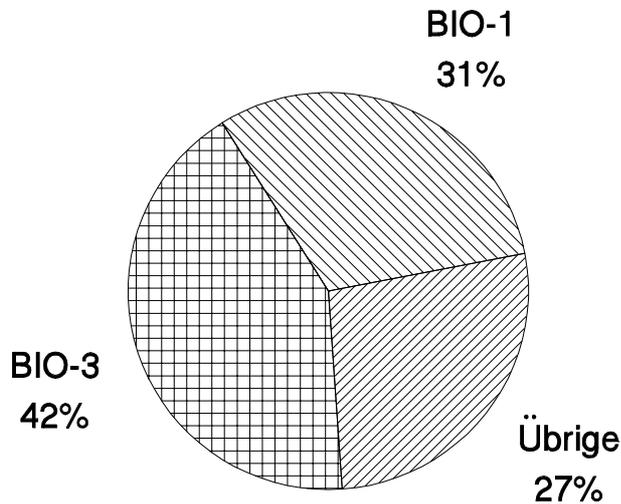


Abb. 5: Verteilung der Orientierungswert-überschreitungen beim Element Zink auf die einzelnen Bioabfallkompostierungsanlagen.

miniumgehalt der Komposte beträgt etwa 6000 mg kg⁻¹. Damit bewegt sich der Aluminiumgehalt im für Böden und die Erdkruste üblichen Bereich von bis zu 10000 mg kg⁻¹.

Der Gehalt an **Eisen** beträgt im Mittel etwa 10000 mg kg⁻¹. Die Spanne reicht hier von 4000 bis 21000 mg kg⁻¹, wobei eine Tendenz zu etwas höheren Gehalten in den Grüngutkomposten zu erkennen ist. Übliche Eisengehalte von Böden und der Erdkruste betragen > 7000 mg kg⁻¹.

Die Bioabfallkomposte enthalten mit 3000 mg kg⁻¹ im Mittel etwa 10 mal so viel **Natrium** wie die Grüngutkomposte. Die Spanne der Na-Gehalte ist mit 200 bis 6000 mg kg⁻¹ (Bioabfallkomposte) und 70 bis 700 mg kg⁻¹ (Grüngutkomposte) sehr groß. Die hohe Na-Konzentration der Bioabfallkomposte wird durch den salzhaltigen Bioabfall verursacht und ist im Zusammenhang mit den ebenfalls hohen Konzentrationen an Salz und löslichen Anionen zu sehen.

Die Gehalte an **Mangan** betragen zwischen 200 und 700 mg kg⁻¹. Wie beim Eisen sind die Mn-Gehalte tendenziell in den Grüngutkomposten etwas höher als in den Bioabfallkomposten.

Weitere Elemente

Tabelle 15 zeigt die Gehalte an verschiedenen Elementen, die üblicherweise in Komposten nicht untersucht werden.

Die Komposte enthalten zwischen 3000 und 12000 mg **Aluminium** kg⁻¹. Dabei besteht kein Unterschied zwischen Bioabfall- und Grüngutkomposten. Der mittlere Alu-

Tabelle 15: Statistische Kennzahlen für die Gesamtgehalte verschiedener Elemente in Bioabfall- und Grüngutkomposten. Alle Werte sind bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C).

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte								
Aluminium (Al)	[mg kg ⁻¹]	6485	6083	3523	5068	7708	11271	196
Arsen (As)	[mg kg ⁻¹]	3,65	3,41	1,63	2,80	4,18	16,5	191
Bor (B)	[mg kg ⁻¹]	21,5	20,5	19,0	19,8	21,3	30,2	8
Eisen (Fe)	[mg kg ⁻¹]	9811	9612	4308	7648	11829	16561	196
Kobalt (Co)	[mg kg ⁻¹]	5,49	5,29	2,01	3,93	6,56	12,6	193
Mangan (Mn)	[mg kg ⁻¹]	400	401	197	303	485	693	196
Natrium (Na)	[mg kg ⁻¹]	3008	2958	233	2235	3719	6370	196
Selen (Se)	[mg kg ⁻¹]	0,17	0,17	0,09	0,15	0,19	0,29	24
Thallium (Tl)	[mg kg ⁻¹]	0,074	0,072	0,071	0,072	0,076	0,079	3
Grüngutkomposte								
Aluminium (Al)	[mg kg ⁻¹]	6239	6194	2960	5194	7154	11705	86
Arsen (As)	[mg kg ⁻¹]	4,74	4,61	1,58	3,24	6,03	8,89	86
Bor (B)	[mg kg ⁻¹]	20,5	18,5	16,0	18,0	19,8	31,7	6
Eisen (Fe)	[mg kg ⁻¹]	11991	11358	4840	9948	14493	21032	86
Kobalt (Co)	[mg kg ⁻¹]	6,4	6,4	1,8	4,8	7,9	14,5	84
Mangan (Mn)	[mg kg ⁻¹]	495	487	192	421	590	734	85
Natrium (Na)	[mg kg ⁻¹]	319	285	70	225	347	681	86
Selen (Se)	[mg kg ⁻¹]	0,15	0,14	0,08	0,11	0,18	0,32	20
Thallium (Tl)	[mg kg ⁻¹]	0,092	0,099	0,070	0,090	0,100	0,100	4

Die Komposte enthalten zwischen 15 und 30 mg **Bor** kg⁻¹. Auch hier bestehen nur geringe Unterschiede zwischen Bio- und Grüngutkomposten. Natürliche B-Gehalte von Böden betragen etwa 30 bis 40 mg kg⁻¹.

Der Gehalt an **Arsen** ist in Grüngutkomposten mit einem Median von 4,6 mg kg⁻¹ etwas höher als in Bioabfallkomposten (Median 3,4 mg kg⁻¹). Die As-Gehalte der Komposte bewegen sich mit 1,6 bis 16,5 mg kg⁻¹ im Bereich der As-Gehalte von natürlichen Böden (etwa 0,1 bis 40 mg kg⁻¹).

Der Gehalt an **Kobalt** beträgt zwischen 2 und 15 mg kg⁻¹. Im Mittel enthalten die Bioabfallkomposte 5,3 mg kg⁻¹ und die Grüngutkomposte 6,4 mg Kobalt kg⁻¹. Hintergrundgehalte von Böden und Gesteinen betragen bei Kobalt etwa 20 mg kg⁻¹.

Die Komposte enthalten zwischen 0,1 und 0,3 mg **Selen** kg⁻¹. Auch dies ist im Bereich üblicher Hintergrundgehalte von Böden (0,1 bis 1,6 mg kg⁻¹).

Thallium war nur in wenigen Kompostproben nachweisbar. Die gemessenen Gehalte betragen etwa 0,1 mg kg⁻¹.

Insgesamt betrachtet sind die gemessenen Elementgehalte nicht besorgniserregend. Sie bewegen sich meist im unteren Hintergrundbereich natürlicher Böden und Gesteine. Eine Anreicherung dieser Elemente in Böden durch Düngung mit Kompost ist also nicht zu befürchten. Allerdings ist für die für Pflanzen als Mikronährstoffe essentiellen Elemente auch mit keiner Düngewirkung zu rechnen.

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Tabelle 16 zeigt die statistischen Kennzahlen für die **EPA-PAK** sowie vier zusätzlich bestimmte **PAK**. Die Summenwerte streuen über einen erheblichen Bereich (1,2 bis 23,7 mg kg⁻¹ TS). Dies trifft auch für die Einzelverbindungen zu. Der Median für die Konzentration an **Benzo(a)pyren** beträgt 0,269 mg kg⁻¹ TS (Bioabfallkomposte) bzw. 0,210 mg kg⁻¹ (Grüngutkomposte) bei einer Streubreite zwischen n.n. (<0,01 mg kg⁻¹ TS) und 2,7 mg kg⁻¹ TS.

Bislang liegen für PAK noch keine Orientierungswerte in Komposten vor. Ein Vergleich ist allenfalls mit den Prüfwerten für Böden mit unterschiedlichen Nutzungen zum Schutz von Menschen und den Belastungswerten für Böden zum Schutz von Nahrungs-, Futterpflanzen und Tieren nach der 4. VwV Organische Schadstoffe des UM zum Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg (1995b) möglich. Hier würden die Prüfwerte für die Summe der EPA-PAK bzw. für Benzo(a)pyren für Kinderspielflächen (5 mg kg⁻¹ bzw. 0,5 mg kg⁻¹) und die Belastungswerte (10 mg kg⁻¹ bzw. 1 mg kg⁻¹) im Mittel deutlich unterschritten. Für gärtnerisch genutzte Flächen werden PAK-Summenkonzentrationen (16 EPA-PAK) normalerweise nicht über 10 mg kg⁻¹ TS erwartet.

Ein deutlicher Unterschied zwischen den Anlagentypen ist nicht zu erkennen. Da drei Grüngutkompostierungsanlagen Proben mit Summenwerten über 10 mg kg⁻¹ TS aufweisen, während diese Konzentration nur bei einer Bioabfallkompostierungsanlage überschritten wird, unterscheiden sich zwar die arithmetischen Mittelwerte beider Kollektive, die Medianwerte liegen jedoch relativ dicht beisammen. Deutliche Unterschiede im Muster der Einzelverbindungen zwischen beiden Anlagentypen sind nicht festzustellen. Bei den meisten Verbindungen liegen die Mittelwerte für die Grüngutkompostierungsanlagen etwas über denjenigen der Bioabfallkompostierungsanlagen.

Von den vier untersuchten **Nicht-EPA-PAK** konnten Triphenylen, Perylen und Benzo(e)pyren in einer Reihe von Komposten nachgewiesen werden. Anthanthren konnte bei drei Grüngutkomposten ermittelt werden, jedoch in keinem Bioabfallkompost.

Tabelle 16: Statistische Kennzahlen der Gehalte an 16 EPA-PAK und 4 zusätzlichen PAK in Bioabfall- und Grüngutkomposten. Die Angaben sind in mg kg⁻¹ und bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C). n.b.: nicht bestimmt, da flüchtig; n.n.: nicht nachweisbar.

Parameter	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Bioabfallkomposte							
Naphthalin							n.b.
Acenaphthylen	0,050	0,027	0,006	0,013	0,049	0,217	11
Acenaphthen	0,121	0,028	0,006	0,019	0,128	0,749	13
Fluoren	0,083	0,044	0,015	0,030	0,105	0,228	13
Phenanthren	0,716	0,555	0,168	0,292	0,949	1,871	13
Anthracen	0,089	0,057	0,026	0,040	0,098	0,337	12
Fluoranthen	0,820	0,705	0,160	0,456	0,980	1,990	13
Pyren	0,625	0,535	0,094	0,412	0,655	1,809	13
Benz(a)anthracen	0,223	0,276	0,062	0,130	0,300	0,396	11
Chrysen	0,268	0,299	0,061	0,166	0,340	0,478	12
Benzo(b)fluoranthen	0,675	0,600	0,173	0,434	0,762	1,894	12
Benzo(k)fluoranthen	0,232	0,187	0,048	0,130	0,244	0,579	11
Benzo(a)pyren	0,332	0,269	0,059	0,205	0,391	1,001	11
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,179	0,136	0,074	0,120	0,268	0,319	9
Dibenzo(a,h)anthracen	0,058	0,060	0,030	0,050	0,068	0,080	4
Benzo(ghi)perylene	0,131	0,121	0,059	0,105	0,131	0,219	9
Summe	4,260	3,584	1,164	2,554	4,517	10,720	13
Triphenylen	0,121	0,13	0,048	0,0995	0,1485	0,177	10
Benzo(e)pyren	0,388	0,32	0,132	0,2445	0,4535	0,869	11
Perylen	0,109	0,085	0,027	0,0415	0,1215	0,323	7
Anthanthren			< 0,02				n.n.
Grüngutkomposte							
Naphthalin							n.b.
Acenaphthylen	0,072	0,035	0,005	0,019	0,103	0,345	12
Acenaphthen	0,046	0,036	0,011	0,018	0,058	0,133	12
Fluoren	0,084	0,047	0,018	0,032	0,109	0,329	12
Phenanthren	0,779	0,466	0,284	0,348	0,882	3,143	12
Anthracen	0,110	0,074	0,011	0,060	0,128	0,432	12
Fluoranthen	0,834	0,571	0,140	0,438	1,165	2,047	12
Pyren	0,687	0,403	0,062	0,264	0,945	2,568	12
Benz(a)anthracen	0,490	0,220	0,084	0,100	0,577	1,850	12
Chrysen	0,526	0,209	0,101	0,124	0,768	1,606	12
Benzo(b)fluoranthen	0,892	0,406	0,220	0,339	1,057	3,164	12
Benzo(k)fluoranthen	0,379	0,150	0,053	0,112	0,448	1,456	12
Benzo(a)pyren	0,593	0,210	0,075	0,154	0,498	2,646	12
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,650	0,320	0,108	0,189	0,985	1,892	8
Dibenzo(a,h)anthracen	0,241	0,251	0,040	0,067	0,290	0,558	5
Benzo(ghi)perylene	0,417	0,182	0,070	0,143	0,551	1,640	9
Summe	6,337	3,586	1,226	2,202	6,926	23,665	12
Triphenylen	0,189	0,110	0,047	0,073	0,284	0,546	11
Benzo(e)pyren	0,557	0,275	0,124	0,240	0,713	1,760	12
Perylen	0,225	0,080	0,041	0,047	0,324	0,702	9
Anthanthren	0,127	0,140	0,031	0,086	0,175	0,210	3

Fußnote vgl. Tabelle 15

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Tabelle 17 zeigt eine Zusammenfassung der statistischen Kennzahlen für die **PCB**-Gehalte der Komposte. Tabelle 18 zeigt die PCB-Gehalte in der Originalsubstanz.

Bei den Summenwerten aus 6 Einzelkongeneren (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180) ergibt sich für alle 25 untersuchten Anlagen ein Median von $0,073 \text{ mg kg}^{-1}$ TS (normiert auf Glühverlust). Dieser Wert liegt deutlich unter dem Orientierungswert des Kompostierungserlasses von $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ TS. Der 75%-Perzentil-Wert beträgt mit $0,102 \text{ mg kg}^{-1}$ TS etwa die Hälfte des Orientierungswertes. Lediglich die Anlage mit dem Maximalwert kommt mit $0,189 \text{ mg kg}^{-1}$ TS in die Nähe des Orientierungswertes.

Der Orientierungswert für PCB-Einzelkongenere von $0,033 \text{ mg kg}^{-1}$ wird bei den 25 untersuchten Anlagen im Falle der Kongenere PCB 28, PCB 52, PCB 101 und PCB 180 deutlich unterschritten. Für die Kongenere PCB 138 und PCB 153 ist bei 5 bzw. 7 Anlagen eine Überschreitung des Orientierungswertes festzustellen, wobei im Extrem beim Kongener PCB 153 der Orientierungswert um knapp das doppelte überschritten wird. Das Kongener PCB 153 weist bei allen Anlagen auch jeweils die höchste Konzentration im Vergleich mit den anderen Kongeneren auf.

Vergleicht man die Summe der 6 PCB-Kongenere, so ergibt sich für den Kompost aus Bioabfall in der Tendenz eine etwas höhere Konzentration als bei Kompost aus Grüngut. Diese Tendenz ist bei allen 6 Einzelkongeneren festzustellen, wenn auch mit unterschiedlich starker Ausprägung. Ein deutlicher Unterschied im Kongenerenmuster zwischen den Anlagentypen ist jedoch nicht zu erkennen. Vergleichbare Ergebnisse wurden kürzlich für Komposte aus Bayern berichtet (LfU, o.J.)

Tabelle 17: Statistische Kennzahlen der Gehalte an PCB in Bioabfall- und Grüngutkomposten. Die Angaben sind in mg kg^{-1} , bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C) und normiert auf 30 % Glühverlust.

Parameter	Mittelwert	Median	Minimum	25% Perc.	75% Perc.	Maximum	Anzahl
Bioabfallkomposte							
PCB28	0,0022	0,0015	0,0011	0,0014	0,0028	0,0044	9
PCB52	0,0060	0,0043	0,0010	0,0030	0,0077	0,0188	13
PCB101	0,0164	0,0142	0,0052	0,0125	0,0208	0,0320	13
PCB138	0,0282	0,0237	0,0104	0,0196	0,0310	0,0588	13
PCB153	0,0309	0,0284	0,0093	0,0224	0,0354	0,0626	13
PCB180	0,0125	0,0103	0,0052	0,0084	0,0145	0,0256	13
Summe	0,0957	0,0810	0,0311	0,0695	0,1167	0,1892	13
Grüngutkomposte							
PCB28	0,0018	0,0013	0,0012	0,0013	0,0020	0,0028	3
PCB52	0,0041	0,0030	0,0012	0,0023	0,0047	0,0131	12
PCB101	0,0132	0,0115	0,0063	0,0096	0,0153	0,0276	12
PCB138	0,0226	0,0208	0,0083	0,0150	0,0240	0,0492	12
PCB153	0,0252	0,0229	0,0102	0,0157	0,0304	0,0576	12
PCB180	0,0091	0,0078	0,0032	0,0051	0,0099	0,0228	12
Summe	0,0746	0,0682	0,0333	0,0524	0,0877	0,1585	12

Tabelle 18: Statistische Kennzahlen der Gehalte an PCB in Bioabfall- und Grüngutkomposten. Die Angaben sind in mg kg⁻¹ und bezogen auf die ofentrockene Originalprobe.

Parameter	Mittelwert	Median	Minimum	25% Perc.	75% Perc.	Maximum	Anzahl
Bioabfallkomposte							
PCB28	0,0016	0,0010	0,0010	0,0010	0,0020	0,0030	9
PCB52	0,0040	0,0040	0,0010	0,0020	0,0040	0,0090	13
PCB101	0,0117	0,0100	0,0050	0,0090	0,0140	0,0250	13
PCB138	0,0202	0,0160	0,0100	0,0140	0,0230	0,0460	13
PCB153	0,0221	0,0170	0,0090	0,0170	0,0260	0,0490	13
PCB180	0,0089	0,0070	0,0050	0,0060	0,0120	0,0200	13
Summe	0,0681	0,0560	0,0300	0,0490	0,0800	0,1480	13
Grüngutkomposte							
PCB28	0,0013	0,0010	0,0010	0,0010	0,0015	0,0020	3
PCB52	0,0033	0,0025	0,0010	0,0020	0,0035	0,0090	12
PCB101	0,0107	0,0090	0,0050	0,0080	0,0123	0,0230	12
PCB138	0,0181	0,0155	0,0080	0,0130	0,0193	0,0410	12
PCB153	0,0205	0,0180	0,0080	0,0140	0,0233	0,0480	12
PCB180	0,0073	0,0060	0,0030	0,0040	0,0080	0,0190	12
Summe	0,0601	0,0510	0,0270	0,0450	0,0703	0,1320	12

Chlorierte Pestizide, Organochlorpestizide

Von den 26 untersuchten **Organochlorpestiziden** (Aldrin, cis-Chlordan, trans-Chlordan, oxy-Chlordan, o,p'-DDT, p,p'-DDT, o,p'-DDD, p,p'-DDD, o,p'-DDE, p,p'-DDE, Dieldrin, alpha-Endosulfan, beta-Endosulfan, Endrin, alpha-HCH, beta-HCH, gamma-HCH (Lindan), delta-HCH, epsilon-HCH, Heptachlor, cis-Heptachlorepoxyd, trans-Heptachlorepoxyd, Hexachlorbenzol (HCB), Isodrin, Methoxychlor, Mirex) waren in den Bioabfall- und Grüngutkomposten nur sieben Substanzen bestimmbar, jeweils drei Vertreter aus der HCH- und DDT-Gruppe und Hexachlorbenzol (s. Tabelle 19). Auch von diesen Substanzen wies ein Teil der untersuchten Proben Gehalte unter der Bestimmungsgrenze (0,001 mg kg⁻¹) auf.

Tabelle 19: Statistische Kennzahlen der Gehalte an chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW, Organochlorpestizide) in Komposten. Die Angaben sind in mg kg⁻¹ und bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C).

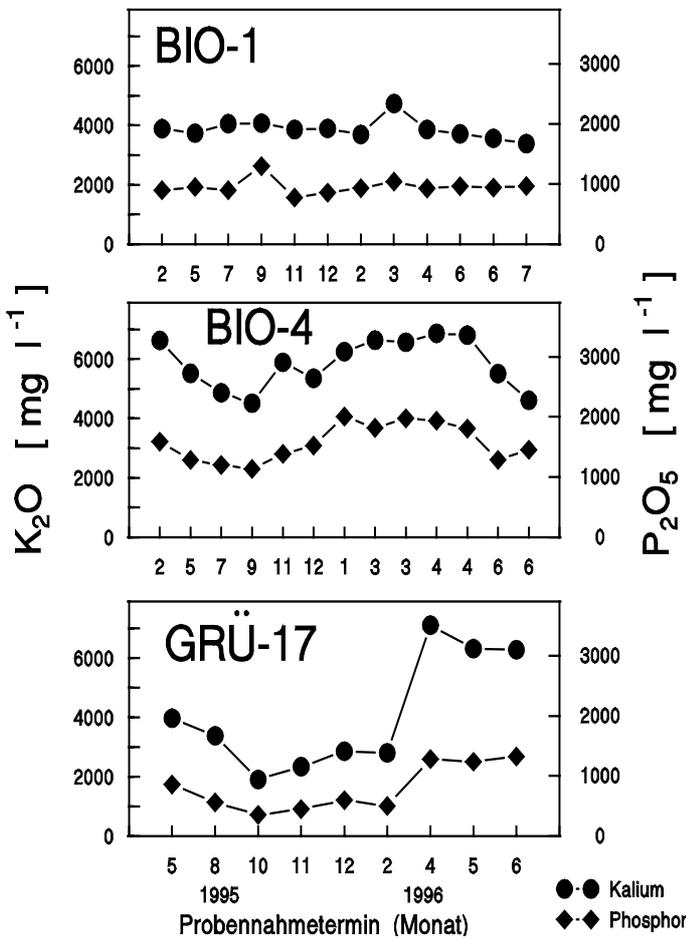
Parameter	Mittelwert	Median	Minimum	25%	75%	Maximum	Anzahl
HCB	0,0038	0,0020	0,0010	0,0020	0,0030	0,0240	23
alpha-HCH	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	2
beta-HCH	0,0122	0,0050	0,0010	0,0020	0,0160	0,0540	24
gamma-HCH	0,0024	0,0010	0,0010	0,0010	0,0020	0,0130	20
p,p'-DDD	0,0027	0,0020	0,0010	0,0010	0,0030	0,0120	19
p,p'-DDT	0,0039	0,0040	0,0020	0,0025	0,0050	0,0060	11
p,p'-DDE	0,0057	0,0040	0,0010	0,0033	0,0058	0,0230	22

So sind beispielsweise Spuren von alpha-HCH lediglich in zwei Biokomposten nachzuweisen. In der Tendenz weisen die Proben aus den Biokompostierungsanlagen etwas höhere Werte auf als die aus den Grüngutkompostierungsanlagen, allerdings ist die Streuung zwischen den Anlagen beträchtlich. Dabei fallen bei einzelnen Anlagen verschiedene Substanzen durch eine etwas höhere Konzentration auf. So sind bei zwei Kompostierungsanlagen deutlich höhere HCB-Gehalte in den Komposten festzustellen. Dies sind auch die einzigen Komposte mit alpha-HCH-Gehalten über der Bestimmungsgrenze. Die beta-HCH-Gehalte der Bioabfallkomposte sind deutlich höher als die der Grüngutkomposte, wohingegen die gamma-HCH-Gehalte in ihrer Größenordnung ähnlich liegen. Neben dem p,p'-DDT waren in den meisten Kompostproben auch dessen Abbauprodukte p,p'-DDD und p,p'-DDE nachweisbar. Die Streubreite liegt zwischen n.n. ($<0,001 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$) und $0,02 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$.

Insgesamt dürfte die Größenordnung der ermittelten Konzentrationen an Organochlorpestiziden als unbedenklich einzustufen sein.

Zeitliche Variabilität von Kompostinhaltsstoffen und Schadstoffen

Lösliche Pflanzennährstoffe



Der zeitliche Verlauf der löslichen Gehalte an Phosphor und Kalium von Komposten aus einer Grüngut- und zwei Bioabfallkompostierungsanlagen, die häufiger beprobt wurden, ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Gehaltsschwankungen bei Phosphor und Kalium können teilweise, vor allem beim Kalium sehr beachtlich sein. Eindeutige zeitliche Tendenzen sind jedoch nicht zu erkennen. Insbesondere bei Anlage GRÜ-17 ist ein plötzlicher Anstieg der Gehalte im Frühjahr 1996 zu verzeichnen. Die Ursache hierfür ist im einzelnen nicht zu ergründen, steht aber vermutlich in Zusammenhang mit einer anderen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials für die Kompostierung. Auch bei Anlage BIO-4, sind die Nährstoffgehalte im Frühjahr und Frühsommer höher als im Spätsommer/Herbst.

Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der löslichen Gehalte an Phosphor und Kalium in Komposten.

Anionen

In der Abbildung 7 ist der zeitliche Verlauf der Chlorid- und Sulfatgehalte von Komposten aus einer Grüngut- und zwei Bioabfallkompostierungsanlagen dargestellt. Auch hier gibt es zum Teil erhebliche Gehaltsschwankungen, vor allem bei Chlorid. Die Abbildung zeigt auch deutlich, daß Bioabfallkomposte meist sehr viel höhere Chloridgehalte aufweisen als Grüngutkomposte (vgl. Tabellen 6 und 7).

Bei der Anlage BIO-1 tritt im März 1996 eine abrupte Verringerung des Chloridgehaltes auf, die durch eine Veränderung des Kompostierungsverfahrens (Umbau der Anlage) verursacht wurde.

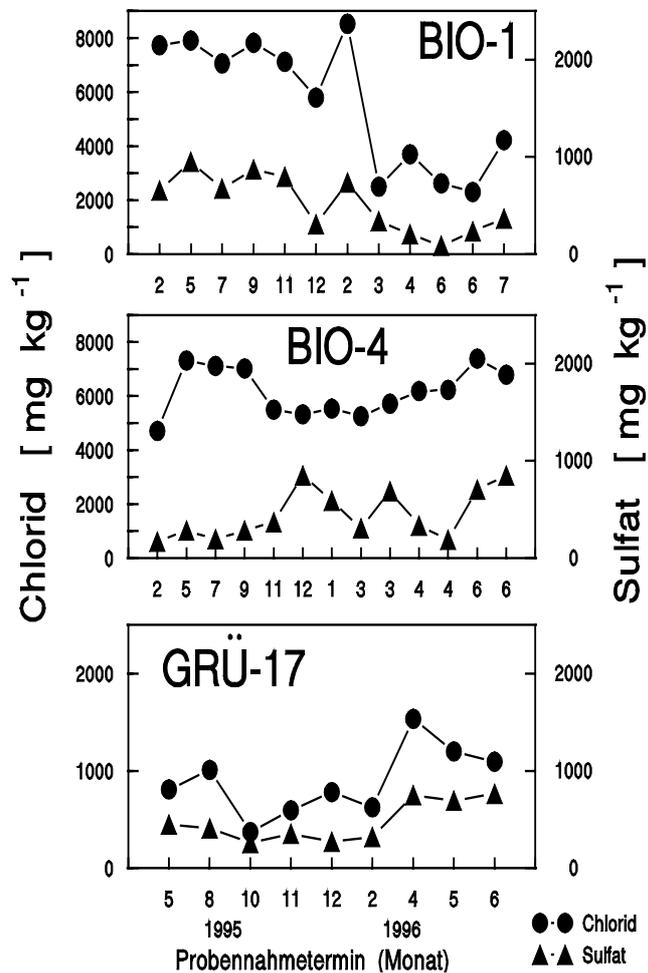


Abb. 7: Zeitlicher Verlauf der Chlorid- und Sulfatgehalte von Komposten. Alle Werte sind bezogen auf die ofentrockene Probe (105°)

Pflanzennährstoffe (Gesamtgehalte)

In der Tabelle 20 sind statistische Kennwerte für 6 Biokompost- und 3 Grüngutanlagen, die mehrfach beprobt wurden, zusammengefaßt.

Beim Stickstoffgehalt liegen die Minimal- und Maximalwerte der einzelnen Anlagen während der 17 Monate dauernden Beprobungsperiode um den Faktor 1,1 bis 1,7 auseinander. Zwischen den Anlagen bestehen keine deutlichen Unterschiede, demnach wohl auch nicht zwischen verschiedenen Anlagentypen. Für die Nährstoffe P_2O_5 , K_2O , MgO und CaO ergeben sich vergleichbare Spannen, wobei hier allerdings bei einzelnen Anlagen der Maximalwert um mehr als das Doppelte (bis zu Faktor 2,5) über dem Minimalwert liegt.

Trotz der erheblichen Variationen zwischen den verschiedenen Probennahmezeitpunkten sind, wie für die löslichen Nährstoffgehalte in Abbildung 6 und 7 gezeigt, keine eindeutigen Trends im zeitlichen Verlauf der Elementgesamtgehalte zu erkennen. Die auftretende Variation ist vermutlich vor allem durch Variation beim Inputmaterial bedingt, die jedoch offensichtlich eher zufällig erfolgt und nicht z.B. von der Jahreszeit abhängt. Die Unterschiede in den Nährstoffgesamtgehalten zwischen den einzelnen Anlagen liegen im selben Bereich wie die Variation innerhalb der einzelnen Anlagen, teilweise sind sie sogar geringer. Bei einzelnen Parametern lassen sich jedoch auch deutliche Unterschiede zwischen den Anlagen erkennen, die die Variation innerhalb der einzelnen Anlagen übersteigen. So unterscheiden sich die Medianwerte für die Gehalte an CaO und P_2O_5 um den Faktor 2,1 bis 2,9 (P_2O_5).

Tabelle 20: Statistische Kennzahlen für die zeitliche Variation der Gehalte an Gesamtnährstoffen in ausgewählten Bioabfall- und Grüngutkompostierungsanlagen. Alle Angaben in $mg\ kg^{-1}$.

Anlage	Median	Mittelwert	Minimum	25% Percentil	75% Percentil	Maximum	Anzahl
Stickstoff (N)							
BIO-1	1,93	1,88	1,40	1,57	2,12	2,31	20
BIO-3	1,74	1,75	1,46	1,63	1,85	2,08	19
BIO-4	2,28	2,32	2,12	2,25	2,36	2,61	24
BIO-5	1,76	1,74	1,46	1,56	1,93	2,00	10
BIO-6	2,04	2,02	1,76	1,97	2,10	2,17	24
BIO-14	2,39	2,36	1,94	2,27	2,47	2,71	26
GRÜ-15	1,43	1,45	1,24	1,40	1,52	1,64	12
GRÜ-17	1,15	1,20	0,94	1,08	1,35	1,58	16
GRÜ-19	1,05	1,06	1,01	1,04	1,07	1,15	8
Phosphor (P_2O_5)							
BIO-1	0,95	0,91	0,53	0,62	1,13	1,31	24
BIO-3	0,67	0,67	0,46	0,60	0,75	0,82	24
BIO-4	0,94	0,96	0,81	0,89	1,00	1,17	26
BIO-5	0,81	0,79	0,63	0,67	0,89	0,95	14
BIO-6	0,89	0,86	0,54	0,80	0,96	1,09	26
BIO-14	0,95	0,89	0,59	0,81	0,98	1,10	28
GRÜ-15	0,59	0,61	0,52	0,56	0,65	0,73	14
GRÜ-17	0,45	0,47	0,30	0,37	0,58	0,64	18
GRÜ-19	0,33	0,37	0,31	0,32	0,40	0,50	10

Fortsetzung Tabelle 20:

Anlage	Median	Mittelwert	Minimum	25% Percentil	75% Percentil	Maximum	Anzahl
Kalium (K₂O)							
BIO-1	1,30	1,20	0,89	1,03	1,34	1,43	24
BIO-3	1,08	1,11	0,77	1,00	1,25	1,40	24
BIO-4	1,69	1,72	1,43	1,60	1,86	2,18	26
BIO-5	0,97	0,98	0,81	0,90	1,08	1,17	14
BIO-6	1,41	1,43	1,10	1,27	1,55	1,80	26
BIO-14	1,35	1,38	1,03	1,27	1,51	1,70	28
GRÜ-15	1,15	1,20	0,88	1,10	1,23	1,63	14
GRÜ-17	1,00	1,01	0,63	0,92	1,22	1,36	18
GRÜ-19	0,77	0,81	0,72	0,76	0,79	1,03	10
Magnesium (MgO)							
BIO-1	0,84	0,88	0,71	0,79	0,95	1,11	24
BIO-3	0,57	0,59	0,51	0,55	0,62	0,76	24
BIO-4	1,18	1,21	0,95	1,05	1,38	1,57	26
BIO-5	0,68	0,68	0,48	0,62	0,71	1,01	14
BIO-6	0,63	0,65	0,50	0,60	0,69	0,84	26
BIO-14	0,65	0,70	0,54	0,60	0,75	1,16	28
GRÜ-15	0,58	0,59	0,52	0,56	0,63	0,66	14
GRÜ-17	0,64	0,65	0,52	0,61	0,68	0,89	18
GRÜ-19	0,50	0,52	0,40	0,49	0,57	0,66	10
Calcium (CaO)							
BIO-1	7,22	7,22	6,13	6,93	7,42	9,10	24
BIO-3	4,42	4,95	3,68	4,00	5,84	7,62	24
BIO-4	6,37	6,45	5,42	6,07	6,79	7,89	26
BIO-5	4,98	4,95	3,84	4,30	5,39	6,50	14
BIO-6	9,29	9,48	7,88	8,93	10,02	11,06	26
BIO-14	9,03	9,28	8,33	8,59	9,70	12,40	28
GRÜ-15	7,70	7,66	6,13	7,05	8,33	9,09	14
GRÜ-17	8,28	8,71	7,01	7,95	9,16	11,10	18
GRÜ-19	7,08	6,88	5,33	6,32	7,48	8,40	10

Schwermetalle (Kompostierungserlaß)

Abbildung 8 zeigt beispielhaft die zeitliche Variation der Gehalte an Blei und Kupfer für zwei Bioabfallkompostierungsanlagen und eine Grüngutkompostierungsanlage. Dargestellt sind die Elementkonzentrationen sowohl auf die Trockenmasse bezogen als auch normiert auf einen Glühverlust von 30%. Während bei den Grüngutkompostierungsanlagen kaum ein Unterschied zwischen beiden Berechnungsweisen besteht, ergeben sich bei den Bioabfallkompostierungsanlagen insbesondere im hohen Konzentrationsbereich erhebliche Differenzen.

Tabelle 21 zeigt statistische Parameter für die zeitliche Variation der Schwermetallgehalte in einigen Bioabfall- und Grüngutkompostierungsanlagen. Bei den Elementen Cr,

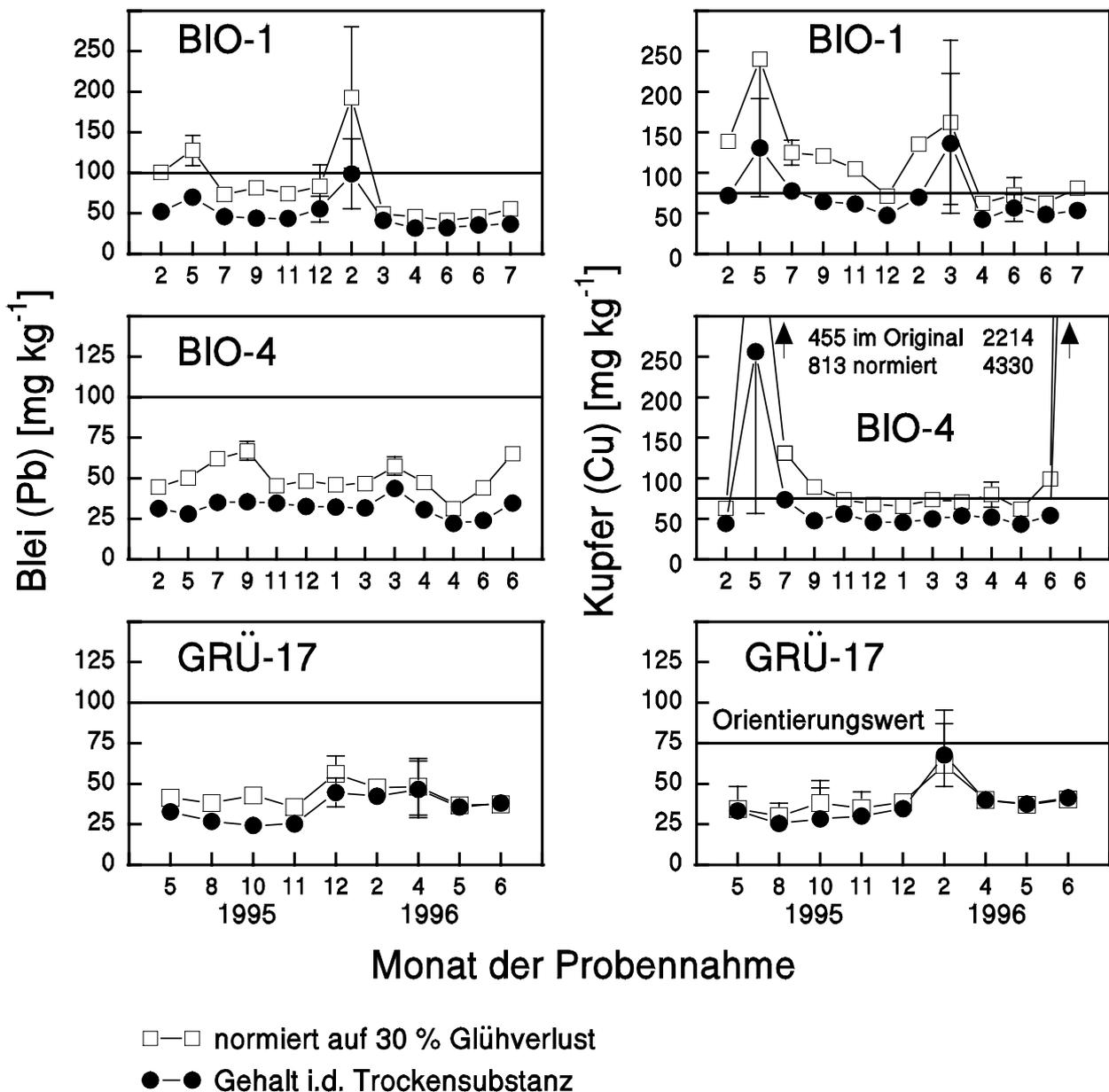


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf der Gehalte an Blei und Kupfer in 2 Bioabfall- und einer Grün-
 gutkompostierungsanlage. Dargestellt sind die Mittelwerte der Doppelproben.
 Die Fehlerbalken zeigen die Werte der beiden Doppelproben A und B .

Zn, Ni und Hg treten nur relativ geringe Schwankungen auf. Der Faktor zwischen dem niedrigstem (Minimum) und höchstem (Maximum) Wert ist meist kleiner als 2. Die Variation zwischen den Anlagen, gemessen an den Medianwerten, liegt in einer vergleichbaren Größenordnung.

Eine größere Streuung tritt vor allem bei den Elementen Pb, Cd und Cu auf (vgl. auch Abbildung 8). Bedingt durch einzelne oder mehrere Extremwerte liegen die Spitzenwerte zum Teil deutlich über den Median- und auch noch über den 75%-Percentilwerten (siehe z.B. Tabelle 21: Cu/Bio-4; Cd/Grü-17; Pb/Grü-15). Bei extrem hohen Elementgehalten ist auch die Streuung zwischen den Doppelproben (A/B) besonders hoch (Abbildung 8). Das ist, wie auch das vereinzelte Auftreten der Extremwerte, ein Hinweis darauf, daß die Schwermetallkontamination der Komposte im hohen Konzentrationsbereich partikulär vorliegt und nicht homogen über die ge-

samte Kompostmatrix verteilt ist. Ursache dürften Fehlwürfe von Metalle enthaltenden Stoffen sein.

Tabelle 21: Statistische Kennzahlen für die zeitliche Variation der Gehalte an Schwermetallen in ausgewählten Bioabfall- und Grüngutkompostierungsanlagen. Alle Angaben in mg kg⁻¹ und bezogen auf 30% Glühverlust.

Anlage	Median	Mittelwert	Minimum	25% Percentil	75% Percentil	Maximum	Anzahl
Blei (Pb)							
BIO-1	72	81	36	52	97	280	24
BIO-3	104	110	66	90	128	172	24
BIO-4	47	50	31	45	59	73	26
BIO-5	80	96	57	64	125	203	14
BIO-6	77	80	55	65	91	146	26
BIO-14	50	58	23	46	74	129	28
GRÜ-15	58	71	46	50	70	209	12
GRÜ-17	41	43	31	37	44	67	18
GRÜ-19	38	39	31	36	42	46	10
Cadmium (Cd)							
BIO-1	0,42	0,40	0,18	0,36	0,44	0,59	18
BIO-3	0,60	0,58	0,36	0,53	0,65	0,72	22
BIO-4	0,39	0,40	0,27	0,36	0,44	0,49	21
BIO-5	0,58	0,58	0,27	0,51	0,67	0,84	14
BIO-6	0,52	0,51	0,32	0,47	0,53	0,73	26
BIO-14	0,32	0,30	0,17	0,28	0,33	0,41	26
GRÜ-15	0,41	0,45	0,31	0,38	0,44	0,97	12
GRÜ-17	0,27	0,35	0,20	0,25	0,30	1,71	18
GRÜ-19	0,35	0,35	0,23	0,31	0,39	0,58	9
Chrom (Cr)							
BIO-1	38	41	32	36	41	79	24
BIO-3	38	46	30	37	44	96	24
BIO-4	35	36	29	33	40	45	26
BIO-5	31	34	27	28	41	48	14
BIO-6	41	42	34	39	46	48	26
BIO-14	33	33	20	30	35	45	28
GRÜ-15	37	37	32	35	41	44	14
GRÜ-17	35	36	30	33	37	46	18
GRÜ-19	30	32	25	29	32	44	10
Kupfer (Cu)							
BIO-1	105	115	51	69	131	355	24
BIO-3	78	93	53	70	91	208	24
BIO-4	71	272	61	66	98	4330	26
BIO-5	81	77	42	52	100	113	14
BIO-6	69	71	49	63	77	108	26
BIO-14	61	61	48	56	66	90	28
GRÜ-15	54	57	46	50	59	87	12
GRÜ-17	42	46	35	39	47	95	18
GRÜ-19	44	44	35	40	49	59	10

Fortsetzung Tabelle 21

Anlage	Median	Mittelwert	Minimum	25% Percentil	75% Percentil	Maximum	Anzahl
Nickel (Ni)							
BIO-1	17	18	15	16	19	30	24
BIO-3	17	18	14	15	19	35	24
BIO-4	18	19	15	17	20	27	26
BIO-5	15	15	13	14	16	21	14
BIO-6	20	20	18	20	21	22	26
BIO-14	16	17	13	16	18	23	28
GRÜ-15	20	20	18	19	21	23	12
GRÜ-17	19	19	15	18	21	26	18
GRÜ-19	15	15	13	14	15	17	10
Quecksilber (Hg)							
BIO-1	0,30	0,31	0,17	0,25	0,38	0,52	24
BIO-3	0,34	0,36	0,28	0,32	0,40	0,50	23
BIO-4	0,16	0,17	0,11	0,12	0,21	0,25	26
BIO-5	0,40	0,45	0,20	0,27	0,57	0,88	14
BIO-6	0,28	0,28	0,21	0,23	0,31	0,38	26
BIO-14	0,24	0,24	0,20	0,22	0,25	0,29	28
GRÜ-15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,21	12
GRÜ-17	0,14	0,16	0,12	0,14	0,20	0,21	18
GRÜ-19	0,12	0,13	0,09	0,09	0,14	0,26	10
Zink (Zn)							
BIO-1	282	285	180	208	333	443	24
BIO-3	310	326	266	295	327	463	24
BIO-4	248	248	201	228	258	328	26
BIO-5	258	266	206	251	282	367	14
BIO-6	261	260	211	246	277	302	26
BIO-14	201	205	156	189	217	279	28
GRÜ-15	193	197	179	188	205	222	14
GRÜ-17	167	169	139	152	181	204	18
GRÜ-19	158	158	138	143	162	197	10

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

In der Abbildung 9 sind für die Kompostierungsanlagen BIO-1, BIO-14, GRÜ-17 und GRÜ-19 die zeitlichen Änderungen der PAK-Summenkonzentrationen (15(16) EPA-PAK) und der Gehalte an Benzo(a)pyren in Abhängigkeit von den Probennahmeterminen dargestellt. Die Anlagen BIO-14 und GRÜ-17 haben das selbe Einzugsgebiet.

Im Bioabfall-Kompost der Anlage BIO-1 betragen während der 5 Probennahmen zwischen Februar 1995 und Februar 1996 die PAK-Summenkonzentrationen zwischen 2,8 und 4,4 mg kg⁻¹ TS und steigen bei den beiden letzten Probennahmen vom April und Juni 1996 auf Werte von 8,1 und 8,3 mg kg⁻¹ TS an. Analog dazu ändert sich auch der Benzo(a)pyren-Gehalt und ist in den letzten beiden Proben deutlich höher. Im Kompost der Anlage BIO-14 sind ebenfalls zwei Verteilungen erkennbar. Die PAK-Summenkonzentrationen betragen bei der Beprobung im März und Juni 1995 10,7 und 13,1 mg kg⁻¹ TS und sind bei den zwischen Februar und Juni 1996 gezogenen Proben mit 8,7, 9,1 und 10,3 mg kg⁻¹ TS ähnlich hoch. Dagegen sind die PAK-Summenwerte bei den Probennahmen zwischen August und November 1995 mit 3,3 bis 5,5 mg kg⁻¹ TS deutlich niedriger. Dies deutet auf jahreszeitliche Schwankungen der Zusammensetzung des Inputmaterials hin.

Der zeitliche Verlauf der PAK-Gehalte des Kompostes der Anlage GRÜ-17 läßt eine Beziehung zum Kompost der Anlage BIO-14 (gleiches Einzugsgebiet!) erkennen. Die PAK-Summenkonzentration der ersten Probe vom Mai 1995 beträgt $23,7 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$, die der folgenden drei Proben (August bis November 1995) abnehmend von $10,0$ bis $7,1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$ und die der drei Proben von 1996 (Februar bis Juni) zunehmend von $11,9$ bis $41,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$. Die PAK-Summenkonzentration ist im Grüngut-Kompost (GRÜ-17) mit Ausnahme der Probe vom Juni 1996 etwa doppelt so hoch wie im Bioabfall-Kompost (BIO-14). Im Vergleich zur Anlage GRÜ-17 zeigt der Kompost der Anlage GRÜ-19 eine deutlich niedrigere PAK-Belastung. Die PAK-Summenwerte betragen für die fünf Probennahmen (Juli 1995 bis Juni 1996) zwischen $0,8$ und $5,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$.

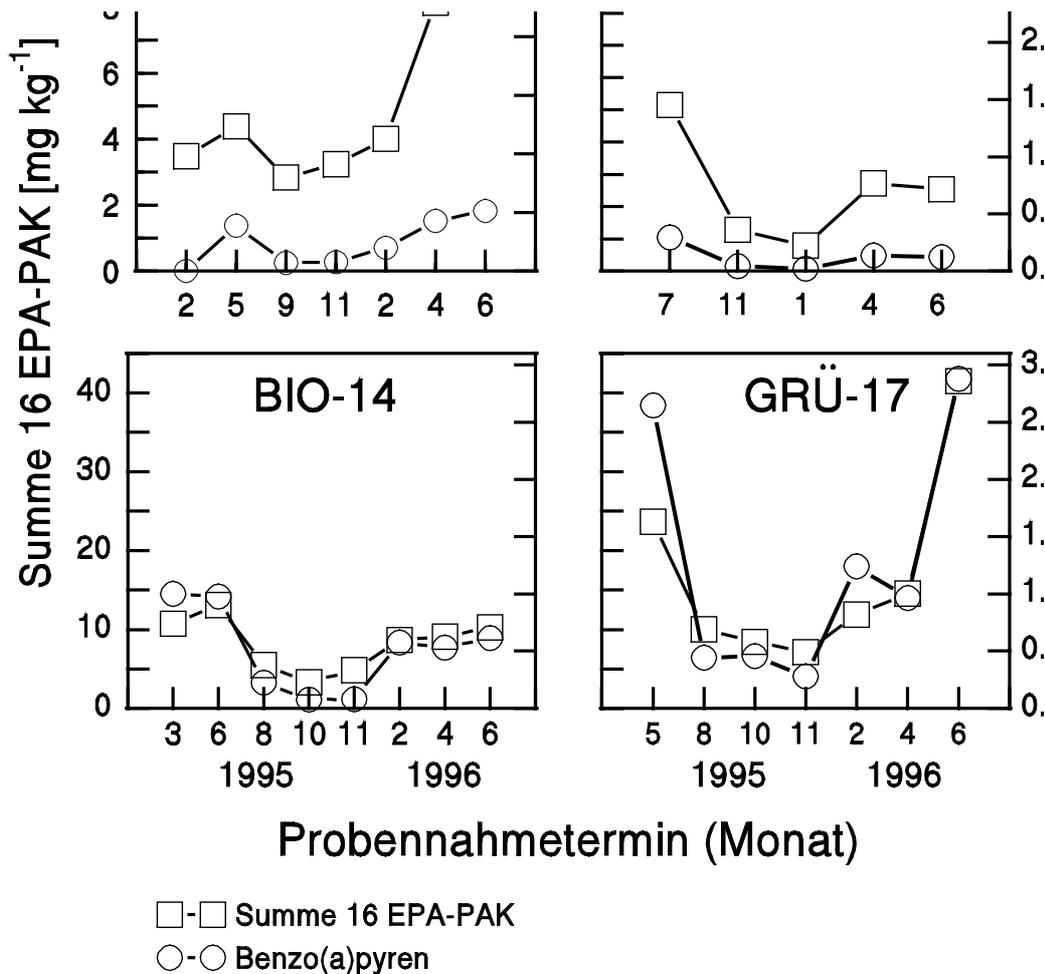


Abb. 9: Zeitlicher Verlauf der Gehalte an PAK und Benzo(a)pyren in Komposten aus zwei Bioabfall- und zwei Grüngutkompostierungsanlagen. Alle Werte sind bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C).

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Analog zur Abbildung 9 sind für die vorher genannten Kompostierungsanlagen in der Abbildung 10 die zeitlichen Änderungen der PCB-Summenkonzentrationen (bezogen auf TS und normiert auf 30% Glühverlust) dargestellt.

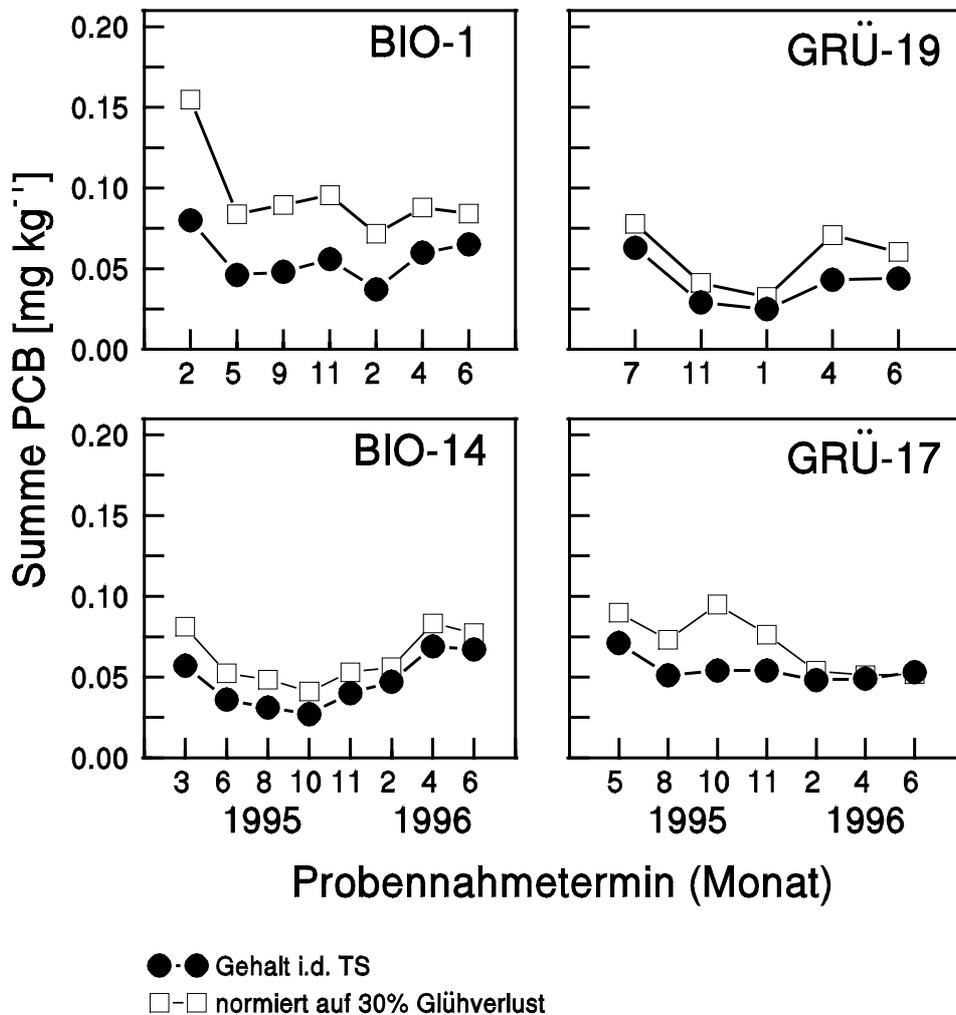


Abb. 10: Zeitlicher Verlauf der PCB-Gehalte von Komposten aus zwei Bioabfall- und zwei Grüngut-Kompostierungsanlagen. Die Werte sind bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C).

Die PCB-Summenkonzentrationen (PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180) der Komposte aus allen 4 Anlagen betragen zwischen 0,025 und 0,080 mg kg⁻¹ TS, bzw. nach Normierung auf 30% Glühverlust zwischen 0,033 und 0,156 mg kg⁻¹ TS. Die PCB-Orientierungswerte (Summenwerte) des Kompostierungserlasses werden von allen vier Anlagen zu allen Beprobungsterminen eingehalten. Das gilt auch für die PCB-Einzelkongenere, mit Ausnahme von PCB 138 und PCB 153 bei der ersten Beprobung von Anlage BIO-1. Im allgemeinen sind die Unterschiede zwischen Grüngut- und Bioabfall-Kompost gering, wobei der PCB-Gehalt von Grüngut- gegenüber Bioabfall-Kompost tendenziell etwas höher scheint.

Inhaltsstoffe von Kompostierungsausgangsstoffen (Häckselgut)

In Ergänzung zur Beprobung der verkaufsfertigen Komposte wurden auch eine Reihe von Proben an Zugangsstoffen entnommen. Den Schwerpunkt bildete dabei Häckselgut aus der Grün-guterfassung.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 22 zusammengestellt. Die Daten zeigen, daß die Streubreite für die untersuchten Pflanzennährstoffe und anorganischen Inhaltsstoffe erheblich ist. Sie ist bei den erfaßten Schwermetallen deutlicher ausgeprägt als bei den Pflanzennährstoffen (N, P, K, Ca, Mg). Insgesamt ist die Bandbreite der Elementgehalte wesentlich größer als beim Vergleich der mittleren Gehalte der Komposte zwischen den Anlagen oder auch im Zeitverlauf bei einzelnen untersuchten Anlagen.

Auch zeigte die Untersuchung, daß beispielsweise die Häckselgutproben der Anlage GRÜ-20 erhöhte Cadmiumgehalte (bis 0,89 mg kg⁻¹) aufweisen. Die in dieser Anlage hergestellten Grüngutkomposte haben ebenfalls erhöhte Cadmiumgehalte (mittlerer Gehalt: 0,92 mg kg⁻¹), so daß in diesem Fall die erhöhten Cadmiumgehalte durch das verwendete Häckselgut verursacht werden. Die Ursache sind vermutlich erhöhte Cadmiumgehalte in den Böden des Einzugsgebietes.

Tabelle 22: Statistische Kennzahlen für Häckselgutproben.

Parameter	Einheit	Mittelwert	Median	Min.	25% Perc.	75% Perc.	Max.	Anzahl
Häckselgut								
Trockenrückstand TS	[%]	62,5	59,8	45,3	56,3	67,4	88,8	51
Glühverlust	[%]	67,4	66,1	38,4	56,3	79,2	93,2	51
Stickstoff (N)	[%]	0,96	0,91	0,59	0,78	1,10	1,63	51
C/N-Verhältnis	[-]	43,9	39,6	19,3	30,7	49,9	90,4	51
Phosphor (P ₂ O ₅)	[%]	0,33	0,32	0,13	0,24	0,39	0,68	51
Kalium (K ₂ O)	[%]	0,66	0,59	0,25	0,46	0,79	1,47	51
Magnesium (MgO)	[%]	0,49	0,43	0,16	0,35	0,61	1,06	51
Calcium (CaO)	[%]	4,34	4,51	1,48	3,39	5,23	8,67	51
Aluminium (Al)	[mg kg ⁻¹]	3778	4015	506	2188	4985	7070	51
Arsen (As)	[mg kg ⁻¹]	2,98	2,95	0,46	1,93	3,90	7,02	51
Eisen (Fe)	[mg kg ⁻¹]	5976	6555	887	3468	7878	10695	51
Kobalt (Co)	[mg kg ⁻¹]	2,69	2,71	0,12	2,00	3,33	5,35	51
Mangan (Mn)	[mg kg ⁻¹]	346	305	64	218	349	1405	51
Natrium (Na)	[mg kg ⁻¹]	331	254	87	189	368	1125	51
Blei (Pb)	[mg kg ⁻¹]	21,0	20,0	2,9	12,1	26,0	58,1	51
Cadmium (Cd)	[mg kg ⁻¹]	0,35	0,25	0,20	0,22	0,41	0,89	33
Chrom (Cr)	[mg kg ⁻¹]	17,1	17,6	2,3	9,8	21,7	40,4	51
Kupfer (Cu)	[mg kg ⁻¹]	20,2	18,7	5,6	14,8	23,3	43,6	51
Nickel (Ni)	[mg kg ⁻¹]	8,0	8,4	1,9	5,3	10,0	16,7	51
Quecksilber (Hg)	[mg kg ⁻¹]	0,074	0,069	0,017	0,047	0,098	0,195	51
Zink (Zn)	[mg kg ⁻¹]	102	99,3	32,7	77,8	113	218	51

Alle Werte außer dem Trockenrückstand und dem C/N-Verhältnis sind bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C).

Die Ergebnisse zeigen, daß in der Regel durch eine geeignete Kombination der angelieferten Chargen Komposte mit ausgeglicheneren Gehalten produziert werden. Für Betreiber von Anlagen, bei denen Überschreitungen der Orientierungswerte gehäuft auftreten, lohnt es sich neben einer Vorsortierung, die wichtigsten Ausgangskomponenten, evtl. unterteilt nach Herkunft näher zu untersuchen.

Inhaltsstoffe von Einzel- und Mischproben einzelner Kompostmieten (Probenstatistik)

Die Ergebnisse der Untersuchung von jeweils 20 Einzelproben aus 2 Kompostmieten der Kompostierungsanlagen BIO-1, BIO-14 und GRÜ-17 auf Elementgesamtgehalte und Glühverluste sowie die Werte für die entsprechenden Mischproben sind in der Tabelle 23 dargestellt.

Die Mehrfachbeprobung der selben Kompostmiete ergibt eine beträchtliche Variation aller Parameter in den untersuchten Mieten. Als Beispiel sei die Mischprobe K61A mit einem mittleren Kupfergehalt (normiert auf 30% Glühverlust) von 40 mg kg^{-1} angeführt. Die Kupfergehalte der 20 Einzelproben dieser Miete reichen von $44,9$ bis 145 mg kg^{-1} , der Median der Kupfergehalte der Einzelproben beträgt $54,2 \text{ mg kg}^{-1}$ und der Mittelwert $60,6 \text{ mg kg}^{-1}$.

Bei den Schwermetallgehalten sind die Unterschiede zwischen den Einzelproben oft beträchtlich. Bei Cadmium und Blei liegt zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wert im Extremfall ein Faktor von > 5 (z.B. K57A, K60B, K60A, K60B). Bei den Hauptnährstoffen schwanken die Gehalte der Einzelproben in einem begrenzten Bereich. Zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wert liegt meist ein Faktor von < 2 .

Auch für die organischen Schadstoffe ergibt die Mehrfachbeprobung derselben Kompostmiete eine beträchtliche Variation. Abbildung 11 zeigt dies für die Summengehalte von PAK und Abbildung 12 für die PCB.

Diese große Variation ist in der Inhomogenität der Komposte begründet. Zur Minimierung von Fehlern sollte daher eine *Doppelbeprobung* (Mischprobe A und B, vgl. Kap. 3.1) mit getrennter Einfachbestimmung der Analyten durchgeführt werden. Die Sicherheit der analytischen Ergebnisse würde dadurch ohne großen Mehraufwand erheblich zunehmen.

Tabelle 23: Statistische Kenndaten für die Variation der Nährstoff- und Schwermetallgehalte von jeweils 20 Einzelproben aus 2 Kompostmieten der Kompostierungsanlagen BIO-1 (K57A/B, K117A/B), BIO-14 (K60A/B, K110A/B) und GRÜ-17 (K61A/B, K109A/B) sowie die Werte für die entsprechenden Mischproben. Die Schwermetallgehalte sind normiert auf den 30% Glühverlust. Alle Werte sind bezogen auf die ofentrockene Probe (105°C). Die Angaben für den Glühverlust (GV), die Trockensubstanz (TS), P₂O₅, K₂O, MgO und CaO sind in Massen%, die Angaben für die Schwermetalle in mg kg⁻¹.

Probe		TS	GV	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
	Mischprobe	58,9	59,0	1,09	1,42	1,05	6,72	74,4	0,39	45,2	100	18,1	0,31	314
K57A	Median	58,3	58,1	1,04	1,26	0,85	6,54	78,0	0,44	38,8	101	17,3	0,32	284
K57A	Mittelwert	59,2	58,1	1,06	1,27	0,86	6,64	79,0	0,56	40,5	105	17,2	0,33	285
K57A	Min	55,8	55,9	0,95	1,16	0,82	6,30	66,4	0,34	36,7	87,4	15,0	0,27	267
K57A	Max	65,3	59,9	1,19	1,40	0,94	7,88	109	2,45	58,6	164	18,7	0,54	304
K57A	rel. Stdabw.	4,8	1,8	6,20	4,4	3,5	5,8	13,5	93,4	13,4	16,6	6,5	18,9	3,9
	Mischprobe	60,2	58,2	1,16	1,43	1,06	6,94	73,8	0,44	38,5	110	17,7	0,33	301
K57B	Median	58,7	58,5	1,12	1,36	0,87	6,72	72,7	0,41	38,6	106	15,1	0,31	277
K57B	Mittelwert	59,8	58,4	1,11	1,36	0,86	6,69	73,7	0,41	39,0	104	15,2	0,33	278
K57B	Min	56,3	56,3	1,04	1,26	0,80	6,22	65,1	0,28	35,5	92,8	12,4	0,26	265
K57B	Max	65,1	60,1	1,16	1,54	0,91	7,14	86,1	0,63	45,2	114	20,8	0,52	295
K57B	rel. Stdabw.	4,6	2,0	3,4	5,4	4,4	4,3	8,2	23,2	6,5	6,2	11,8	18,3	3,3
	Mischprobe	74,1	53,1	0,63	0,99	0,74	6,78	44,9	0,46	36,5	65,1	15,7	0,27	214
K117A	Median	73,9	52,5	0,57	0,93	0,71	6,37	53,1	0,44	39,3	65,1	17,6	0,27	218
K117A	Mittelwert	73,7	52,0	0,58	0,93	0,71	6,54	53,8	0,44	39,9	66,6	17,7	0,27	217
K117A	Min	69,5	46,1	0,52	0,86	0,67	5,87	41,2	0,35	31,2	53,2	14,8	0,20	180
K117A	Max	78,6	56,6	0,72	1,02	0,74	8,12	65,7	0,56	46,2	106	23,5	0,43	245
K117A	rel. Stdabw.	3,6	5,6	8,6	4,7	3,3	9,5	10,3	11,8	11,3	16,1	10,7	17,3	7,4
	Mischprobe	73,0	51,2	0,61	0,99	0,74	6,41	56,2	0,39	36,6	63,1	14,9	0,26	208
K117B	Median	71,3	51,7	0,57	0,90	0,71	6,41	52,3	0,41	37,1	69,6	16,4	0,25	215
K117B	Mittelwert	72,0	51,7	0,57	0,92	0,73	6,48	53,7	0,44	37,3	71,5	16,4	0,27	216
K117B	Min	67,2	48,4	0,51	0,87	0,64	5,75	43,2	0,36	28,6	58,4	14,8	0,20	184
K117B	Max	77,7	55,4	0,63	1,03	0,95	7,18	90,0	0,62	43,0	122	17,8	0,42	265
K117B	rel. Stdabw.	3,8	3,9	6,7	5,3	10,8	6,1	17,9	13,7	8,9	18,4	4,8	20,4	7,2
	Mischprobe	58,3	46,7	0,99	1,30	0,72	8,33	48,6	0,32	29,8	59,8	13,7	0,26	218
K60A	Median	58,0	48,4	0,96	1,29	0,67	7,43	51,7	0,34	34,9	72,9	16,6	0,24	223
K60A	Mittelwert	58,1	48,8	0,97	1,31	0,68	7,44	57,7	0,34	35,0	74,7	16,7	0,25	224
K60A	Min	55,8	46,7	0,89	1,22	0,63	6,71	44,9	0,29	31,1	65,2	15,8	0,20	210
K60A	Max	60,5	51,6	1,11	1,51	0,85	8,57	174	0,53	39,4	112	18,2	0,34	244
K60A	rel. Stdabw.	2,0	3,1	6,1	5,0	7,1	5,5	47,7	14,0	6,2	12,9	3,6	16,6	3,8
	Mischprobe	59,3	47,6	1,03	1,34	0,78	8,64	65,2	0,25	36,2	65,0	15,0	0,25	215
K60B	Median	59,2	50,0	1,09	1,46	0,74	8,38	51,0	0,49	35,3	75,2	18,6	0,28	222
K60B	Mittelwert	59,3	49,6	1,07	1,46	0,74	8,50	62,9	0,61	34,8	79,1	19,0	0,29	232
K60B	Min	57,4	47,0	0,76	1,29	0,66	7,96	45,1	0,33	26,2	70,0	16,8	0,23	201
K60B	Max	61,6	51,6	1,21	1,60	0,84	9,18	257	3,26	42,7	139	22,4	0,53	310
K60B	rel. Stdabw.	1,8	2,4	8,0	4,9	5,2	4,0	73,3	102	10,2	18,7	8,3	23,3	12,2

Fortsetzung Tabelle 23:

Probe	TS	GV	P2O5	K2O	MgO	CaO	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
Mischprobe	57,6	42,2	0,86	1,36	0,73	9,79	27,1	0,25	34,4	55,7	17,9	0,24	171
K110A Median	57,8	39,0	0,92	1,43	0,80	10,9	28,6	0,19	32,2	58,0	14,2	0,17	175
K110A Mittelwert	61,5	39,2	0,92	1,43	0,79	10,9	28,8	0,21	33,7	58,3	14,4	0,17	178
K110A Min	54,7	37,7	0,85	1,34	0,73	10,0	25,4	0,16	29,2	53,2	12,2	0,15	161
K110A Max	72,3	41,2	0,98	1,53	0,86	11,9	31,5	0,41	41,8	67,6	19,4	0,20	191
K110A rel. Stdabw.	9,6	2,2	3,9	3,4	3,8	4,0	5,6	25,1	10,9	5,8	10,8	8,3	4,6
Mischprobe	57,3	41,8	0,89	1,31	0,72	9,98	26,5	0,28	33,6	55,3	17,9	0,24	161
K110B Median	56,3	39,8	0,86	1,33	0,74	10,3	32,6	0,24	34,3	59,3	15,2	0,19	184
K110B Mittelwert	56,6	39,9	0,86	1,32	0,74	10,3	34,7	0,24	36,1	60,3	15,6	0,19	183
K110B Min	31,0	37,2	0,80	1,19	0,69	9,6	28,3	0,18	29,8	52,4	12,9	0,16	159
K110B Max	69,9	44,1	0,93	1,40	0,79	10,7	55,7	0,28	50,3	80,5	18,1	0,36	207
K110B rel. Stdabw.	13,7	3,6	4,0	3,5	3,6	3,2	19,6	10,3	14,1	9,9	9,3	22,9	6,0
Mischprobe	60,6	48,3	0,33	0,70	0,61	8,28	32,9	0,22	34,4	40,0	14,8	0,12	160
K61A Median	57,8	50,8	0,36	0,73	0,62	8,63	44,6	0,37	36,6	54,2	20,3	0,13	190
K61A Mittelwert	58,3	50,5	0,38	0,75	0,62	8,82	44,9	0,37	39,8	60,6	20,9	0,13	189
K61A Min	50,5	41,7	0,33	0,54	0,52	7,50	36,4	0,30	28,9	44,9	17,8	0,11	161
K61A Max	66,1	56,4	0,52	1,27	0,74	10,51	56,2	0,41	90,0	145	37,2	0,15	221
K61A rel. Stdabw.	6,3	7,0	11,9	20,3	7,6	9,1	11,6	8,5	32,6	36,4	19,2	8,5	7,2
Mischprobe	61,5	52,3	0,34	0,78	0,68	8,29	36,5	0,23	35,2	44,9	16,7	0,12	173
K61B Median	58,5	51,3	0,35	0,69	0,58	7,99	43,8	0,33	39,2	53,1	17,4	0,15	187
K61B Mittelwert	60,0	51,2	0,36	0,71	0,59	8,04	45,6	0,33	38,4	58,5	18,1	0,16	187
K61B Min	54,4	47,1	0,29	0,55	0,53	7,13	36,1	0,28	30,3	43,5	15,2	0,13	156
K61B Max	75,6	56,1	0,48	1,07	0,73	9,30	57,3	0,48	50,2	143	22,6	0,37	206
K61B rel. Stdabw.	7,5	5,1	12,8	18,0	9,3	6,8	12,8	13,8	12,0	35,4	10,3	32,6	6,6
Mischprobe	67,5	31,8	0,62	1,33	0,71	8,41	46,0	0,31	34,6	43,1	18,6	0,23	159
K109A Median	68,2	34,4	0,64	1,42	0,73	9,46	41,1	0,33	35,1	41,3	15,7	0,18	169
K109A Mittelwert	68,7	34,1	0,62	1,35	0,75	9,53	40,5	0,33	34,1	41,9	15,0	0,18	169
K109A Min	52,0	30,8	0,47	0,89	0,67	8,93	27,7	0,17	22,8	29,1	8,8	0,09	123
K109A Max	77,7	39,8	0,75	1,51	1,02	10,6	46,3	0,45	38,3	51,9	16,5	0,21	211
K109A rel. Stdabw.	9,0	6,0	11,2	13,3	10,1	3,8	9,5	16,5	9,9	11,3	13,9	15,4	9,6
Mischprobe	70,4	33,6	0,59	1,31	0,68	9,30	37,4	0,27	35,7	40,1	21,3	0,23	148
K109B Median	69,8	33,3	0,63	1,43	0,72	9,15	38,9	0,23	35,6	42,8	16,5	0,16	168
K109B Mittelwert	68,9	33,9	0,61	1,36	0,72	9,22	39,6	0,23	35,2	46,3	16,7	0,16	167
K109B Min	52,4	31,0	0,45	0,90	0,62	7,90	36,1	0,17	29,5	39,4	15,9	0,13	154
K109B Max	76,2	43,0	0,67	1,51	0,85	11,2	47,3	0,30	38,7	87,8	19,6	0,20	181
K109B rel. Stdabw.	8,3	7,4	9,6	11,3	6,2	7,0	7,8	17,7	8,1	23,0	5,5	9,8	4,5

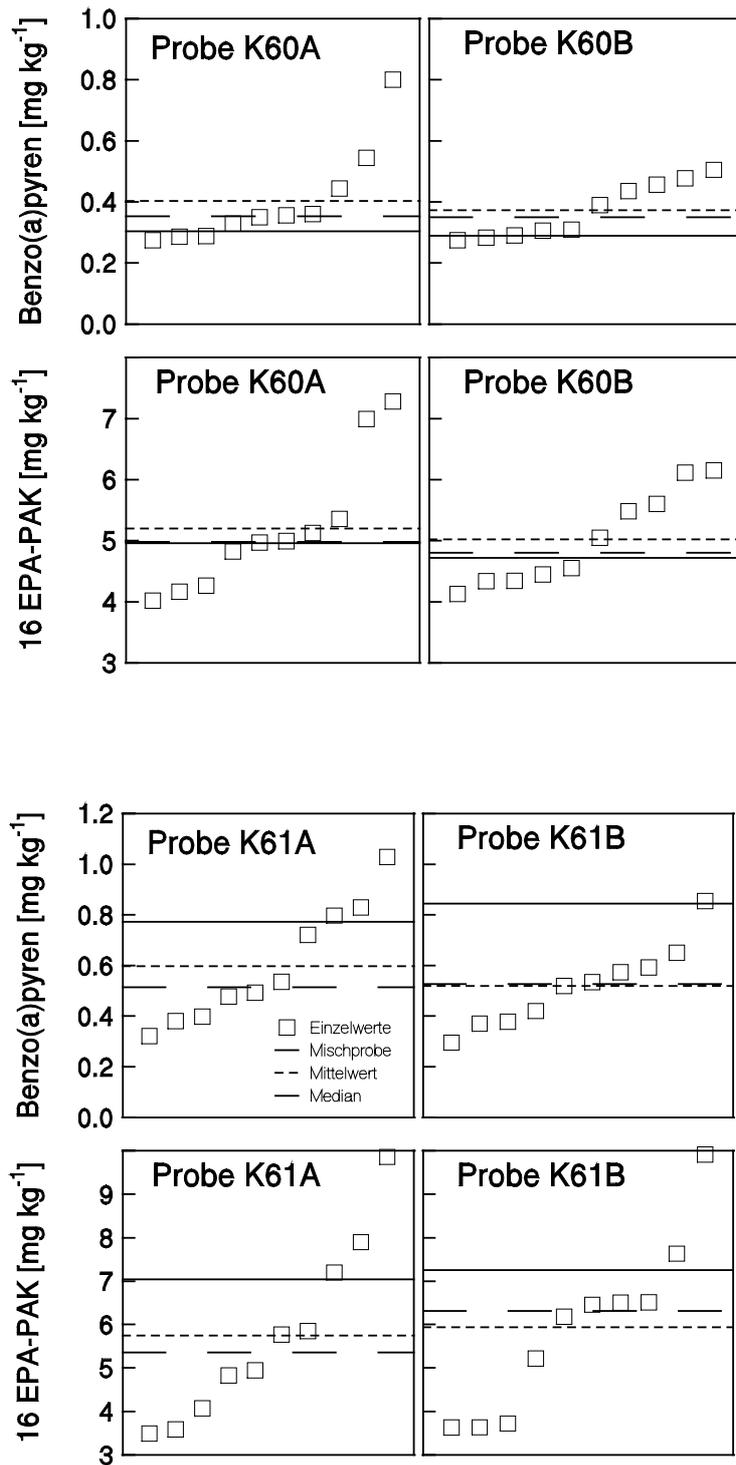


Abb. 11: Variation der Benzo(a)pyren- und der Summen-
 gehalte von PAK der Einzelproben bei der
 Mehrfachbeprobung derselben Kompostmiete
 (Bioabfall K60, Grüngut K61)

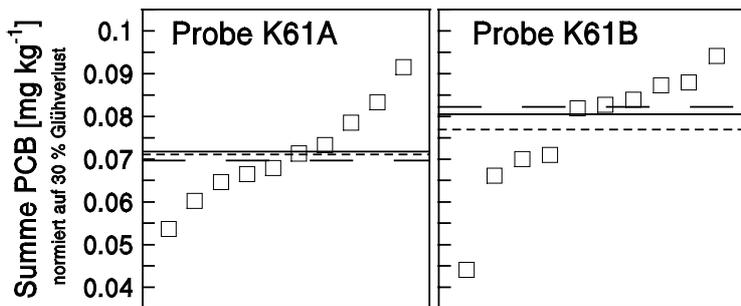
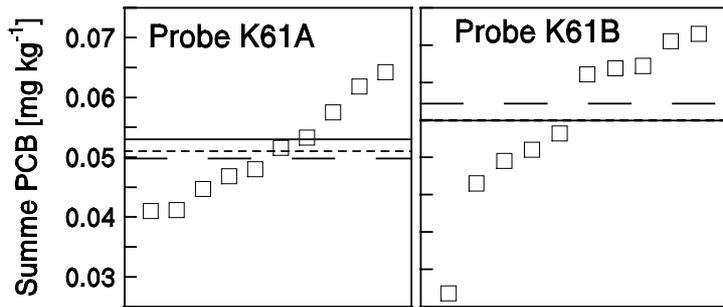
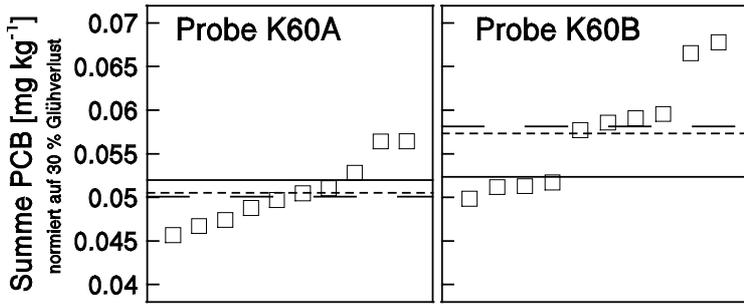
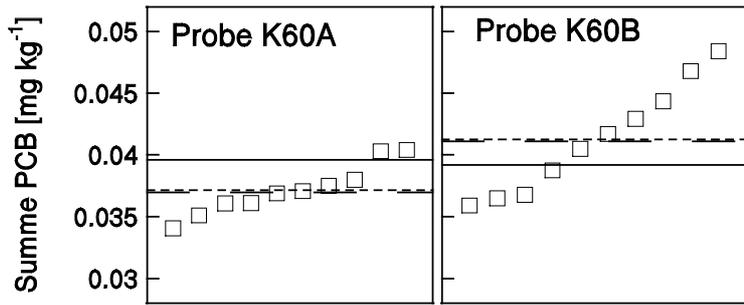


Abb. 12: Variation der Summengehalte von PCB der Einzelproben bei der Mehrfachbeprobung derselben Kompostmiete (Bioabfall K60, Grüngut K61)

Zusammenfassung

Die Verwertung von kompostierten organischen Abfällen in Landwirtschaft, Landschafts- und Gartenbau kann eine ökonomische und ökologische sinnvolle Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf darstellen.

Werden Komposte für Düngungsmaßnahmen herangezogen, so sollten sie nach guter fachlicher Praxis unter Kenntnis ihrer Nährstoffgehalte in die Fruchtfolge einbezogen werden (Nährstoffbilanzierung). Gleichzeitig ist hierbei sicherzustellen, daß die damit verbundene Frachten an unerwünschten Stoffen möglichst gering sind.

Das vorliegende Projekt hatte zur Zielstellung in größeren Kompostierungsanlagen des Landes verkaufsfertige Komposte mehrfach zu beproben, um die Variabilität verschiedener Inhaltsstoffe sowohl im Vergleich verschiedener Anlagen bzw. im zeitlichen Verlauf einzelner Anlagen zu erfassen. Eine weitere Fragestellung war die Streuung der Gehalte innerhalb von Haufwerken, um daraus Empfehlungen für eine geeignete Probennahme herleiten zu können.

Insgesamt wurden 25 Kompostierungsanlagen mit einem sehr unterschiedlichen Materialdurchsatz und unterschiedlichen Kompostierungstechniken erfaßt. Davon verarbeiteten 13 Anlagen Bioabfall gemischt mit Grüngut (Gras, Heckenschnitt etc.) und 12 Anlagen Grüngut. Bei jeder Probennahme wurde eine Doppelbeprobung durchgeführt. Jede der beiden Sammelproben wurde aus 20 Teilproben gewonnen, die vermischt und anschließend durch diagonalisieren reduziert wurden. Aus der abgesiebten frischen Originalprobe wurden die Parameter Rohdichte, pH-Wert, Trockensubstanz, lösliche Nährstoffe, Salzgehalt, Chlorid und Sulfat erfaßt. Weiterhin wurden in diesem Material die organischen Schadstoffe PCB, PAK und chlorierte Pestizide bestimmt. Ein weiterer Teil der Originalprobe wurde getrocknet und in einer Planetenmühle vermahlen. In dieser Teilprobe wurden die Gehalte der einzelnen Schwermetalle sowie die Gesamtnährstoffe und der Glühverlust ermittelt. Im Hinblick auf die Vorgaben des Kompostierungserlasses des Landes Baden-Württemberg wurden die Gehalte der Schwermetalle auch auf 30 % Glühverlust normiert. Da sich für die meisten untersuchten Parameter eine schiefe Verteilung ergab, wurde neben den arithmetischen Mittelwerten immer auch der Median angegeben.

Die Gehalte an löslichen Pflanzennährstoffen sowie die Gesamtgehalte weisen zwischen den Anlagen eine stärkere Streuung auf als sie bei den Anlagen, die mehrfach beprobt wurden, im zeitlichen Verlauf festzustellen war. Die Kenntnis der Nährstoffgehalte sind für eine Düngung nach guter fachlicher Praxis eine notwendige Voraussetzung. Letztlich sind sie bestimmend für die auszubringenden Kompostmengen.

Die Gehalte an unerwünschten Elementen streuen ebenfalls zwischen den Anlagen nicht unerheblich. In einer Reihe von Fällen kommt es zu einer Überschreitung der Orientierungswerte des Kompostierungserlasses. Die Überschreitungen konzentrieren sich vor allem auf die Bioabfallkomposte und hier im wesentlichen auf die Elemente Blei, Kupfer und Zink. Die häufigsten Überschreitungen wurden für Kupfer ermittelt (32 % aller untersuchten Bioabfallkompostproben). Im Falle dieses Elementes liegt der Medianwert bereits relativ nahe beim Orientierungswert. Eine detailliertere Analyse der Überschreitungshäufigkeit der Richtwerte zeigt, daß sich diese Überschreitungen auf wenige Anlagen konzentrieren. Möglicherweise läßt sich hier durch Änderung der Prozeßabläufe, insbesondere der Vorsortierung, Abhilfe schaffen. Zusätzlich zu den im Kompostierungserlaß genannten Schwermetallen wurden zur Orientierung eine Reihe weitere anorganische Elemente mit erfaßt (u.a. Al, As, B, Co, Mn, Tl). Die mittleren Gehalte dieser Elemente liegen in der Größenordnung der Hintergrundwerte in Böden, so daß bei üblichen Aufbringungsmengen mittel- bis langfristig mit keiner Kumulation in Böden zu rechnen ist.

Um die Ursachen der variierenden Gehalte an Pflanzennährstoffen und Schwermetallen weiter abzuklären, wurden neben den Komposten auch über 50 Proben an Häckselgut auf diese Stoffe untersucht. Die erhebliche Streuung der Gehalte zeigt, daß u.U. eine geeignete Auswahl der jeweiligen Chargen ebenfalls ein Mittel sein kann, um eine Überschreitung von Orientierungswerten zu vermeiden.

Die Gehalte an polychlorierten Biphenylen sind durchgehend niedrig. Die Medianwerte für die einzelnen Anlagen liegen deutlich unter dem Orientierungswert des Kompostierungserlasses. Auch bei den Maximalwerten ist keine Überschreitung feststellbar. Eine Reihe von Komposten wurde darüberhinaus auf 26 Organochlorpestizide untersucht, wovon lediglich 7 Komponenten nachweisbar waren. Bestimmt wurden HCB und jeweils 3 Vertreter aus der HCH- und DDT-Gruppe. Allerdings lagen die Konzentrationen in einem sehr niedrigen Bereich.

Eine weitere Gruppe an Verbindungen, die in den einzelnen Komposten untersucht wurde, waren die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe. Bislang liegen für diese Verbindungsgruppe keine Orientierungswerte in Komposten vor. Sowohl die Einzelverbindungen als auch die Summenwerte (16 EPA-PAK) streuten über einen erheblichen Bereich. Angesichts der deutlich erhöhten Gehalte in einigen wenigen Proben aus bestimmten Anlagen und der teilweise gefundenen jahreszeitlichen Variabilität sollten weitere Untersuchungen über mögliche Eintragswege gemacht werden.

Zu zwei verschiedenen Zeitpunkten wurden zusätzlich zu einer Sammelprobe jeweils 20 (Untersuchung anorganischer Parameter) bzw. 10 (Untersuchung organischer Parameter) Einzelproben untersucht, um die Variabilität der Inhaltsstoffe innerhalb eines Haufwerks zu erfassen. Auf der Basis dieser Ergebnisse wird ein Alternativvorschlag zur Probennahme erarbeitet, der auf einer Doppelbeobachtung mit getrennter Einfachbestimmung der Analysen beruht.

Literatur

- Anonym (1994): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG), Bundestagsdrucksache 12/88084.
- Anonym (1996): Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung).
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU) (o.J.): Untersuchung von Bioabfallkomposten, Grüngutkomposten und Komposten aus der Hausgarten- und Gemeinschaftskompostierung auf ihren Gehalt an Schwermetallen, PCDD/F, PCB und AOX.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) (o.J.): Der Weg zum RAL-Gütezeichen.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) (1994): Methodenbuch zur Analyse von Kompost der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., Köln.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) (1995): Kompostanlagen in Deutschland 1995. Verlag Abdall Now e.V., Stuttgart, 52 pp..
- Kerschberger, M. (1995): Grundlagen für die Auffindung und Festlegung von Richtwerten zur Bewertung von Nährstoffbilanzen, Bodenfruchtbarkeitsmerkmalen und Düngereinsatz in der Pflanzenproduktion. In: BAD (Hsg.), Nährstoffbilanz im Blickfeld von Landwirtschaft und Umwelt.
- Kluge, R., H. Schaaf und J. Heyn (1996): Landwirtschaftliche Verwertung von Abfällen. Land-Info 5/96, 13-18.
- Kupka und Sieper (1988): Ein neues Gerätekonzept zur Stickstoff-/Proteinanalyse. Sonderdruck. GIT Fachzeitschrift für Laboratorium 11, 1179-1182.
- Lorenz, R.J. (1992): Grundbegriffe der Biometrie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (1994a): Leitfaden Bioabfallkompostierung. Reihe Luft Boden Abfall, Heft 25.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (1994b): Kompostierungserlaß des Landes Baden-Württemberg vom 30.06.1994.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (1995a): Bioabfallkompostierung IV. Eintragspfade von Schadstoffen in Komposte. Reihe Luft Boden Abfall, Heft 39.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (1995b): Vierte Verwaltungsvorschrift des UM zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten organischer Schadstoffe im Boden (VwV Organische Schadstoffe) vom 10.12.1995.
- VDLUFA (1991): VDLUFA-Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (1993): Bestimmung ausgewählter PCB-Einzelkomponenten und chlorierter Kohlenwasserstoffe in Böden, Klärschlämmen und Komposten. Agribiol.Res. 46, 175-191.
- VDLUFA (1995a): VDLUFA-Methodenbuch Band II: Die Untersuchung von Düngemitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (1995b): Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Böden, Klärschlämmen und Komposten (Verbandsmethode PAK 3.3.3). VDLUFA-Schriftenreihe 39/1995, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (1996a): Standpunkt: Landbauliche Verwertung von geeigneten Abfällen als Sekundärrohstoffdünger, Bodenhilfsstoffe und Kultursubstrate.
- VDLUFA (1996b): VDLUFA-Methodenbuch Band VII: Umweltanalytik, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.