

Recherche zur Prozeßsteuerung in Kompostieranlagen

Von

Dietmar Reitz

Diplomarbeit, angefertigt am Fachbereich Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft der GH Universität
Professor Dr.-Ing. habil. Werner Bidlingmaier

Essen 1998

Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit	3
2 Grundlagen	4
2.1 Prozeßparameter bei der Kompostierung	4
2.1.1 Temperatur	4
2.1.2 Wassergehalt	7
2.1.3 Sauerstoffgehalt	8
2.1.4 pH-Wert	8
2.1.5 C/N-Verhältnis	10
2.2 Verfahren der Kompostierung	12
2.2.1 Baumusterkategorie I: Boxen- und Containerverfahren	12
2.2.2 Baumusterkategorie II: Brikollare-Kompostierung	13
2.2.3 Baumusterkategorie III: Zeilen- und Tunnelkompostierung	13
2.2.4 Baumusterkategorie IV: Trommelverfahren	14
2.2.5 Baumusterkategorie V: geschlossene Mietenkompostierung	14
2.2.6 Baumusterkategorie VI: offene Mietenkompostierung	15
2.2.7 Baumusterkategorie VII: Turmkompostierung	15
2.3 Messen	16
2.3.1 Temperaturmessung	16
2.3.2 Sauerstoffmessung	19
2.3.3 CO ₂ -Messung	20
2.4 Steuern	22
2.5 Regeln	24
2.5.1 Aufgabe der Regelung	24
2.5.2 Benennen der für die Regelung wichtigen Größen	26
2.5.3 Regelstrecke	27
2.5.4 Stellglied	28
2.5.5 Handregelung	29
2.5.6 Selbsttätige Regelung	29
2.5.7 Regelkreis	31
2.5.8 Regelungsarten	32
2.6 Prozeßregelung bei der Kompostierung	34

2.6.1 Messen der Parameter	34
2.6.1.1 Messen im Material	34
2.6.1.2 Messen in der Abluft	35
2.6.2 Belüftung	35
2.6.2.1 Aktive Belüftung durch Saug- oder Druckbelüftung	36
2.6.2.2 Passive Belüftung durch Konvektion oder Bewegung	38
2.6.3 Umsetzung	38
2.6.4 Befeuchtung	39
3 Material und Methoden	40
3.1 Literaturrecherche	40
3.2 Anfrage bei den Herstellern	41
3.3 Recherche im Internet	41
3.4 Umfrageaktion bei den Betreibern von Kompostierungsanlagen	42
4 Ergebnisse und Diskussion	45
4.1 Literaturrecherche	45
4.2 Anfrage bei den Herstellern	45
4.3 Recherche im Internet	46
4.4 Umfrageaktion bei den Betreibern von Kompostierungsanlagen	48
4.4.1 Rücklaufbilanz	48
4.4.2 Gesamtüberblick über alle Baumuster	49
4.4.3 Baumusterkategorie I: Boxen	62
4.4.4 Baumusterkategorie II: Brikollare-Kompostierung	70
4.4.5 Baumusterkategorie III: Tunnel- und Zeilenkompostierung	73
4.4.6 Baumusterkategorie IV: Trommelkompostierung	82
4.4.7 Baumusterkategorie V: Geschlossene Mietenkompostierung	85
4.4.8 Baumusterkategorie VI: Offene Mietenkompostierung	95
4.4.9 Baumusterkategorie VII: Turmkompostierung	101
4.4.10 Resümee und Zusammenfassung der Umfrage.....	103
5 Zusammenfassung	108
6 Literatur	110

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 2.1.1-1 Temperaturverlauf des Kompostierungsprozesses	5
Abb. 2.1.2-1 optimale Wassergehalte in Abhängigkeit vom Substrat	7
Abb. 2.3.1.2-1 Darstellung eines Thermoelementes	18
Abb. 2.3.2-1 Darstellung einer Meßkammer zur Sauerstoffanalyse	19
Abb. 2.3.3-1 Darstellung einer Meßbrücke zur Analyse des CO ₂ -Gehaltes	20
Abb. 2.4-1 Darstellung einer Steuerkette mit Messung der Störgrößen	22
Abb. 2.5.3-1 Darstellung einer Regelstrecke	27
Abb. 2.5.3-2 Darstellung einer Kompostmiete als Regelstrecke	28
Abb. 2.5.4-1 Darstellung von Stellglied und Stellantrieb	28
Abb. 2.5.5-1 Darstellung einer Handregelung	29
Abb. 2.5.6-1 Darstellung eines Reglers	31
Abb. 2.5.7-1 Darstellung eines Regelkreises	31
Abb. 2.6-1 Prozeßprotokoll einer geschl. Mietenkompostierung	33
Abb. 4.4.2-1 Verteilung der Baumuster mit und ohne aktiver Prozeßsteuerung	50
Abb. 4.4.2-2 Arten der Messung bei allen untersuchten Anlagen	50
Abb. 4.4.2-3 Häufigkeit der gewählten Meßorte	53
Abb. 4.4.2-4 Regelungsgrößen aller untersuchten Kompostierungsanlagen	56
Abb. 4.4.2-5 Darstellung aller genannten Kombinationen an Regelgrößen	58
Abb. 4.4.2-6 Belüftungsarten bei allen untersuchten Anlagen	59
Abb. 4.4.3-1 Arten der Messung bei der Boxen- und Containerkompostierung	62
Abb. 4.4.3-2 Häufigkeit der gewählten Meßorte	63
Abb. 4.4.3-3 Regelungsgrößen bei der Boxen- und Containerkompostierung	65
Abb. 4.4.3-4 Angestrebter Prozeßverlauf	66
Abb. 4.4.3-5 Kombinationen an Regelungsgrößen	67
Abb. 4.4.3-6 Belüftungsarten bei der Boxen- und Containerkompostierung	68
Abb. 4.4.4-1 Arten der Messung bei der Brikollare-Kompostierung	70
Abb. 4.4.4-2 Regelungsgrößen bei der Brikollare-Kompostierung	70
Abb. 4.4.4-3 Angestrebter Prozeßverlauf	71
Abb. 4.4.5-1 Arten der Messung bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung	73
Abb. 4.4.5-2 Häufigkeiten der gewählten Meßorte	74
Abb. 4.4.5-3 Regelungsgrößen	76
Abb. 4.4.5-4 Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen	76
Abb. 4.4.5-5 Angestrebter Prozeßverlauf bei einem Zeilensystem	77
Abb. 4.4.5-6 Angestrebter Prozeßverlauf bei zwei Tunnelsystemen	78

Abb. 4.4.5-7 Angestrebter Prozeßverlauf bei zwei Tunnelsystemen	79
Abb. 4.4.5-8 Belüftungsarten bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung	79
Abb. 4.4.6-1 Arten der Messung bei der Trommelkompostierung	82
Abb. 4.4.6-2 Regelungsarten bei der Trommelkompostierung	83
Abb. 4.4.6-3 Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen	83
Abb. 4.4.7-1 Arten der Messung bei der geschlossenen Mietenkompostierung	85
Abb. 4.4.7-2 Regelungsgrößen bei der geschlossenen Mietenkompostierung	88
Abb. 4.4.7-3 Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen	89
Abb. 4.4.7-4 Angestrebter Prozeßverlauf	89
Abb. 4.4.7-5 Angestrebter Prozeßverlauf	90
Abb. 4.4.7-6 Angestrebter Prozeßverlauf	91
Abb. 4.4.7-7 Belüftungsarten bei der geschlossenen Mietenkompostierung	92
Abb. 4.4.8-1 Regelungsarten bei der offenen Mietenkompostierung	96
Abb. 4.4.8-2 Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen	97
Abb. 4.4.8-3 Angestrebter Prozeßverlauf	98
Abb. 4.4.8-4 Belüftungsarten bei der offenen Mietenkompostierung	99

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 2.1.1-1	Temperaturoptima verschiedener Substrate	6
Tab. 2.1.4-1	pH-Werte verschiedener Materialien	9
Tab. 2.1.5-1	Schwankungen des C/N-Verhältnisses und N-Gehaltes	10
Tab. 3.4-1	Chronologischer Ablauf der Umfrageaktion	43
Tab. 4.3-1	Suchergebnisse verschiedener Begriffe im Internet	46
Tab. 4.4.2-1	Verteilung der Baumuster	49
Tab. 4.4.2-2	Anzahl der Parameterkombinationen	52
Tab. 4.4.2-3	Kombinationen von Meßorten	54
Tab. 4.4.2-4	Regelungsparameter bezogen auf die Baumuster	55
Tab. 4.4.3-1	Anteil der Parameterkomb. (Boxen- und Containerkomp.)	63
Tab. 4.4.3-2	Kombinationen von Meßorten	64
Tab. 4.4.5-1	Anzahl der Parameterkomb. (Tunnel- und Zeilenkomp.)	74
Tab. 4.4.5-2	Kombinationen von Meßorten	75
Tab. 4.4.7-1	Anzahl der Parameterkomb. (geschl. Mietenkomp.)	86
Tab. 4.4.7-2	Kombinationen von Meßorten	87
Tab. 4.4.8-1	Anzahl der Parameterkomb. (offene Mietenkomp.)	95
Tab. 4.4.8-2	Kombinationen von Meßorten	96

1 Einleitung

Die getrennte Erfassung von biogenen Abfällen und die biologische Behandlung in Kompostierungsanlagen haben in den letzten Jahren einen hohen Stellenwert erlangt und sind zu einem festen Bestandteil der Siedlungsabfallbehandlung geworden.

Unter Kompostierung versteht man den aeroben Abbau von biogenem Material bzw. die Umlagerung von aktiven organischen Stoffen in stabile Verbindungen.

Bei den ersten Kompostierungsanlagen, die bis Ende der 80er Jahre betrieben wurden, handelte es sich überwiegend um Mischmüllkompostwerke. Diese hatten entweder die Aufgabe, die zu deponierende bzw. zu verbrennende Restmüllmenge zu reduzieren, oder aus dem zu kompostierenden Müll oder Klärschlamm einen Dünger für die Landwirtschaft herzustellen. Aufgrund der Schadstoffproblematik und der daraus resultierenden schlechten Vermarktungsfähigkeit des Kompostes waren fast alle diese Projekte zum Scheitern verurteilt (Fricke et al. 1992).

Mitte der 80er Jahre wurde ersichtlich, daß ausreichender Deponieraum bei weiterem Anstieg des Abfallaufkommens bald nicht mehr zur Verfügung stehen würde. Die Errichtung neuer Deponien galt es hingegen wegen der Emissionen von schadstoffbefrachtetem Sickerwasser und Biogas möglichst zu verhindern. Daher erließ der Gesetzgeber im Jahre 1986 mit der 4. Novelle des Abfallbeseitigungsgesetzes erstmals ein Verwertungsgebot für Abfälle.

Die wichtigsten Ziele des Abfallgesetzes sind in den §§1a und 2 wie folgt definiert:

- Abfälle sind zu vermeiden,
- Abfälle sind zu verwerten,
- Abfälle sind so zu entsorgen, daß das Wohl der Allgemeinheit nicht gefährdet wird.

Allerdings war zu diesem Zeitpunkt noch nicht genau festgelegt, ob eine stoffliche Verwertung der betreffenden Abfallart anzustreben sei, oder ob auch eine thermische Verwertung durch Verbrennung im Gesetzesrahmen liegt. Erst mit Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall im Juni 1993 sowie des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) im Oktober 1996 wird vom Gesetzgeber vorgeschrieben, daß nach Vermeidung einer bestimmten Abfallart der stofflichen Verwertung Vorrang gegenüber der thermischen Verwertung gegeben werden muß (§ 5 Absatz 4 KrW-/AbfG). Dadurch bestand für die entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften aufgrund des bestehenden Verwertungsgebots für Bioabfälle und Grünschnitt Handlungsbedarf, diese getrennt zu erfassen und durch die Kompostierung bzw. die Vergärung zu Kompost oder Biogas zu verwerten. Die Konsequenz war die rapide Zunahme an Kompostierungsanlagen in Deutschland. Während sich im Dezember 1993 99 Anlagen in Betrieb befanden (Feidner und Hangen 1994), sind es zur Zeit etwa 520 Anlagen, die ca. 6,3 Mio. Mg/a Biomüll verarbeiten (Anonymus 1997).

Bei der Kompostierung von Bioabfällen und Grünschnitt handelt es sich um einen Prozeß, der auch in der Natur, z.B. beim Umbau von Laub im Waldboden durch aerobe Mikroorganismen zu Humus, beobachtet werden kann. Doch anders als in der Natur, wo aufgrund der geringen Schichtdicke eine Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen gesichert ist, besteht bei der technischen Kompostierung von Bioabfall und Grünschnitt aufgrund der dort anzutreffenden großen Haufwerke die Gefahr der Unterversorgung mit Sauerstoff und somit die unerwünschte Einstellung von anaeroben Verhältnissen. Des weiteren ist bei der Kompostierung zu beachten, daß es sich hierbei um einen exothermen Vorgang handelt. Hierbei können im Inneren der Haufwerke aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Kompostmaterials hohe Temperaturen entstehen, welche die Mikroorganismen hemmen. Diesen beiden Problemen begegnet man mit künstlicher Belüftung. Hierbei dient die eingetragene Luft nicht nur zur Sauerstoffversorgung, sondern führt hauptsächlich

zur Ableitung der im Kompostkörper gestauten Wärmemenge sowie des entstandenen Kohlendioxyds.

Bei der Kompostierung ist auf einen ausreichenden Wassergehalt innerhalb des Kompostmaterials zu achten, den die Mikroorganismen zum Abbau der organischen Substanz benötigen. Wird jedoch belüftet, trägt dies dazu bei, daß nicht nur die Wärme sondern auch Wasser ausgetragen wird, was zur Verschlechterung der Lebensbedingungen der Mikroorganismen führt. Andererseits führt ein zu großer Wasseranteil im Kompostmaterial zu einer Verknappung des Luftporenanteils, welche wiederum bewirkt, daß eine ausreichende Versorgung mit Sauerstoff durch die Belüftung nicht mehr sichergestellt werden kann.

Eine aktive Steuerung des Kompostierungsprozesses sollte dazu geeignet sein, eine automatische Messung der für den Kompostierungsvorgang wichtigen Parameter wie Temperatur, Sauerstoff-, Kohlendioxyd- und Wassergehalt durchzuführen. Ferner sollte eine selbständige Gewichtung stattfinden, welcher Wert eines Parameters unter Beachtung der Konsequenz für die übrigen Parameter im Augenblick optimiert werden müßte. Dabei gilt es, in möglichst kurzer Zeit und unter einem möglichst geringen Einsatz an Energie einen hohen Rottegrad des Kompostes zu erreichen. Man nimmt an, daß etwa die Hälfte der zur Zeit in Betrieb befindlichen Anlagen über eine aktive Prozeßsteuerung verfügt.

1.1 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den aktuellen Stand der Prozeßsteuerung in Kompostierungsanlagen darzustellen. Dabei soll ermittelt werden, welche die Rottesteuerung betreffenden Parameter nur gemessen werden und mit welchen Parameterkombinationen versucht wird, aktiv den Prozeß der Kompostierung zu steuern. Es ist bis heute weitgehend unbekannt, welche genauen Zielwerte im einzelnen angesteuert werden. Ferner soll in Erfahrung gebracht werden, welche Meßorte für die verschiedenen Parameter genutzt werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurden eine Literaturrecherche sowie eine Nachforschung im Internet durchgeführt. Darüber hinaus wurden mit Hilfe einer Fragebogenaktion die Erfahrungswerte der Betreiber von Kompostierungsanlagen ermittelt.

Im Gegensatz zur Abwassertechnik besteht zu diesem Zeitpunkt noch keine funktionierende Prozeßsteuerung für die Behandlung biologischer Abfälle. Die gesammelten Erfahrungswerte dieser Arbeit können neben den nötigen Untersuchungen im Labor, die zur Grundlagenforschung weiterhin nötig sein werden, einen kleinen Beitrag dazu leisten, die für die Prozeßsteuerung wichtigsten Parameter zu identifizieren sowie deren verbindlichen Zielwerte festzulegen. Daraus könnte eine Prozeßsteuerung resultieren, die in der Lage ist, auf möglichst viele unterschiedliche Ausgangssituationen zu reagieren und in möglichst kurzer Zeit und unter geringen Kosten einen Kompost von gleichbleibend hoher Qualität herzustellen.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter beschrieben. Ferner werden die sieben verschiedenen Baumuster vorgestellt, in denen zur Zeit eine biologische Kompostierung im großtechnischen Maßstab durchgeführt wird. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels findet eine Einführung in die Steuer- und Regelungstechnik statt. In diesem Zusammenhang wird auch geschildert, mit welchen Meßtechniken die über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bestimmt werden. Im letzten Abschnitt dieses Kapitels werden die technischen Einflußmöglichkeiten auf den Kompostierungsprozeß innerhalb von Kompostwerken dargestellt.

2.1 Prozeßparameter bei der Kompostierung

Die Kompostierung ist ein aerober biologischer Prozeß mit zum Teil parallel laufenden Ab-, Um- und Aufbauprozessen. Die Population der Mikroorganismen verändert sich während des Kompostierungsprozesses ständig. Dies geschieht in Abhängigkeit des vorgefundenen Milieus, das von verschiedenen Parametern bestimmt wird. Diese Parameter werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels beschrieben.

2.1.1 Temperatur

Der wesentliche Parameter, den es bei der Kompostierung zu überwachen und steuern gilt, ist die Temperatur. Diese beruht auf der von den Mikroorganismen infolge des Abbauprozesses der Organik freigesetzten Wärme, welche zur Selbsterhitzung des Materials führt. Bei der Kompostierung werden die organischen Materialien mit höherem Energiegehalt durch die Mikroorganismen in Abbauprodukte mit niedrigerem Energiegehalt umgewandelt. Dabei wird Energie frei. Diese Energie wird von den Mikroorganismen zur Erhaltung ihres Lebens verbraucht oder an die Umgebung in Form von Wärme abgegeben (Thome´ Kozmiensky 1995). Also handelt es sich bei der Kompostierung um einen exothermen Prozeß (Haug 1979). So werden zum Beispiel beim aeroben Abbau von Glucose etwa 60 Prozent der aufgenommenen Energie wieder als Wärme freigegeben (Mudrack und Kunst 1988).

Schon kurze Zeit nach Beginn des Kompostierungsprozesses kommt es innerhalb der großen Haufwerke, die bei den technischen Kompostierungsverfahren anzutreffen sind, zu einer Selbsterhitzung des Materials. Die entstandene Wärme kann entgegen den Verhältnissen in der Natur, wo wesentlich geringere Schichtdicken von nur einigen Zentimetern anzutreffen sind (Beispiel: zu kompostierende Laubschicht im Wald), nur sehr schlecht abgeführt werden. Es entsteht ein Wärmestau innerhalb des Materials (Poincelot 1974). Dies begründet sich darin, daß Kompostmaterial eine spezifische Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 0,1$ bis $0,5$ [W/(m*K)] besitzt (Kranert 1988). Zur Verdeutlichung der geringen Wärmeleitfähigkeit des Kompostes sei hier ein Mauerstein aus Kalksandstein genannt. Dieser besitzt eine spezifische Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 0,5$ bis $1,3$ [W/(m*K)], während bei einer Wärmedämmung aus Hartschaumplatten eine spezifische Wärmeleitfähigkeit von nur $\lambda_R = 0,04$ [W/(m*K)] in Rechnung gestellt werden muß (Wendehorst und Muth 1989).

Den Temperaturverlauf kann man in drei Phasen einteilen: Die erste Phase ist durch eine Selbsterhitzung auf Temperaturen von 45 bis 50° C gekennzeichnet. Damit verbunden ist eine starke Vermehrung mesophiler Mikroorganismen, deren optimale Wachstumstemperatur bei 20 bis 35° C liegt. Nach der Selbsterhitzung auf 45 bis 50° C kann es zu einer kurzen Verzögerung des Temperaturanstieges kommen, da innerhalb dieses Bereiches der optimale Temperaturbereich der mesophilen Organismen überschritten wird. Diese stellen bei weiter ansteigenden Temperaturen

ihre Aktivitäten ein und die thermophile Phase beginnt sich langsam einzustellen. Deren Temperaturen können leicht 75 bis 80° C betragen, wobei dann aber das Temperaturoptimum der thermophilen Mikroorganismen überschritten wird, das bei etwa 45 bis 55° C liegt (Bilitewski 1994). Infolge dessen setzt eine Abkühlung ein, wobei wieder Temperaturen erreicht werden, die dem mesophilen Bereich zuzuordnen sind.

Abb. 2.1.1-1: Temperaturverlauf des Kompostierungsprozesses

Während des Kompostierungsprozesses kommt es zu Anfang schnell zu einer Erhitzung des Materials auf teilweise über 70° C. Dies stellt zwar die geforderte Hygienisierung des Kompostes sicher, andererseits bedeutet es jedoch eine starke Reduzierung der für die Kompostierung erforderlichen Mikroorganismen, so daß der weitere Kompostierungsvorgang gehemmt ist. Bei Temperaturen jenseits von 75° C kann man keine nennenswerte biologische Aktivität in bezug auf die Kompostierung mehr feststellen (Miller et al. 1989).

Die folgende Tabelle zeigt durch Versuche festgestellte Temperaturoptima verschiedener Substrate:

Tab. 2.1.1-1: Temperaturoptima während der Kompostierung in Abhängigkeit vom Substrat und der Versuchsanlage

Substrat	Versuchsanlage	Temperatur-optimum	Literatur
Vorgerottete Siedlungsabfälle	Labormaßstab, isothermales System, 0,5 l Erlenmeyerkolben	40° C	Jeris und Regan 1973
Zeitungspapier	Labormaßstab, isothermales System, 40 l Reaktoren, 0,5 l Erlenmeyerkolben	48° C	Jeris und Regan 1973
Vorgerotteter Pferdemist	Labormaßstab, isothermales System, Gefäße mit 600 g Mist	50° C	Waksman et al. 1939
Primärschlamm, Holzhäcksel, Kompost, Stroh	Miete mit 250 MG, aktiv belüftet, Temperaturkontrolle	45 - 55° C	Mc. Kinley et al. 1985
Mit Kalk versetzter Frischschlamm, Holzhäcksel	Labormaßstab, Reaktor	> 55° C	Sikora und Sowers 1985
Küchenabfälle, Zeitungspapier und vorgerottete Küchenabfälle und Zeitungen	Labormaßstab, isothermales System, 1 l Glasreaktoren	50 - 60° C	Suler und Finstein 1977
Frischkompost nach 2 Tagen Turmrotte	Labormaßstab, isothermales System, Warburg-Apparatur	58° C	Niese 1969
Siedlungsabfälle	Labormaßstab, isothermales System, 40 l Reaktoren, 0,5 l Erlenmeyerkolben		Jeris und Regan 1973
Primärschlamm, teilw.	Mieten von 6 bis 18 t, aktiv belüftet		Mac Gregor et al.

Stabilisiert, Faulschlamm, Häcksel			1981
Frischschlamm, recycol. Kompost	Labormaßstab, Reaktor	> 60° C	Nagasaki et al. 1985
Kompost zur Pilzan-Zucht, sehr feucht	Mieten, unbelüftet, Umsetzung		Miller et al. 1989
Rinde	Mieten mit 14 m ³ , aktiv belüftet		Darbyshire et al. 1989
Pferdemist	Labormaßstab, isothermales System Gefäße mit 600 g Mist	65° C	Waksman et al. 1939
Mischung aus Faulschlamm, Flotations-schaum, Sägespäne	Labormaßstab, adiabatisches System (isoliert, nicht beheizt), Temperaturkontrolle	60 - 70° C	Viel et al. 1987
Modellküchenabfälle		71° C	Poincelot 1975

Somit ist es nötig, mit Hilfe einer Belüftung, die auch die Sauerstoffversorgung sicherstellen soll, einen zu starken Anstieg der Temperatur zu verhindern. In der Regel dient ein Anteil von 95 Prozent der eingetragenen Luft zur Wärmeableitung, während die restlichen fünf Prozent zur Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen ausreichen würden. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß bei einer Belüftung der größte Teil der ausgetragenen Wärmeenergie nicht durch die Erwärmung der Abluft, sondern durch die Belüftung begünstigte Verdunstung des Wassers freigesetzt wird (Miller et al. 1982). Dies kann ein Austrocknen der Kompostmiete zur Folge haben, wenn nicht künstlich befeuchtet wird.

Die optimale Prozeßtemperatur wird im Mittel bei 55° C angegeben. Um sicherzustellen, daß Krankheitserreger im Kompostmaterial abgetötet werden, sollte bei geschlossenen Systemen die Temperatur während einer Woche bei 60° C liegen und bei offenen Systemen entweder für zwei Wochen mindestens 55° C oder über eine Woche mindestens 65° C betragen (LAGA-Merkblatt M 10, 1995).

2.1.2 Wassergehalt

Die an der Kompostierung beteiligten Mikroorganismen können nur in Wasser gelöste Substrate durch die Zellmembran aufnehmen und verarbeiten. Der für die Mikroorganismen minimal zulässige Wassergehalt beträgt 20 Prozent (Schuchard 1988). Bei einem geringeren Wassergehalt werden die Organismen nicht mehr ausreichend mit Nährstoffen versorgt.

Der optimale Wassergehalt hängt jedoch nicht nur vom Bedürfnis der Mikroorganismen ab, nur in Wasser gelöste Nährstoffe aufnehmen zu können, sondern auch vom Verhältnis zwischen dem Luftporenvolumen und dem in den Poren enthaltenen Wasser. Das Luftporenvolumen sollte nicht weniger als 20 bis 30 Prozent betragen (Haug 1980).

Abb. 2.1.2-1: optimale Wassergehalte in Abhängigkeit vom Substrat
(Bidlingmaier 1985)

Ist das Material zu naß, ist eine ausreichende Sauerstoffversorgung nicht mehr gewährleistet, da die Poren mit Wasser gefüllt sind. Bidlingmaier (1985) kam zu dem Ergebnis, daß ein Wassergehalt von 70 Prozent als maximaler Wert angesehen werden muß, bei dessen Überschreitung eine Kompostierung nicht möglich ist und empfiehlt einen Wassergehalt unter Beachtung der maximalen Atmungsaktivität zwischen 40 und 60 Prozent zu Beginn der Kompostierung.

2.1.3 Sauerstoffgehalt

Wie im Kapitel 2.1.2 geschildert, hängt das Luftporenvolumen und damit der den Mikroorganismen für die Atmung zur Verfügung stehende Sauerstoff nicht nur von der Struktur des Substrats, sondern auch vom vorhandenen Wassergehalt ab. Somit stehen die Sauerstoff- und die Wasserversorgung in Konkurrenz zueinander. Einerseits muß sichergestellt werden, daß das Substrat ausreichend für den weiteren Abbau durch die Mikroorganismen von Wasser umgeben ist und andererseits die Sauerstoffversorgung durch Wasser gefüllte Poren nicht behindert wird.

Im allgemeinen kann man davon ausgehen, daß zum aeroben Abbau von einem Gramm organischer Substanz ein bis vier Gramm Sauerstoff benötigt werden (Bidlingmaier 1985).

Die Aussagen über feste Zielwerte, die es in der Abluft oder im Material in bezug auf den Sauerstoffgehalt einzuhalten gilt, weichen stark voneinander ab: Bidlingmaier (1983) sieht bei einer Unterschreitung eines Sauerstoffgehaltes von weniger als 10 Prozent eine Belüftung des zu kompostierenden Materials als notwendig an, während de Bertoldi et al. (1983) mindestens einen Sauerstoffgehalt von 18 Prozent in der Abluft fordern.

2.1.4 pH-Wert

Allen Mikroorganismen ist es möglich, innerhalb eines bestimmten pH-Wert- Bereiches zu bestehen. Dabei ist jedoch ein bestimmter Wert für die jeweilige Art als optimal anzusehen. Nach Brock und Madigan (1991) besitzen die meisten Lebensräume einen pH-Wert von 5,0 bis 9,0, der optimale Bereich für Mikroorganismen ist ebenfalls in diesem Bereich anzusiedeln.

Es ist jedoch möglich, organisches Material, dessen pH-Wert innerhalb einer Spanne von 3,0 bis 11,0 liegt, zu kompostieren (de Bertoldi et al. 1983). Dabei gilt es bei dem Kompostierungsprozeß zu beachten, daß es Pilzen möglich ist, innerhalb einer Spanne von 5,5 bis 8,0 leben zu können, während bei den Bakterien nur ein pH-Wert von 6,0 bis 7,5 als optimal angesehen werden kann (Golueke 1989).

Tab. 2.1.4-1: pH-Werte verschiedener Materialien

	pH-Wert	Literatur
Frischschlamm	5,0-6,5	Haug 1980
Faulschlamm	7,0-8,0	Haug 1980
Sägemehl von Pappelholz	8,5-8,9	Viel et al. 1987
Organische Fraktion des Mülls	6,1	de Bertoldi et al. 1982
Gemüseabfälle vom Markt	4,7	Vallini und Pera 1989
Biomüll, mehrgeschossige Bebauung	5,5	Anonymus 1986
Biomüll, Einzel- und Reihenhausgebiet	5,5	Anonymus 1986

Häufig ist zu Beginn des Kompostierungsprozesses ein niedriger pH-Wert von 4,0 bis 6,0 festzustellen. Dies ist auf die einsetzenden anaeroben Vorgänge bzw. eine unvollständige Oxidation infolge Sauerstoffmangel während der Lagerung in den Biotonnen zurückzuführen, da diese oft nur in einem mehrwöchigen Rhythmus geleert werden (Helm 1995).

Zu Beginn des Kompostierungsprozesses sinkt der pH-Wert zuerst leicht ab. Dies ist auf die Bildung organischer Säuren sowie auf eine vermehrte CO₂-Produktion zurückzuführen (Jourdan 1988). Auch Golueke (1977) führt dies neben der vermehrten Säurebildung auf eine unvollständige Oxidation infolge einer Sauerstoffunterversorgung zurück.

In der thermophilen Phase kann dann wieder ein Ansteigen des pH-Wertes beobachtet werden. Dies geschieht durch Abbau oder auch durch Verdunstung der organischen Säuren aufgrund der höheren Temperaturen (Finstein und Morris 1975), (Mayer 1990). Gegen Ende der Kompostierung ist es noch einmal möglich, daß der pH-Wert durch die verstärkte Bildung von Huminsäure leicht unter 7,0 sinken kann (Rexilius 1990).

Der pH-Wert kann als Indikator für die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen angesehen werden, da bei einem geringen Sauerstoffgehalt von nur 2,0 Prozent in der Abluft ein deutlich geringerer pH-Wert gemessen wird, als bei einem Sauerstoffgehalt von 10 Prozent (Suler und Finstein 1977).

2.1.5 C/N – Verhältnis

Die für die Kompostierung notwendige Menge an Nährstoffen ist einmal von der chemischen Zusammensetzung der sie abbauenden Mikroorganismen abhängig und wird zweitens von den weiteren Elementen, die für den Kompostierungsprozeß bzw. den Stoffwechsel der Mikroorganismen wichtig sind, bestimmt. Man unterscheidet zwischen Mikro- und Makronährstoffen, dabei zählt der Stickstoff zu der letzteren Gruppe (Golueke 1977).

Nach Gray und Biddlestone (1973) liegen die C/N–Werte verschiedener Kompostrohstoffe weit auseinander.

Tab. 2.1.5-1: Schwankungen des C/N-Verhältnisses bzw. des N-Gehaltes verschiedener Kompostrohstoffe (Gray und Biddlestone 1973)

Substrat	N (% d. TS)	C/N – Verhältnis
Urin	15-18	0,8
Klärschlamm	5-6	6
Frischer Grasschnitt	4	12
Älterer Grasschnitt	2-4	19
Kartoffelschalen	1,5	25
Hausmüll	1,05	34
Weizenstroh	0,3	128

Das C/N–Verhältnis wird häufig als Maß für die Kompostierbarkeit organischer Stoffe herangezogen, um zu überprüfen, ob den Mikroorganismen für den weiteren Zellaufbau und damit dem Abbau des Substrates genügend Stickstoff zur Verfügung steht (Helm 1995).

Die Mikroorganismen selbst besitzen ein C/N–Verhältnis von 5 : 1 bis 7 : 1 (Grabbe 1988). Für einen weiteren Zellaufbau benötigen die Mikroorganismen ein C/N–Verhältnis von 25 : 1 bis 35 : 1, da das Verhältnis vom Bau- zum Betriebs-stoffwechsel in etwa 1 : 4 bei den Mikroorganismen beträgt (Glathe und Farkasdi 1966).

Für die meisten zu kompostierenden Materialien wird ein optimales C/N–Verhältnis von 25 : 1 bis 30 : 1 angenommen, bei Chargen, die einen hohen Anteil an Holz besitzen, wird noch ein C/N–Verhältnis von 40 : 1 als optimal angesehen (Golueke 1977).

Der fertige Kompost sollte auf jeden Fall über ein C/N–Verhältnis > 20 verfügen, um dem Stickstoffentzug aus dem Boden entgegenzuwirken (Bilitewski 1994), während ein C/N–Verhältnis im Fertigkompost von weit über 20 bis 40 eine Festlegung des Stickstoffs im Boden bewirkt und den Pflanzen ein Stickstoffmangel droht (Ebertseder und Gutser 1994).

2.2 Verfahren der Kompostierung

Die technische Kompostierung besteht bei den bisher angebotenen Systemen aus drei Verfahrensschritten: Grobaufbereitung, Kompostierung sowie der Feinaufbereitung.

Der wichtigste Verfahrensschritt ist der Kompostierungsprozeß, der sich wiederum in zwei Phasen aufteilen läßt. Man unterscheidet hier zwischen der Vor- und der Nachrotte (Bilitewski 1994). Die Vorrotte wird oft auch Intensivrotte genannt, da meistens nur in diesem Verfahrensschritt versucht wird, auf den Kompostierungsprozeß durch unterschiedliche Maßnahmen wie Belüften und Befeuchten regulierend einzuwirken. Des weiteren gilt es auch zu unterscheiden, ob das Material während des Kompostierungsvorgangs in der Intensivphase bewegt, also umgesetzt wird. So spricht man zum Beispiel bei der Trommelkompostierung von einer dynamischen Rotte, da hier ein fortwährender Umsetzungsvorgang stattfindet. Darüber hinaus unterscheidet man noch zwischen den statischen, wo während der betreffenden Intensivphase nicht umgesetzt wird und den quasidynamischen Systemen, bei denen bei Bedarf - meistens im Wochenabstand – das Material umgesetzt wird (Ottow und Bidlingmaier 1997).

Der zweite Teil des Kompostierungsvorgangs findet bei fast allen angebotenen Systemen durch eine nicht näher überwachte offene Mietenkompostierung statt.

Es werden auch einphasige Systeme angeboten, bei denen das Kompostmaterial während des gesamten Kompostierungsprozesses nur eine Behandlungsstufe durchläuft. Dabei handelt es sich meistens um geschlossene Mietenkompostierungssysteme in Hallen, in denen die gesamte ca. zwölfwöchige Rottephase stattfindet.

Der im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Stand der Prozeßsteuerung bezieht sich somit auf die Intensivphase bzw. auf die einphasigen Systeme. Die verschiedenen angebotenen Intensivrottesysteme bzw. einphasigen Behandlungsstufen lassen sich in sieben Baumusterkategorien einteilen (Bundesgütegemeinschaft Kompost 1996), die in den folgenden Abschnitten näher beschrieben werden.

2.2.1 Baumusterkategorie I: Boxen- und Containerverfahren

Rotteboxen und –container sind geschlossene Kammern, in denen das vorher in der Grobaufbereitung behandelte Material durch eine geregelte Belüftung etwa 10 bis 14 Tage behandelt wird, um anschließend zu einer mehrwöchigen Nachrotte auf Mieten aufgeschichtet zu werden. Das Material wird meistens durch eine Druckbelüftung, die von unten erfolgt, belüftet. Die Boxen- oder Containerkompostierung zählt zu den statischen Kompostierungsverfahren, da innerhalb der geschlossenen Kammern keine Umsetzungen durchgeführt werden. Daher ist es nach ca. 2 Wochen nötig, die Intensivrotte auslaufen zu lassen, da nach dieser Zeit die Gefahr besteht, daß sich Luftkanäle innerhalb des Materials gebildet haben könnten und somit eine gleichmäßige Belüftung nicht mehr gewährleistet wäre. Ferner ist es bei den meisten Systemen dieser Baumusterkategorie nicht möglich, während des Prozesses auf den Feuchtegehalt des Materials Einfluß zu nehmen. Daher besteht bei vielen dieser Anlagen häufig die Gefahr der Austrocknung.

Ein Hersteller bietet alternativ zu seinem statischen etwa zehn Tage dauernden Intensivrotteverfahren an, das Material nach einem ersten Aufenthalt in der Rottebox ein zweites Mal aufzuarbeiten, zu durchmischen und zu befeuchten, um es dann ein weiteres Mal der Behandlung über zehn Tage in der Rottebox auszusetzen.

Nur ein Hersteller bietet ein quasidynamisches System an, bei dem nach Erreichen einer bestimmten Temperatur innerhalb der Rottekammer das Material mit Hilfe einer Vorrichtung umgesetzt wird, um so eine längere Intensivphase zu ermöglichen.

2.2.2 Baumusterkategorie II: Brikollare-Kompostierung

Der Bioabfall wird durch die Brikollare-Presse zu quaderförmigen Preßlingen von etwa 30 kg Gewicht geformt. Anschließend erfolgt eine Aufschichtung von mehreren Preßlingen auf Paletten, die wiederum über drei Etagen in einer Rottekammer übereinandergestapelt werden. Innerhalb dieser Rottekammern wird die Prozeßluft um die Preßlinge geführt. Die Preßlinge verfügen durch den Pressvorgang über gebildete Kapillare, durch die Prozeßluft auch in das Innere des Quaders eindringen kann, so daß im Innern des Materials eine ausreichende Durchlüftung gewährleistet ist. Nach einer ca. sechswöchigen Rotte besitzt der Kompost einen Rottegrad von III-IV. Zur Nachrotte auf offenen Mieten werden die Preßlinge zerkleinert und das nun wieder lockere Material bei Bedarf befeuchtet (Linder 1995).

2.2.3 Baumusterkategorie III: Zeilen- und Tunnelkompostierung

Teilt man eine große Tafelmiete durch den Einbau von Wänden längs, so erhält man ein Zeilensystem. Jede Zeile ist für sich alleine regelbar. Dies geschieht durch Saug- oder Druckbelüftung. Bei den Zeilensystemen ist es je nach Bauart möglich, entweder chargenweise zu kompostieren, d.h. Beschickung und Entnahme des Materials geschehen an einem Ende der Zeile, während das andere Ende geschlossen ist, oder kontinuierlich die Anlage mit dem Material an der vorderen Seite zu beschicken und am Ende der Zeile den fertigen Kompost zu entnehmen. Je nach Stand der Automatisierung kommen hierzu teil- oder vollautomatische Umsetzmaschinen zum Einsatz, die auf den Zeilenwänden geführt werden und so den Kompost über die Dauer der Rotte von vorne nach hinten befördern (Helm 1995).

Beim Tunnelverfahren handelt es sich eigentlich um eine mit einer Decke versehenen Zeilenkompostierung. Die gekapselte Tunnelkompostierung hat gegenüber der Zeilenkompostierung genau wie die Boxen- und Containerkompostierung den Vorteil, daß ein Umluftbetrieb in einem relativ kleinen Luftstromkreislauf gefahren werden kann. Dies macht sich besonders in einer kleineren Menge zu behandelnder Abluft bemerkbar.

2.2.4 Baumusterkategorie IV: Trommelverfahren

Die dynamische Kompostierung mittels einer Rottetrommel wird für die Dauer der Intensivphase eingesetzt. Ihr größter Vorteil liegt in der ständigen Durchmischung und somit Homogenisierung des Materials. Es ist sowohl eine chargenweiser Betrieb als auch eine kontinuierliche Beschickung der Anlage möglich.

Nach der Intensivphase ist eine mehrwöchige Nachrottephase auf Mieten nötig, da infolge der ständigen Durchmischung sich im Material keine Pilze bilden können, die zur Umsetzung schwer abbaubarer Stoffe unbedingt gebraucht werden (Thome´ Kozmiensky 1995).

2.2.5 Baumusterkategorie V: Geschlossene Mietenkompostierung

Bei der geschlossenen Mietenkompostierung werden Trapez- oder Tafelmieten innerhalb einer großen Halle aufgeschichtet. Hierbei handelt es sich um ein einphasiges Kompostierungsverfahren, da verfahrenstechnisch kein Unterschied zwischen der Intensiv- und der Nachrotte besteht. Die Umsetzung erfolgt hier meist mit großen, fest in die Halle integrierten Umsetzgeräten, die teilweise an die aus dem Braunkohletagebau bekannten Schaufelradbagger erinnern. Die Belüftung der Mieten kann sowohl durch Druck- als auch durch eine Saugbelüftung erfolgen. Dabei gilt es die Gefahr der Korrosion durch die aus der Miete austretenden Gase bei einer Druckbelüftung innerhalb der Halle zu bedenken. Der gesamte Rotteverlauf dauert in der Regel zwölf Wochen, dabei wird meist wöchentlich umgesetzt.

2.2.6 Baumusterkategorie VI: offene Mietenkompostierung

Die älteste Form der Kompostierung ist die Kompostierung im Freien. Dieses Verfahren benötigt einen geringen Einsatz an Technik, trotzdem können große Inputmengen von mehr als 50.000 Mg/a durchgesetzt werden. Dies ist allein von den Platzverhältnissen abhängig (Wiemer und Kern 1996). Meistens werden die Mieten mittels eines Radladers oder bei großen Höhen der Mieten mit Transportbändern aufgeschichtet. Auch die Umsetzung wird oft mit Radladern oder speziellen Umsetzgeräten durchgeführt.

Man unterscheidet zwischen Dreiecksmieten und auf der oberen Seite geglättete Trapezmieten. Ist die obere Seite der Miete gewölbt, spricht man von einer Walmmiete. Trapezmieten, die eine größere Grundseite als 10 m besitzen, werden als Tafelmieten bezeichnet (Helm 1995).

Bei Mietenhöhen von bis zu 1,50 m ist die Sauerstoffversorgung, sowie die Wärmeableitung durch die regelmäßigen Umsatzvorgänge gewährleistet. Bei größeren Höhen kann eine zusätzliche Zwangsbelüftung vom Fuße der Miete aus notwendig werden (Emberger 1993).

2.2.7 Baumusterkategorie VII: Turmkompostierung

Die Turmkompostierung besteht aus einem mehr als 1.000 m³ fassenden Reaktor der von oben kontinuierlich beschickt wird. Die Entnahme erfolgt nach einer etwa zweiwöchigen Intensivrotte am unteren Ende des Reaktors. Die erforderliche Belüftung erfolgt vom Boden aus. Nach Durchlaufen des Rotteturms ist noch eine Nachrotte nötig, diese kann wahlweise auf einer konventionellen offenen Miete stattfinden oder das Material durchläuft zur Nachrotte einen zweiten Rotteturm, der nach dem selben Prinzip des Intensivrotteturms arbeitet, aber größer dimensioniert werden muß, da die Nachrotte wesentlich mehr Zeit als die Intensivrotte beansprucht (Thome´ Kozmiensky 1995).

Dieses Verfahren wurde ursprünglich für die Kompostierung von Klärschlämmen entwickelt. Eine erste Anlage wurde jedoch für die Kompostierung von Bioabfällen 1995 errichtet (Firmenmitteilung der Fa. Steinmüller / Rompf 1997).

2.3 Messen

Um einen Prozeß steuern bzw. regeln zu können, ist es nötig, die ihn beeinflussenden Größen zu erfassen, um diese anschließend regulieren zu können. Bei einigen Kompostierungsanlagen findet eine kontinuierliche Messung der Temperatur sowie des O₂- und CO₂-Gehaltes statt. Die beiden übrigen Parameter, wie der Wassergehalt und der pH-Wert, werden nach erfolgter Probenentnahme im Labor bestimmt. In den folgenden Abschnitten wird auf die Messung von Temperatur sowie CO₂ und O₂ eingegangen. Dazu wurde die Literatur der nachfolgend aufgeführten Autoren ausgewertet: (Bonfig 1993), (Gruber und Klein 1992), (Kronmüller und Barakat 1974), (Profos und Pfeifer 1994), (Profos und Pfeifer 1997), (Schiessle 1992), (Schnell 1993) sowie (Schulz 1991).

2.3.1 Temperaturmessung

Die Temperatur ist eine der wichtigsten Größen in Natur und Technik. Bei der Kompostierung ist sie einer der wichtigsten Parameter, die es ständig zu überprüfen gilt. Bei der Messung der Temperatur bedient man sich verschiedener physikalischer Eigenschaften von Meßkörpern, deren Reaktion auf Temperaturänderungen bekannt ist. So wird beispielsweise die Längenänderung, die Volumenänderung oder die Änderung des elektrischen Widerstandes aufgrund einer Temperaturänderung gemessen. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Berührungsthermometern und Strahlungsthermometern, die auf der Infrarottechnik beruhen und in Kompostierungsanlagen noch nicht eingesetzt werden.

Bei der Messung mit Hilfe eines Berührungsthermometers steht dieses mit dem zu messenden Material direkt in Kontakt, so daß es sehr schnell dessen Temperatur annehmen kann. Der Temperaturengleich erfolgt über die Konvektion, die Wärmeleitung sowie der Wärmestrahlung. Durch den Temperaturengleichvorgang ist die Messung durch ein Berührungsthermometer ein sogenanntes Nullverfahren, das heißt, die Temperaturdifferenz zwischen dem Thermometer und dem zu messenden Material sollte nach einer gewissen Zeit des Angleichens Null betragen.

Berührungsthermometer werden in zwei Gruppen unterteilt: in die mechanischen Berührungsthermometer und in die elektrischen Berührungsthermometer. Zur ersten Gruppe gehört beispielsweise das bekannte Fieberthermometer, das auf der Ausdehnung des Quecksilbers beruht. Nun ist es aber ersichtlich, daß es sehr umständlich wäre, die Ausdehnung in ein elektrisches Signal umzuwandeln, das vom Leitsystem einer Anlage empfangen und ausgewertet werden kann. Deshalb werden heute in der Prozeßtechnik elektrische Berührungsthermometer eingesetzt. Diese sind in der Lage, direkt den gemessenen Wert, welcher eine elektrische Größe ist, an das Leitsystem der technischen Anlage weiterzuleiten. Berührungsthermometer haben oft die Form eines Stabes an dessen Ende sich der Meßwertaufnehmer befindet. Zum Schutz vor eventuellen Beschädigungen befinden sich die Elemente in einem Hüllrohr. Möchte man aber zum Beispiel ein Temperaturprofil über die Höhe einer Kompostmiete ermitteln, so wählt man Temperaturstäbe, über deren Länge mehrere Meßwertaufnehmer verteilt sind. Bei den elektrischen Berührungsthermometern wird zwischen Widerstandsthermometern und Thermoelementen unterschieden.

2.3.1.1 Widerstandsthermometer

Im allgemeinen erhöht sich der elektrische Widerstand eines Metalls mit der Temperatur. Bei bekannter Abhängigkeit des Widerstandes eines Materials läßt sich durch eine geeignete Widerstandsmessung auf die Temperatur des bestimmten Materials und somit auch auf die Temperatur der näheren Umgebung schließen. Besondere Bedeutung für die Temperaturmessung haben Widerstände aus sehr dünnen Nickel- oder Platindrähten, die auf einen isolierenden Grundkörper gewickelt wurden. Für diese beiden Metalle ist es typisch, daß sie bei der Grundtemperatur von 0° C einen Widerstand von 100 Ω besitzen. Man spricht daher von Pt-100 oder Ni-100 Widerständen.

In der DIN IEC 751 (Deutsches Institut für Normung 1983) ist eine Formel beschrieben, mit deren Hilfe man berechnen kann, inwieweit sich der Widerstandswert eines Pt-100 Widerstandes bei steigender Temperatur ändert:

$$R = 100 * (1 + 3,90734 * 10^{-3} * t + 5,78408 * 10^{-6} * t^2)$$

Wird die Temperatur t in °C eingesetzt, erhält man für den Wert des Widerstandes R die Dimension Ω.

Aufgrund des gemessenen Widerstandes läßt sich so leicht auf die am Meßort vorherrschende Temperatur schließen. Die Widerstandsmessung gehört zu den passiven Meßmethoden, d.h. es muß von außen elektrische Energie hinzugefügt werden, um den zur Zeit vorherrschenden Widerstand innerhalb des Meßwert-aufnehmers messen zu können.

2.3.1.2 Thermoelemente

Verbindet man zwei Drähte unterschiedlichen Metalls miteinander, ist es möglich, am anderen Ende der beiden Drähte die sogenannte Kontaktspannung U zu messen, die sich proportional zur Temperatur T am Kontaktpunkt der beiden Drähte verhält.

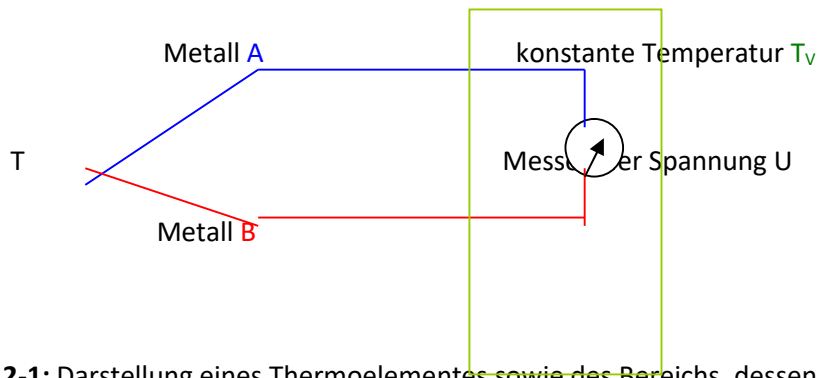


Abb. 2.3.1.2-1: Darstellung eines Thermoelementes sowie des Bereichs, dessen Temperatur mit Hilfe eines Thermostates auf T_v konstant gehalten wird.

Da die Zahl der freien Elektronen in den einzelnen Metallen unterschiedlich groß ist, findet bei Berührung ein Elektronenaustausch statt. Dadurch entsteht eine Berührungsspannung. Diese hängt von dem Temperaturunterschied zwischen der Kontaktstelle und dem restlichen Teil des Thermoelementes ab. Sie wird deswegen auch Thermospannung genannt. Darüber hinaus ist sie davon abhängig, welche Materialkombinationen verwandt werden. In einem geschlossenen Stromkreislauf ist es dann möglich, diese Spannung U zu messen, um auf die Temperatur am Verbindungspunkt der beiden Metalle schließen zu können.

Es besteht folgende Beziehung zwischen der gemessenen Spannung U und den anderen Größen:

$$U = K_{ab} \cdot (T - T_v)$$

K_{ab} benennt eine sogenannte Thermoempfindlichkeit für bestimmte Materialkombinationen, die in der DIN 43710 (Deutsches Institut für Normung 1977) nachzulesen sind. Die Materialkombination aus Eisen und Konstantan beispielsweise hat die Thermoempfindlichkeit von 5,37 mV/grad. T_v ist die Vergleichstemperatur, die an diesem Teil des Thermoelementes durch einen Thermostaten konstant gehalten wird. Meistens handelt es sich hierbei um eine Temperatur von 50° C.

2.3.2 Sauerstoffmessung

Sauerstoff ist im Gegensatz zu anderen Gasen paramagnetisch, d.h. es besitzt eine höhere Dichte an magnetischen Kraftlinien als andere Gase. Paramagnetische Körper haben die Eigenschaft, in das Zentrum eines vorhandenen Magnetfeldes mit Hilfe einer Kraft, der sogenannten magnetischen Suszeptibilität κ , beschleunigt zu werden. Paramagnetische Körper besitzen eine positive Suszeptibilität. Im Gegensatz dazu besitzen diamagnetische Körper, die dazu tendieren, aus dem Magnetfeld getragen zu werden, eine negative Suszeptibilität.

Unter den gasförmigen Stoffen besitzen nur drei Gase eine positive magnetische Suszeptibilität. Bei Berechnungen und in der Literatur wird aber immer die spezifische Suszeptibilität $\chi = \kappa / \rho$ [-] angegeben, die sich auf die Dichte des zu betrachteten Stoffes bezieht. So besitzt der Sauerstoff eine große spezifische Suszeptibilität von +107.78, Stickstoffoxid +48.70 und Stickstoffdioxid eine spezifische Suszeptibilität von +3.26. Alle anderen Gase besitzen eine negative Suszeptibilität und sind somit diamagnetisch.

Diese besondere Eigenschaft des Sauerstoffs lässt sich meßtechnisch ausnutzen. Wird der paramagnetische Sauerstoff in ein Magnetfeld getragen, so strebt er danach, in das Zentrum dieses

Magnetfeldes zu gelangen. Ein hantelförmiger Vergleichskörper von geringerer Suszeptibilität als der Sauerstoff, der genau in diesem Zentrum des Magnetfeldes an einer Achse arretiert wurde und sich durch ein Kräftegleichgewicht im Ruhezustand befand, erfährt nun eine Kraft, die ihn zum Rand des Magnetfeldes in Form einer Drehung führen möchte, um dem Sauerstoff zu weichen.

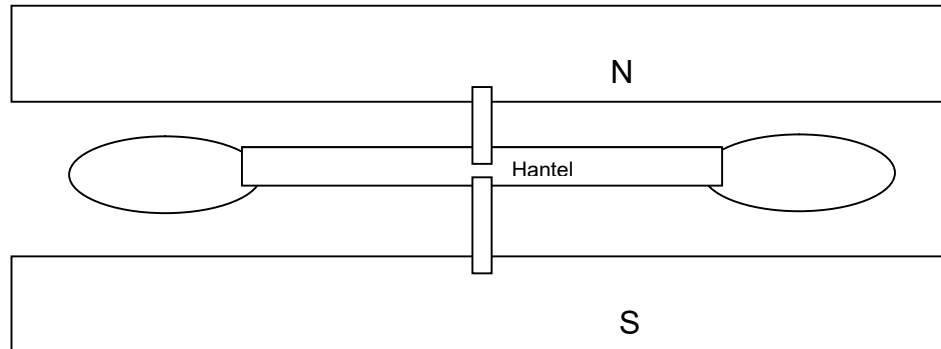


Abb. 2.3.2-1: Schematische Darstellung einer Meßkammer zur Sauerstoffanalyse

In den Meßgeräten wurden jedoch an den Vergleichskörpern Leiter befestigt, durch die sich bei Bedarf ein elektrischer Strom leiten läßt. Dadurch verfügen die Körper über ein künstliches Netz an magnetischen Kraftlinien, die je nach Sauerstoffgehalt des eingeleiteten Meßgases durch Anpassung der Stromstärke verstärkt werden können, so daß sich zwischen dem paramagnetischen Sauerstoff und sich dem nun wieder in Ruhe und in der Ausgangslage befindlichen Körper ein Kräftegleichgewicht einstellt.

Die Stromstärke, die aufgebracht werden muß, um den Körper wieder in seine alte Ausgangslage zu versetzen, wird gemessen und ist ein proportionales Maß für den Sauerstoffanteil im Meßgas.

Andere Analyseverfahren setzen der gemessenen Drehung der Achse, bzw. dem an der Achse wirkenden Drehmoment einen proportionalen Wert des Sauerstoffanteils im Meßgas gleich.

2.3.3 CO₂ – Messung

Der CO₂-Anteil eines Meßgases wird häufig durch die Wärmeleitfähigkeit des betreffenden Meßgases bestimmt. Die Meßanordnung besteht aus vier Kammern, durch die jeweils ein Heizdraht gleichen Materials geführt wurde. Die sich jeweils gegenüberliegenden Kammern sind mit dem gleichen Gas gefüllt: die einen mit einem Vergleichsgas und die beiden anderen Kammern mit dem Meßgas. Diese Versuchsanordnung wird auch als Wheatstonsche Brücke bezeichnet. Alle vier Kammern sind innerhalb eines Stromkreises miteinander verbunden.

Durch die vier Heizdrähte wird ein elektrischer Strom geleitet, der eine Erhitzung der Drähte bewirkt. Somit wird auch Wärme auf die Heizdrähte umgebenden Gase abgeleitet. Je nach Gas ist diese Wärmeableitung unterschiedlich. Wenn das Meßgas eine größere Wärmeleitfähigkeit als die des Vergleichsgases besitzt, dann ist die Temperatur des Heizdrahtes geringer als wäre er vom Vergleichsgas umgeben und umgekehrt. Daher steht die Temperatur der Heizdrähte in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des sie umgebenden Gases.

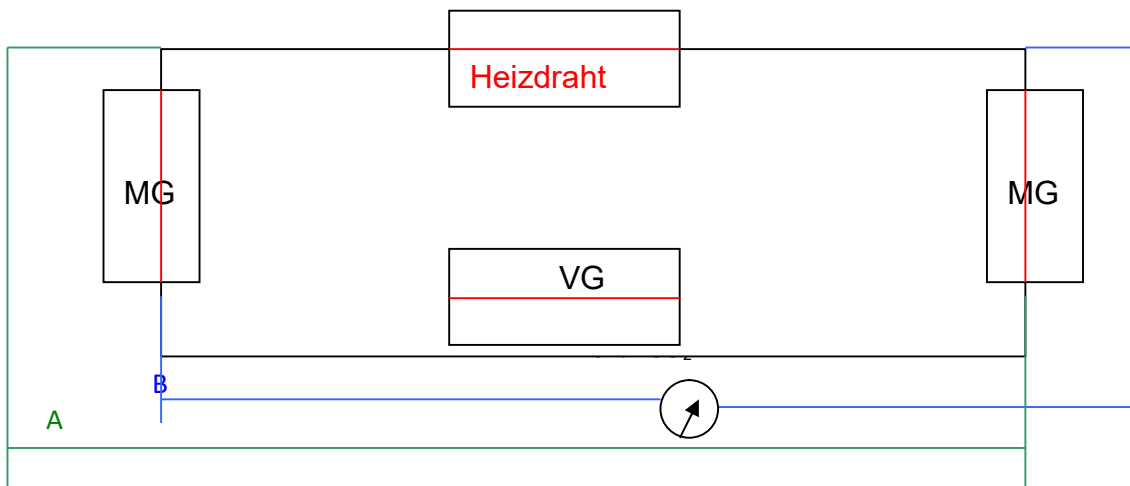


Abb. 2.3.3-1: Schematische Darstellung einer Wärmeleitfähigkeitsmeßbrücke zur Analyse des CO₂-Gehaltes

Wie bei den Widerstandsthermometern in Kapitel 2.3.1.1 beschrieben, ändert sich bei wechselnden Temperaturen auch der Widerstand des betreffenden Leiters und somit auch die Stromstärke, die man messen kann.

Während die Stromstärke mit Hilfe eines Reglers im Vergleichsstromkreis A ständig konstant gehalten wird, variiert die Stromstärke im Meßstromkreis B aufgrund der veränderten Widerstände der vom Meßgas umgebenen Heizdrähte. Man spricht von einer Verstimmung der Meßbrücke. Die im Stromkreis B gemessene Stromstärke verhält sich proportional zum CO₂-Anteil des Meßgases.

Das Messen einer bestimmten Gaskonzentration ist immer nur dann mit dem Verfahren der Wärmeleitfähigkeit möglich, wenn die anderen Gase, die ebenfalls noch im Meßgas enthalten sind, eine nahezu gleiche Wärmeleitfähigkeit besitzen. Bei der CO₂-Messung im Rauchgas handelt es sich zum Beispiel von der Wärmeleitfähigkeit her gesehen um ein binäres Gasmisch. Während CO₂ eine Wärmeleitfähigkeit von 1450 W/mK besitzt, betragen die Wärmeleitwerte der übrigen wichtigen Komponenten eines Rauchgases Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenmonoxid annähernd 2400 W/mK. In diesem Fall ließe sich beispielsweise mit dem Verfahren der Wärmeleitfähigkeit der Sauerstoffgehalt nicht einzeln analysieren. Dieses Verfahren ist nämlich aufgrund der annähernd gleichen Wärmeleitwerte von Sauerstoff, Kohlenmonoxid und Stickstoff nicht in der Lage, diese drei Gase auseinanderzuhalten.

2.4 Steuern

In der DIN 19226, Teil 1 u. Teil 4 (Deutsches Institut für Normung 1984) wird die Steuerung wie folgt definiert:

„Das Steuern, die Steuerung, ist der Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen auf Grund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeit beeinflussen. Kennzeichen für das Steuern ist der offene Wirkungsweg oder ein geschlossener Wirkungsweg, bei dem die durch die Eingangsgrößen beeinflussten Ausgangsgrößen nicht fortlaufend und nicht wieder über dieselben Eingangsgrößen auf sich selbst wirken.“

Kennzeichen einer Steuerung ist, daß es sich hier um einen offenen Wirkungsweg handelt, da bei der Steuerung die Konsequenz der eingeleiteten Maßnahmen auf die Steuerungsgröße nicht gemessen und somit auch nicht an das Leitsystem zurückgemeldet wird. Man spricht hier von einer

Steuerungskette. Bei einer Prozeßsteuerung werden immer nur die Störgrößen, die auf das System einwirken gemessen. Es ist offensichtlich, daß eine Steuerung immer nur dann zum Einsatz kommt, wenn genau bekannt ist, zu welchem Ergebnis eine eingeleitete Maßnahme führen wird. Es muß also eine bestimmte Gesetzmäßigkeit innerhalb des vorhandenen Systems bestehen. Auf weitere Störgrößen außer den gemessenen kann eine Steuerung nicht reagieren.

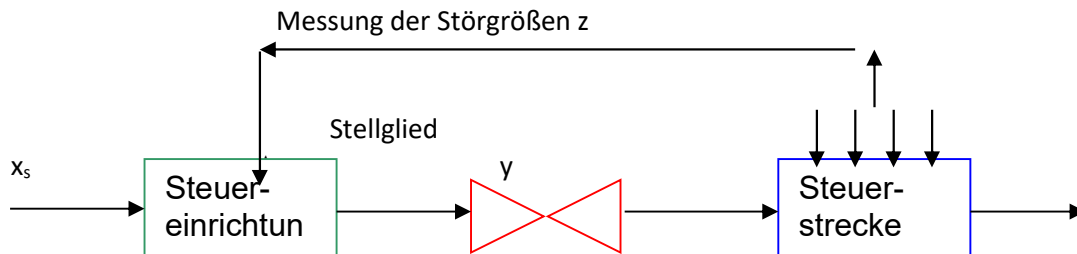


Abb 2.4-1: Darstellung einer Steuerkette mit Messung der Störgrößen z

Als Beispiel soll hier die Steuerung einer Innentemperatur (x) innerhalb eines Hauses dienen, die über die Außentemperatur (z) gesteuert wird. Der Außenfühler meldet dem Steuerungssystem im Heizungskeller, daß die Außentemperatur z. B. 5°C beträgt. Daraufhin veranlaßt die Steuerung aufgrund eines Steuerungsprogramms, das einer bestimmten Außentemperatur eine bestimmte Temperatur des Heizwassers (y) zuordnet, die weitere Erwärmung ($\pm \Delta y$) des Heizwassers, so daß im Innenbereich eine bestimmte Temperatur (Sollwert x_s) ermöglicht wird. Die eigentliche Steuerungsgröße, die optimiert werden soll, nämlich die sich tatsächlich einstellende Innentemperatur (x) wird also nicht gemessen. Dies hat zur Folge, daß zum Beispiel bei geöffneten Fenstern, was eine Temperaturabsenkung innerhalb des Hauses bewirken würde, die Steuerungseinheit nicht reagieren würde.

Daher ist es ersichtlich, daß es sich bei der Prozeßsteuerung der Kompostierung nicht um eine Steuerung handeln kann, da hier die Größen, die durch das Prozeßleitsystem beeinflusst werden, wie zum Beispiel Temperatur und Atmung, aufgrund einer noch fehlenden Gesetzmäßigkeit auch überwacht werden müssen, es muß also eine Rückmeldung zum Leitsystem erfolgen, was bei einer Steuerung nicht der Fall ist.

2.5 Regeln

Das Wort „Regeln“ mit seinen verschiedenen Abwandlungen wird in unserem Sprachgebrauch täglich verwendet. Unter dem Begriff „Regeln“ ist die Herstellung oder Bewahrung einer wünschenswerten Situation, die durch störende Einflüsse von innen oder von außen in Unordnung geraten ist, zu verstehen. Dabei ist es notwendig, den gestörten Zustand zu erkennen und die Gegenmaßnahmen an der richtigen Stelle und in der richtigen Stärke anzuwenden. Maßnahmen, die zu spät kommen, die zu schwach oder zu stark dosiert sind, können mehr Schaden anrichten als positive Ergebnisse erzielen.

In der Natur läßt sich eine große Anzahl an Regelungsvorgängen finden, die teils unbewußt teils bewußt ablaufen (Mittelstaedt 1961). Als Beispiele dienen hier die helligkeitsabhängige Pupillenöffnung der Augen oder die „automatischen“ Regelungen von Blutdruck, Blutzuckergehalt sowie Atmung und Temperatur im menschlichen Körper.

Eine ähnliche Situation wie in der Natur findet sich auch im technischen Bereich. Technische Geräte werden konstruiert, damit sie einen bestimmten Zweck erfüllen. Ein Kraftwerkskessel etwa, um

Dampf mit einem gewünschten Druck- und Temperaturzustand und in einer vorgegebenen Menge zu erzeugen. Selbst bei zu Anfang optimalen Bedingungen könnte der Kessel diese Aufgabe nur eine kurze Zeit zur Zufriedenheit des Betreibers erfüllen, da viele Störeinflüsse, wie z. B. ein veränderlicher Heizwert des Gases, unterschiedliche Vorlauftemperaturen des zu verdampfenden Wassers, den Prozeß negativ beeinflussen würden, wenn diese nicht durch ständige Regeleingriffe des Regelungssystems ausgeglichen würden, z. B. durch das Anpassen des Gasvolumenstroms.

Um in den folgenden Abschnitten detaillierter auf die Prozeßregelung eingehen zu können, wurde neben den im Text zitierten Normen eine Auswertung folgender Literatur vorgenommen: (Dörscheidt und Latzel 1993), (Föllinger 1994), (Karg 1992), (Krist 1987), (Mann et al. 1997), (Reuter 1994), (Schneider 1994), sowie (Unger 1990).

2.5.1 Aufgabe der Regelung

Nach DIN 19226 (Deutsches Institut für Normung 1984) ist das Regeln – die Regelung – ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (z. B. die Temperatur innerhalb der Kompostmiete) fortlaufend erfaßt und mit einer anderen vorgegebenen Größe gleicher Art (also auch der Temperatur, hier der Solltemperatur = Führungsgröße) verglichen wird. Abhängig vom Ergebnis dieses Vergleichs wird durch den Regelvorgang eine Angleichung der zu regelnden Größe an den Wert der vorgegebenen Größe vorgenommen, indem eine dritte Größe, die Stellgröße, (z. B. bei der Kompostierung der Luftvolumenstrom) den gegebenen Umständen angepaßt wird.

Die zu regelnde Größe wird als Regelgröße x bezeichnet. Regelgrößen sind also z. B. Temperaturen, Drehzahlen, elektrische Spannungen usw. Bei der Kompostierung bieten sich folgende Parameter als Regelgrößen an: Neben der bereits erwähnten Temperatur ist es noch möglich, über den Sauerstoff-, den CO_2 - sowie den Wassergehalt in der Miete oder in der Abluft zu regeln.

Die Regelgröße wird im allgemeinen von einer Vielzahl von Größen beeinflusst. Ändern sich diese Größen, so ändert sich auch die Regelgröße. Zur Verdeutlichung soll hier ein Gasofen einer Heizung dienen: Die Temperatur, die innerhalb des Ofens herrschen soll, ist hier abhängig von dem Heizwert des Gases, dem Druck, den die Verdichtungspumpen des Gasversorgers versuchen konstant zu halten, sowie die unterschiedlichen Umgebungstemperaturen, die z. B. von unterschiedlichen Witterungsverhältnissen abhängig sein können. Auf die meisten der oben erwähnten Größen hat der Betreiber des Ofens keinen oder einen nur eingeschränkten Einfluß. Man bezeichnet diese Größen als Störgrößen z , da sie in der Lage sind, die Regelgröße x zu verändern, ohne daß dies erwünscht ist. Um dem entgegenzuwirken, versucht man mit Hilfe einer dritten Größe, der Stellgröße y , die ständig den gegebenen Umständen angepaßt wird, die Regelungsgröße möglichst konstant zu halten und nur wenig vom gewünschten Wert, der Führungsgröße w (des öfteren findet man in der Literatur statt des Buchstabens w den Ausdruck x_s , welcher für Sollwert der Regelgröße x steht) abweichen zu lassen. Beim Gasofen würde man den Gasvolumenstrom als Stellgröße wählen, den man bei Bedarf so verstellt, daß sich trotz der Störungen die Temperatur innerhalb des Ofens nicht ändert.

Eine Regelung ist aber nur dann notwendig, wenn die Störgrößen sich des öfteren ändern, denn wenn diese konstant bleiben, nimmt auch die Regelgröße immer den Wert der gewünschten Führungsgröße an. Ist es zum Beispiel im Heizungsraum, in dem sich der oben beschriebene Gasofen befindet, immer gleich warm bzw. gleich kalt, so muß auf diese Störgröße nur einmal eingegangen werden, indem man den Gasstrom einmalig der Umgebungstemperatur anpaßt.

In der Regelungstechnik beschäftigt man sich zu Anfang der Entwicklung einer Anlage damit, welche Größe die Regelgröße darstellt, über welche Stellgröße am besten diese zu regeln ist und welche Größen als Störgrößen betrachtet werden müssen. In der allgemeinen Technik ist die Regelgröße schon zu Anfang des Entwicklungsstadiums bekannt (eigentliche Aufgabe der Anlage), während die

geeignete Stellgröße, über die die Anlage geregelt werden soll, erst noch durch Versuche ermittelt werden muß. Bei der Kompostierung ist es jedoch genau umgekehrt. Die Stellgrößen über die eine Kompostierungsanlage optimal gefahren werden kann sind bekannt. Es handelt sich hier hauptsächlich um das Anpassen der Belüftungsmenge, der Wasserzugabe und evtl. noch anderer Größen. Es hat sich bis heute jedoch noch nicht herausgestellt, welche Regelgröße bzw. Führungsgröße als optimal angesehen werden kann, wie zum Beispiel die Temperatur oder die Atmung (Sauerstoff- oder CO₂-Gehalt).

2.5.2 Benennen der für die Regelung wichtigen Größen

In der Regelungstechnik beschreibt man nach DIN 19226 (Deutsches Institut für Normung 1984) die Grundgrößen der Regelung mit folgenden Buchstaben: Die Regelgröße wird mit x , die Stellgröße mit y und die Störgröße mit z bezeichnet. Die vorgegebene Größe, auf welche die Regelgröße durch den Regelvorgang gebracht werden soll, wird als Führungsgröße w oder Sollwert der Regelgröße x_s genannt.

Unter Verwendung dieser Bezeichnungen läßt sich ein Regelungsvorgang folgendermaßen beschreiben: Durch ein Meßgerät wird die Regelgröße x gemeldet. Ein Prozeßrechner bzw. ein Bediener der Anlage vergleicht den gemessenen Wert mit der Führungsgröße w und bildet die Regelungsdifferenz $e = w - z$. Je nach Vorzeichen (ist die Temperatur im Gasofen 5° zu hoch oder zu niedrig) entscheidet der Rechner ob die Stellgröße y (also der Gasvolumenstrom) verringert oder vergrößert werden soll. Danach wird wiederum die Regelgröße x gemessen, womit nun ein Regelkreis geschlossen wurde. Man sieht dadurch, daß es sich bei der Regelung um einen geschlossenen Kreis handelt, wobei die Auswirkungen durch die eingeleiteten Maßnahmen gemessen werden und dem Bediener bzw. dem Prozeßrechner gemeldet werden. Man spricht daher auch von einem Regelungskreis, innerhalb dessen Rückmeldungen stattfinden, im Gegensatz zu einer Steuerung, bei der keine Rückmeldung über die Wirkung der eingeleiteten Maßnahme stattfindet.

2.5.3 Regelstrecke

Der Teil der Anlage, in dem versucht wird, die Regelgröße konstant zu halten, und an dem sowohl die Stellgrößen als auch die Störgrößen angreifen, wird als Regelstrecke S bezeichnet. Diese erstreckt sich vom Ort, wo die Stellgröße angreift bis zum Meßort der vorhandenen Regelgröße.

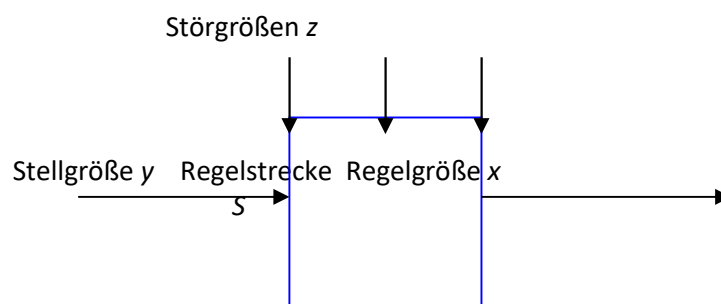


Abb. 2.5.3-1 : Blockdarstellung der Regelstrecke mit den angreifenden Störgrößen, sowie der ebenfalls angreifenden Stell- und der gemessenen Regelgröße

Man unterscheidet bei den Regelstrecken grundsätzlich zwei Arten: zum einen die Regelstrecke mit Ausgleich und zum anderen die Regelstrecke ohne Ausgleich.

Bei der Regelstrecke mit Ausgleich ergibt sich nach Einleiten einer bestimmten Maßnahme, d. h. nach Angriff einer um Δy veränderten Stellgröße y eine bestimmte Änderung Δx der Regelgröße x . Erhöht man zum Beispiel die Gaszufuhr des schon oben erwähnten Gasofens um einen bestimmten Wert, so wird sich auch die Temperatur innerhalb des Ofens nach einer gewissen Zeit auf einen bestimmten Wert einpendeln.

Bei der Regelstrecke ohne Ausgleich ist dies nicht der Fall. Hier besteht die Gefahr, daß nach Änderung der Stellgröße y um Δy die gemessene Regelgröße keinen festen Wert mehr, sondern ohne weitere Maßnahme seitens der Regelungstechnik unendlich kleine oder große Werte annimmt und sich kein neuer Beharrungszustand mehr einstellt. Man spricht dann von einer durchgehenden Strecke.

Bei der Kompostierung ist eher dieser Sachverhalt anzutreffen, denn hier kann es durchaus passieren, daß gerade zu Anfang des Kompostierungsprozesses nach kleiner Steigerung der Belüftung die Temperatur innerhalb der Miete sich nicht linear zum Volumenstrom der eingeblasenen Luft ändert, sondern rapide ansteigt.

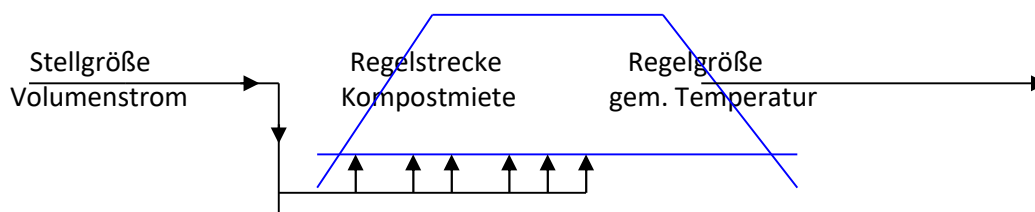


Abb. 2.5.3-2 : Darstellung einer Kompostmiete als Regelstrecke

2.5.4 Stellglied

Um die Regelgröße beeinflussen zu können, muß die Stellgröße veränderbar sein. Dazu bedient man sich in der Regelungstechnik eines Stellgliedes um die Stellgröße den gegebenen Umständen anpassen zu können. Das Stellglied hat die Aufgabe, einen Massenstrom oder auch Energiestrom zu dosieren. Um sich für die richtige Art eines Stellgliedes zu entscheiden, muß man zuerst die Art des Massen- bzw. Energiestromes festlegen. So können Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten durch verschiedene Ventile, Klappen oder Schieber dosiert werden, während für Energieströme z. B. unterschiedliche Widerstände oder Transformatoren gebraucht werden.

Das Stellglied wird oft durch einen besonderen Stellantrieb betätigt. Dieser ist dann notwendig, wenn das Regelungssystem, wie zum Beispiel der Leitrechner oder aber auch der Bediener der Anlage nicht genug Energie oder Kraft besitzt, das Stellglied selbständig zu bedienen. Bei einer Kompostierungsanlage könnte zur Dosierung der Luftzufuhr ein verstellbares Ventil als Stellglied eingesetzt werden. Dieses Ventil wird hierbei durch einen kleinen Elektromotor, der seine Befehle vom Regelungssystem erhält, angetrieben. Unter Einbeziehung der Energiekosten ist es jedoch wünschenswert, die Leistung des Luftverdichters den gegebenen Erfordernissen anzupassen. Die folgende Abbildung stellt ein Stellglied sowie dessen Stellantrieb dar.

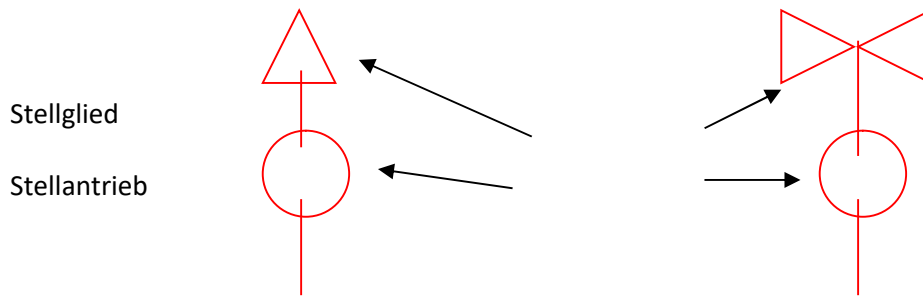


Abb. 2.5.4-1: Darstellung von Stellglied und Stellantrieb gemäß DIN 19227, Teil 3 (Deutsches Institut für Normung 1978)
Links: allgemeine Darstellung, Rechts: Stellglied als Ventil

2.5.5 Handregelung

Bei der Handregelung unterstützt der Mensch das Leitsystem. Der Bediener vergleicht die gemessene Regelgröße mit dem vorgegebenen Sollwert der Regelgröße und beschließt nach Berechnung des Differenzwertes, inwieweit Gegenmaßnahmen getroffen werden müssen. Diese Verfahrensweise ist in vielen Kompostwerken noch anzutreffen, bei denen z. B. die Temperatur innerhalb der Kompostmiete automatisch dem Betreiber angezeigt wird, dieser aber die Belüftungsdauer und –menge selber einstellt. Dies ist die einfachste Art eines Regelkreises.

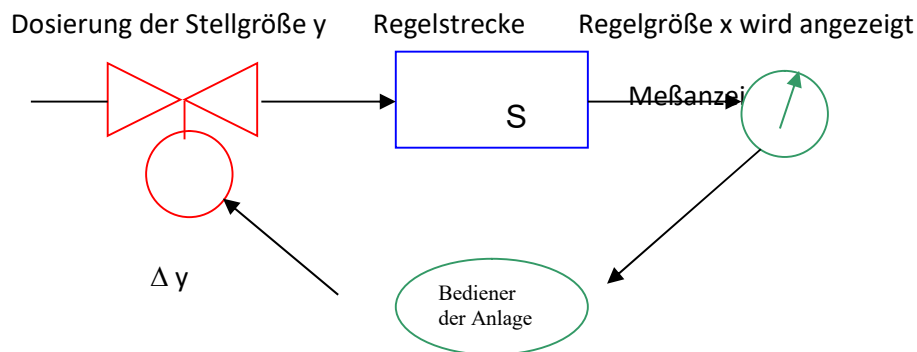


Abb. 2.5.5-1: Darstellung einer Handregelung

Eine Abweichung der Regelgröße von ihrem Sollwert hat eine Änderung der Stellgröße zur Folge. Diese Stellgrößenänderung um Δy hat wieder auf die Regelgröße x eine Auswirkung, so daß von neuem eine Änderung der Stellgröße vorgenommen werden muß, bis der Wert der Regelgröße sich dem Sollwert der Regelgröße in einem möglichst kleinen Abstand genähert hat, d.h. der Betrag e der Regeldifferenz aus $w-x$ einen Wert nahe Null annimmt.

2.5.6 Selbsttätige Regelung

Aufgabe der weiteren Entwicklung der Regelungstechnik wird es sein, den Menschen möglichst aus dem Prozeßgeschehen herauszulösen und ihn nur noch mit der Überprüfung der Regelungstechnik zu beauftragen. Er muß dabei aber immer noch in der Lage bleiben, die betreffende Anlage im Notfall von Hand regeln zu können.

Anstelle des im Kapitel 2.3.5 beschriebenen Bedieners der Anlage besitzt eine selbsttätige Regelung ein eigenes Gerät, das die Meßwerte aufnimmt, auswertet und entscheidet, welche Maßnahmen zu treffen sind. Man spricht hierbei von einem Regler. Um die oben erwähnten drei Aufgaben erfüllen zu können, muß der Regler also über eine Meßeinrichtung, eine Vergleichseinrichtung sowie ein Gerät zur Einstellung der Stellgröße verfügen. Außerdem müssen einem Regler Informationen darüber vorliegen, wie groß der Sollwert der Regelgröße sein soll. Dies geschieht mit Hilfe eines Sollwertestellers, an dem z. B. durch einen normalen Drehknopf die Führungsgröße eingestellt wird. Der Sollwertesteller gibt daraufhin ein bestimmtes analoges Signal, z. B. in Form einer genormten Stromstärke, an die Vergleichseinrichtung weiter.

Um einen exakten Vergleich zwischen Sollwert und Regelgröße durchführen zu können, muß der augenblickliche Wert der Regelgröße bekannt sein. Dazu bedarf es einer Meßeinrichtung. Häufig besteht diese aus zwei Teilen. Der erste Teil besteht aus dem Aufnehmer der Regelgröße, der sich innerhalb der Regelstrecke befindet. Dieser wird auch oft als Fühler bezeichnet. Der zweite Teil der Meßeinrichtung befindet sich innerhalb des Reglers. Er hat die Aufgabe, das vom Fühler gesendete Signal in ein für die Vergleichseinrichtung des Reglers auswertbares Signal umzuwandeln. Neben binären und digitalen Signalen werden heute noch überwiegend analoge Signale dazu verwendet. Diese werden meistens in Form einer in DIN IEC 60381 (Deutsches Institut für Normung 1980) festgelegten Stromstärke von 4 – 20 mA gesendet. Dabei bedeuten 4 mA 0 % der gemessenen Regelgröße und 20 mA 100 % des größten anzunehmenden Wertes der Regelgröße.

Häufig findet die Umwandlung in für die Vergleichseinrichtung auswertbare Größen nicht innerhalb des Reglers, sondern schon kurz nach der eigentlichen Meßwertaufnahme statt. Man spricht hier von einem Meßwertumformer.

Bei Verwendung der genormten Signale, den sogenannten Einheitssignalen, ist es möglich, den selben Regler bei Bedarf für unterschiedlichste Aufgaben zu benutzen. Dieser nimmt dann vom Meßumformer Einheitssignale auf und gibt an die Stellglieder Einheitssignale weiter. Da es dann gleich ist, ob der Regler über die Regelung einer zu hohen Temperatur entscheidet, oder den Druck innerhalb eines Dampfkessels regelt, können diese Regler in unterschiedlichsten Produktionsprozessen eingesetzt werden. Diese Regler werden Einheitsregler genannt.

Nur die Meßgeräte müssen den unterschiedlichen Umweltbedingungen und Regelgrößen angepaßt werden. Man benötigt zudem Stellgeräte, die der jeweiligen Anlage, der Art der Stellgrößen und dem Leistungsbereich entsprechen. An den Regler selbst wird immer nur dieselbe Aufgabe gestellt: einen Meßwert aufnehmen, mit dem Sollwert vergleichen und anschließend die Stellgröße den gegebenen Umständen anpassen.

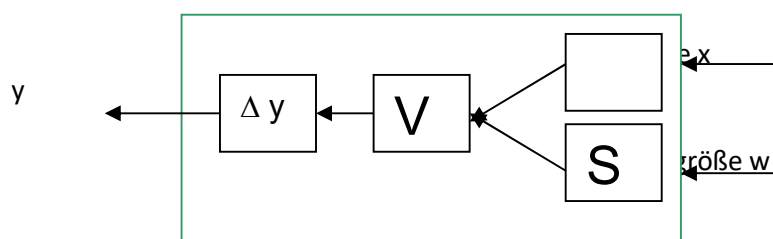


Abb. 2.5.6-1: Darstellung eines Reglers, der über eine Meßeinrichtung (M), einen Sollwertesteller (SE) und eine Vergleichseinrichtung (VG) verfügt. Der Regler paßt die Stellgröße y bei Bedarf um Δy an.

2.5.7 Regelkreis

Wie schon in den vorherigen Abschnitten gezeigt, handelt es sich bei der Regelung um einen Wirkungskreis, in dem ständig eine Rückmeldung über die eingeleiteten Maßnahmen getätigt wird, um dann wiederum über neue Maßnahmen zu entscheiden. Der Regelkreis besteht aus dem schon oben erwähnten Regler sowie der zu regelnden Regelstrecke.

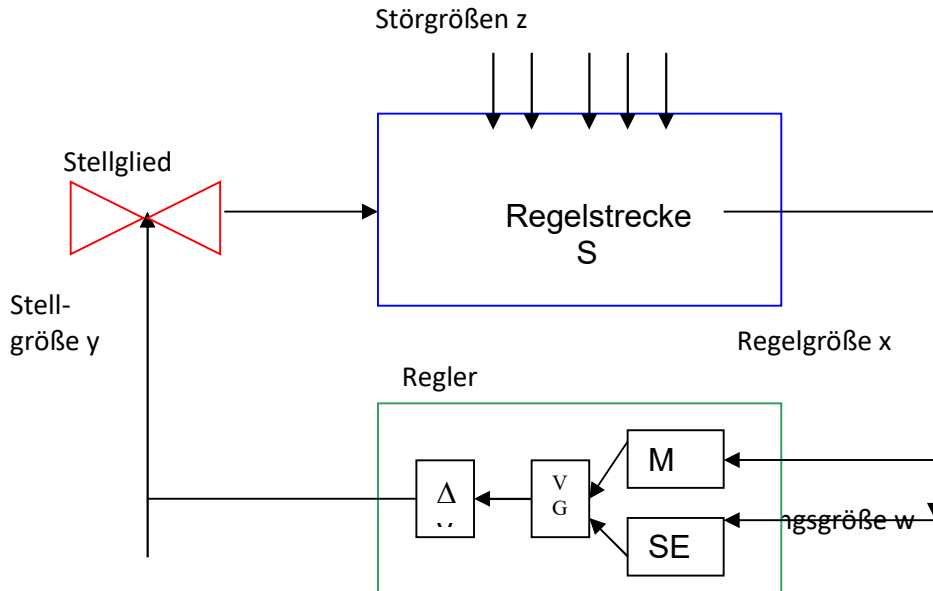


Abb. 2.5.7-1: Darstellung eines Regelkreises

2.5.8 Regelungsarten

Neben der häufigen Festwertregelung, bei der während des gesamten Prozesses nur ein bestimmter Sollwert der Regelungsgröße eingehalten werden soll, gibt es unter anderen noch die Zeitplanregelung. Hier ändern sich nach einem bestimmten Zeitablauf die Sollwerte. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Kompostierung. Bei ihr wird häufig versucht, mit Hilfe einer Zeitplanregelung ein bestimmtes Temperaturprogramm zu fahren, das der Temperaturkurve beim Kompostierungsprozeß am nächsten kommt.

2.6 Prozeßregelung bei der Kompostierung

Die Aufgabe einer optimalen Prozeßregelung des Kompostierungsvorgangs ist es, innerhalb einer möglichst kurzen Zeit einen Kompost hoher Qualität herzustellen. Dies sollte jedoch unter möglichst geringen Kosten geschehen. Hierzu zählen nicht nur die Investitionskosten bei Errichtung der Anlage, sondern auch die Folgekosten, insbesondere die Energiekosten. Des Weiteren ist auch auf möglichst geringe Umweltbelastungen zu achten. Bei der Kompostierung sind hier die entstehenden Geruchsemissionen während des Prozesses zu nennen.

Die drei Grundparameter, die es bei der Kompostierung zu beachten gilt, sind die entstehende Temperatur, die Atmung (O_2 - und CO_2 -Gehalt) sowie der Wassergehalt.

Durch die Belüftung wird eine ausreichende Sauerstoffversorgung sowie CO_2 -Austragung gewährleistet. Weiterhin ist es Aufgabe der Belüftung, die im Haufwerk gestaute Wärmemenge abzuleiten. Wie aber in Kapitel 2.1 beschrieben, stehen die Wärmeabfuhr und die

Sauerstoffversorgung durch Belüftung in Konkurrenz zu einer ausreichenden Wasserversorgung der Mikroorganismen. Findet eine zu starke Belüftung statt, besteht die Gefahr des „Totblasens“ der Rotte. Andererseits verhindert ein zu hoher Wassergehalt die Sauerstoffversorgung in den Poren.

Aufgabe der Prozeßführung ist es somit, die für die Kompostierung wichtigen Parameter ständig zu überwachen und bei Unter- bzw. Überschreiten eines bestimmten Zielwertes Gegenmaßnahmen einzuleiten, ohne dabei die Konsequenz für die übrigen Prozeßparameter aus den Augen zu verlieren. Dabei sollte es auch möglich sein, die Prozeßparameter nach einem bestimmten Zeitplan zu regeln (siehe Kapitel 2.5.8), d. h. einer bestimmten Zielwertkurve zu folgen anstatt über die gesamte Prozeßdauer die Parameter einer jeweils bestimmten Führungsgröße folgen zu lassen. Dies trifft bspw. auf die Temperaturkurve während des Kompostierungsprozesses zu. Von einer Regelgüte, wie sie in vielen Fachgebieten der Verfahrenstechnik erreicht wird, kann momentan bei der Regelung des Kompostierungsprozesses noch nicht gesprochen werden. Zur Verdeutlichung sei hier auf die Darstellung auf der vorherigen Seite verwiesen. Diese zeigt ein Protokoll über den Prozeßlauf einer Miete innerhalb eines saugbelüfteten Hallensystems. Bei dieser Anlage wird der Kompostierungsprozeß ausschließlich über die Temperatur geregelt, während die Sauerstoff- und CO₂-Werte der Abluft nur beobachtet werden. Deutlich sind dort die Abweichungen der sich tatsächlich einstellenden Ablufttemperaturen (rot) von der vorgegebenen Zielwertkurve (gelb) zu erkennen. Als maximale Abweichung werden hier zum Zeitpunkt -2,0 (Wochen) 30° C von dem vorgegebenen Wert dokumentiert.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Prozeßführung ist neben der Belüftung und evtl. Befeuchtung des Materials die Umsetzung, die der Zerkleinerung, Homogenisierung sowie der Erhöhung des Porenvolumens dient.

2.6.1 Messen der Parameter

Um die Regelungsparameter bei der Kompostierung einem optimalen Sollwert anzupassen, ist es nötig, diese vorher mit einer ausreichenden Genauigkeit zu messen.

Bei den meisten Verfahren werden nur die Temperatur sowie die Atmung gemessen, während die Feuchtigkeit innerhalb des Kompostes sowie der pH-Wert nicht kontinuierlich erfaßt werden (Grabbe 1996). So bestimmt man die Feuchte meistens mittels Trocknung gewonnener Proben im Labor oder durch das „Ertasten“ seitens des erfahrenen Betriebspersonals.

2.6.1.1 Messung im Material

Die Temperaturmessung erfolgt meist manuell über Stechthermometer, die täglich in den Kompost eingeführt werden. Weiterhin gibt es die Möglichkeit der automatischen und ständigen Meßwertaufnahme, dabei handelt es sich um Meßsonden, deren Signale anschließend im Prozeßrechner ausgewertet werden.

Bei einer punktuellen Temperaturmessung innerhalb der Kompostmiete kann es passieren, daß an einem Meßpunkt eine hohe Temperatur gemessen wird, die das Steuerungssystem veranlaßt, eine verstärkte Belüftung einzuleiten, während sich 1 m vom Meßpunkt entfernt geringere Temperaturen messen lassen würden und das Steuerungssystem daher zur Sauerstoffversorgung eine geringere Belüftung durchführen würde.

Mittels der sich heute auf dem Markt befindlichen Temperaturmeßsonden ist es jedoch möglich, über die Höhe der Kompostmiete ein Temperaturprofil zu erstellen, was gegenüber der punktuellen Messung eine deutlich verbesserte Meßgenauigkeit bedeutet.

Um auch in horizontaler Richtung ein ausreichend genaues Temperaturprofil erstellen zu können, sollte der Abstand der einzelnen Meßsonden untereinander nicht zu groß gewählt werden.

Für die Messung des Sauerstoff- bzw. CO₂-Gehaltes innerhalb des Kompostes bedient man sich ebenfalls täglich einzustechender Handgeräte bzw. installierter Meßsonden. Allerdings wird die Erstellung eines vertikalen Meßprofils noch nicht durchgeführt. Man beschränkt sich hierbei auf punktuelle Messungen und muß dabei die oben erwähnten Unsicherheiten berücksichtigen.

2.6.1.2 Messung in der Abluft

Die Abluftmessung kommt besonders bei geschlossenen Systemen wie der Boxen- und Tunnelkompostierung zum Einsatz. Weiterhin ist es ebenfalls bei saugbelüfteten Mietensystemen möglich, Temperatur und Atmung in der Abluft zu messen.

Bei der Abluftmessung gilt es zu beachten, daß der Einfluß von Fremdluft möglichst gering sein sollte, da sonst das Ergebnis erheblich verfälscht werden würde. Außerdem muß bei dieser Art der Messung die genaue Korrelation zwischen den Meßergebnissen in der Abluft und den tatsächlichen Verhältnissen innerhalb des Kompostkörpers bekannt sein. Deshalb werden von den Betriebsleitern des öfteren manuelle Messungen zur Sicherheit durchgeführt, was jedoch bei den geschlossenen Boxen- und Tunnelsystemen als sehr schwierig bis unmöglich angesehen werden muß. Daher wird hier oft zusätzlich in der Zuluft Temperatur und Atmung gemessen und vergleicht diese Daten mit denen der Messung aus der Abluft.

2.6.2 Belüftung

Die Aufgabe der Belüftung ist es, Wärme und CO₂ aus dem Kompostkörper auszutragen sowie die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen sicherzustellen.

Es darf jedoch nicht zuviel Luft durch das Material getrieben werden, da sonst die Gefahr der Abkühlung sowie der Austrocknung und somit des „Totblasens“ des Kompostes besteht.

Andererseits ist es jedoch dringend notwendig, durch die Belüftung des Kompostes die gestaute Wärme abzuführen, um so die Überhitzung des Kompostmaterials zu vermeiden. Dabei gilt es jedoch zu beachten, daß zu Anfang eines Kompostierungsprozesses die Belüftung des Komposts sogar eine Verstärkung des Temperaturanstieges bedeutet, während eine Erhöhung der Belüftungsrate in der nachfolgenden Zeit eine Verlangsamung des Temperaturanstieges und im weiteren Verlauf einen Temperaturabfall verursacht (Rheinbaben 1993).

Eine Belüftung ist über die gesamte Grundfläche des Haufwerkes anzustreben. Im Gegensatz zu den häufig verwandten Rohren oder Schläuchen, die vor Aufbringung des Frischkompostes auf der Sohle verlegt werden, ist dies durch einen Spaltenboden weitestgehend gesichert.

2.6.2.1 Aktive Belüftung durch Saug- oder Druckbelüftung

Es wird zwischen der Druck- und Saugbelüftung unterschieden. Bei der Druckbelüftung wird die Prozeßluft von unten durch den Kompostkörper gedrückt. Druckbelüftung wird bei allen geschlossenen Reaktorsystemen wie der Boxen- und Containerkompostierung sowie der Tunnelkompostierung angewandt (Stöcklein 1995).

Bei einigen geschlossenen Mietenkompostierungsverfahren wird ebenfalls diese Art der Belüftung angewandt. Dabei gilt es jedoch zu bedenken, daß die aus den Mieten austretende aggressive, feuchte Prozeßluft auf die Gebäudeteile und die sich in der Halle befindlichen Maschinen korrosionsverstärkend wirkt.

Bei Anlagen mit einer Saugbelüftung wird die Prozeßluft als Abluft der Kompostmiete am Fuße der Miete abgesaugt. Dabei ist es ersichtlich, daß es hier zu einer bedeutend geringeren Luftfeuchte innerhalb der Halle kommt und die Gefahr der Korrosion als geringer einzustufen ist als bei den geschlossenen Mietensystemen mit Druckbelüftung.

Des weiteren ist es bei diesem Verfahren möglich, daß das Betriebspersonal bei Bedarf die Halle betreten kann, während es dies bei einer druckbelüfteten Mietenkompostierung innerhalb einer Halle möglichst zu vermeiden gilt.

Prozeßtechnisch jedoch ist eine Druckbelüftung einer Saugbelüftung vorzuziehen, da die Belüftungsverteilung bei der Druckbelüftung günstiger ausfällt als bei der Saugbelüftung (Higgins 1982).

Weiterhin neigt das Kompostmaterial bei der Saugbelüftung zu einer größeren Austrocknung und muß so entsprechend intensiv bewässert werden, was wiederum einen Anfall einer größeren stark belasteten Abwassermenge in Form von Kondensat in der Abluft oder Sickerwasser bedeutet (Stöcklein 1995).

Miller et al. (1982) verglichen die Saugbelüftung mit der Druckbelüftung und kamen zu folgenden Ergebnissen:

- ◆ Die heiße Abluft der Saugbelüftung besitzt gegenüber der kälteren Zuluft der Druckbelüftung eine geringere Dichte, daher muß die Belüfterkapazität bei der Saugbelüftung höher als bei der Druckbelüftung dimensioniert werden.
- ◆ Bei der passiven Belüftung durch Konvektion steigt die erwärmte Luft nach oben, dies wird durch eine Druckbelüftung unterstützt, während eine Saugbelüftung dem entgegenwirkt.
- ◆ Des weiteren trocknet bei einer Druckbelüftung der Kompostkörper zunächst im Inneren. Dies bewirkt eine Vergrößerung des Luftporenvolumens innerhalb des Kompostes. Zudem ist bei einer Druckbelüftung im Innern der Kompostmiete eine größere Luftgeschwindigkeit als am Mietenrand festzustellen, was sich wiederum auf die Belüftung des Kompostes positiv auswirkt. Bei der Saugbelüftung jedoch ist das höchste Luftporenvolumen an den Ecken der Kompostmieten anzutreffen, wo jedoch die Luftgeschwindigkeit am geringsten ist.

Zur Temperatursteuerung einer Kompostmiete muß bedeutend mehr Leistung bei der Saugbelüftung als bei der Druckbelüftung aufgebracht werden, um eine ausreichende Belüftung der Kompostmiete sicherzustellen. Dies hat wiederum eine Auswirkung auf die Energiekosten, die somit bei einer Saugbelüftung deutlich höher ausfallen (Pereira-Neto et al. 1986).

Bei einigen Anlagen ist es möglich, während des Kompostierungsprozesses zwischen einer Druck- und Saugbelüftung zu wechseln, da durch eine intermittierende Belüftung eine gleichmäßige Verteilung von Luft und Temperatur erreicht werden kann (Higgins 1982).

Bei der Boxen- und Containerkompostierung ist es wie bei der Tunnelkompostierung möglich, durch einen Umluftbetrieb eine Reduzierung der Luftmengen zu erzielen. Dem Umluftstrom werden dabei in Abhängigkeit des O₂- bzw. CO₂- Anteils der Abluft, bzw. der Rottephase und der gemessenen Temperatur höchstens 50 Prozent Frischluft zugeführt. Dies hat eine positive Wirkung auf die zu behandelnden Abluftmengen, die deutlich geringer ausfallen als bei Systemen ohne Umluftschaltung. Des Weiteren hat ein Umluftbetrieb den Vorteil einer gleichmäßigen Temperaturverteilung innerhalb des Kompostkörpers, während in Anlagen, die ausschließlich mit Frischluft eine Belüftung vornehmen, der Kompost in der Nähe des Luftaustritts deutlich zu geringe Temperaturen aufweist. Weiterhin wird durch die Umluftschaltung zu Anfang der Intensivrotte eine deutlich schnellere Erwärmung des Kompostes erzielt.

2.6.2.2 Passive Belüftung durch Konvektion oder Bewegung

Auch bei einer Kompostmiete, die nicht aktiv belüftet wird, findet ein Luftaustausch statt. Dies ist hauptsächlich auf die Konvektions- sowie auf die Diffusionsvorgänge innerhalb der Miete zurückzuführen (Miller et al. 1989).

Inwieweit eine ausreichende Belüftung durch den passiven Luftaustausch stattfinden kann, hängt im besonderen Maße von dem Wassergehalt sowie der Porosität ab. Es ist ersichtlich, daß ein stark verdichtetes sowie nasses Kompostmaterial nur sehr schlecht durch einen natürlichen Luftaustausch belüftet werden kann. Weiterhin hängt der Luftaustausch auch von der Umgebungstemperatur sowie der anzutreffenden Windgeschwindigkeit ab (Randle und Flegg 1978).

Eine Sonderform stellt das Verfahren mittels einer Rottetrommel dar, da hier durch die ständige Bewegung des Kompostes eine ausreichende Belüftung des Kompostes sichergestellt werden kann.

Aufgrund der entstehenden Geruchsemissionen, muß jedoch die Abluft gesammelt und behandelt werden. Daher werden von den Herstellern auch die Rottetrommelsysteme optional mit einer aktiven Belüftung ausgestattet (Firmenmitteilung, Neuenhauser Maschinenbau GmbH & Co. KG 1997).

2.6.3. Umsetzung

Aufgabe des Umsetzungsvorganges ist es, das Material aufzumischen sowie durch eine Zerkleinerung Oberflächen zum weiteren Abbau durch die Mikroorganismen zur Verfügung zu stellen (Stöcklein 1995).

Weiterhin wird der Kompost, der in der unteren Schicht nach einiger Zeit eine Verfestigung aufweist, durch den Umsetzungsvorgang aufgelockert. Entstandene Luftkanäle, die ein zu schnelles Entweichen der Prozeßluft und somit eine Unterversorgung der anderen Mietenbereiche bewirken, werden dadurch zerstört.

Durch die Umsetzung wird jedoch nicht für eine ausreichende Sauerstoffversorgung gesorgt, da schon nach kurzer Zeit ein Mangel an Sauerstoff beobachtet werden kann (Haug 1980), (De Bertoldi et al. 1983).

2.6.4 Befeuchtung

Um den in Kapitel 2.1.2 angegebenen Zielwert für die Feuchte von 40 bis 60 Prozent (Bidlingmaier 1985) einzuhalten, wird zu Anfang der Kompostierung entweder Strukturmaterial in Form von Grünschnitt beigegeben oder bei zu trockenem Material Wasser zugegeben.

Zum Ausgleich des evtl. zu großen Feuchtigkeitsverlustes durch die Verdunstung, wird entweder direkt beim Umsetzungsvorgang Wasser hinzugegeben oder bei einzelnen Anlagen mit Druckbelüftung die Prozeßluft befeuchtet (Emberger 1993). Ein vorhandener Umluftbetrieb trägt zu einem möglichst geringen Feuchtigkeitsverlust bei.

Bei den geschlossenen Verfahren der Tunnel- und Boxenkompostierung findet keine Befeuchtung durch Wasserzugabe statt, da hier ohne eine Umsetzvorrichtung eine gleichmäßige Befeuchtung des Materials nicht gewährleistet werden kann (Stöcklein 1995). Meistens wird hier für den Zeitraum der Intensivrotte auf eine Befeuchtung verzichtet oder diese findet mit Hilfe von angefeuchteter Prozeßluft statt.

3 Material und Methoden

In diesem Kapitel wird erläutert, welche Quellen und Hilfsmittel für die Informationsbeschaffung zum Stand der Prozeßsteuerung von Kompostierungsanlagen benutzt wurden und wie die Umfrageaktion bei den Betreibern aufgebaut war.

3.1 Literaturrecherche

Der erste Schritt der Literaturrecherche umfaßte die Durchsicht von etwa dreißig Fachzeitschriften, die sich mit den Themen des Umweltschutzes und Abfallwirtschaft im allgemeinen beschäftigen. Dabei wurde ein Rückgriff bis auf das Jahr 1987 vorgenommen. Es stellte sich jedoch heraus, daß das spezielle Fachgebiet der Prozeßsteuerung von Kompostierungsanlagen in diesen Magazinen nur am Rande behandelt wird.

Im zweiten Schritt wurde die Suche auf Fachzeitschriften anderer Fachgebiete wie dem des Maschinenbaus, der Elektrotechnik bzw. der Verfahrenstechnik ausgeweitet. Neben einer Recherche in einzelnen Fachzeitschriften empfiehlt es sich, auf die jeweils 14tägig erscheinenden Artikelregister der „Verfahrenstechnischen Berichte der BASF“ (Hentschel und Bühler 1997) bzw. auf den „FIZ Informationsdienst: Steuerungs- und Regeltechnik“ (Fachinformationszentrum Technik e.V. 1997) zurückzugreifen. In diesen beiden Artikelregistern wird auf ausgesuchte weltweit publizierte Fachliteratur aus sämtlichen Gebieten der Natur- und Ingenieurwissenschaften verwiesen. Auch hier wurde sowohl bei den verschiedenen Zeitschriften als auch bei den beiden erwähnten Artikelregistern ein Rückgriff auf den Zeitraum der letzten zehn Jahre vorgenommen.

Eine weitere Hilfe zur Literaturrecherche sind die verschiedenen Datenbanken, die in der Bibliothek oder per Modem genutzt werden können. Die Informationsquellen VTB und FIZ sind auch in Form einer elektronischen Datenbank verfügbar, bei denen man mittels eines Suchbegriffes forschen kann. Des Weiteren bietet sich hier auch das Jade-System (*Journal Articles Database*) an, in dem zur Zeit 15.000 Fachzeitschriften mit rund 4 Mio. Aufsätzen verzeichnet sind. Ferner wurde auch auf die Datenbank „Dokumentation Maschinenbau (DOMA)“ sowie auf die ingenieurwissenschaftlich orientierte Datenbank „Compendex“ zugegriffen.

3.2 Anfrage bei den Herstellern

Neben einer Recherche in der Literatur wurde auch versucht, Informationen direkt bei den Herstellern von Kompostierungsanlagen bzw. Steuerungssystemen zu erhalten. Dazu war es nötig, die genauen Adressen der Hersteller von Kompostierungsanlagen zu ermitteln. Hierzu wurden die nachfolgend aufgeführten Bezugsquellennachweise genutzt: (Wiemer und Kern 1997), (Wiemer und Kern 1996) sowie (Marktspiegel Umwelttechnik 1997). Ferner konnten aufgrund der im folgenden Abschnitt geschilderten Recherche im Internet weitere Adressen ermittelt werden.

Daraufhin wurden 42 Hersteller entweder angeschrieben oder direkt per Telefon angesprochen. Bei manchen Telefonaten stellte sich heraus, daß der betreffende Hersteller zwar den maschinenbaulichen Teil der Anlage selbst herstellt, die eigentliche Steuerung des Kompostierungsprozesses jedoch bei einem weiteren Unternehmen, das in der Verfahrenstechnik bzw. der Elektrotechnik tätig ist, einkauft. Die Namen der betreffenden Unternehmen wurden nur in seltesten Fällen mitgeteilt. Aufgrund dessen wurden zusätzlich bekannte Unternehmen der Verfahrenstechnik, bzw. Elektrotechnik angeschrieben, von denen jedoch nicht bekannt war, ob sie auf dem Gebiet der Prozeßsteuerung von Kompostierungsanlagen tätig sind.

3.3 Recherche im Internet

Während das Internet in vorheriger Zeit überwiegend zur Verbreitung von wissenschaftlichen Informationen von Universitäten genutzt wurde, gehen mittlerweile auch Firmen dazu über, sich im Internet mit Hilfe von bereitgestellten Homepages, auf denen sie kurz ihre Aktivitäten vorstellen, darzustellen. Im Jahr 1996 waren etwa 40 Mio. Nutzer des Internets sowie etwa 10 Mio. Anbieter verschiedenster Informationen registriert (Teuteberg 1997).

Um die von Universitäten, Firmen oder bestimmten Fachorganisationen bereitgestellten Informationen abrufen zu können, ist es notwendig über die genaue Internetadresse der bestimmten Universität oder Firma zu verfügen. Ist dies nicht der Fall, oder sind zu wenig Adressen bekannt, besteht die Möglichkeit, über verschiedene Suchmaschinen diese ausfindig zu machen. Diese suchen systematisch nach Homepages, auf denen der eingegebene Suchbegriff vermerkt ist. Des Weiteren ist es möglich, auch weltweit mit Hilfe von englischen Begriffen z. B. „composting“ oder „environment“ zum Thema zu recherchieren.

Folgende Suchmaschinen wurden bei der Recherche im Internet genutzt:

- Altavista.com
- Fireball.de
- Lycos.de
- Yahoo.de

3.4 Umfrageaktion bei den Betreibern von Kompostierungsanlagen

Die Zielsetzung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Befragungsaktion umfaßt in erster Linie die Feststellung von momentan verwandten Regelgrößen und Zielwerten des Kompostierungsprozesses.

Zur Vertiefung und Absicherung von theoretischen Erkenntnissen schien es vorteilhaft, eine Kompostierungsanlage zu besuchen, um sich dort über die Praxis der Prozeßsteuerung näher zu informieren. Die so gesammelten Informationen dienten als Grundlage für die Erstellung des Fragebogens.

Ein Problem der Umfrageaktion bestand darin, daß die Motivation der Befragten, einen Fragebogen zu bearbeiten, infolge häufiger Befragungen als niedrig einzuschätzen war. Aus diesem Grund war es erforderlich, das Fragebogenformat möglichst kurz und präzise abzufassen. Eine maximale Bearbeitungszeit von zehn Minuten sollte nicht überschritten werden. Daraus ergab sich eine Konzentration an wichtigsten Fragen auf insgesamt vier Seiten, die mittels eines multiple-choice-Verfahrens beantwortet werden sollten.

Neben den wichtigsten Fragen nach den gemessenen Parametern und den die Rottesteuerung beeinflussenden Regelungsgrößen, wurde auch nach dem Ort der Messungen - ob im Material, in der Abluft oder in der Zuluft - gefragt. Des Weiteren erschien es interessant zu erfragen, ob die Betreiber versuchen, einen bestimmten Zielwert eines die Rottesteuerung beeinflussenden Parameters einzuhalten, oder ob nach einer vorgegebenen Zielwertkurve gesteuert wird, welches dem natürlichen Prozeß näher kommt. Neben anderen Fragen die Steuerung betreffend wurde weiterhin nach der Art der Belüftung bzw. Befeuchtung des Rottematerials gefragt. Bezüglich der Befeuchtung galt es festzustellen, ob schon bei mehreren Anlagen durch angefeuchtete Luft das Material gleichmäßig bei Bedarf befeuchtet wird, oder ob noch eine weniger genaue Befeuchtung des

Kompostmaterials durch die Zugabe von Wasser stattfindet. Aufgrund des gewählten Formats des Fragebogens mußte an dieser Stelle auf eine Abfragung der genauen Zielwerte verzichtet werden. Zur genaueren Betrachtung des Fragebogens läßt sich im Anhang ein vollständiges Exemplar finden.

Neben dem eigentlichen Fragebogen ist es ferner wichtig, ein kurzes, freundliches Begleitschreiben - möglichst mit persönlicher Anrede des Befragten - dem Fragebogen beizulegen. Dieses soll zum einen den befragten Betriebsleiter des Kompostwerkes auf die Thematik des Fragebogens hinführen und ihn zum anderen veranlassen, zügig zu antworten.

Nach Aufstellung des Fragebogens sowie des Begleitschreibens galt es, die Adressen von Kompostwerken zu ermitteln, von denen angenommen werden konnte, daß sie über eine aktive Steuerung des Kompostierungsprozesses verfügen. Hierzu diente der „Kompost-Atlas 1996/97“ (Wiemer und Kern 1996), in dem insgesamt 380 Anlagen sowie die dazugehörigen Baumusterbeschreibungen zum Zeitpunkt April 1996 aufgeführt sind. Alle 119 Anlagen, die über eine Zwangsbelüftung verfügten, wurden angeschrieben. Bei den restlichen 261 Anlagen handelte es sich um Kompostplätze, auf denen eine offene Mietenkompostierung ohne jegliche aktive Prozeßsteuerung stattfindet. Um die Gesamtheit der angeschriebenen Kompostwerke zu vergrößern, wurden weitere 57 Anlagen, die in „Kompostanlagen 1997“ (Bundesgütegemeinschaft Kompost 1997) zum Zeitpunkt April 97 zusätzlich vermerkt waren sowie eine genehmigte Kapazität von mehr als 10.000 Mg/a besaßen, angeschrieben. Bei diesen Anlagen war es aber unbekannt, ob sie über eine aktive Prozeßsteuerung verfügten. Darüber hinaus war bei jenen Anlagen die zugehörige Baugruppenkategorie unbekannt. Insgesamt wurde 176 Anlagenbetreibern am 08.12.1997 ein Fragebogen zugeschickt.

Tab. 3.4.-1: Chronologischer Ablauf der Umfrageaktion

Datum	Arbeitsschritt	Anzahl der Befragten
08.12.1997	Versand der Fragebögen	176 Betriebsleiter / Betreibergesellschaften
18.12.1997	1. Telefonaktion: Erinnerung	60 Betriebsleiter
18. – 21.01.1998	2. Telefonaktion: Abfrage der Zielwerte	48 Betriebsleiter

Um die angeschriebenen Betriebsleiter der Kompostwerke an das Bearbeiten der zugeschickten Fragebögen zu erinnern, wurde zehn Tage später am 18.12.1997 eine Telefonaktion organisiert, da zu diesem Zeitpunkt erst etwa 20 bearbeitete Fragebögen zurückgeschickt worden waren. Im Zuge dieser Maßnahme wurden 60 Anlagenbetreiber angerufen.

Zur Ermittlung der Zielgrößen wurde am 18., 20. und 21.01.1998 eine zweite Telefonbefragung durchgeführt, bei der 48 Anlagenbetreiber, welche einen beantworteten Fragebogen zurückgeschickt hatten, nach den genauen Zielwerten der genannten Regelungsgrößen befragt wurden.

4 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Recherche dargestellt. Es wurde eine Literaturrecherche durchgeführt sowie eine Nachforschung in den elektronischen Medien vorgenommen. Ferner wurden Hersteller mit der Bitte um Informationen angeschrieben. Das Resultat dieser Nachforschungen wird in den ersten drei Abschnitten dieses Kapitels dargestellt. Daran anschließend erfolgt eine Präsentation der Umfrageergebnisse.

4.1 Literaturrecherche

Es wurde eine Literaturrecherche zum Stand der Prozeßsteuerung in Kompostierungsanlagen durchgeführt. Entgegen der zahlreich vorhandenen Aufsätze, die sich mit der Regelung des Prozesses bei der biologischen Abwasserbehandlung oder Vergärung von Bioabfall beschäftigen, ist zur Zeit keine Literatur verfügbar, die nähere Informationen zur Thematik der Prozeßregelung in Kompostierungsanlagen beinhaltet.

Mit Hilfe des internationalen Datenbanksystems „Jade“ konnten 641 Aufsätze gefunden werden, welche die Kompostierung zum Thema haben. Bei einer genaueren Lektüre der betreffenden Inhaltsangaben mußte jedoch festgestellt werden, daß keiner dieser Artikel sich näher mit der Prozeßregelung in Kompostierungsanlagen beschäftigt. Zum Vergleich sei hier auf die Thematik der biologischen Abwasserbehandlung verwiesen. Über dieses Fachgebiet beinhaltet das o. g. Datenbanksystem 2.959 Aufsätze, wovon sich 40 ausschließlich mit der Thematik der Prozeßregelung auseinandersetzen. Weitere Nachforschungen in anderen Datenbanksystemen führten ebenfalls zu einem unbefriedigendem Ergebnis.

Auch konventionelle Recherchen mit Hilfe der Artikelregister „Verfahrenstechnische Berichte“ bzw. „Fachinformationszentrum Technik, Fachgebiet Steuer- und Regeltechnik“ sowie 14 Zeitschriften aus den Fachgebieten der Verfahrenstechnik bzw. des Maschinenbaus, welche bis in das Jahr 1987 zurückreichten, führten zu keinem auswertbaren Ergebnis.

4.2 Anfrage bei den Herstellern

Von den 42 Herstellern, welche schriftlich gebeten wurden, nähere Informationen über das von ihnen angebotene Kompostierungsverfahren sowie evtl. über dessen Regelungssystem mitzuteilen, schickten insgesamt 13 Hersteller Prospektmaterial. Es mußte jedoch festgestellt werden, daß die zugesandten Mitteilungen keine verwertbaren Informationen über die Prozeßregelung der Kompostierung enthielten. Drei weitere Unternehmen teilten schriftlich mit, daß von ihren Häusern grundsätzlich über allgemeine Informationsunterlagen hinaus keine näheren Beschreibungen über die Prozeßregelung der von ihnen angebotenen Kompostierungssysteme herausgegeben werden. Auch bei Telefongesprächen mit Herstellern, welche nicht geantwortet hatten, ergab sich, daß die Bereitschaft, nähere Informationen über die Prozeßregelung mitzuteilen, als sehr gering einzustufen ist. Viele der Gesprächspartner begründeten dies vor allem mit der zur Zeit herrschenden schlechten Marktlage. Bei einigen Telefonaten teilten die Gesprächspartner mit, daß der betreffende Hersteller

der Kompostierungsanlage zwar den maschinenbaulichen Teil liefert, das Regelungssystem des Kompostierungsprozesses jedoch bei einem zweiten Unternehmen, das in der Verfahrens- bzw. Elektrotechnik tätig ist, eingekauft wird. In den meisten Fällen wurde der Name des betreffenden Unternehmens jedoch nicht mitgeteilt.

Bis auf die Angaben eines Herstellers, der ein O₂-geregeltes Belüftungssystem für offene Mietensysteme vertreibt, konnten weder die betreffenden Regelgrößen noch Zielwerte in Erfahrung gebracht werden.

4.3 Recherche im Internet

Mit Hilfe der vier verschiedenen Suchmaschinen wurde innerhalb des Internets eine Recherche zur Prozeßsteuerung von Kompostierungsanlagen durchgeführt. Alleine über die Suchmaschine „altavista“ konnten 1.416 Dokumente gefunden werden, die das Wort „Kompostierung“ beinhalten. Dieses Suchergebnis scheint auf den ersten Blick ein großes Informationsangebot über den Bereich der Kompostierung widerzuspiegeln.

Tab. 4.3-1: Darstellung der Suchergebnisse verschiedener Begriffe im Internet

Auswahl an Suchbegriffen	Suchmaschinen			
	Altavista.com	Lycos.de	Fireball.de	Yahoo.de
Kompostierung	1.416	930	2.212	4
Umwelttechnik	12.162	17.320	11.639	73
Abfallwirtschaft	6.275	860	6.641	12
Prozeßsteuerung/ Kompostierung	-----	-----	-----	-----

Bei genauerer Betrachtung zeigte sich jedoch, daß sich der größte Teil der gefundenen Dokumente nur im entferntesten mit der Thematik der Kompostierung beschäftigte.

Mit Hilfe des Internets ist es jedoch möglich, die Adressen einiger Hersteller von Kompostierungsanlagen in Erfahrung zu bringen, die auf ihrer Internet-Seite ihr Unternehmen sowie ihr angebotenes Kompostierungssystem kurz vorstellen. Nähere Produktinformationen, wie sie z. B. die Prozeßregelung betraf, werden über diese Seiten jedoch nicht mitgeteilt.

Nur bei wenigen Dokumenten einiger Universitäten oder Vereinigungen bestand die Möglichkeit, sich über das Angebot an verfügbaren Forschungs- oder Diplomarbeiten, welche die Kompostierung zum Thema haben, zu informieren. Es mußte jedoch festgestellt werden, daß zum Thema der Prozeßregelung keine näheren Informationen verfügbar waren.

Bei einer Verknüpfung der beiden Suchbegriffe „Kompostierung“ und „Prozeßsteuerung“ bzw. „Prozeßregelung“ mußte bei allen Suchmaschinen ein negatives Ergebnis verzeichnet werden.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß über eine Recherche im Internet über den Stand der Prozeßregelung bei der Kompostierung zur Zeit keine Informationen zu erhalten sind. Eine zur gleichen Zeit erfolgte Recherche eines weiteren Studenten im Internet, die den englischsprachigen Raum betraf, kam zu einem ähnlichen Ergebnis.

4.4 Umfrageaktion bei den Betreibern von Kompostierungsanlagen

In diesem Kapitel wird erläutert wie hoch die Rücklaufbilanz an beantworteten Fragebögen war. Weiterhin wird dargelegt, über welche Regelungsgrößen sowie Parameterkombinationen und mit welchen technischen Hilfsmitteln (wie z. B. Art der Belüftung, Wahl des Meßortes) derzeit der Kompostierungsprozeß geregelt wird.

Die im Verlauf dieses Kapitels getroffenen Aussagen basieren sämtlich auf den schriftlichen sowie telefonischen Mitteilungen der Betriebsleiter. Des öfteren war es erforderlich, die im Fragebogen getroffenen Aussagen auf Plausibilität zu überprüfen. Hierbei ergaben sich bei telefonischen Rücksprachen zum Teil gegenüber den im Fragebogen geäußerten Informationen Abweichungen. Bei den von den Betriebsleitern telefonisch mitgeteilten Zielwerten und Zielwertkurven handelt sich in der Regel um Werte, die in der Praxis durchaus variieren können.

4.4.1 Rücklaufbilanz

Von den 176 angeschriebenen Betreibern schickten 90 einen bearbeiteten Fragebogen zurück. Von den Betreibern, die keinen beantworteten Fragebogen zurücksandten, teilten acht Anlagenbetreiber telefonisch mit, daß ihr jeweiliges Kompostwerk in der Zwischenzeit geschlossen wurde. Zur Begründung gaben vier ehemalige Anlagenbetreiber eine schlechte Vermarktungsfähigkeit des Kompostes an. Das Manko an Möglichkeiten den Kompost zu kostendeckenden Preisen abzugeben wurde in der ersten Linie auf den sich verhärtenden Konkurrenzkampf zurückgeführt. Dies trifft ebenso auf die Preise für die Behandlung von angeliefertem Bioabfall und Grünschnitt zu, welche von kleineren Betreiberfirmen nur schwer zu unterbieten sind.

Drei der acht geschlossenen Kompostierungsanlagen wurden wegen andauernder Schwierigkeiten bei der Prozeßführung, die zu unbefriedigenden Prozeßverläufen führten, geschlossen. Dabei handelte es sich ausschließlich um Boxen- bzw. Containersysteme. Hier führte die intensive Belüftung des Kompostmaterials des öfteren zu einem sehr geringen Wassergehalt innerhalb des Materials. Dadurch kam es zur Verzögerung bzw. zum Erliegen des Kompostierungsprozesses.

Weiterhin erstattete ein Betreiber telefonisch Bericht über einen fünf Jahre dauernden Vergleich zwischen einem Boxensystem, einem Rottetrommelsystem und einem mit einem Überfahrumsetzer ausgestatteten belüfteten offenen Mietensystem. Als Resultat ergab sich, daß die offene Mieta nicht nur im Hinblick auf den technischen und somit finanziellen Aufwand, sondern auch bei der Prozeßführung die besten Ergebnisse erzielte. Bei den beiden anderen Verfahren wurde neben dem verfahrenstechnischen und somit auch finanziellen Aufwand die Prozeßführung kritisch beurteilt. Bei dem Boxensystem bestand permanent die Gefahr der Austrocknung. Bei dem Rottetrommelsystem wurden neben den hohen Energiekosten und den wegen technischer Probleme langen Stillstandszeiten weiterhin unbefriedigende Prozeßverläufe verzeichnet.

Insgesamt betrachtet kann die Anzahl der auswertbaren Fragebögen aufgrund der hohen Rücklaufquote von 55,7 Prozent als zufriedenstellend bezeichnet werden, da bei postalischen Befragungen Rückläufe von weniger als 10 Prozent durchaus keine Seltenheit darstellen (Laatz 1993).

4.4.2 Gesamtüberblick über alle Baumuster

Wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, konnten alle beantworteten Fragebögen einem bestimmten Baumuster zugeordnet werden.

Tab. 4.4.2-1: Verteilung der Baumuster

Baumuster	Anzahl	Prozent- anteil	Prozentanteil nach BGK, 474 Anlagen Stand: Ende 1996	Prozentanteil nach BGK, 252 RAL Anlagen Stand: Ende 1996
Boxen- und Containersysteme	24	26,7	9,3	11,9
Brikollare	6	6,6	1,1	1,2
Tunnel- / Zeilenkompostierung	15	16,7	2,5	3,6
Trommelkompostierung	4	4,4	2,7	4,8
Geschl. Mietenkompostierung	18	20,0	63,7	72,2
Offene Mietenkompostierung	22	5,5		
Turmkompostierung	1	1,1	--	--
Sonstige / unbekannt	--	--	20,7	6,3

Der Anteil der offenen Mietensysteme ist im Vergleich zu den Zahlen der Bundesgütegemeinschaft Kompost unterrepräsentiert. Dies liegt daran, daß im Zuge dieser Erhebung von 119 der 176 angeschriebenen Anlagen bekannt war, daß sie über eine aktive Prozeßsteuerung verfügen. Dies ist zur Zeit bei den meisten offenen Mietensystemen nicht der Fall. So läßt sich auch der hohe Anteil der Tunnel- und Zeilensysteme sowie der Boxenkompostierungsanlagen erklären, die alle über eine aktive Prozeßsteuerung verfügen.

Wie die folgende Darstellung zeigt, bezogen sich 72 der bearbeiteten Fragebögen auf Anlagen, die über eine aktive Prozeßsteuerung verfügen. Von den weiteren 18 Anlagen ohne aktive Prozeßsteuerung entfielen 17 auf das Verfahren der offenen Mietenkompostierung sowie eine auf die Trommelkompostierung.

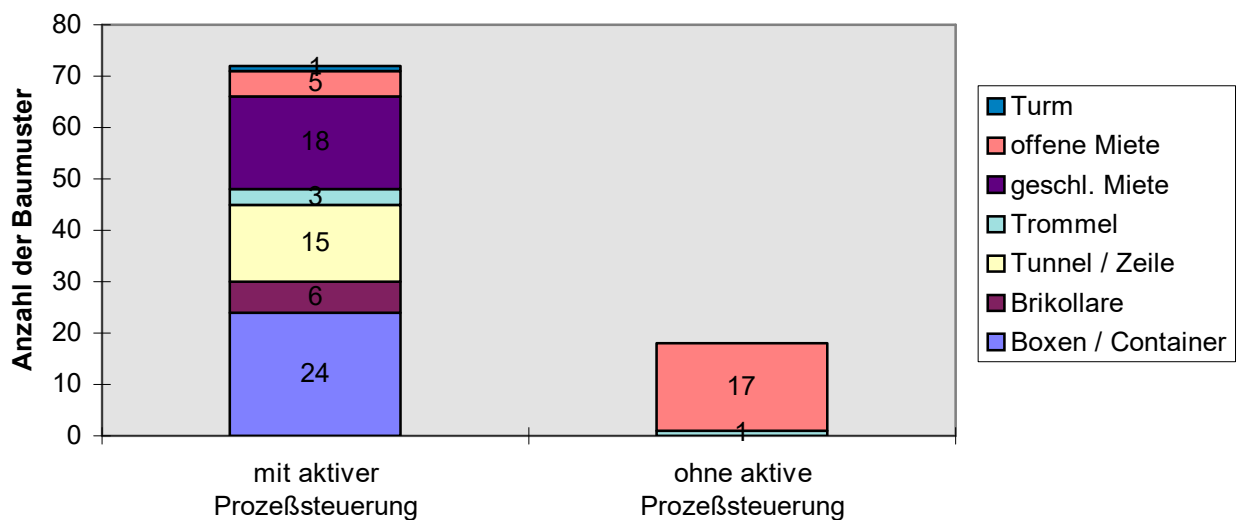


Abb. 4.4.2-1: Verteilung der Baumuster mit und ohne aktiver Prozeßsteuerung

Innerhalb von 93,1 Prozent aller 72 Anlagen, die über eine aktive Prozeßsteuerung verfügen, werden automatische Messungen der verschiedenen Parameter durchgeführt. Bei insgesamt fünf Anlagen werden ausschließlich manuelle Messungen während des Kompostierungsprozesses durch das Betriebspersonal vorgenommen. Hierbei handelt es sich um vier geschlossene sowie eine offene Mietenkompostierungsanlage.

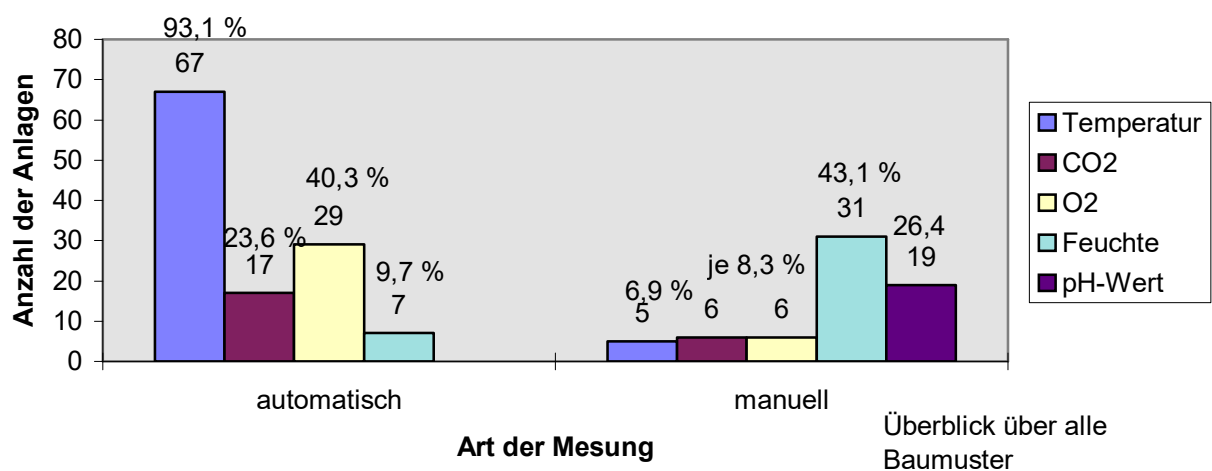


Abb. 4.4.2-2: Arten der Messung bei allen untersuchten Anlagen

Bei allen Anlagen, in denen automatische Messungen durchgeführt werden, findet eine Überprüfung der Temperatur statt. In deutlich weniger Anlagen werden die über die Atmung aussagefähigen Parameter wie der Sauerstoff- und der CO₂-Gehalt automatisch kontrolliert. So findet in 40,3 Prozent aller Anlagen, die über eine aktive Prozeßsteuerung verfügen, eine automatische Messung des Sauerstoffgehaltes statt. In 17 Anlagen (23,6 %) findet eine Analyse des CO₂-Gehaltes durch das jeweilige Meßsystem selbsttätig statt. Dabei ist anzumerken, daß sich darunter allein 13 Boxenkompostierungsanlagen eines einzigen Herstellers befinden.

In 31 Anlagen (44,4 %) wird durch eine Probenentnahme der Feuchtegehalt des Kompostes festgestellt. Es ist auffallend, daß in insgesamt 47,2 Prozent aller Anlagen während des Kompostierungsprozesses auf eine Überprüfung des Feuchtegehaltes verzichtet wird. Dies ist unter anderem auf die fehlende Möglichkeit der Probenentnahme bei den vollständig gekapselten Systemen wie in Boxen-, Container-, und Tunnelkompostierungsanlagen zurückzuführen. Eine automatische Messung der Feuchte findet nur in den wenigsten der untersuchten Anlagen (9,7 %) statt. Dabei handelt es sich neben vier Brikollare- um zwei Tunnel- sowie eine Boxenkompostierungsanlage. Hier mißt in der Regel ein Hygrometer den Feuchtegehalt des Abluftstromes, um so auf den korrelierenden Feuchtegehalt innerhalb des Kompostes schließen zu können.

Durch eine Probenentnahme findet in 19 Anlagen während des Kompostierungsprozesses eine Bestimmung des pH-Wertes statt. Die analysierten Ergebnisse haben jedoch auf die weitere Regelung des Prozesses keinen Einfluß.

Wie die Tabelle auf der folgenden Seite zeigt, wird bei 29,2 Prozent aller Anlagen, die über eine aktive Prozeßsteuerung verfügen, ausschließlich die Temperatur automatisch bestimmt. Darüber hinaus findet in weiteren 22 Anlagen (30,5 %) eine Messung des Sauerstoffgehaltes statt. In zwölf Anlagen wird neben einer Temperaturmessung als zweite Größe der CO₂-Gehalt automatisch analysiert, dabei handelt es sich ausschließlich um Boxenkompostierungsanlagen. Nur in fünf Anlagen (6,9 %) ist es möglich, neben einer automatischen Messung der Temperatur einen Vergleich zwischen den analysierten Werten von Sauerstoff- und CO₂-Gehalt durchzuführen.

In fünf weiteren Anlagen wird neben einer automatischen Temperaturmessung noch eine Bestimmung der Abluftfeuchtigkeit durchgeführt. Darunter befinden sich vier Anlagen, die dem Baumuster der Brikollare-Kompostierung zuzuordnen sind, sowie eine Boxenkompostierungsanlage.

Bei zwei nahezu baugleichen Tunnelkompostierungsanlagen wird neben der Temperatur und dem Sauerstoffgehalt zusätzlich eine Analyse über den Wassergehalt der Abluft über einen Hygrometer vorgenommen.

Bei der Mehrzahl der 36 Anlagen, in denen manuelle Messungen durchgeführt werden, wird mittels Probenentnahme der Feuchtegehalt des Kompostes bestimmt. So findet in elf Anlagen eine manuelle Messung ausschließlich in Form einer Bestimmung des Feuchtegehaltes statt. In 13 weiteren Anlagen wird neben dem Feuchtegehalt des Kompostes auch der pH-Wert bestimmt. Darüber hinaus wurden von den Betreibern noch acht weitere Kombinationen an manuell bestimmten Parametern genannt, die der folgenden Tabelle entnommen werden können.

Tab. 4.4.2-2: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei allen Kompostierungsanlagen

	Automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameter-kombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	21	29,2	--	--
Temp., CO ₂	12	16,7	--	--
Temp., O ₂	22	30,5	--	--
Temp., CO ₂ , O ₂	5	6,9	--	--
Temp., Feuchte	5	6,9	--	--
Temp., O ₂ , Feuchte	2	2,8	--	--
Feuchte, pH-Wert	--	--	13	18,1
Feuchte	--	--	11	15,3
Temp., Feuchte	--	--	3	4,2
CO ₂ , O ₂	--	--	2	2,8
CO ₂ , O ₂ , pH-Wert	--	--	2	2,8
pH-Wert	--	--	1	1,4
Feuchte, O ₂	--	--	1	1,4
Temp., Feuchte, pH	--	--	1	1,4
Temp., CO ₂ , Feuchte, pH	--	--	1	1,4
CO ₂ , O ₂ , Feuchte, pH	--	--	1	1,4
Summe:	67	93,1	36	50,0

Mit Hilfe von verfahrenstechnisch gleichartigen Temperatursensoren kann die Temperatur sowohl im Material als auch in der Zu- und Abluft bestimmt werden. Wie in Abb. 4.4.2-3 zu sehen ist, wird in 48 Anlagen die Temperatur im Material und bei 46 Anlagen innerhalb der Abluft bestimmt.

Der CO₂-Gehalt wird bis auf eine Ausnahme, bei der eine Messung mit Hilfe einer Stechsonde im Material vorgenommen wird, ausschließlich innerhalb des Abluftstroms bestimmt.

Eine Bestimmung des Sauerstoffgehaltes der Zu- oder Abluft findet in Form einer Gasanalyse unter Ausnutzung der paramagnetischen Eigenschaften des Sauerstoffes statt. Dabei wird in 13 Anlagen die Zu- und in 29 Anlagen die Abluft auf den Sauerstoffgehalt hin analysiert. In acht Anlagen findet eine Bestimmung des Sauerstoffgehaltes innerhalb des Kompostes statt. Hierbei bedient man sich fest installierter Meßsonden oder Handgeräte, die regelmäßig zur Kontrolle des O₂-Gehaltes benutzt werden.

Neben der oben erwähnten Feuchtebestimmung im Labor wird in einigen geschlossenen Anlagen der Wassergehalt der Prozeßluft bestimmt, um so auf den Feuchtgehalt des Kompostes schließen zu können. Neben einer Anlage, in welcher die Zuluftfeuchte bestimmt wird, wird in zehn Anlagen die Abluftfeuchte analysiert.

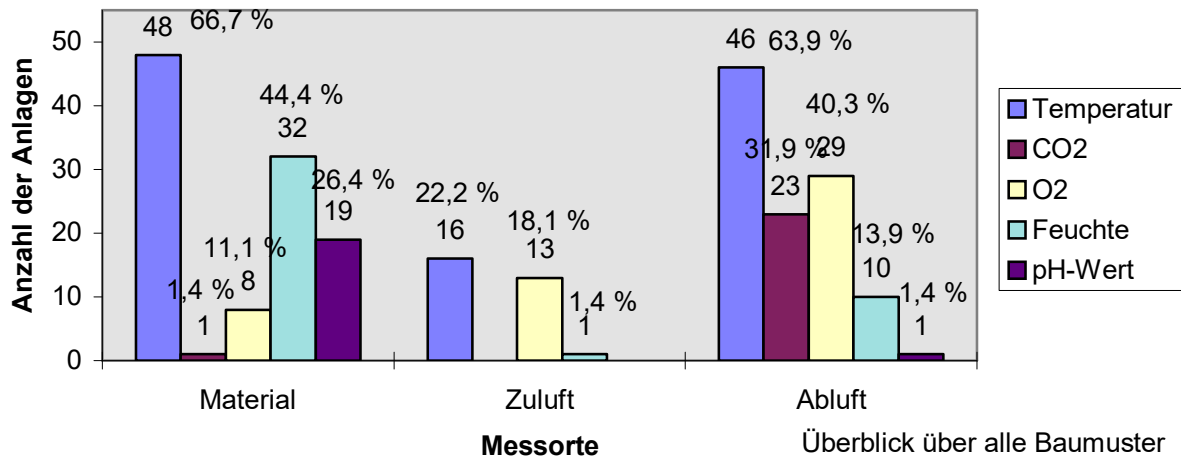


Abb. 4.4.2-3: Häufigkeit der gewählten Meßorte bei allen Kompostierungsanlagen

In 19 Anlagen findet eine Analyse des pH-Wertes im Labor statt. In einer der untersuchten Anlagen wird darüber hinaus auch eine pH-Wert-Analyse des Abluftkondenswassers durchgeführt.

Wie oben erwähnt, findet in allen Anlagen eine Messung der Temperatur statt. Wie der Tabelle 4.4.2-3 zu entnehmen ist, wird dabei in insgesamt 67,1 Prozent die Temperaturmessung jeweils nur an einem Ort durchgeführt. Davon wird in 36,1 Prozent aller Anlagen allein die Materialtemperatur bestimmt. Bei 30,1 Prozent wird statt dessen eine Messung der Temperatur ausschließlich innerhalb des Abluftstroms vollzogen. Bei einem deutlich geringeren Anteil von 17,8 Prozent wird die Temperatur an allen drei möglichen Meßstellen bestimmt.

Der CO₂-Gehalt wird in allen betreffenden Anlagen innerhalb der Abluft gemessen. In einer Anlage wird zudem der CO₂-Gehalt auch innerhalb des Materials analysiert.

Bei 51,4 Prozent der Anlagen, in denen der Sauerstoffgehalt kontrolliert wird, findet dies ausschließlich in Form einer Analyse der Abluft statt. In sieben weiteren Anlagen (20,0 %) ist es außerdem möglich, einen Vergleich zwischen dem Sauerstoffgehalt der zugeführten Prozeßluft und der Abluft vorzunehmen.

In nahezu drei Viertel aller Anlagen (73,7 %), in denen eine Bestimmung der Feuchte stattfindet, geschieht dies ausschließlich durch eine Probenentnahme vom Kompost. In fünf Anlagen (13,2 %) wird ausschließlich der Feuchtegehalt der Abluft bestimmt. In vier weiteren Anlagen hingegen findet ein Vergleich zwischen den gemessenen Feuchtwerten der Abluft und der sich tatsächlich einstellenden Feuchte des Kompostes statt. Innerhalb eines Tunnelsystems wird ein Vergleich zwischen dem jeweiligen Wassergehalt der Zu- und Abluft vorgenommen, um bei Bedarf die Zuluft zu befeuchten.

Tab. 4.4.2-3: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei allen Kompostierungsanlagen; der Prozentanteil ist auf den jeweiligen Parameter bezogen

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ – Gehalt		O ₂ – Gehalt		Feuchte		pH– Wert	
	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
Material	26	36,1	--	--	2	5,7	28	73,7	18	94,7
Zuluft	--	--	--	--	2	5,7	--	--	--	--
Abluft	22	30,1	22	95,7	18	51,4	5	13,2	--	--
Material, Abluft	9	12,3	1	4,3	2	5,7	4	10,5	1	5,3
Material, Zuluft	--	--	--	--	2	5,7	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	13	17,8	--	--	2	5,7	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	2	2,7	--	--	7	20,0	1	2,6	--	--

Die elementarste Frage, die im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden soll, war jene nach den verschiedenen Regelgrößen des Kompostierungsprozesses. Wie die folgende Tabelle 4.4.2-4 zeigt, wird bis auf zwei Ausnahmen, nämlich einer offenen Mietenkompostierung sowie der einzelnen Turmkompostierungsanlage, in allen untersuchten Kompostwerken die Temperatur als Regelungsgröße verwandt.

Tab. 4.4.2-4: Regelungsparameter bezogen auf die jeweiligen Baumuster

Baumuster- Kategorie	Regelungsparameter				
	Temperatur	CO ₂ -Gehalt	O ₂ -Gehalt	Feuchte	pH-Wert
Box / Cont.	24	13	3	1	--
Brikollare	6	--	--	3	--
Tunnel / Zeile	15	--	10	2	--
Trommel	3	--	2	1	--
Geschl.Miete	18	--	4	11	--
Offene Miete	4	1	3	1	--
Turm	--	--	1	--	--
Summe	70	14	23	19	--
Prozentanteil	97,2	19,4	31,9	26,4	--

Wie die Abbildung 4.4.2-4 auf der folgenden Seite zeigt, erfolgt bei einem Anteil von 56,9 Prozent der Kompostwerke die Regelung der Temperatur anhand einer vorgegebenen Zielwertkurve. Ein fester Grenzwert der Temperatur wird hingegen in 40,3 Prozent aller Anlagen, die mit einer aktiven Prozeßsteuerung ausgestattet sind, angewandt. Hierbei wurden von den betreffenden

Betriebsleitern überwiegend Grenzwerte von 65 bis 75° C genannt, bei deren Überschreitung eine verstärkte Belüftung bzw. eine Umsetzung veranlaßt wird.

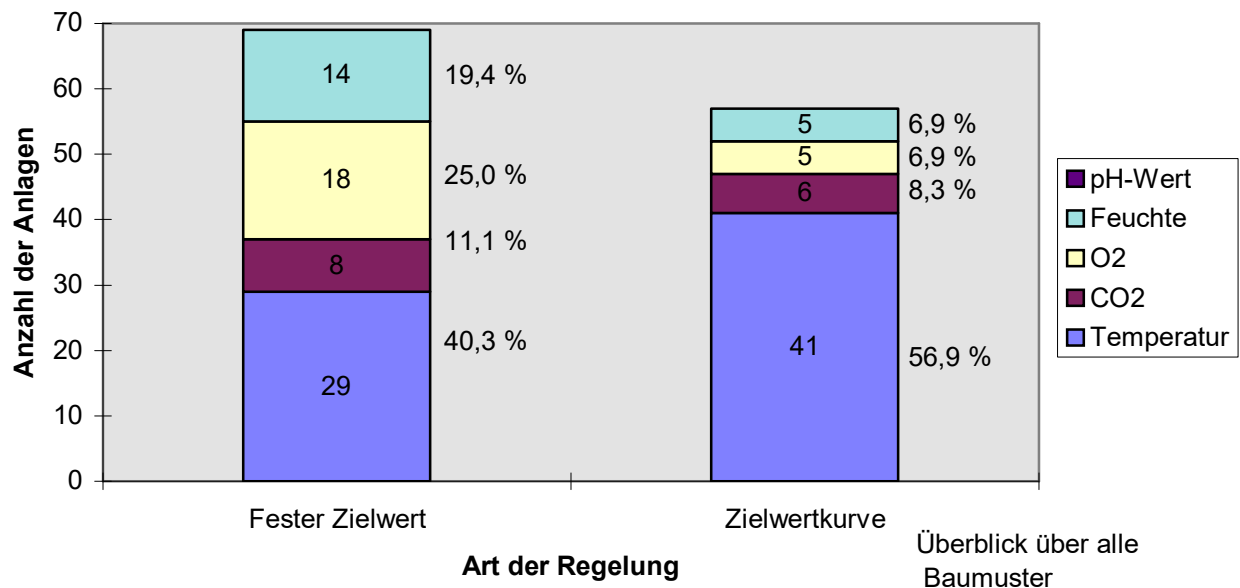


Abb. 4.4.2- 4: Regelungsgrößen aller untersuchten Kompostierungsanlagen

In 14 Anlagen (19,4 %) erfolgt eine Regelung des Kompostierungsprozesses über den CO₂-Gehalt der Abluft. Bis auf Ausnahme einer offenen Mietenkompostierungsanlage handelt es sich hierbei ausschließlich um Boxenkompostierungsanlagen. Bei sechs Anlagen erfolgt hierbei die Regelung des CO₂-Gehaltes entlang einer Zielwertkurve. Hierbei handelt es sich jedoch eher um eine Spanne als um eine Zielwertkurve. Innerhalb der sechs betreffenden Anlagen wird während des gesamten Prozeßverlaufs ein maximaler CO₂-Gehalt der Abluft von 4,5 Prozent angestrebt. Nur während der Hygienisierungsphase werden Maximalwerte von 4,8 bis 5,0 Prozent durch die Regelungssysteme zugelassen.

Bei 23 Anlagen (31,9 %) findet eine Regelung des Kompostierungsprozesses über den Sauerstoffgehalt statt. Dabei stellen die Anlagen nach dem Baumuster der Tunnelkompostierung mit zehn Anlagen die größte Gruppe dar. Ein fester Mindestwert wird dem Sauerstoffgehalt in 25,0 Prozent aller untersuchten Anlagen zugeordnet. Von den betreffenden Betriebsleitern wurden bei telefonischen Rücksprachen hierbei Werte von zehn bis 17 Prozent genannt, bei deren Unterschreitung eine Verstärkung der Belüftung veranlaßt wird. Hierbei wurde auch deutlich, daß bei den meisten Anlagen eine verstärkte Belüftung wegen Unterschreitung der vorgeschriebenen Sauerstoffzielwerte in der Regel nicht nötig wird, da die sich tatsächlich einstellenden Meßwerte des Sauerstoffgehalts deutlich über den vorgegebenen Mindestwerten liegen. Fünf Anlagenbetreiber (6,9 %) führten an, daß in deren Kompostwerken der Sauerstoffgehalt entlang einer Zielwertkurve geregelt werde. Bei Gesprächen mit den Betriebsleitern der betreffenden Anlagen wurde jedoch festgestellt, daß es sich hierbei nicht um Zielwertkurven, sondern um Grenzwertspannen handelt. Innerhalb deren Bandbreiten veranlassen die Regelungssysteme bzw. das jeweilige Betriebspersonal eine je nach Bedarf verstärkte Belüftung des Kompostes.

Bei 26,9 % der Anlagen wird der Wassergehalt als Regelungsgröße verwandt. Dieser geringe prozentuale Anteil ist unter anderem darauf zurückzuführen, daß es in den vollständig gekapselten Kompostierungssystemen wie der Boxen-, Container- aber auch der Tunnelkompostierung nicht möglich ist, eine direkte und gleichmäßige Befeuchtung des Kompostes durchzuführen. Ferner kann bei diesen Anlagentypen während des Kompostierungsprozesses keine Überprüfung der Materialfeuchte stattfinden. Statt dessen wird in wenigen Anlagen dieser Baugruppen eine Bestimmung der Abluftfeuchte vorgenommen, um anschließend durch eine befeuchtete Prozeßluft die Materialfeuchte zu beeinflussen. Mit insgesamt zwölf Anlagen stellen die Mietensysteme innerhalb der die Feuchte regelnden Anlagen die größte Gruppe dar. Denn hier ist es ohne einen großen technischen Aufwand möglich, den Feuchtegehalt im Labor zu bestimmen, um anschließend eine Befeuchtung des Kompostmaterials vorzunehmen. In 19,4 Prozent der Anlagen wird der Feuchtegehalt über den gesamten Prozeßverlauf konstant gehalten. In der Regel handelt es sich hierbei um einen Wassergehalt von 50 bis 55 Prozent, wobei bei einigen Anlagen gegen Ende des Kompostierungsprozesses eine Befeuchtung des Kompostmaterials nicht mehr durchgeführt wird. So beträgt der Feuchtigkeitsgehalt des Kompostes innerhalb dieser Anlagen gegen Ende des Prozesses 35 bis 45 Prozent. Innerhalb von 6,9 Prozent wird der Feuchtigkeitsgehalt über den gesamten Prozeßverlauf entlang einer Zielwertkurve geregelt. Dabei handelt es sich um eine kontinuierliche Abnahme des Feuchtegehalts von etwa 65 Prozent auf 40 Prozent gegen Ende des Prozesses. Es ist aber auch in einigen Anlagen möglich, dem Feuchtegehalt während verschiedener Phasen des Kompostierungsprozesses unterschiedliche Sollwerte zuzuordnen. Diese Sollwerte werden über den Kompostierungsverlauf stufenweise geringer.

Der pH-Wert stellt bei keiner der untersuchten Anlagen eine Regelungsgröße dar, obwohl dieser in 19 Anlagen im Labor bestimmt wird. Dieser wird ausschließlich zum Nachweis der von der Bundesgütegemeinschaft Kompost vorgegebenen Richtwerte überprüft. Die genauen Zielwerte der Prozeßregelung der verschiedenen Anlagen können im Anhang den Tabellen A 55 – A 61 entnommen werden.

Auf der folgenden Seite zeigt die Abbildung 4.4.2-5, daß der größte Anteil (31,9 %) der untersuchten Anlagen den Kompostierungsprozeß ausschließlich über die Temperatur regelt. In der zweitgrößten Gruppe sind die Kompostwerke enthalten, in welchen neben der Temperatur auch eine Regelung des Sauerstoffgehaltes stattfindet. Hierbei gilt es jedoch zu bedenken, daß bei den meisten der betreffenden Anlagen der Mindestsauerstoffgehalt so niedrig angesetzt ist, daß in der Regel die zur Wärmeableitung benötigte Luftmenge ausreicht, um den vorgeschriebenen Sauerstoffgehalt abzudecken.

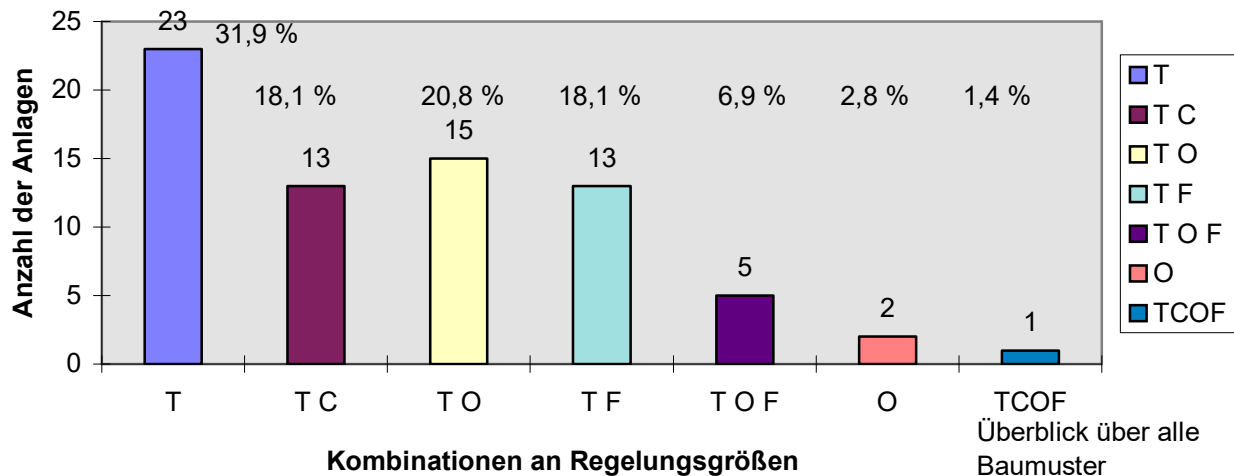


Abb. 4.4.2-5: Darstellung aller genannten Kombinationen an Regelgrößen

Bei 18,1 Prozent aller Anlagen findet eine Regelung der Temperatur sowie des CO₂-Gehaltes der Abluft statt. Hierbei handelt es sich ausschließlich um baugleiche Boxenkompostierungsanlagen, die sich nur in der Anlagenkapazität voneinander unterscheiden. Die Temperatur wird in diesen Anlagen abhängig von der Phase des Kompostierungsprozesses geregelt. Die Regelung des CO₂-Gehaltes der Prozeßluft dient jedoch in erster Linie der Reduzierung der Abluftmengen. Erst bei einer Überschreitung des Maximalwertes von 5,0 Prozent CO₂ wird ein Teil der in einem Umluftsystem geführten Prozeßluft abgeführt und gegen Frischluft ersetzt. Somit ist auch in dieser Gruppe die Temperatur als die bestimmende Regelungsgröße des Kompostierungsprozesses anzusehen.

In 18,1 Prozent wird der Kompostierungsprozeß über die Größen Temperatur und Feuchte geregelt. Während es jedoch möglich ist, die Temperatur ständig zu messen und durch Belüftung auf sie einzuwirken, wird die Feuchte in der Regel wöchentlich im Labor bestimmt, um die nötige Menge an zuzugebendem Wasser zu ermitteln. Nur bei insgesamt vier Anlagen ist es möglich, den Wassergehalt der Abluft durch Hygrometer ständig zu messen, um eine entsprechende Befeuchtung der Prozeßluft bzw. eine Wasserzugabe zu veranlassen.

Einen Sonderfall stellen die zwei Anlagen dar, in welchen ausschließlich der Sauerstoffgehalt geregelt wird, obwohl die Temperatur ebenfalls automatisch bestimmt wird.

Innerhalb nur einer untersuchten Anlage findet eine Regelung des Kompostierungsprozesses über die vier Regelgrößen Temperatur, CO₂, O₂ und Feuchte statt. Bei dieser offenen Mietenkompostierungsanlage werden die Temperatur sowie die über die Atmung aussagefähigen Parameter automatisch bestimmt. Die Feuchte dagegen wird im Labor analysiert. Eine automatische Regelung erfolgt allerdings nur in bezug auf die Temperatur. CO₂ und O₂ hingegen werden bei Bedarf durch eine vom Betriebspersonal veranlaßte Verstärkung der Belüftung korrigiert.

Nur in sechs Anlagen (8,3 %) werden mehr als zwei Regelungsgrößen verwandt. In den übrigen Anlagen findet eine Regelung der Temperatur und teilweise einer zweiten Regelgröße statt. Bis auf Ausnahme der oben erwähnten offenen Mietenkompostierungsanlage verfügt keine Anlage über ein

Regelungssystem welches eine vollständige Messung und Regelung der beiden über die Atmung aussagefähigen Parameter Sauerstoff und CO₂ ermöglicht. Mit Ausnahme der Boxensysteme wird die Atmung ausschließlich über den Sauerstoffgehalt berücksichtigt.

Bei Nichtbeachtung der Baumuster II und IV, bei welchen die Prozeßluft nicht direkt durch das Material geführt wird, zeigt Abb. 4.4.2-6, daß in insgesamt 35,5 Prozent der untersuchten Anlagen eine Belüftung mit Hilfe von Rohren oder Schläuchen stattfindet. Im Gegensatz zu den Spaltenböden, die in den restlichen 64,5 Prozent der Anlagen Verwendung finden, kann mit diesen Belüftungssystemen keine gleichmäßige Verteilung der Prozeßluft sichergestellt werden.

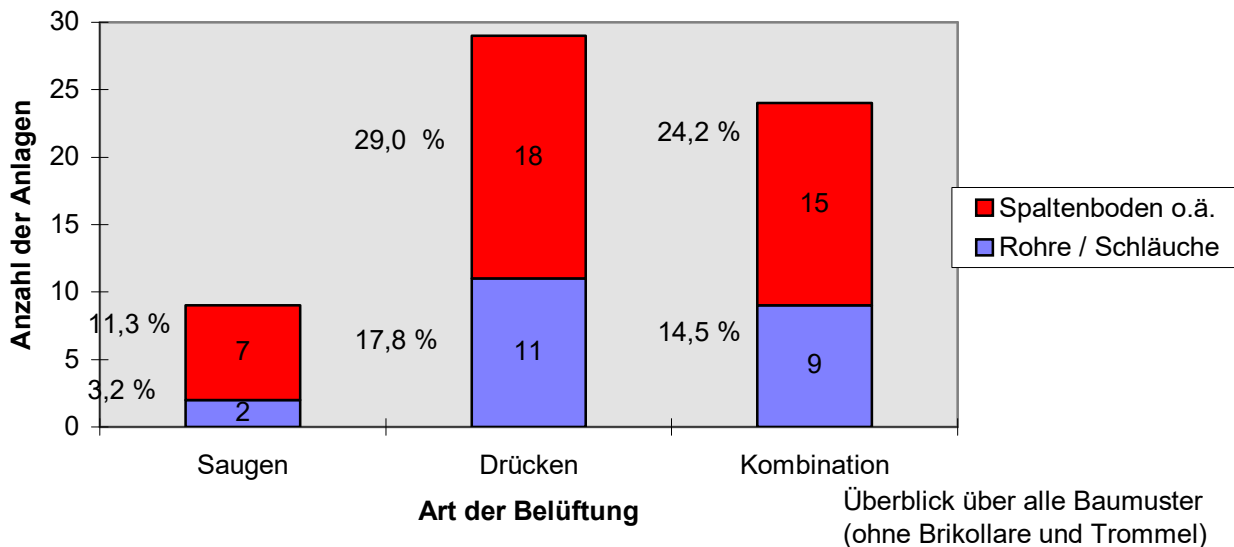


Abb. 4.4.2-6: Belüftungsarten bei allen untersuchten Kompostierungsanlagen

In neun Anlagen wird das Kompostmaterial in Form einer Saugbelüftung mit Frischluft versorgt. Dieses Belüftungssystem wird bevorzugt in Hallenkonstruktionen (geschlossene Mieten- und Zeilenkompostierung) eingesetzt, um deren vorzeitige Korrosion durch aggressive Klimate zu verhindern. Neben den Nachteilen für den Kompostierungsprozeß, gilt es hier auch anzumerken, daß bei saugbelüfteten Kompostierungsanlagen ein Umluftkreislauf nicht möglich ist. Dies hat wiederum eine große Menge an zu behandelnder Abluft zur Folge. Bei 46,8 Prozent aller untersuchten Anlagen wird hingegen eine Druckbelüftung eingesetzt. Bei 38,7 Prozent der Anlagen ist eine Kombination aus Druck- und Saugbelüftung gegeben. Bei Mieten oder Zeilensystemen werden hierbei die Segmente, auf denen sich Frischkompost befindet, mit der aus älteren Mieten mittels einer Saugbelüftung abgeführten Prozeßluft druckbelüftet. Neben einer geringeren Menge an zu behandelnder Abluft hat dies eine frühzeitigere Aktivierung der biologischen Prozesse zur Folge, da sich das Kompostmaterial schneller erwärmt. Bei Boxensystemen ist unter einer Kombinationsbelüftung ein von oben erfolgreiches Absaugen der von unten mittels einer Druckbelüftung eingebrachten Prozeßluft zu verstehen.

In 77,8 Prozent der untersuchten Anlagen ist es möglich, den Volumenstrom durch Stellventile oder Lüfterklappen dem jeweiligen Bedarf an benötigter Prozeßluft anzupassen (s. Anh. Tab. 1). Bis auf Ausnahme der Turmkompostierungsanlage ist bei keinem Kompostwerk eine nach dem jeweiligen Bedarf geregelte Leistung des Luftverdichters vorhanden. In diesen Anlagen ist aufgrund der ständig

mit größtmöglicher Leistung betriebenen Luftverdichter mit einem hohen Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten zu rechnen. In einer zweiten Gruppe, die einen Anteil von 22,2 Prozent repräsentiert, ist es nicht möglich, eine fortlaufend dem jeweiligen Bedarf an benötigter Prozeßluft angepaßte gleichmäßige Belüftung des Kompostes sicherzustellen (s. Anh. Tab. 1). Diese Belüftungssysteme werden entweder nach einem Zeitplan oder bei Über- oder Unterschreitung der jeweiligen Führungsgrößen ein- und ausgeschaltet. So wird der Kompost während einer Belüftungsphase innerhalb einer kurzen Zeit mit einer großen Menge an Frischluft beaufschlagt, welches in ungünstigen Fällen zu einer raschen Unterkühlung führen kann.

Ein Anteil von 43,1 Prozent der untersuchten Anlagen verfügt über einen Umluftbetrieb (s. Anh., Tab. 1). Dabei handelt es sich in der Regel um vollständig gekapselte Kompostierungssysteme wie der Boxen-, Container-, und Tunnelkompostierung. Neben einer deutlich reduzierten Abluftmenge hat ein Umluftbetrieb auch den Vorteil, den Kompost mit erwärmter Prozeßluft zu versorgen. Dadurch wird eine gleichmäßige Temperaturverteilung innerhalb des Kompostes sichergestellt. Bei Belüftungssystemen, die ausschließlich Frischluft zur Belüftung des Kompostes verwenden, sind in der Nähe des Lufteintritts deutlich geringere Temperaturen als im übrigen Haufwerk zu beobachten. Während kalter Witterungsbedingungen kann es in diesen Bereichen zu einer Unterkühlung kommen. In 18,1 Prozent der Anlagen ist es möglich, die eingetragene Frischluft mittels eines Wärmetauschers, welcher der Abluft Wärme entzieht, vor Eintrag in den Kompostkörper zu erwärmen (s. Anh., Tab. 1).

Von allen untersuchten Anlagen wird in 68,1 Prozent eine Befeuchtung durchgeführt (s. Anh., Tab. 2). Bei einigen Anlagen bezieht sich dies jedoch auf die Nachrotte, da in den meisten gekapselten Systemen eine Befeuchtung des Materials nicht erfolgt. In 30,1 erfolgt die Wasserzugabe durch das jeweilige Regelungssystem (s. Anh., Tab. 2). In der Regel wird der Feuchtegehalt im Labor festgestellt und anschließend die benötigte Menge an zuzugebendem Wasser vom Bediener der Anlage eingestellt. In 12,5 Prozent der Anlagen wird die Prozeßluft vor Eintrag in den Kompost künstlich befeuchtet. Dies bewirkt neben einer gleichmäßigen Befeuchtung des Kompostes auch eine deutlich geringere Menge an zu verdunstendem Wasser. Bei 25,0 Prozent wird bei Bedarf eine manuelle Wasserzugabe durch das Betriebspersonal veranlaßt (s. Anh., Tab. 2). Um eine gleichmäßige Verteilung der Feuchtigkeit sicherzustellen, erfolgt die Wasserzugabe in der Regel unmittelbar vor einem Umsetzungsvorgang.

Ein Anteil von 73,6 Prozent der untersuchten Anlagen verfügt über Regelungssysteme, die auf verschiedene Chargen reagieren können. Es stellte sich jedoch bei Rücksprachen heraus, daß dabei nur die Dauer des Kompostierungsprozesses, bzw. die der einzelnen Phasen, variiert wird. Eine Veränderung der Führungsgrößen findet in der Regel keine Anwendung.

Bei 48,6 Prozent der untersuchten Kompostwerke werden alle Anlagenteile zentral von einer Leitwarte überwacht und bedient (s. Anh., Tab. 5). Dabei zeichnet besonders die Baumuster der Brikollare- sowie der geschlossenen Mietenkompostierung ein hoher Automatisierungsgrad aus. Hier wird ein jeweils gleicher Anteil von 83,3 Prozent zentral über eine Leitwarte geregelt. Bei 27,8 Prozent müssen die einzelnen Anlagenteile jeweils dezentral bedient werden (s. Anh., Tab. 5). Dies

gilt besonders für die Baumuster nach der Boxen- und Containerkompostierung, da sie zu 54,4 Prozent aus Anlagen mit einer dezentralen Regelung bestehen (s. Anh., Tab. 11).

Eine Optimierung des Regelungssystems ist bei 16,7 Prozent der untersuchten Anlagen in der nächsten Zeit geplant (s. Anh., Tab. 6). Dabei sahen 6,9 Prozent der Betriebsleiter u. a. eine Reduzierung der hohen Energiekosten als notwendig an. Diese sind auch auf eine fehlende Möglichkeit der bedarfsgerechten Steuerung des Luftverdichters zurückzuführen, der ständig auch bei geringen Mengen an benötigter Prozeßluft bei voller Leistung betrieben wird. Bei 5,6 Prozent ist eine Optimierung wegen anhaltender Schwierigkeiten bei der Prozeßführung geplant (s. Anh., Tab. 6).

4.4.3 Baumusterkategorie I: Boxen- und Containerkompostierung

Dem Verfahren der Boxen- und Containerkompostierung konnten 24 auswertbare Fragebögen zugeordnet werden.

Bei der Boxen- und Containerkompostierung wird mit Ausnahme der Anlage (24), in welcher der Wassergehalt der Abluft automatisch gemessen wird, nur die Temperatur sowie die Atmung des zehnt- bis vierzehntägigen Prozesses überprüft. Bis auf eine Anlage (24) werden in allen Kompostwerken, die diesem Baumuster zuzuordnen sind, sämtliche Messungen automatisch durchgeführt. Wie Abbildung 4.4.3-1 zeigt, findet in allen Anlagen eine Messung der Temperatur statt. Zusätzlich wird in 54,2 Prozent aller Boxen- und Containerkompostierungsanlagen der CO₂-Gehalt festgestellt. Der Sauerstoffgehalt wird dagegen in nur 16,7 Prozent der Anlagen gemessen. Der Sauerstoffgehalt wird dagegen in nur 16,7 Prozent der Anlagen gemessen.

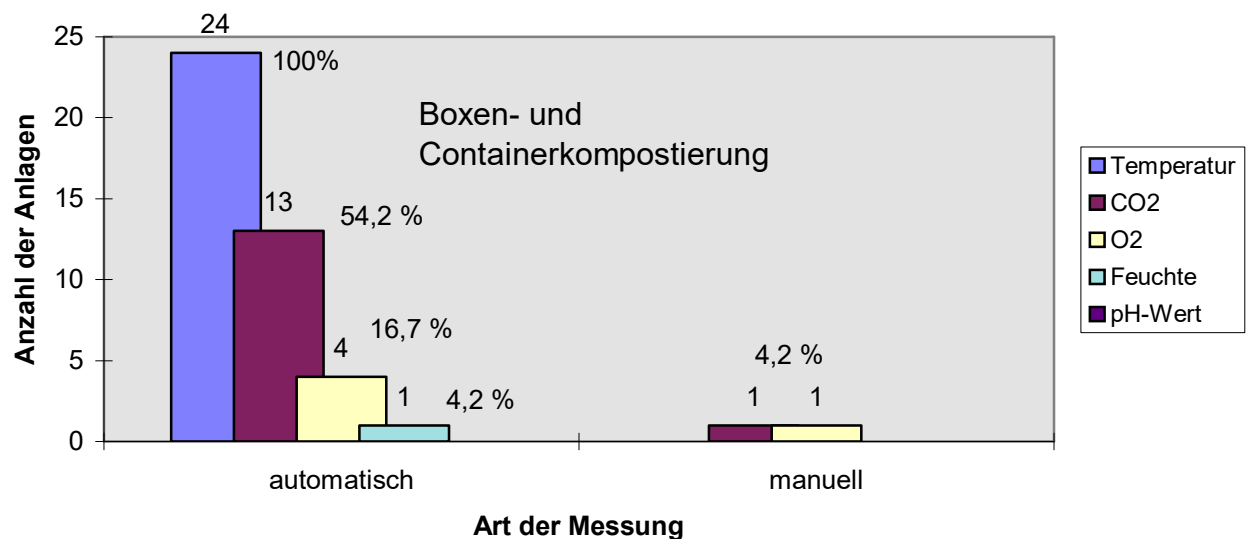


Abb. 4.4.3-1: Arten der Messung bei der Boxen- und Containerkompostierung

Wie die Tabelle 4.4.3-1 auf der folgenden Seite zeigt, wird bei 50,0 Prozent aller Anlagen eine Kombination aus den Parametern Temperatur und CO₂-Gehalt gemessen. In 29,2 Prozent der Anlagen wird ausschließlich die Temperatur überprüft. Innerhalb von 12,5 Prozent der Boxen- und Containerkompostierungsanlagen wird sowohl eine Messung der Temperatur als auch des

Sauerstoffgehaltes durchgeführt. Nur in einem Kompostwerk wird neben der Temperatur ergänzend ein Vergleich zwischen dem Sauerstoffgehalt der Zuluft und dem CO₂-Gehalt der Abluft durchgeführt. Wie oben erwähnt, findet innerhalb nur einer Anlage dieses Baumusters eine Messung der Feuchte statt, die parallel zur Temperaturmessung innerhalb des Abluftstromes durchgeführt wird.

Tab. 4.4.3-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der Boxen- und Containerkompostierung

	Automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	7	29,2	--	--
Temperatur, CO ₂	12	50,0	--	--
Temperatur, O ₂	3	12,5	--	--
Temp., CO ₂ , O ₂	1	4,2	--	--
Temp., Feuchte	1	4,2	--	--
CO ₂ , O ₂	--	--	1	4,2

Die folgende Abbildung 4.4.3-2 läßt erkennen, daß die Mehrzahl aller Meßdaten in den Anlagen dieses Baumusters innerhalb des Abluftstroms bestimmt wird. Die Temperatur beispielsweise wird bei 75,0 Prozent der untersuchten Anlagen in der Abluft gemessen. Bei 45,8 Prozent der Anlagen wird eine Temperaturbestimmung im Material mit Hilfe fest installierter Meßsonden durchgeführt. Aus diesen Daten geht hervor, daß teilweise parallele Messungen an verschiedenen Orten vorgenommen werden.

Abb. 4.4.3-2: Häufigkeit der gewählten Meßorte bei der Boxen- und Containerkompostierung

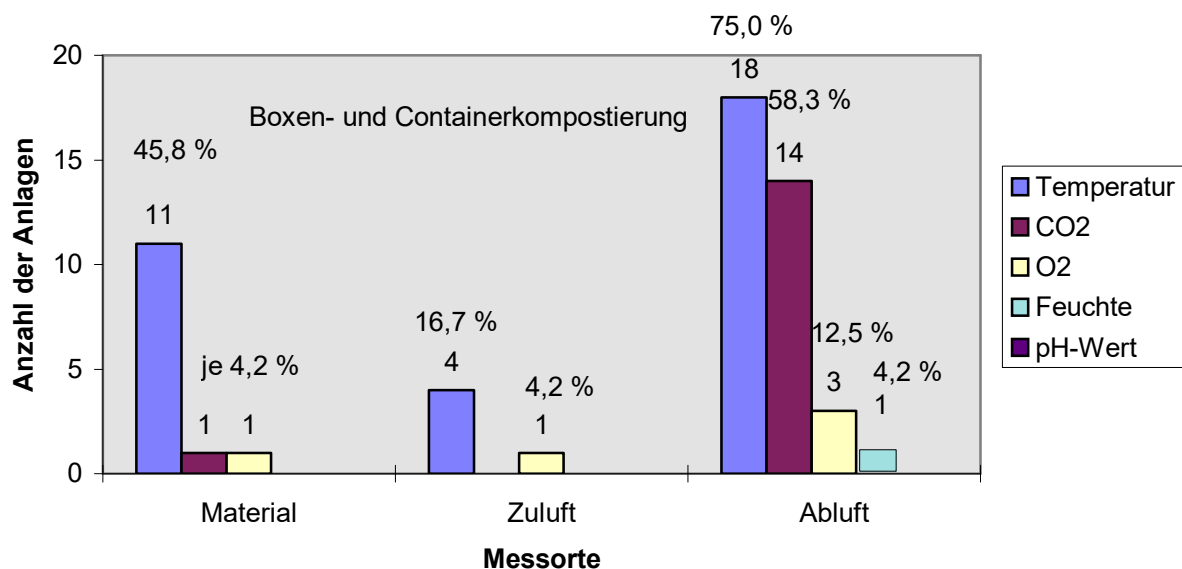


Tabelle 4.4.3-2 zeigt, daß bei dem Verfahren der Boxen- und Containerkompostierung eine Messung der drei Parameter Temperatur, CO₂- und O₂-Gehalt bei den meisten Anlagen ausschließlich in der Abluft stattfindet. Dies trifft besonders auf die Parameter der Atmung zu. Der CO₂-Gehalt wird in 92,8 Prozent der CO₂ messenden Systeme ausschließlich im Abluftstrom gemessen. Nur innerhalb eines Boxensystems wird ein manueller Vergleich der sich einstellenden CO₂-Werte zwischen Material und Abluft vorgenommen (Anlage 24).

In drei von fünf Anlagen, bei denen eine Bestimmung des Sauerstoffgehaltes stattfindet, wird diese Messung ausschließlich in der Abluft vorgenommen. Bei einer vierten Anlage wird diese Messung in der Zuluft vorgenommen. Bei der fünften Anlage hingegen wird der Sauerstoffgehalt sowohl in der Abluft als auch im Material gemessen.

Tab. 4.4.3-2: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Boxen- und Containerkompostierung; der Prozentanteil ist auf den jeweiligen Parameter bezogen.

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ -Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH-Wert	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Material	6	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--
Zuluft	--	--	--	--	1	20,0	--	--	--	--
Abluft	13	54,2	13	92,8	3	60,0	1	100	--	--
Material, Abluft	1	4,2	1	7,1	1	20,0	--	--	--	--
Material, Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	4	16,6	--	--	--	--	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

In 54,2 Prozent der Anlagen wird die Temperatur ausschließlich in der Abluft gemessen. In einem Anteil von 25,0 Prozent der Anlagen wird dieser Parameter durch in den Boxen bzw. Containern installierte Meßfühler nur im Material bestimmt. In einem Kompostwerk wird die Temperaturmessung sowohl in der Abluft als auch im Material vorgenommen. Eine optimale Überwachung der Temperatur, mittels Messungen innerhalb des Materials, der Abluft und der Zuluft, geschieht in 16,6 Prozent der Anlagen.

In nur einer Anlage findet eine kontinuierliche Messung des Wassergehaltes innerhalb der Abluft statt.

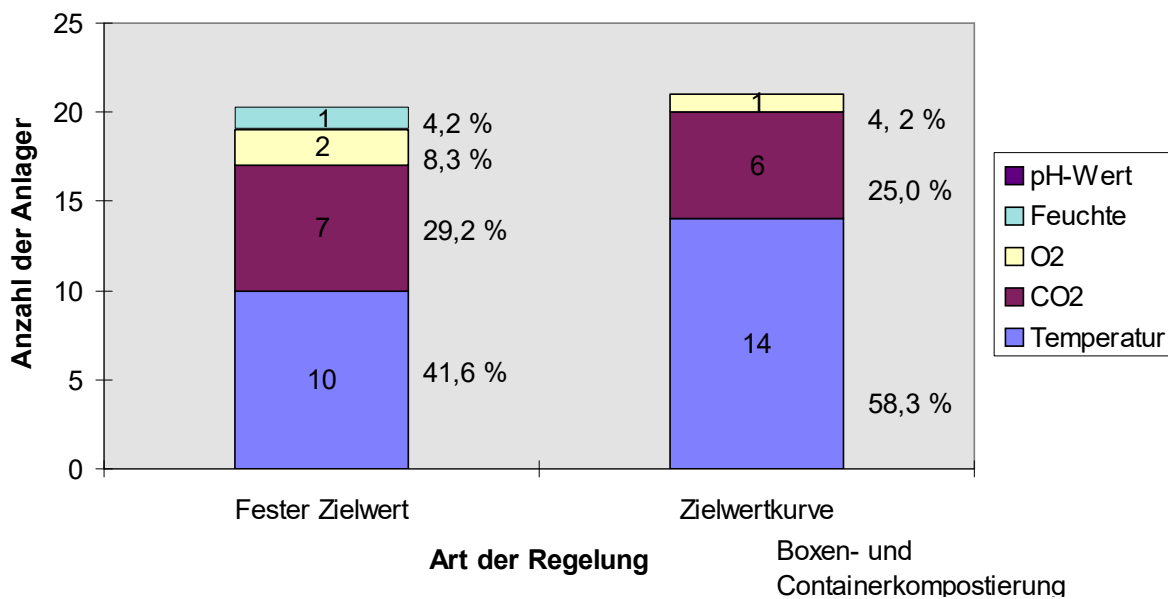
Wie die Abbildung 4.4.3-3 zeigt, werden bei der Rotteführung der Boxen- und Containerkompostierung als Regelungsgrößen die Temperatur, der CO₂-Gehalt sowie der O₂-Gehalt

berücksichtigt. Nur eine Anlage (24) orientiert sich zusätzlich an dem Feuchtegehalt der Abluft. Alle Anlagen regeln den Kompostierungsprozeß über die Temperatur, wobei dies bei 58,3 Prozent mit Hilfe einer Zielwertkurve geschieht.

Die übrigen Anlagen hingegen regeln die Temperatur entweder nach einem festen Grenzwert oder einer bestimmten Temperaturspanne. Letztere bewegt sich innerhalb von 60 bis 70° C mit dem Ziel, erstens eine ausreichende Hygienisierung zu sichern und zweitens eine Überhitzung zu verhindern.

Über den CO₂-Gehalt innerhalb der Abluft wird in 13 Anlagen -die alle von einem Hersteller stammen- der Kompostierungsprozeß geregelt. Dabei regeln sieben der 13 Anlagen den CO₂-Gehalt anhand eines festen Wertes und sechs über eine Zielwertkurve.

Abb. 4.4.3-3: Regelungsgrößen bei der Boxen- und Containerkompostierung



In der folgenden Abbildung 4.4.3-4 wird jedoch dargestellt, daß die CO₂-Führungsgröße nur für die Zeit der Hygienisierungsphase von etwa 4,5 Prozent auf 4,8 Prozent geändert wird. Weitere angestrebte Prozeßverläufe können im Anhang der Tabelle A 55 entnommen werden.

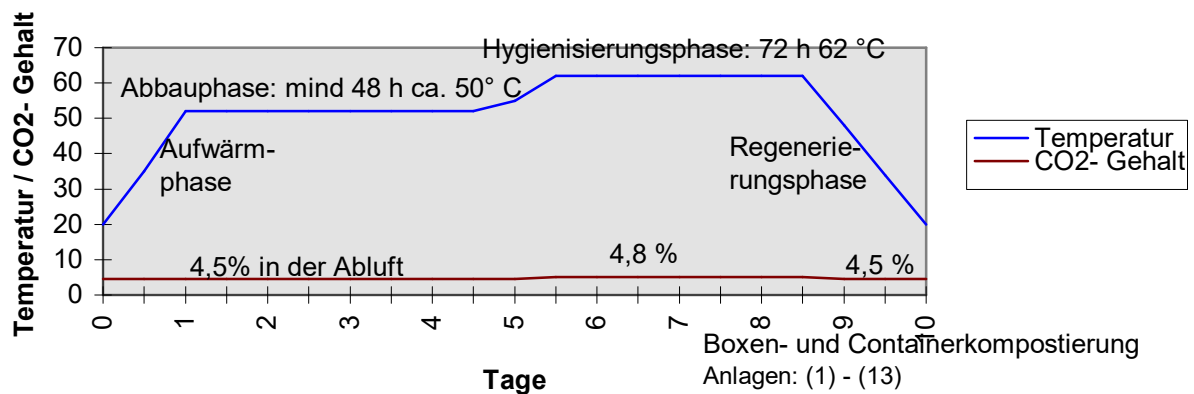


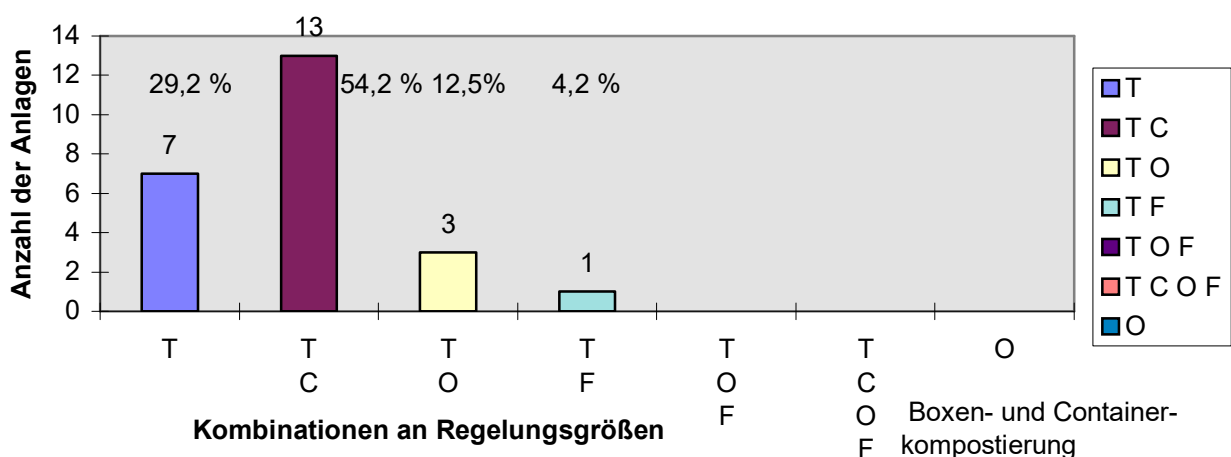
Abb. 4.4.3-4: Angestrebter Prozeßverlauf bei einem System der Boxen- und Containerkompostierung

In drei von 24 Anlagen wird der Kompostierungsprozeß mit Hilfe des Sauerstoffgehalts geregelt. Dabei wird dieser in zwei Anlagen auf einen festen Abluftwert von 16 Prozent fixiert. Ein Anlagenbetreiber gab an, daß in seiner Anlage der Sauerstoffgehalt mittels einer Zielwertkurve geregelt wird. Bei einer Rücksprache stellte sich jedoch heraus, daß darunter eine Grenzwertspanne von 16 bis 18 Prozent zu verstehen ist, in deren Bereich der Sauerstoffgehalt stabilisiert wird.

Als Ergebnis der Umfrage unter den Betreibern von Boxen- und Containerkompostierungsanlagen lassen sich vier Kombinationen an Regelungsgrößen aufzeigen, welche auf der folgenden Seite in Abb. 4.4.3-5 dargestellt werden. In 29,2 Prozent aller Anlagen wird ausschließlich über die Temperatur geregelt, während 54,2 Prozent der Kompostwerke über die Temperatur und den CO₂-Gehalt der Abluft den Kompostierungsprozeß regeln. Bei dem Gespräch mit den Betreibern dieser Anlagen stellte sich jedoch heraus, daß die eigentliche Führungsgröße die Temperatur darstellt. Der CO₂-Gehalt dient in erster Linie zur Regelung des Umluftbetriebes. Denn bei Überschreitung der vorgegebenen Zielwerte des CO₂-Gehaltes wird nicht der Volumenstrom verändert, sondern mehr Frischluft dem bei diesen Systemen vorhandenen Umluftbetrieb beigemischt. Die verbrauchte Prozeßluft, welche einen zu hohen CO₂-Anteil enthält, wird ausgetauscht und dem Biofilter zugeleitet.

Drei Anlagen regeln den Kompostierungsprozeß über eine Kombination aus den Regelungsgrößen Temperatur und Sauerstoff. Aus einem Gespräch mit den betreffenden Betreibern ging hervor, daß bei mindestens zwei der drei Anlagen die Temperatur als ausschließliche Regelungsgröße angesehen werden muß. Dies kann damit begründet werden, daß der niedrig angesetzte Sauerstoffgehalt aufgrund der zur Wärmeabfuhr notwendigen Belüftung selten unterschritten wird. So ist in der Abluft der Anlage (23) ein Mindestgehalt von 15 Prozent Sauerstoff vorgesehen. Tatsächlich wird jedoch über die längste Zeit des Prozesses ein Sauerstoffgehalt von ca. 18 Prozent festgestellt.

Abb. 4.4.3-5: Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Boxen- und Containerkompostierung



Nur in einer Anlage (24) wird neben der Temperatur auch die Feuchte als Regelgröße verwandt. Diese wird allerdings während des Aufenthaltes innerhalb der Box nicht beeinflusst, da hier nur der Feuchtegehalt mittels einer Abluftmessung festgestellt wird. Eine Befeuchtung findet nur bei dem

dreimalig stattfindenden Austrag des Materials statt. Bei dieser Gelegenheit wird dieser dann durch das System automatisch auf 40 Prozent eingestellt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, daß beim Verfahren der Boxen- und Containerkompostierung in einigen Anlagen neben der Temperatur auch der CO₂- sowie der Sauerstoffgehalt als Regelgrößen berücksichtigt werden. Dabei gilt es zu bedenken, daß die angewandten Grenzwerte der Sauerstoffregelung nur in Ausnahmefällen unterschritten werden. Auch der CO₂-Gehalt wird nur unzureichend berücksichtigt, da er in erster Linie zur Regulierung des Umluftbetriebes verwandt wird. Die Feuchte wird systembedingt bis auf eine Ausnahme nicht berücksichtigt, daher besteht bei diesen Systemen oft die Gefahr der Austrocknung.

Die Abbildung 4.4.3-6 zeigt die Anzahl der jeweils verwendeten Belüftungsarten: das Belüftungssystem verfügt bei 75 Prozent aller Anlagen der Boxen- und Containerkompostierung über einen Spaltenboden, der eine gleichmäßige Belüftung des Kompostmaterials sicherstellt. Nur bei einem Viertel der Anlagen dieses Baumusters sind Rohre oder Schläuche auf dem Boden installiert, durch welche die Prozeßluft abgegeben wird.

Die Belüftung findet bei der Boxen- und Containerkompostierung in Form einer Druckbelüftung statt.

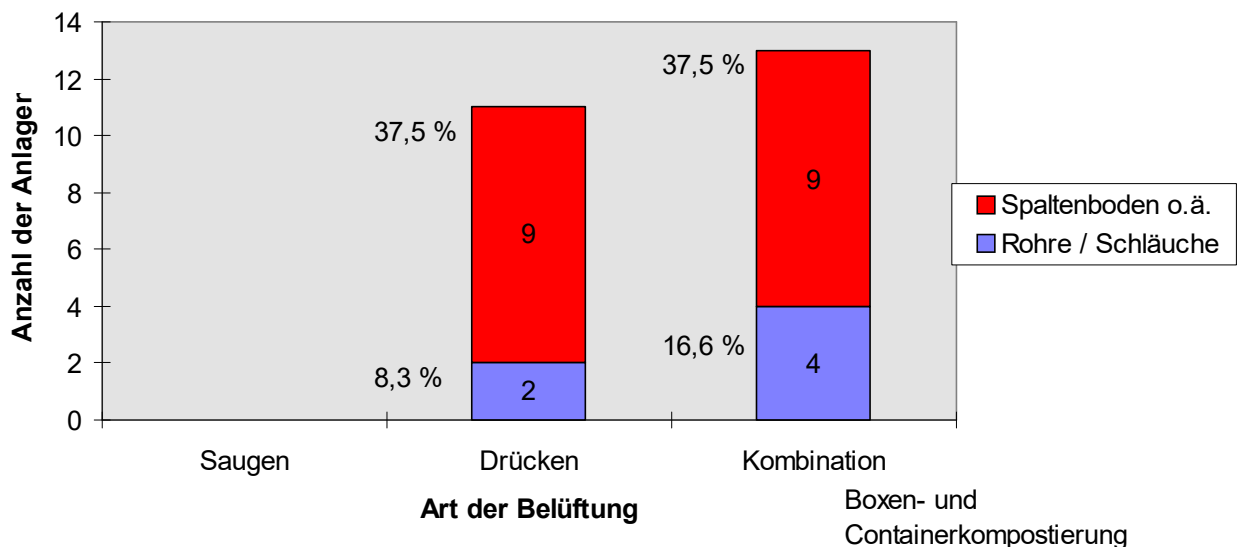


Abb. 4.4.3-6: Belüftungsarten bei der Boxen- und Containerkompostierung

Unter einer Kombination aus Saug- und Druckbelüftung ist bei diesem Baumuster ein von oben unterstützendes Absaugen der von unten in gleicher Richtung zugeführten Luft zu verstehen. Eine Saugbelüftung, wie man sie zum Beispiel bei der Mietenkompostierung antrifft, kommt bei der Boxen- und Containerkompostierung nicht zum Einsatz.

Bei 33,0 Prozent der Anlagen wird zur Beschleunigung des Kompostierungsprozesses eine Erwärmung der Prozeßluft durchgeführt (s. Anh., Tab. 7). 58,3 Prozent aller Anlagen verfügen über einen Umluftbetrieb, der die zum Biofilter abzuführenden Abluftmengen deutlich reduziert (s. Anh.,

Tab. 7). Ein Anteil von 70,8 Prozent verfügt über ein Belüftungssystem, das den Volumenstrom individuell dosieren kann. Bei den übrigen 29,2 Prozent ist es nur möglich, den Volumenstrom der Prozeßluft durch Ein- und Ausschalten der Belüftung anzupassen (s. Anh., Tab. 7).

Das größte Problem der Boxen- und Containerkompostierung stellt die ausreichende Wasserversorgung der Mikroorganismen dar, da eine Wasserzugabe hier nur unter erschwerten Bedingungen möglich ist. So findet auch nur bei 20,8 Prozent der Anlagen eine Befeuchtung statt (s. Anh., Tab. 8). Bei diesen Anlagen wird das in den Boxen enthaltene Kompostmaterial durch befeuchtete Prozeßluft mit Wasser versorgt. Bei den übrigen Anlagen wird der Versuch unternommen, vor dem Einbringen des Materials in die Boxen oder Container, einen für den zehn- bis vierzehntägigen Rotteprozeß ausreichenden Wassergehalt einzustellen.

Bei allen Anlagen ist es möglich, durch einen Computer die Rotteprozeßdaten zu speichern und bei Bedarf, wie beispielsweise bei Fehlchargen mit einem ungenügenden Rottegrad, zu dokumentieren (s. Anh., Tab. 9). 91,7 Prozent verfügen über verschiedene Regelungsprogramme, die es ermöglichen, auf verschiedene Chargen zu reagieren.

Im Gegensatz zu anderen Baumusterkategorien, wie zum Beispiel der geschlossenen Mietenkompostierung, ist der Automatisierungsgrad bei der Boxen- und Containerkompostierung überwiegend als gering einzustufen. In nur 12,5 Prozent der Anlagen wird über eine zentrale Leitwarte die gesamte Anlage überwacht und geregelt. Bei 54,2 Prozent ist es hingegen nur möglich, den eigentlichen Prozeß der Intensivrotte innerhalb der Boxen oder Container zu überwachen und zu regeln (s. Anh., Tab. 11). Die übrigen Anlagenteile müssen bei diesen Anlagen dezentral durch das Personal bedient werden.

Bei drei Anlagen (12,5 %) ist in nächster Zeit eine Optimierung des Regelungssystems geplant (Anlagen 11, 21) bzw. gerade durchgeführt worden (17) (s. Anh., Tab. 12).

Bei diesen drei Anlagen wurden hierbei zu hohe Energiekosten genannt. Ein Kritikpunkt war bei einer Anlage (21) die fehlende Dosierbarkeit der Belüftung. Hier ist es geplant, diese nicht nur ausschließlich über Regulierung der Stellventile, die sich unmittelbar vor den Containern befinden, zu dosieren, sondern auch bei Bedarf die Leistung des Luftverdichters zu drosseln.

Bei den zwei übrigen Anlagen wurde zusätzlich zu den hohen Energiekosten der als zu lang andauernd bezeichnete Rotteprozeß genannt (11, 17). Bei einer Anlage wurden zudem unbefriedigende Prozeßverläufe aufgrund eines zu geringen Wassergehaltes, der sich im Laufe des Prozesses einstellt, festgestellt (17).

4.4.4 Baumusterkategorie II: Brikollare-Kompostierung

Zur Zeit gibt es in Deutschland sechs nahezu baugleiche Kompostwerke, die nach dem Verfahren der Brikollare-Kompostierung arbeiten. Sämtliche sechs Anlagenbetreiber schickten einen beantworteten Fragebogen zurück.

Die Abbildung 4.4.4-1 zeigt, daß ausschließlich die Temperatur und die Feuchte automatisch gemessen werden. Neben einer in allen Anlagen erfolgenden Temperaturmessung, führen vier Anlagen zusätzlich eine Feuchtemessung innerhalb der Abluft durch. Die übrigen Parameter werden beim Brikollare-Verfahren manuell überprüft.

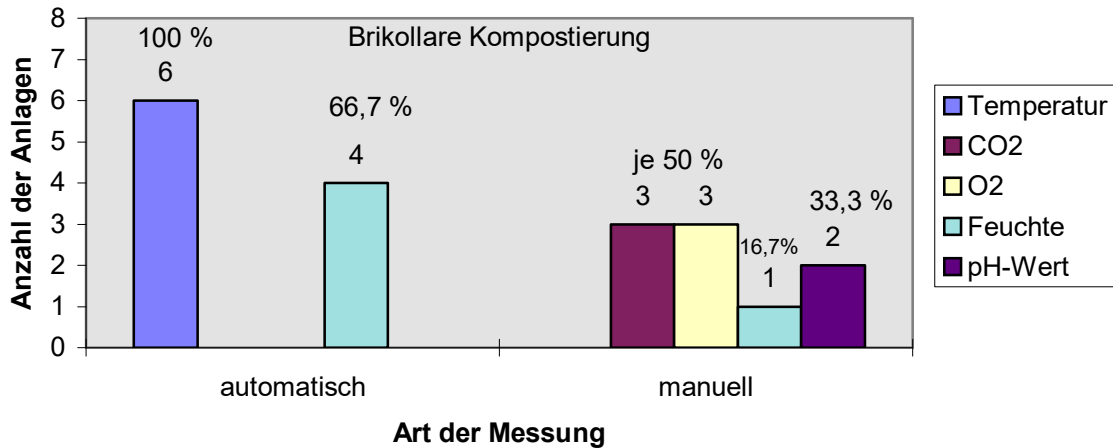


Abb. 4.4.4-1: Arten der Messung bei der Brikollare-Kompostierung

Alle automatischen Messungen werden in der Abluft der Rottekammer durchgeführt. Auch die manuell durchgeführten Messungen der Atmung, finden ausschließlich hier statt. Bestimmungen der Materialtemperatur sowie der Feuchte und dem pH-Wert werden stichprobenweise durchgeführt (s. Anh., Tab. 15, 16).

Beim Brikollare-Verfahren gelten die Temperatur sowie der Feuchtegehalt als Regelgrößen.

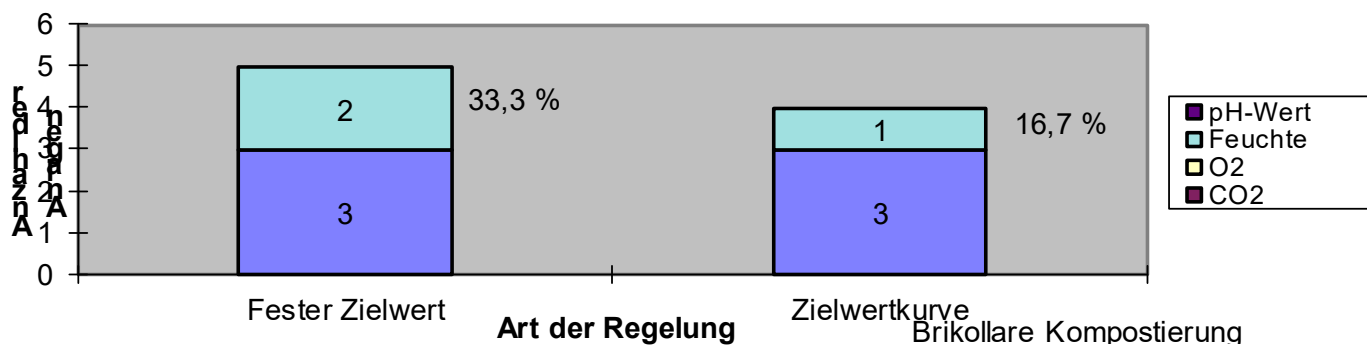


Abb 4.4.4-2: Regelungsgrößen bei der Brikollare-Kompostierung

In der einen Hälfte aller Anlagen wird ausschließlich über die Temperatur geregelt, während in der anderen Hälfte zusätzlich noch die Feuchte berücksichtigt wird (s. Anh., Tab. 17).

Bei diesem Verfahren stellt die Temperatur die wichtigste Führungsgröße dar. Bei der Feuchteregelung wird ein ständiges Austrocknen der Presslinge angestrebt. Die Hälfte aller Anlagen regelt die Temperatur über einen festen Grenzwert. Dieses Limit liegt bei den untersuchten Kompostwerken bei ca. 68° C. Bei dessen Überschreitung wird eine verstärkte Belüftung zur Wärmeableitung veranlaßt.

Die Abbildung 4.4.4-3 zeigt den angestrebten Prozeßverlauf der übrigen Kompostwerke.

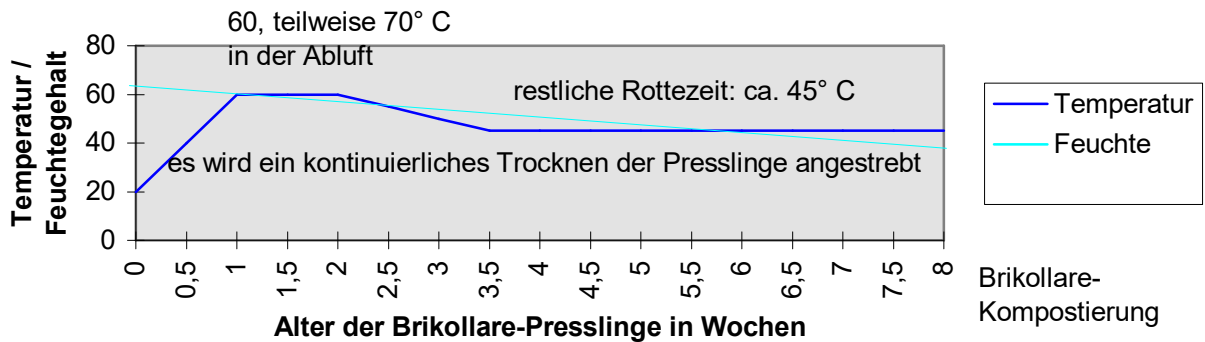


Abb. 4.4.4-3: Angestrebter Prozeßverlauf bei einer Anlage nach dem Brikollare – Verfahren

In diesen Anlagen wird zuerst eine Temperatur von mindestens 60° C innerhalb der Abluft angestrebt, damit eine ausreichend lang andauernde Hygienisierungsphase des Kompostes stattfinden kann. Nach einwöchiger Hygienisierung wird dann durch eine verstärkte Belüftung der Presslinge die Ablufttemperatur auf einen festen Grenzwert von etwa 45° C für die restliche Prozeßdauer festgelegt. Ferner stellt es ein Ziel dar, den Feuchtegehalt der Presslinge von einem Eingangswert, welcher bei ca. 60 Prozent anzusiedeln ist, auf einen Wert von ca. 35 Prozent gegen Ende des Prozesses zu reduzieren.

Bei dem Belüftungssystem handelt es sich bei der Brikollare-Kompostierung um einen Sonderfall. Bei der Brikollare wird die Prozeßluft um die Presslinge, die sich innerhalb einer Rottekammer befinden, geführt.

Bei vier der sechs Anlagen ist es möglich, die verwandte Prozeßluft einem Umluftkreislauf zuzuführen (s. Anh., Tab. 18). Zu Anfang des Kompostierungsprozesses wird mit Hilfe der dann vorgewärmten Prozeßluft ein schnellerer Anstieg der Temperatur erzielt. Zudem wird dadurch eine Reduktion der zu behandelnden Abluft ermöglicht.

Bei allen sechs Anlagen ist eine Dosierung der Prozeßluft möglich (s. Anh., Tab. 18). Dabei handelt es sich um Stellventile, die den jeweils benötigten Volumenstrom der einzelnen Rottekammern regulieren. Der Luftverdichter wird dabei ständig mit gleichbleibender Leistung betrieben, welches einen hohen Energieverbrauch zur Konsequenz hat.

In zwei Brikollare-Kompostwerken wird bei einem zu raschen Austrocknen der Presslinge die Prozeßluft befeuchtet (s. Anh., Tab. 19). Sonstige Verfahren der Befeuchtung werden bei diesem Kompostierungssystem nicht angewandt.

Die Brikollare-Kompostwerke zeichnet ein hoher Automatisierungsgrad aus, da es bei fünf von sechs Anlagen möglich ist, über eine zentrale Leitwarte die gesamte Anlage zu überwachen und zu regeln (s. Anh., Tab. 22). In einem Kompostwerk kann dagegen nur der eigentliche Prozeß innerhalb der

Rottekammern zentral überwacht werden, während die übrigen Anlagenteile dezentral gesteuert werden.

Nach Auskunft der Betreiber ist zur Zeit keine Optimierung der Regelungssysteme geplant. Dabei gilt es jedoch zu bedenken, daß bei fünf von sechs Brikollare-Anlagen der Hersteller zugleich auch Betreiber der Kompostwerke ist. Eine Information über die Probleme bei der Prozeßführung ist daher nicht zu erwarten.

4.4.5 Baumusterkategorie III: Tunnel- und Zeilenkompostierung

Eine Anzahl von 15 bearbeiteten Fragebögen konnte der Tunnel- und Zeilenkompostierung zugeordnet werden.

Wie die Abbildung 4.4.5-1 zeigt, wird bei allen Anlagen nach dem Baumuster der Tunnel- und Zeilenkompostierung die Temperatur automatisch überwacht. 80 Prozent aller Anlagen messen zusätzlich den Sauerstoffgehalt. Bei keiner Anlage findet hingegen eine Überprüfung des CO₂-Gehaltes statt.

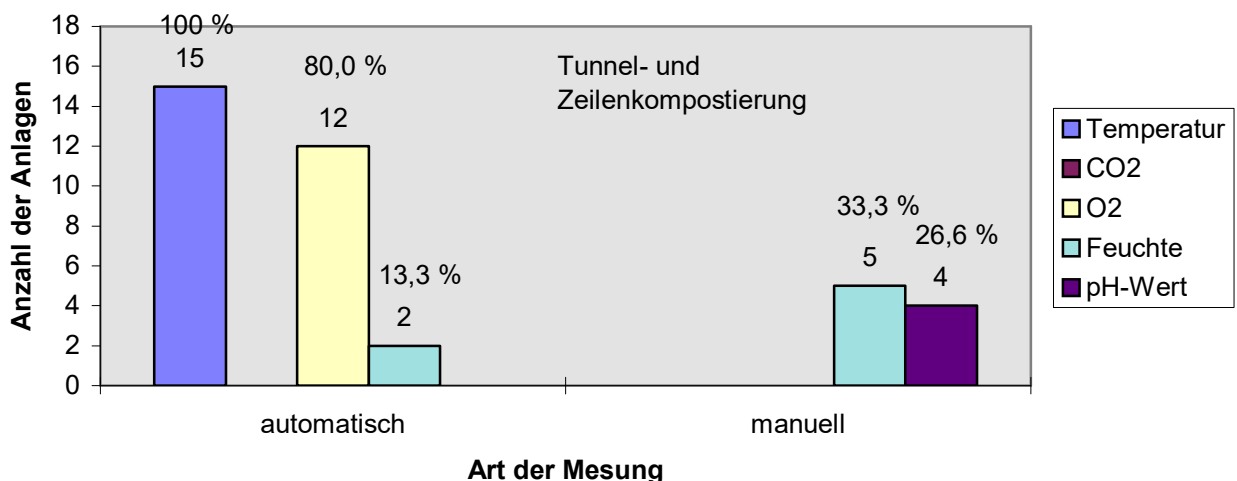


Abb. 4.4.5-1: Arten der Messung bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

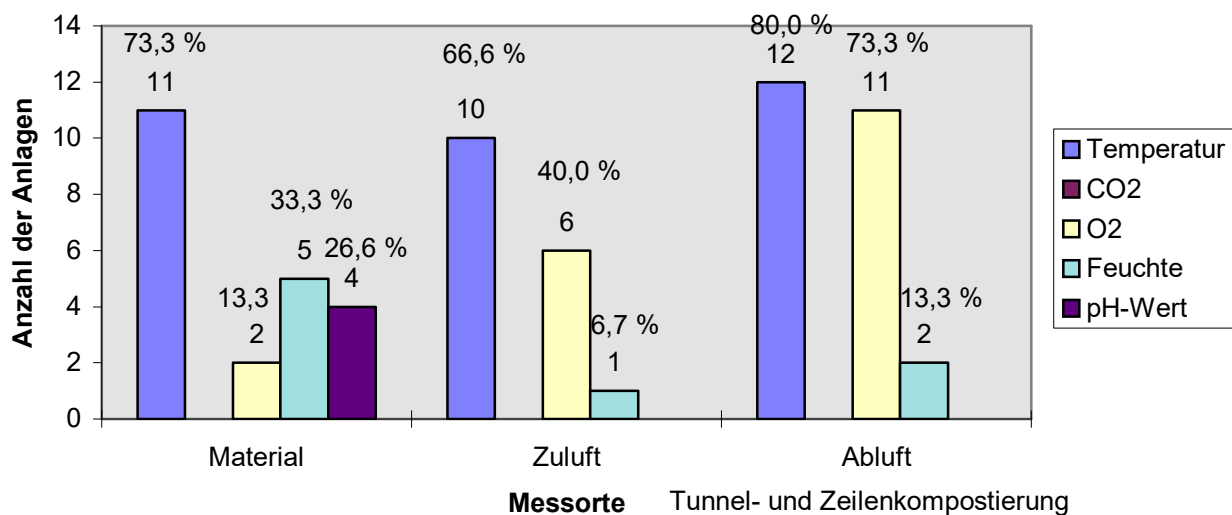
Bei Betrachtung der gemessenen Parameter fällt auf, daß in zwei der 15 Anlagen die Feuchte automatisch gemessen wird. Um auf den korrelierenden Feuchtegehalt des Kompostes schließen zu können, wird bei diesen Anlagen eine Bestimmung der Abluftfeuchte vorgenommen. Manuell wird bei fünf Werken dieser Baumusterkategorie die Feuchte und bei vier Anlagen der pH-Wert überprüft. Dabei gilt es zu beachten, daß bei den Tunnelkompostierungsanlagen eine manuelle Messung nur außerhalb des Systems erfolgen kann.

Tab. 4.4.5-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

	Automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	3	20,0	--	--
Temperatur, O ₂	10	66,6	--	--
Temp., O ₂ , Feuchte	2	13,3	--	--
Feuchte	--	--	1	6,7
pH-Wert	--	--	1	6,7
Feuchte, pH-Wert	--	--	3	20,0

Bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung werden drei Kombinationen an automatisch gemessenen Parametern verzeichnet. Während drei Anlagen ausschließlich die Temperatur überprüfen, wird bei zehn Anlagen zusätzlich der Sauerstoffgehalt gemessen. In den beiden Anlagen, in denen es möglich ist, den Feuchtegehalt der Abluft automatisch zu bestimmen, erfolgt ebenfalls eine automatische Messung von Temperatur und Sauerstoff.

Abb. 4.4.5-2: Häufigkeiten der gewählten Meßorte bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung



Obwohl sich unter den 15 Anlagen nur vier Zeilensysteme befinden, bei denen eine Messung im Material ohne große Schwierigkeiten durchzuführen ist, zeigt Abbildung 4.4.5-2, daß in elf Anlagen eine Messung der Materialtemperatur durchgeführt wird.

Nach Rücksprachen ergab sich, daß bei den betreffenden Tunnelsystemen von der Decke mehrere Einstechsonden zur Temperaturmessung herabgelassen werden. In zwei Tunnelanlagen wird darüber hinaus zusätzlich eine Messung des Sauerstoffgehaltes ebenfalls mittels Stechlanzen vorgenommen.

Die Tabelle 4.4.5-2 zeigt, daß 53,3 Prozent der Tunnel- und Zeilenkompostierungssysteme eine Temperaturmessung sowohl im Material als auch in der Zu- und Abluft durchführen. Ein Anteil von 13,3 Prozent der Anlagen führt einen Vergleich zwischen den Zu- und Ablufttemperaturen durch. Bei einem Drittel aller Anlagen wird die Temperatur ausschließlich an einem Ort gemessen. Davon wird bei 20,0 Prozent der Anlagen die Temperatur ausschließlich im Material und bei 13,3 Prozent ausnahmslos in der Abluft gemessen.

Von allen zwölf Anlagen, in denen der Sauerstoffgehalt bestimmt wird, geschieht dies bei 50 Prozent ausschließlich innerhalb des Abluftstroms. Weitere 33 Prozent führen einen Vergleich zwischen den Sauerstoffwerten der Zu- und Abluft durch. Nur innerhalb einer Anlage wird der Sauerstoffgehalt kontinuierlich über den gesamten Weg der Prozeßluft überprüft.

Tab. 4.4.5-2: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung; die Prozentanteile beziehen sich auf den jeweiligen Parameter

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH-Wert	
	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%
Material	3	20,0	--	--	--	--	5	71,4	4	100
Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Abluft	2	13,3	--	--	6	50,0	1	14,3	--	--
Material, Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft	--	--	--	--	1	8,3	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	8	53,3	--	--	1	8,3	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	2	13,3	--	--	4	33,3	1	14,3	--	--

Wie oben erwähnt, wird in zwei Anlagen der Wassergehalt nicht innerhalb des Materials, sondern in der Abluft mit Hilfe von Hygrometern automatisch gemessen. Bei einer der beiden Anlagen findet zudem ein Vergleich der Abluft- mit den Zuluftwerten statt. Bei den anderen fünf Anlagen, geschieht die Bestimmung der Materialfeuchte im Labor. Dies gilt ebenso für die Bestimmung des pH-Wertes.

Wie die Abbildung 4.4.5-3 zeigt, wird bei den Anlagen nach dem Baumuster der Tunnel- und Zeilenkompostierung der Kompostierungsprozeß mit Hilfe der Größen Temperatur, Sauerstoff und Feuchte geregelt.

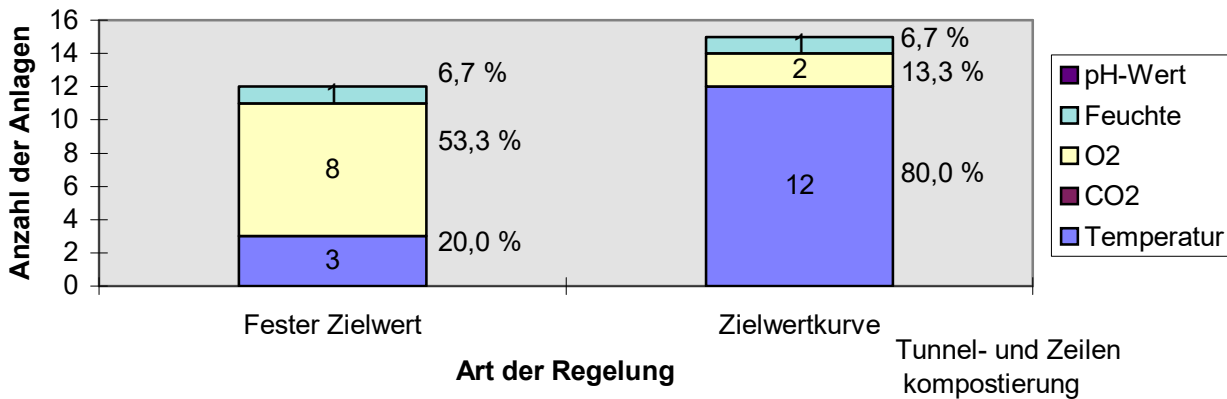


Abb. 4.4.5-3: Regelungsgrößen bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

In allen Anlagen wird der Kompostierungsprozeß über die Temperatur geregelt. Bei 80 Prozent der Anlagen wird dabei die Einhaltung von vorgegebenen Temperatursollwerten entlang einer Zielwertkurve angestrebt. In den restlichen 20 Prozent wird der Temperatur ein fester Grenzwert zugeordnet, bei dessen Überschreitung eine verstärkte Belüftung zur Ableitung der gestauten Wärmemenge durchgeführt wird. So wird in der Anlage (2) eine Temperatur des Kompostes von 65° C als maximaler Wert zugelassen, den es nach einer Hygienisierungsphase nicht mehr zu überschreiten gilt.

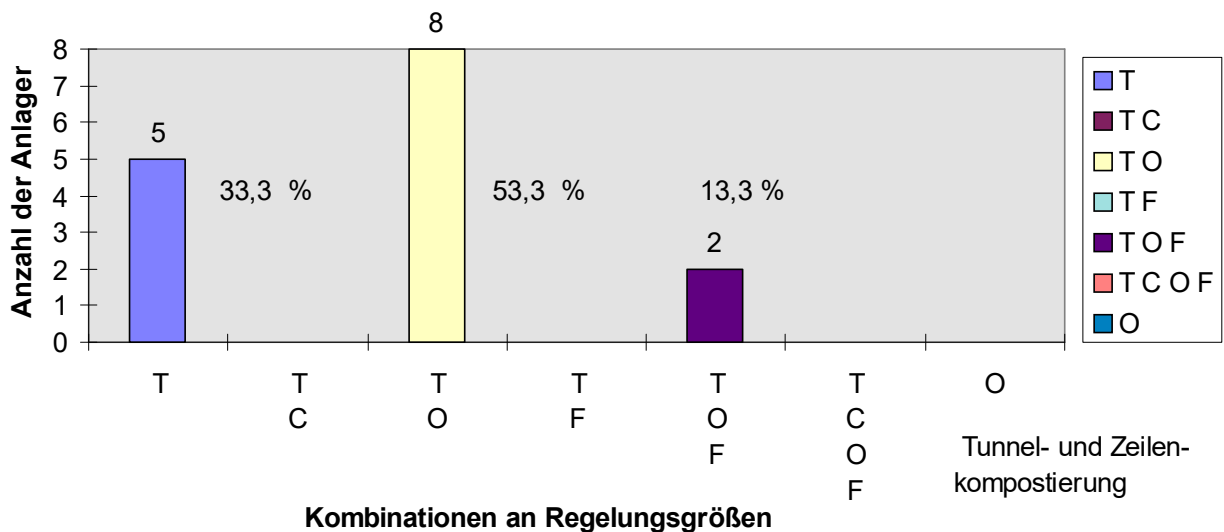


Abb. 4.4.5-4: Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

In 66,6 Prozent der Anlagen wird darüber hinaus eine Regelung über den Sauerstoffgehalt vorgenommen. Ein Anteil von 33,3 Prozent aller Anlagen ordnet dem Sauerstoffgehalt einen festen Mindestwert zu. Zwei Betreiber (13,3 %) (9, 10) teilten mit, daß in ihren Anlagen die Führungsgröße des Sauerstoffs einer Zielwertkurve folgt. Bei einer Rücksprache wurde jedoch festgestellt, daß es

sich hierbei um Sollwertspannen handelt, innerhalb deren Bereiche die Belüftung zusätzlich zur benötigten Luftmenge zur Wärmeableitung variiert wird. So wird in der Anlage (9) bei einem Sauerstoffgehalt der Abluft innerhalb einer Grenzwertspanne von 15 bis 17 Prozent die Belüftung je nach Erfordernis verstärkt. Dabei wird nach Auskunft des Betriebsleiters der Mindestwert von 15 Prozent selten erreicht. Die Regelung des O₂-Gehaltes geschieht in erster Linie zur Vermeidung anaerober Zustände, die prozeßbestimmende Führungsgröße stellt hingegen die Temperatur dar.

Einzig in den Anlagen (10) und (15) wird der Feuchtegehalt als Regelgröße verwandt. Dabei verfolgt ein Zeilensystem (Anlage10) mittels manueller Messungen und Wasserzugaben eine vorgegebene Zielwertkurve. Innerhalb des Tunnelsystems (Anlage 15) wird versucht, die Feuchte auf eine feste Führungsgröße von 50 Prozent zu stabilisieren. Zu diesem Zweck wird in dieser Anlage der Wassergehalt der Zu- und Abluft automatisch gemessen und bei Bedarf die Zuluft künstlich befeuchtet. Bei den restlichen Anlagen findet die Regelung ohne Berücksichtigung der Feuchte statt, daher muß gerade bei den betreffenden Tunnelsystemen öfter mit einem Austrocknen des Kompostes gerechnet werden.

In Abb. 4.4.5-5 sind die Sollwerte der Regelungsgrößen einer Zeilenkompostierungsanlage (10) in Abhängigkeit des Kompostalters dargestellt.

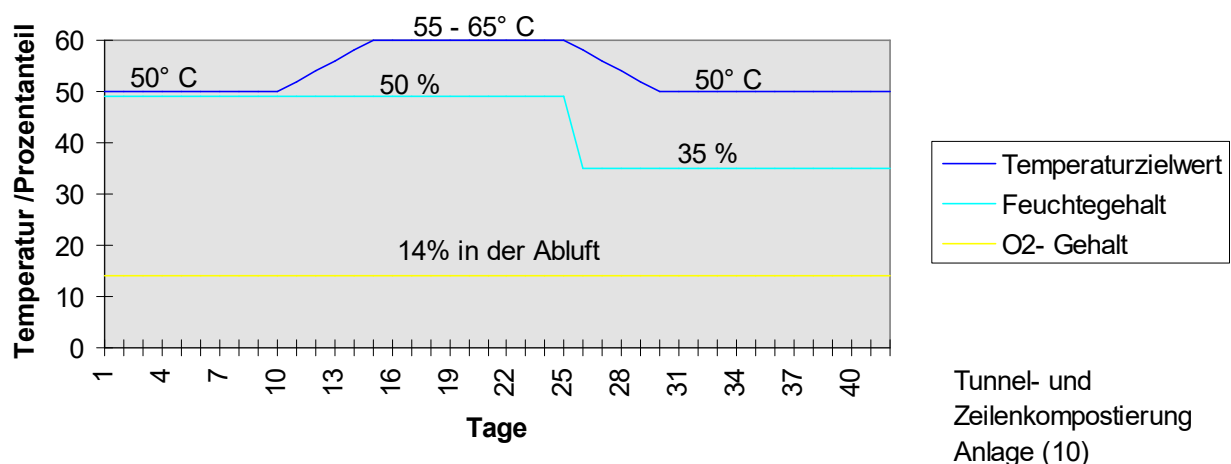


Abb. 4.4.5-5: Angestrebter Prozeßverlauf bei einem Zeilensystem

Der sechs Wochen andauernde Kompostierungsprozeß wird bei dieser Anlage in drei Phasen unterteilt: der Vor-, Haupt- und Nachrotte. Die Regelungsgrößen Temperatur und Feuchte werden dabei nach einer vorgegebenen Zielwertkurve geregelt. Der Sauerstoffgehalt innerhalb der Abluft soll mindestens 14 Prozent betragen.

Als Hauptführungsgröße wird die Temperatur angesehen, da die zur Wärmeableitung benötigte Luftmenge den geforderten Sauerstoffgehalt in der Abluft sicherstellt. So ist es nach Auskunft des Betreibers nicht nötig, zur Vermeidung einer Sauerstoffunterversorgung den Volumenstrom zu vergrößern, da im Mittel 16 bis 18 Prozent an Sauerstoff innerhalb der Abluft gemessen werden.

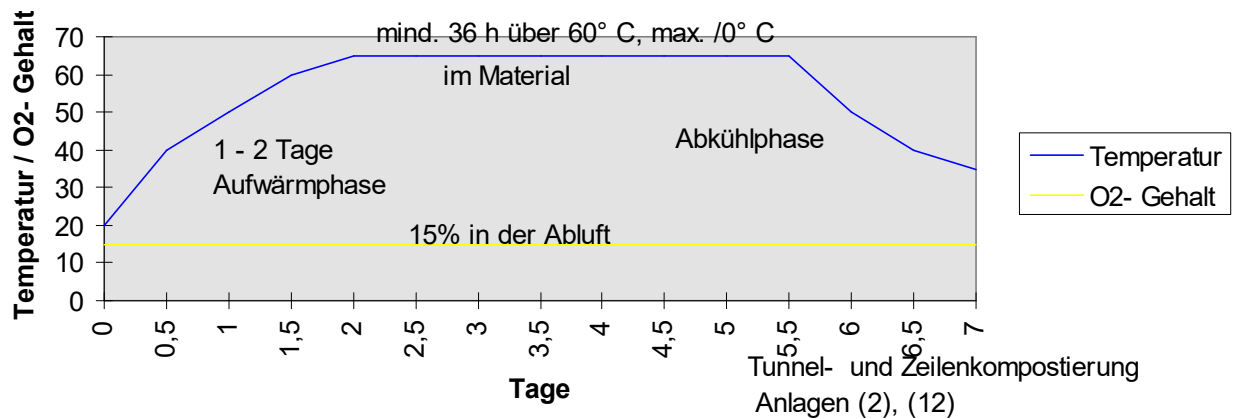


Abb. 4.4.5-6: Angestrebter Prozeßverlauf bei zwei Tunnelsystemen (Anlagen 2, 12)

Bei den Anlagen (2) und (12) ist eine von der Form her ähnlich verlaufende Temperaturkurve zu erkennen. Der Unterschied zur Anlage (10) besteht darin, daß es sich hierbei um ein Tunnelsystem handelt, in dem eine sieben- bis zehntägige Intensivrotte ohne Befeuchtung und Umsetzung (ähnlich den Boxen- und Containersystemen) durchgeführt wird. Auch hier spielt die vorgegebene Führungsgröße des Sauerstoffs aus dem selben Grund wie in der Anlage (10) nur eine untergeordnete Rolle .

In den Anlagen (3) und (15) wird nach folgendem Programm der Kompostierungsprozeß geregelt: Zu Anfang der Rottephase wird eine schnelle Erwärmung der Ablufttemperatur angestrebt. Nachdem sich nach einer Zeit von zwei bis drei Tagen eine Ablufttemperatur von 52° C eingestellt hat, wird für zehn bis zwölf Stunden eine höhere Temperatur von 60° C zur Hygienisierung des Kompostes zugelassen.

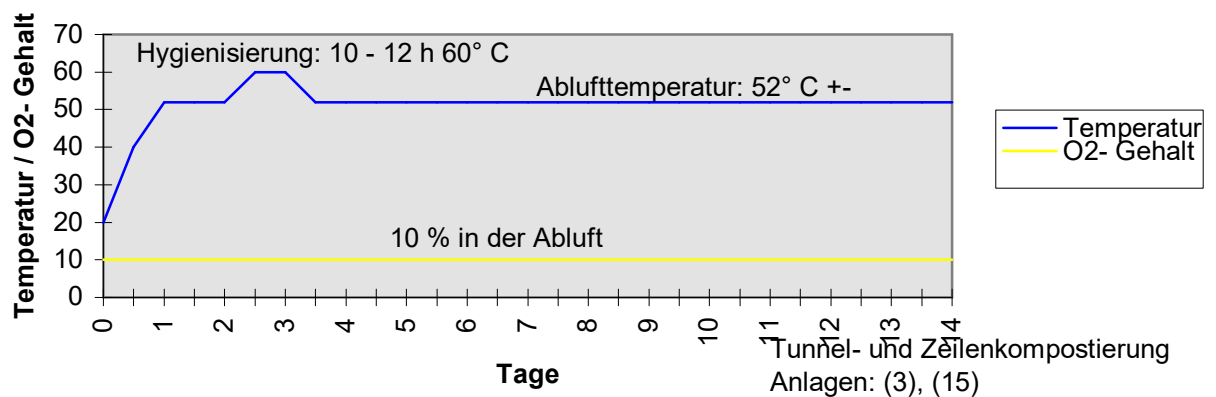
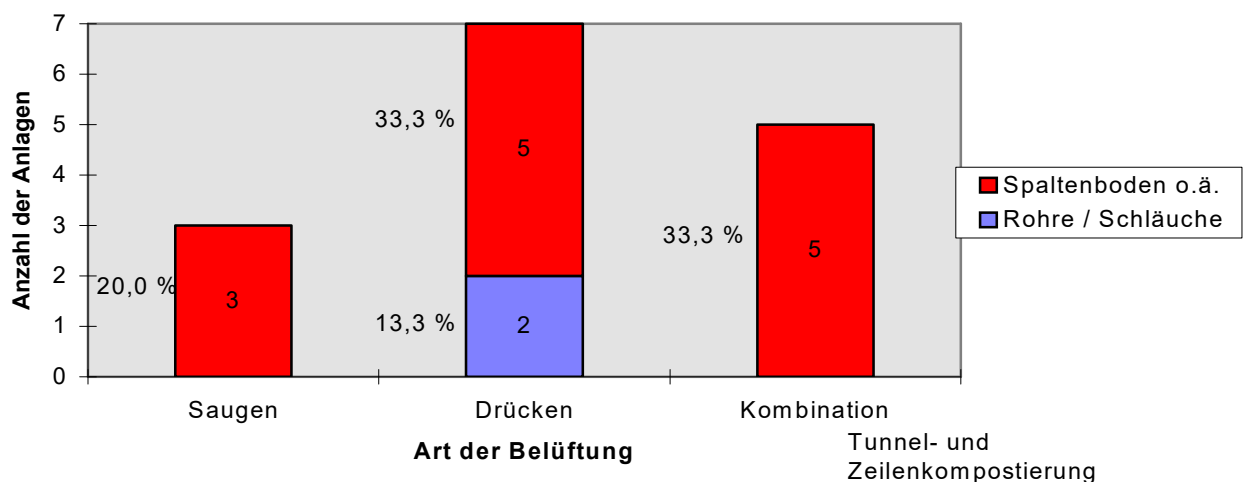


Abb. 4.4.5-7: Angestrebter Prozeßverlauf bei zwei Tunnelsystemen (Anlagen 3,15)

Anschließend wird die Temperatur auf einen konstanten Wert von 52° C bis zum Ende der 14tägigen Rottephase gehalten. Auch bei diesen Anlagen fällt der geringe Sollwert des Sauerstoffs von zehn Prozent innerhalb der Abluft auf. Bei einer Unterschreitung dieses Wertes wird vom Regelungssystem ein Warnsignal abgegeben. Es wird kein Einfluß auf den Kompostierungsprozeß über den Sauerstoff genommen. In der Regel wird bei diesen beiden Anlagen ein O₂-Gehalt von mindestens 14 Prozent analysiert, so daß der Sollwert nur zur Anzeige anaerober Zustände dient. Dem Anhang, Tab. A 57 können weitere Prozeßverläufe innerhalb der Anlagen dieses Baumusters entnommen werden.

Abb. 4.4.5-8: Belüftungsarten bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung



Wie die Abbildung 4.4.5-8 darstellt, finden bei der Zeilen- und Tunnelkompostierung alle drei Verfahrensarten der Belüftung Anwendung. Dabei entfallen die drei Anlagen, die mittels einer Saugbelüftung belüften, auf das Verfahren der Zeilenkompostierung innerhalb einer geschlossenen Halle. Zur Vermeidung korrodierender Bauteile wurde hier auf eine Saugbelüftung zurückgegriffen. Bei zwei Anlagen wird über Rohre oder Schläuche das Kompostmaterial mittels einer Druckbelüftung mit Luft versorgt. Dabei wird eine gleichmäßige Verteilung der Prozeßluft im Gegensatz zu einem Spalten- oder Segmentboden verhindert.

Ein Anteil von 80,0 Prozent verfügt über eine Umluftschaltung, um die Abluftmenge, die zur Behandlung im Biofilter abgeführt werden muß, möglichst gering zu halten (s. Anh., Tab. 24). Des weiteren ist es bei 13,3 Prozent möglich, zu Anfang des Kompostierungsprozesses die zugeführte Luft künstlich über einen Wärmetauscher zu erwärmen (s. Anh., Tab. 24). Dadurch wird ein schneller Anstieg auf optimale Temperaturen gewährleistet. In allen Anlagen ist es möglich, durch Stellventile oder Lüfterklappen den Volumenstrom den jeweiligen Erfordernissen anzupassen (s. Anh., Tab. 24). Bei keiner Anlage kann über eine Steuerung des Luftverdichters berichtet werden.

In 13,3 Prozent der Anlagen (9, 15) ist es möglich, die Prozeßluft bei Bedarf zu befeuchten, um ein Austrocknen des Kompostmaterials zu verhindern (s. Anh., Tab. 25). Bei 73,3 Prozent findet hingegen eine automatische Wasserzugabe durch das System statt, während dies bei 26,6 Prozent der

Anlagen manuell geschieht (s. Anh., Tab. 25). Dabei gilt es anzumerken, daß es bei einigen der Tunnelsysteme nicht möglich ist, während des Kompostierungsprozesses das Kompostmaterial durch eine Wasserzugabe zu befeuchten. Daher muß bei diesen Anlagen der Wassergehalt vor Eintrag des Frischkompostes in das Tunnelsystem optimal eingestellt werden.

Von den 15 Anlagen der Tunnel- und Zeilenkompostierung verfügen 93,3 Prozent über ein Regelungssystem, daß durch Einsatz verschiedener Programme auf verschiedene Chargen reagieren kann (s. Anh., Tab. 26). Bei den meisten dieser Anlagen besteht eine Veränderung des Regelungsprogrammes nur darin, den Rotteprozeß bzw. einzelne Phasen zeitlich zu varriieren. Dies ist nur bei Anlagen möglich, die chargenweise arbeiten. Bei den Anlagen, die kontinuierlich mit Frischkompost beschickt werden, ist eine Verlängerung des Rotteprozesses für die betreffende Charge nicht möglich. Bei diesen Anlagen ist es nur möglich, segmentweise die Belüftung und gegebenenfalls die Befeuchtung den gemessenen Erfordernissen anzupassen.

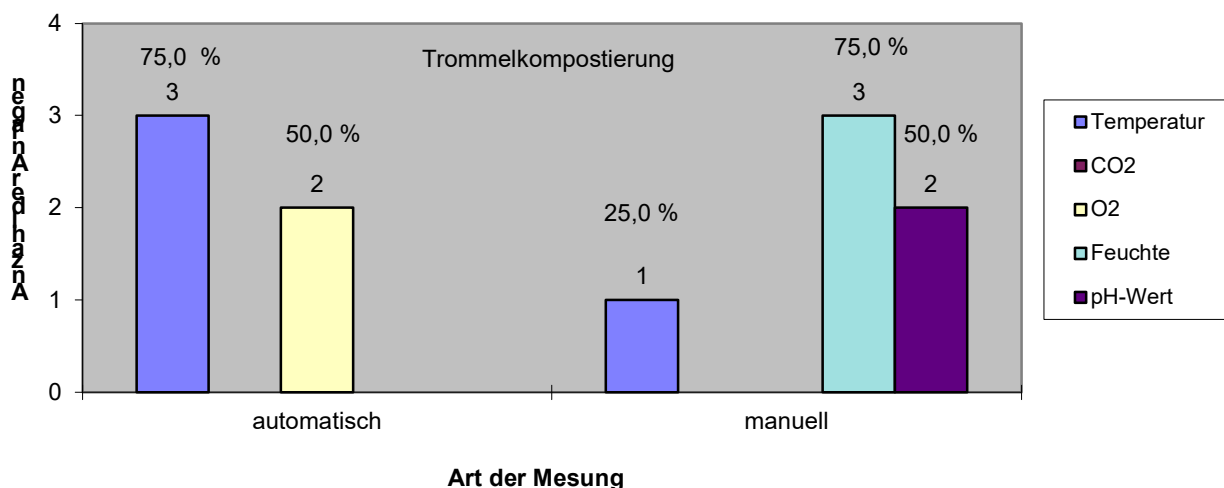
Ein Anteil von 66,6 Prozent verfügt über eine zentrale Leitwarte, in der die gesamte Anlage überwacht und gesteuert werden kann. In weiteren 26,6 Prozent werden parallel zum Kompostierungsvorgang eine oder mehrere Anlagenteile des jeweiligen Kompostwerkes zentral gesteuert. Nur bei 6,7 Prozent ist es nötig, alle Anlagenteile vor Ort zu steuern (s. Anh., Tab. 28).

In zwei Betrieben (13,3 %) ist in nächster Zeit eine Optimierung der Regelungs-systeme geplant (s. Anh., Tab. 29). Während ein Betreiber (5) die Vereinheitlichung mit denen der übrigen Anlagen seiner Gesellschaft plant, wird bei einer zweiten Anlage (14) eine Optimierung wegen zu hoher Energiekosten und unbefriedigender Prozeßverläufe in Erwägung gezogen.

4.4.6 Baumusterkategorie IV: Trommelkompostierung

In allen vier Trommelkompostierungsanlagen wird eine Temperaturmessung im Material vorgenommen. In drei der vier Anlagen geschieht dies automatisch durch an der Trommelwand installierte Sensoren. In einer Anlage wird bei Stillstand der Trommel regelmäßig diese Messung per Hand durchgeführt.

Abb. 4.4.6-1: Arten der Messung bei der Trommelkompostierung



Darüber hinaus findet in zwei der vier Anlagen eine automatische Überprüfung des Sauerstoffgehaltes sowohl in der Zu- als auch in der Abluft statt. In einer der beiden Anlagen wird zusätzlich eine Messung im Material durchgeführt (s. Anh., Tab. 32).

Feuchte und pH-Wert werden in einigen Anlagen durch eine regelmäßige Probenentnahme im Labor kontrolliert (s. Anh., Tab. 32).

Auf die Frage nach den Regelgrößen, welche den Kompostierungsprozeß beeinflussen, antwortete ein Betreiber, daß die Hauptaufgabe des Trommelsystems die Homogenisierung des Kompostmaterials sei. Bei dieser Anlage (3) wird während der Trommelkompostierung keine Regelung über Führungsgrößen vorgenommen. Zur Überprüfung des Rottevorgangs finden bei dieser Anlage statt dessen nur Messungen über manuelle Stichproben statt. Außerdem verfügt diese Anlage nicht über ein Belüftungssystem. Der eigentliche Kompostierungsprozeß findet bei dieser Anlage auf einer offenen Miete statt.

Bei der Trommelkompostierung erfolgt die Regelung der Temperatur durch die Anzahl der Umdrehungen der Rottetrommel, während der Sauerstoffgehalt durch eine Anpassung des Volumenstroms geregelt wird. Während zwei der drei Trommelkompostierungsanlagen (1, 2), welche über eine aktive Prozeßsteuerung verfügen, ausschließlich fest vorgegebene Grenzwerte der Regelgrößen anstreben, wird in einer Anlage (4) über Zielwertkurven der Kompostierungsprozeß geregelt.

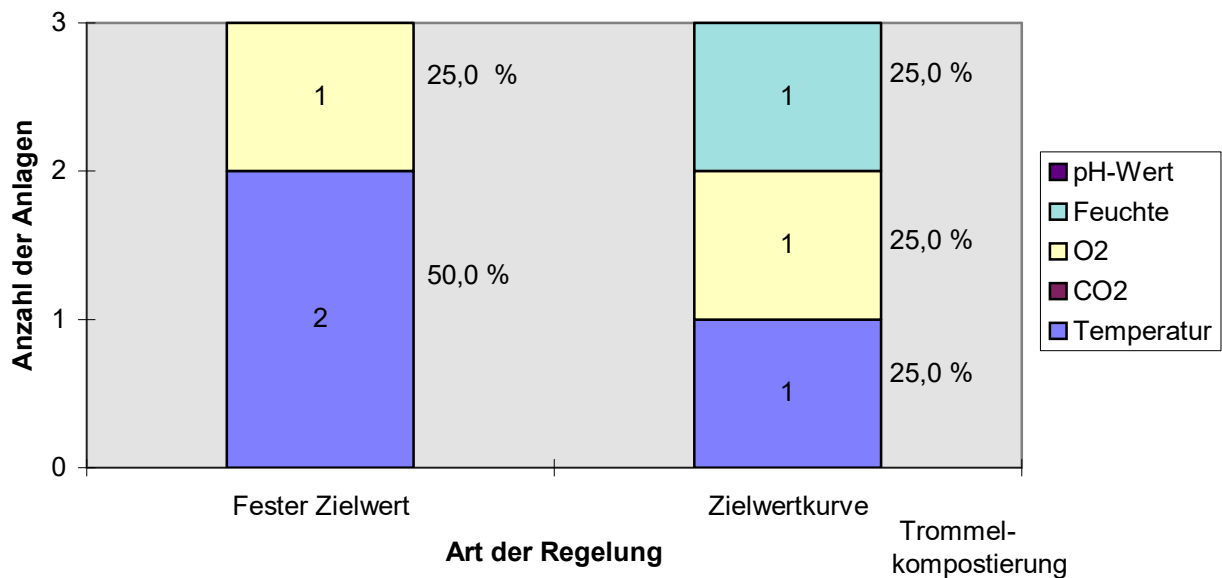
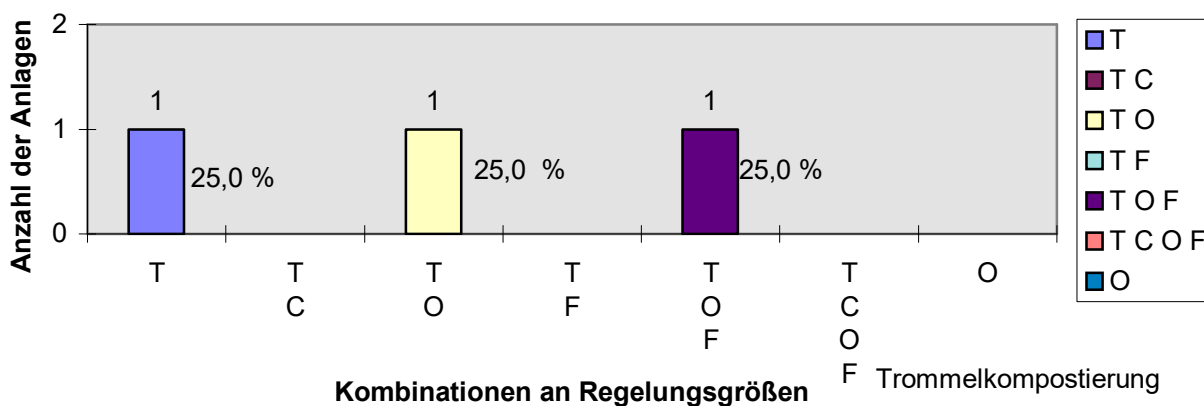


Abb. 4.4.6-2: Regelungsarten bei der Trommelkompostierung

Auffällig ist, daß bei drei Anlagen eines Baumusters drei unterschiedliche Kombinationen an Regelgrößen verwandt werden, obschon es sich bei allen Anlagen um den selben Prozeß handelt. Eine Anlage verwendet ausschließlich die Temperatur als Regelgröße. Die zweite Anlage regelt sowohl über die Temperatur als auch über den Sauerstoffgehalt, während eine dritte Anlage zusätzlich zu den beiden oben genannten Regelgrößen den Feuchtegehalt berücksichtigt.

Abb.: 4.4.6-3: Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Trommel-



Kompostierung; eine Anlage (3) verfügt über keine Prozeßregelung

Als Beispiel sei hier die Prozeßregelung der Anlage (2) geschildert: Die Rottetrommel wird im Abstand von 30 Minuten um eine sechstel Umdrehung bewegt. Bei Überschreitung der Komposttemperatur von 70° C setzt ein zehn Minuten andauerndes Drehen der Rottetrommel ein. Als unteren Grenzwert des O₂-Gehaltes in der Abluft wurde vom Betreiber ein Wert von 16,5 Prozent genannt. Wird dieser Wert unterschritten, setzt eine verstärkte Belüftung der Rottetrommel ein.

Bei der Trommelbelüftung wird das Kompostmaterial nicht direkt durchströmt, sondern die Luft wird vom vorderen zum hinteren Ende der Trommel geführt. Daher lassen sich die Anlagen der Trommelkompostierung nicht in das übliche Schema der Druck- und Saugbelüftung einordnen.

Keine der vier untersuchten Anlagen verfügt über eine Umluftschaltung (s. Anh., Tab. 34). Daher ist anzunehmen, daß bei der Trommelkompostierung eine größere Menge an Abluft behandelt werden muß. Von drei Anlagen verfügen zwei über ein Belüftungssystem, das eine Dosierung des Volumenstroms ermöglicht. Bei einer dritten Anlage hingegen wird die Belüftung bei Bedarf ein- und ausgeschaltet (s. Anh., Tab. 34).

Drei der vier Anlagenbetreiber führen dem Kompostmaterial während des Aufenthaltes in der Rottetrommel bei Bedarf Wasser hinzu. Dabei betrachtet einzig ein Anlagenbetreiber, wie oben erwähnt, die Feuchte als Regelgröße, die es ständig zu messen und einzustellen gilt. In den beiden übrigen Kompostwerken hingegen erfolgt nur bei einem deutlich zu trockenem Kompost eine manuelle Wasserzugabe (s. Anh., Tab. 35).

Nur bei einer Anlage kann bei Bedarf auf ein anderes Trommelprogramm zurückgegriffen werden. Die drei übrigen Anlagen dagegen verfügen jeweils über ein einziges Regelungsprogramm (s. Anh.,

Tab. 36). Allerdings ist es bei diesen drei Anlagen möglich, bei Schwierigkeiten das Rottetrommelsystem von Hand zu regeln.

Ferner besteht nur bei einer Trommelkompostierungsanlage die Möglichkeit, die Rotteprozeßdaten abzuspeichern und bei Bedarf zu dokumentieren. Diese Anlage verfügt ebenfalls über eine zentrale Leitwarte, in der auch die übrigen Anlagenteile des Kompostwerkes kontrolliert und gesteuert werden können. In den drei übrigen Anlagen wird die Steuerung eines jeden Anlagenteils dezentral vorgenommen (s. Anh., Tab. 38).

Bei jeder zweiten Trommelkompostierungsanlage ist demnächst eine Optimierung geplant. Dabei gab ein Anlagenbetreiber (2) zu hohe Energiekosten an. Diese wurden jedoch nicht auf das Belüftungssystem, sondern auf die Mechanik der Rottetrommel zurückgeführt. Ein anderer Betreiber (1) führte unbefriedigende Prozeßverläufe aufgrund einer fehlenden Befeuchtungsmöglichkeit während des Prozesses als Grund an.

4.4.7 Baumusterkategorie V: Geschlossene Mietenkompostierung

Nach Auswertung der Fragebögen konnten insgesamt 18 Anlagen dem Baumuster der geschlossenen Mietenkompostierung zugeordnet werden. Zur genaueren Darstellung ist es nötig, eine Einteilung in drei Untergruppen vorzunehmen. Bei zehn Anlagen werden die jeweiligen Regelgrößen automatisch gemessen und gleichzeitig durch ein Regelungssystem optimiert. In vier Anlagen wird die Temperatur auto-matisch gemessen, um dann von Hand die Stellgrößen, wie den Volumenstrom und die Wasserzugabe, einzustellen. Bei den Anlagen der dritten Gruppe, der ebenfalls vier Anlagen angehören, werden sowohl die betreffenden Regelgrößen von Hand gemessen als auch die Stellgrößen manuell eingestellt.

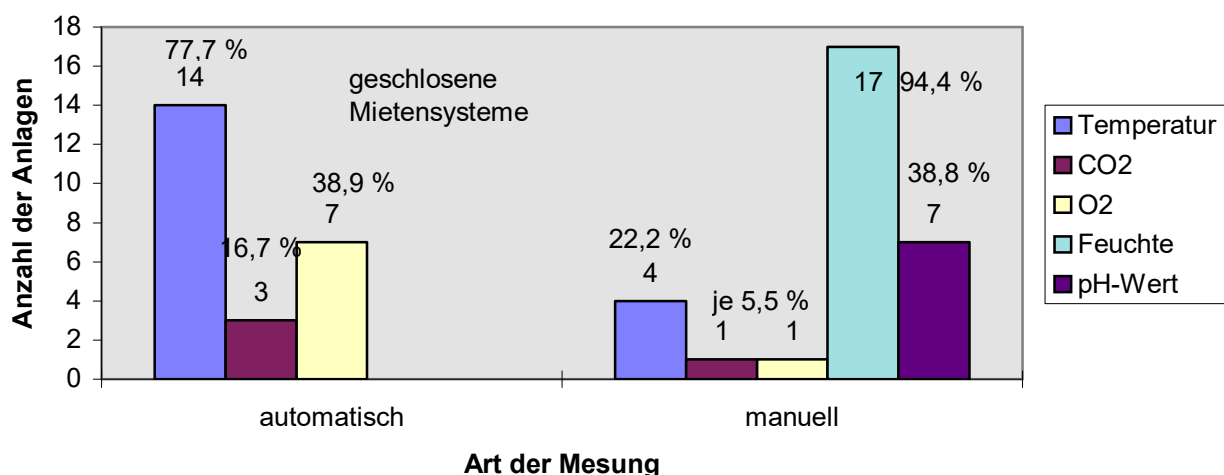


Abb. 4.4.7-1: Arten der Messungen bei der geschlossenen Mietenkompostierung

Abb. 4.4.7-1 zeigt, daß in allen Anlagen, die der ersten oder zweiten Gruppe zugeordnet werden können, eine automatische Temperaturmessung durchgeführt wird. Davon führen drei

Anlagensysteme eine Kontrolle des CO₂-Gehaltes in der Abluft durch, während in sieben Anlagen eine Sauerstoffmessung durchgeführt wird.

Die übrigen Parameter des Kompostierungsprozesses wie die Feuchte und der pH-Wert werden ausschließlich im Labor bestimmt.

Bei allen vier Anlagen, bei denen ausschließlich manuelle Messungen durchgeführt werden, wird die Temperatur sowie der Feuchtegehalt des Kompostmaterials bestimmt. Zwei weitere Anlagen dieser Gruppe führen zudem noch eine Probenentnahme zur Bestimmung des pH-Wertes durch. Nur in einer von diesen vier Anlagen findet eine manuelle Messung des CO₂-Gehaltes im Abluftstrom statt.

Bei Betrachtung der Tab. 4.4.7-1 fällt auf, daß allein die Hälfte der automatisch messenden Systeme ausschließlich die Temperatur mißt. In vier Anlagen wird eine automatische Messung von Temperatur und Sauerstoff durchgeführt. In drei weiteren Anlagen wird ergänzend zur Temperatur sowohl der Sauerstoff- als auch der CO₂-Gehalt durch das System überprüft.

Tab. 4.4.7-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der geschl. Mietenkompostierung

	Automatisch gemessene Parameterkombinationen		manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	7	38,9	--	--
Temp., O ₂	4	22,2	--	--
Temp., O ₂ , CO ₂	3	16,7	--	--
Feuchte	--	--	7	38,9
Feuchte, pH	--	--	5	27,8
Feuchte, O ₂	--	--	1	5,5
Temp., Feuchte	--	--	2	11,1
Temp., Feuchte, pH	--	--	1	5,5
T., CO ₂ , Feuchte, pH	--	--	1	5,5

Zu den automatischen Parametermessungen wird in sieben Anlagen eine begleitende Überprüfung der Materialfeuchte durchgeführt. Fünf weitere Anlagen überprüfen zusätzlich im Labor den pH-Wert der entnommenen Kompostprobe. Lediglich in einer Anlage werden neben einer Bestimmung des Feuchtegehaltes manuelle O₂-Messungen im Mietenkörper durchgeführt.

Bei einer Anlage wird gänzlich auf begleitende manuelle Messungen verzichtet. Hier kann nur auf die automatisch gemessenen Werte der Temperatur- sowie der O₂-Messung in der Abluft zurückgegriffen werden (Anlage 4). Auf eine Rückfrage hin, teilte der betreffende Betriebsleiter mit,

daß der Feuchtegehalt vor Eintrag in die Rottehalle im Labor bestimmt und ein für die gesamte Rottephase ausreichender Wassergehalt eingestellt wird.

Die Temperatur wird in 13 Anlagen im Material sowie in acht Anlagen in der Abluft gemessen (s. Anh. Tab. 40). Dabei ergeben sich nach Tabelle 4.4.7-2 folgende Kombinationen: In zehn Anlagen erfolgt die Temperaturmessung ausschließlich im Material, während sie in fünf Anlagen nur in der Abluft bestimmt wird. In drei Anlagen kann sowohl die Temperatur in der Abluft als auch im Material bestimmt werden.

Eine Überprüfung des CO₂-Gehaltes findet bei allen vier Anlagen, die diesen Parameter messen, nur in der Abluft statt.

Ausschließlich in der Abluft gemessen, wird der Sauerstoffgehalt in fünf Anlagen. In den drei übrigen Anlagen wird der Sauerstoff im Material und teilweise zusätzlich in der Prozeßluft gemessen.

Tab. 4.4.7-2: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der geschl. Mietenkompostierung; die Prozentanteile beziehen sich auf den jeweiligen Parameter

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH- Wert	
	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
Material	10	55,5	--	--	1	12,5	15	88,2	6	85,7
Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Abluft	5	27,8	4	100	5	62,5	--	--	--	--
Material, Abluft	3	16,7	--	--	1	12,5	2	11,8	1	14,3
Material, Zuluft	--	--	--	--	1	12,5	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Bei Betrachtung der gegebenen Kombinationen der Meßorte ergibt sich, daß innerhalb von 15 der 17 Anlagen eine Bestimmung des Feuchtegehalts ausschließlich im Material stattfindet. In zwei weiteren Anlagen wird darüber hinaus eine Messung des Wassergehaltes innerhalb des Abluftstromes mittels eines Hygrometers vorgenommen.

In sechs Anlagen wird die pH-Wert-Messung mit Hilfe der üblichen Probenentnahme durchgeführt. In einer Anlage jedoch (9) wird eine pH-Wert-Messung sowohl im Material als auch im Kondensat der Abluft durchgeführt.

Bei der Kompostierung in geschlossenen Mietensystemen werden die Temperatur, der O₂-Gehalt sowie die Feuchte als Regelgrößen des Kompostierungsprozesses angesehen.

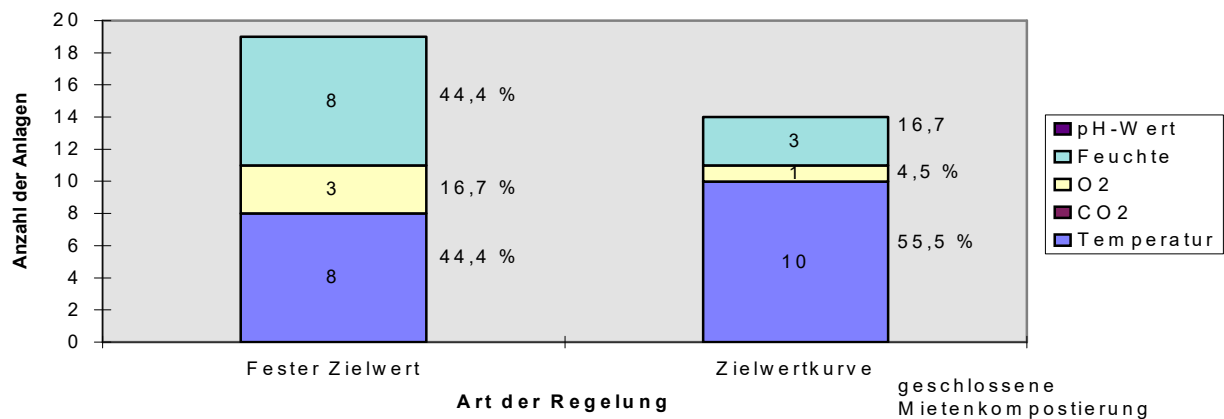


Abb. 4.4.7-2: Regelungsgrößen bei der geschlossenen Mietenkompostierung

Dabei regeln alle 18 Systeme über die Temperatur, wobei 55,5 Prozent die Temperatur über eine vorgegebene Zielwertkurve regeln und die restlichen Anlagen als Führungsgröße einen festen Grenzwert setzen.

Elf der 18 Anlagen (61,1 %) regeln zusätzlich zur Temperatur die Feuchte. Dabei wird in acht Anlagen ein Grenzwert über die gesamte Dauer des Kompostierungsprozesses festgelegt, während in drei weiteren Anlagen unterschiedliche Zielwerte, die vom Alter der Mieten abhängig sind, angestrebt werden.

Nur in vier von 18 Anlagen wird als Regelungsgröße der Sauerstoff verwandt, wobei in drei Anlagen ein fester Mindestwert nicht unterschritten werden soll, während die vierte Anlage (9) den Sauerstoffgehalt durch das Verfolgen einer Zielwertkurve regelt.

Insgesamt kommen bei der geschlossenen Mietenkompostierung vier verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen zum Einsatz. Die Abbildung 4.4.7-3 skizziert, daß 50 Prozent aller Anlagen den Kompostierungsprozeß durch Regelung der Temperatur und Feuchte beeinflussen. Bei 28 Prozent aller geschlossenen Mietensysteme wird ausschließlich die Temperatur als Regelungsgröße angesehen. Nur in einem Anteil von 22,2 Prozent der Anlagensysteme erfolgt eine Regelung über die Temperatur und den Sauerstoffgehalt. Davon berücksichtigen zwei Anlagen zusätzlich noch die Feuchte.

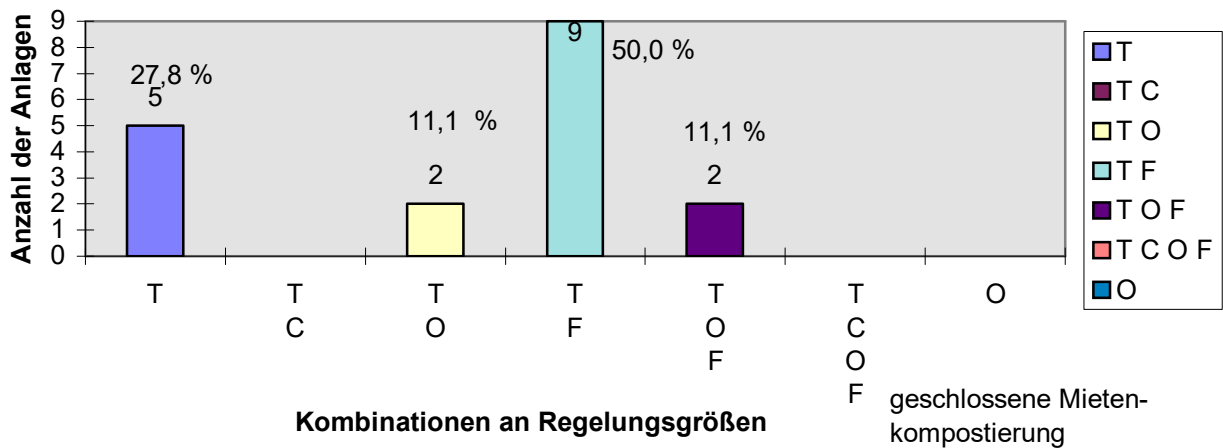


Abb. 4.4.7-3: Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen bei der geschlossenen Mietenkompostierung

Bei der Rückfrage nach den genauen Zielwerten der Regelungsgrößen teilten die Betriebsleiter der baugleichen Anlagen (6) und (7) -die beide zu einer Betriebsgesellschaft zählen- mit, daß in den meisten Fällen nach folgenden Regelungsprogrammen die Kompostierung durchgeführt wird: zu Anfang des Kompostierungsprozesses wird ein Anstieg der Temperatur auf einen Höchstwert von 65° C in der Abluft für drei bis vier Tage zugelassen, um eine ausreichende Hygienisierung des Kompostes sicherzustellen. Anschließend gilt für den Rest der sechs- bis siebenwöchigen Rottephase innerhalb der Halle ein Grenzwert von 50 – 58° C bei dessen Überschreitung das Regelungssystem eine verstärkte Belüftung zur Wärmeableitung durchführt.

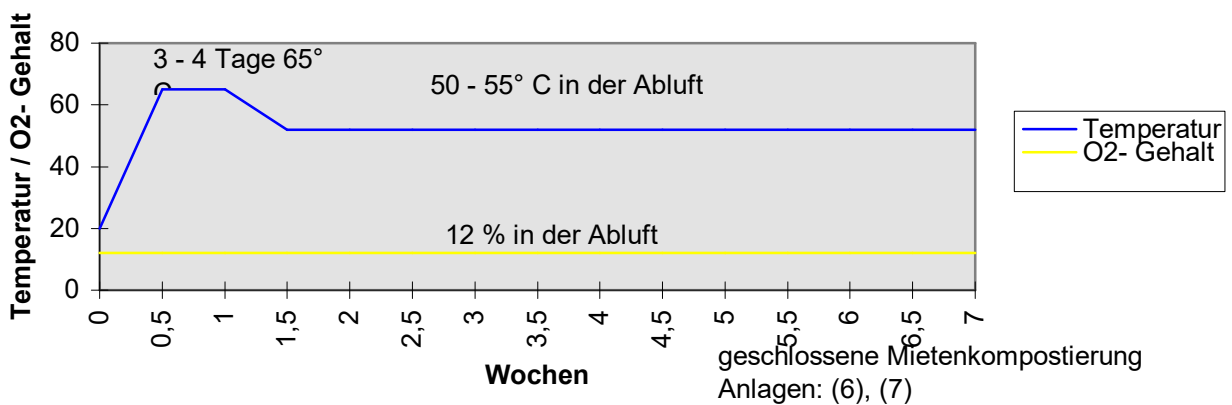


Abb. 4.4.7.4: Angestrebter Prozeßverlauf bei der geschlossenen Mietenkompostierung (Anlagen 6, 7)

Die Einhaltung des festen Grenzwertes von zwölf Prozent Sauerstoff innerhalb der Abluft spielt keine wesentliche Rolle bei der Prozeßführung, da durch die nötige Belüftung zur Wärmeableitung in der Regel ein Sauerstoffgehalt von 14 bis 16 Prozent in der Abluft sichergestellt wird. Bei einem Unterschreiten einer Marke von zwölf Prozent ist nach Auskunft des Betreibers mit partiellen Sauerstoffunter- versorgungen zu rechnen.

Die Feuchte wird in beiden Anlagen manuell durch eine Probenentnahme festgestellt. Zu Anfang des Kompostierungsprozesses wird die Materialfeuchte auf 65 Prozent eingestellt. Nach der Hygienisierungsphase gilt ein Zielwert von 45 bis 50 Prozent, der bei Bedarf durch eine automatische Wasserzugabe beim wöchentlichen Umsetzvorgang eingestellt wird.

Bei den baugleichen Anlagen (1-3) wird der Kompostierungsprozeß nach folgendem Programm geregelt:

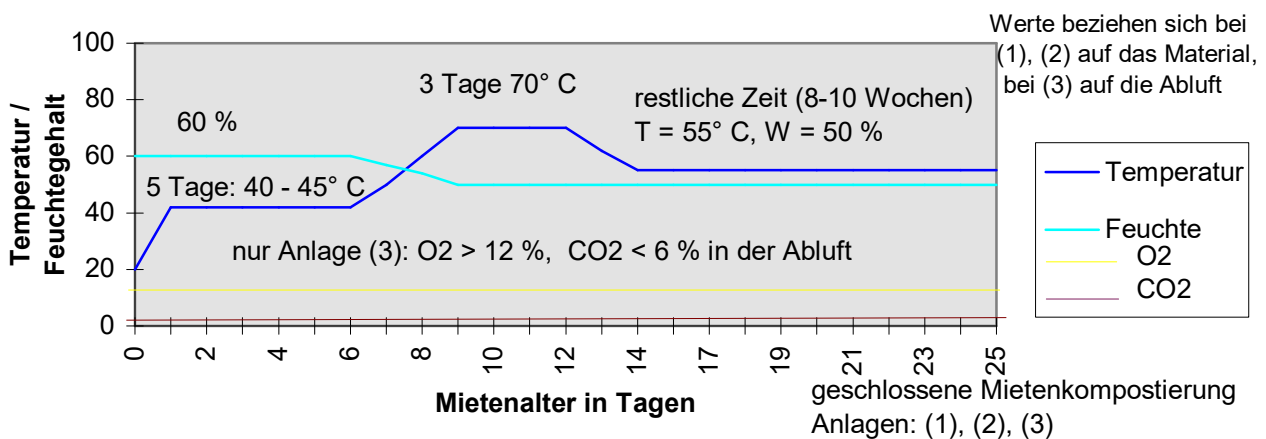


Abb. 4.4.7-5: Angestrebter Prozeßverlauf bei der geschlossenen Mietenkompostierung (Anlagen 1, 2, 3)

In den Anlagen (1) und (2) werden die Temperaturen durch Stechsonden im Material und bei Anlage (3) in der Abluft gemessen. Bei der acht- bis zehnwöchigen Rottephase wird für die ersten fünf bis sieben Tage die Temperatur auf einen Höchstwert von 40 bis 45° C festgelegt. Anschließend wird zur Hygienisierung ein Anstieg der Temperaturen auf 70° C zugelassen. Bei den Anlagen (1) und (2) wird dieser Vorgang durch einen Umluftbetrieb beschleunigt. Dabei wird die aus der Saugbelüftung der älteren Mieten stammende erwärmte Prozeßluft mittels Druckbelüftung in die jungen Mieten eingebracht. In der Anlage (3) findet eine Saugbelüftung der Kompostmieten statt. Nach der Hygienisierungsphase wird das Material zur Kühlung umgesetzt. Für den restlichen Verlauf des Kompostierungsprozesses wird bei diesen Anlagen dann ein fester Grenzwert der Temperatur von ca. 55° C angestrebt. Gegen Ende des Prozesses kann die Temperatur bereits auf 35° C gesunken sein. Nur in der Kompostanlage (3) werden der Sauerstoff- sowie der CO₂-Gehalt in der Abluft automatisch gemessen. Bei Unterschreitung des vorgegebenen O₂-Grenzwertes von zwölf Prozent bzw. Überschreitung von sechs Prozent CO₂ innerhalb der Abluft greift das Regelungssystem jedoch nicht selbständig durch eine verstärkte Belüftung ein. Gegebenenfalls führt das Betriebspersonal dann eine Handregelung der Belüftung durch.

Die Materialfeuchte wird in der Regel zu Beginn des Kompostierungsprozesses auf 60 Prozent festgelegt. Nach der dreitägigen Hygienisierungsphase wird der Feuchtegehalt dann auf 50 Prozent fixiert. Gegen Ende des Kompostierungsprozesses wird zur leichteren Verarbeitung nur noch eine Feuchte von 35 Prozent angestrebt.

Bei den Anlagen (11), (12), (14), (17) und (18) handelt es sich um Werke, bei denen von Hand die Belüftung eingestellt wird. Bei Bedarf wird über eine Umsetzung durch den betreffenden Betriebsleiter entschieden. Dabei handelt es sich bei allen Anlagen um das Mietenumsetzgerät eines einzigen Herstellers. Die nachgestellte Darstellung zeigt schematisch die angestrebten Zielwerte:

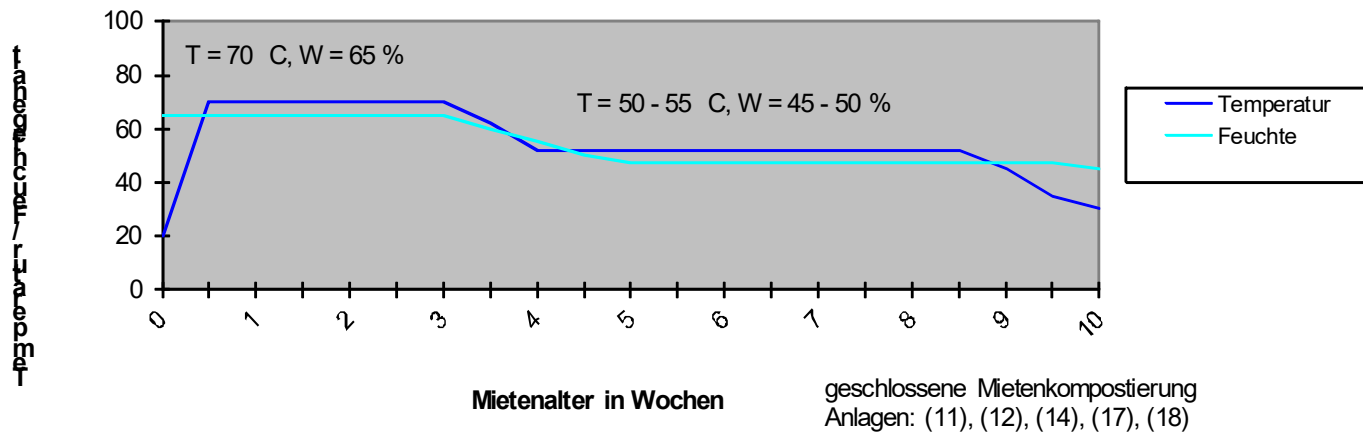


Abb. 4.4.7-6: Angestrebter Prozeßverlauf bei der geschlossenen Mietenkompostierung der Anlagen (11), (12), (14), (17), (18)

In den ersten drei Wochen wird durch Belüftung oder Umsetzen versucht, eine Temperatur von höchstens 70° C zuzulassen. Trotzdem kann es nach Auskunft des Betriebsleiters der Anlage (11) vorkommen, daß die Temperaturen innerhalb des Materials auf bis zu 80° C ansteigen können. Nach ca. zwei bis drei Wochen verliert dann jedoch die Heißrottephase an Intensität. Im Anschluß daran wird ein Höchstwert von 50 bis 55° C innerhalb der Mieten als Sollwert der Temperatur festgelegt. Gegen Ende des Kompostierungsprozesses sollten die Temperaturen infolge der nachlassenden biologischen Aktivität auf 30 bis 40° C sinken. Dabei stellt sich in Anlage (17) das Problem, daß die Temperatur aufgrund der oben erwähnten nachlassenden Aktivität der Mikroorganismen zwar sinken müßte, eine geringere Temperatur als 45° C jedoch nicht möglich ist, da die Temperatur innerhalb der Halle bereits diesen Wert aufgrund der betriebenen Druckbelüftung ständig beträgt.

Nach Auskunft der betreffenden Betriebsleiter, kann der Kompostierungsprozeß nur beobachtet und teilweise mit einigen wenigen geeigneten Maßnahmen unterstützt werden. Dies ist besonders zu Anfang des Kompostierungsprozesses nötig, weil hier des öfteren Extremwerte der Temperatur festgestellt werden, die allerdings durch eine Verstärkung der Belüftung sogar weiter zunehmen können.

Zusammenfassend läßt sich herausstellen, daß bei geschlossenen Mietensystemen zwar in mehreren Anlagen neben der Temperatur und dem Feuchtegehalt versucht wird, die Kompostierung auch über die Atmung zu regeln. Die wichtigste Führungsgröße ist jedoch die Temperatur. Die festen Sollwerte der Atmung stellen in der Regel äußerste Grenzwerte dar, die selten über- bzw. unterschritten werden, so daß ein Eingreifen durch das Regelungssystem bzw. den Bediener der Anlage notwendig

wird. Die angestrebten Prozeßverläufe weiterer untersuchter Anlagen können im Anhang der Tabelle A 59 entnommen werden.

In zehn von 18 Anlagen findet eine Belüftung über Rohre oder Schläuche statt. In den übrigen Kompostwerken geschieht dies durch einen für die gleichmäßige Belüftung der Kompostmieten geeigneten Spaltenboden, bei dessen Anwendung die Kompostmieten weniger zur Bildung von Luftkanälen neigen. Des weiteren haben Rohre und Schläuche den Nachteil, daß sie vor jedem Umsetzungsvorgang heraus- gezogen und anschließend wieder neu verlegt werden müssen.

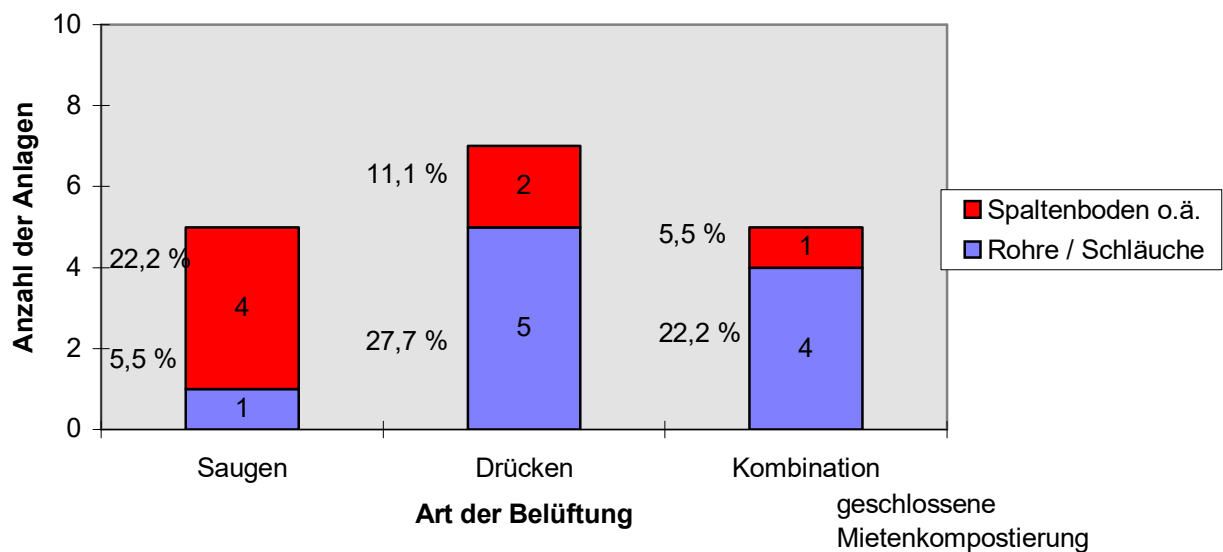


Abb. 4.4.7-7: Belüftungsarten bei der geschlossenen Mietenkompostierung

In fünf Anlagen wird ausschließlich über eine Saugbelüftung der Kompostmiete Frischluft zugeführt. Dies wird häufig mit der Vermeidung von korrosionsfördernden Klimaten, wie sie bei der Druckbelüftung in Hallen anzutreffen sind (Waschküchenklima), begründet. Wie im Kapitel 2.6.2.1 erläutert, nimmt man dafür jedoch Nachteile bei der Prozeßführung in Kauf. Eine ausreichende Dämmung (Schutzanstrich, Kunststoffverkleidung etc.) der mit der Hallenluft in Kontakt tretenden Bau- und Maschinenteile kann eine Korrosion wirkungsvoller verhindern. In sieben weiteren Anlagen wird mit Hilfe einer Druckbelüftung die Wärmeableitung sowie die Sauerstoffversorgung sichergestellt. In fünf weiteren Anlagen findet eine Kombination aus Druck- und Saugbelüftung Anwendung. Bei diesen Anlagen werden die frisch aufgesetzten Mieten mit der aus der Saugbelüftung der älteren Mieten stammenden Prozeßluft druckbelüftet. Dies hat sowohl eine kurzfristigere Erwärmung als auch ein schnelleres Einsetzen der biologischen Aktivität zur Folge. Ein weiterer Vorteil der Kombinationsbelüftung besteht in der geringeren Abluftmenge, die es im Biofilter zu behandeln und anschließend abzuleiten gilt. Dies trifft auch auf den Umluftbetrieb zu, wie er ausschließlich in der Anlage (8) eingesetzt wird (s. Anh., Tab. 41). In jener Anlage wird die Hallenluft abgesaugt und bei Bedarf mit Frischluft angereichert, um anschließend wieder den Mieten in Form einer Druckbelüftung zugeführt zu werden.

In fünf von 18 geschlossenen Mietensystemen ist es nicht möglich, den Volumenstrom zu dosieren (s. Anh., Tab. 41). In jenen Anlagen wird die Belüftung ein- und ausgeschaltet. Hier ist es nur möglich,

anstatt eines ständigen aber gleichmäßig dosierten Volumenstromes, die Miete für eine kurze Zeit mit einer großen Menge an Prozeßluft zu beaufschlagen.

Bei den 13 Anlagen (s. Anh., Tab. 41), in denen die zugeführte Menge an Prozeßluft entweder durch Ventile oder Lüfterklappen dosiert wird, ist anzumerken, daß eine Anpassung der benötigten Leistung des vorgeschalteten Luftverdichters in der Regel nicht erfolgt. Dadurch wird dieser ständig bei voller Leistung betrieben. Eine nachteilige Auswirkung auf die Energiekosten ist die Folge.

Zur Zeit wird in einer Anlage ein Versuch über die Anreicherung der Prozeßluft mit reinem Sauerstoff durchgeführt (9) (s. Anh., Tab. 41). Hierbei sollen Erkenntnisse über eine evtl. optimierte Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen gewonnen werden. Es gilt jedoch zu bedenken, daß in den meisten Anlagen der zur Kompostierung geforderte Mindestwert von zehn Prozent Sauerstoffanteil (Bidlingmaier 1983) bereits durch die notwendige Belüftung zur Wärmeableitung bei weitem übertroffen wird. Daher erscheint die Notwendigkeit einer zusätzlichen Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff als fraglich.

Die Befeuchtung findet in elf der 18 Anlagen automatisch durch das betreffende Umsetzgerät statt (s. Anh., Tab. 42). Dabei muß jedoch die Menge des zugegebenen Wassers vom Bediener der Anlage eingestellt werden, da die Materialfeuchte in allen Anlagen im Labor bestimmt wird. In den übrigen sieben Anlagen führt das Betriebspersonal die Befeuchtung mittels manueller Wasserzugabe durch (s. Anh., Tab. 42). Um eine ausreichende Verteilung des Wassers sicherzustellen, kann dies ebenfalls parallel zum Umsetzvorgang geschehen. Einige Betriebsleiter gaben jedoch an, daß die Befeuchtung bei Bedarf auch zwischen den Umsetzvorgängen in Form einer manuellen Beregnung durchgeführt wird. Eine Befeuchtung der Prozeßluft wird in keiner der 18 Anlagen vorgenommen (s. Anh., Tab. 42). Das Regelungssystem kann in acht von zehn Anlagen, die über ein automatisches Regelsystem verfügen, auf unterschiedliche Chargen reagieren (s. Anh., Tab. 43). Dabei wird die Dauer der jeweiligen Phasen des Kompostierungsprozesses, wie zum Beispiel der Aufwärm- oder der Hygienisierungsphase, variiert. Eine Änderung der vorgegebenen Zielwerte von Temperatur, Atmung oder Feuchte wird in der Regel nicht angestrebt.

Die Kompostwerke nach dem Baumuster der geschlossenen Mietenkompostierung weisen einen hohen Automatisierungsgrad auf. Mithin ist es in 15 Anlagen möglich, die verschiedenen Anlagenteile des Kompostwerkes zentral von einer Leitwarte aus zu überwachen und zu steuern (s. Anh., Tab. 45).

Derzeit ist es in drei Kompostwerken geplant, demnächst eine Optimierung des Regelungssystems durchzuführen (s. Anh., Tab. 46). Nur ein Anlagenbetreiber (4) nannte direkte Probleme mit der Prozeßführung als Grund einer anstehenden Verbesserung. Das betreffende Regelungssystem ist zwar in der Lage, neben der Temperatur auch den Sauerstoffgehalt der Abluft als Regelgröße zu berücksichtigen. Im Augenblick wird aber ausschließlich über die Temperatur geregelt. Verantwortlich hierfür ist die mangelnde Korrelation zwischen den gemessenen Abluftwerten und den tatsächlichen Verhältnissen innerhalb der Kompostmieten.

In einer weiteren Anlage (17), in der momentan anhand der Erfahrungswerte des Betriebsleiters der Kompostierungsprozeß geregelt wird, ist es geplant, demnächst Stechsonden zur automatischen Temperatur- und Sauerstoffmessung innerhalb der Kompostmieten zu installieren. Mit Hilfe der dann automatisch gemessenen Werte soll jedoch auch weiterhin der Kompostierungsprozeß von Hand geregelt werden.

Ein dritter Betreiber mehrerer Kompostwerke führt im Augenblick eine Vereinheitlich- ung der Regelungstechnik aller Kompostwerke durch. So ist für das Kompostwerk (7) geplant, neben der Temperatur auch den Sauerstoffgehalt der Abluft als zweite Regelungsgröße zu verwenden.

4.4.8 Baumusterkategorie VI: Offene Mietenkompostierung

Bei der Auswertung der Fragebögen mußte festgestellt werden, daß nur fünf Anlagen über eine aktive Prozeßsteuerung verfügen. Auf den übrigen 17 Kompostplätzen findet nach manuellen Messungen bei Bedarf nur eine Umsetzung oder Befeuchtung, jedoch keine Zwangsbelüftung der Kompostmieten statt.

In vier der fünf Anlagen, die eine aktive Prozeßsteuerung aufweisen, werden automatische Messungen der jeweiligen Parameter durchgeführt, so daß die Regelungssysteme selbsttätig in den Kompostierungsprozeß eingreifen können. Nur in einer Anlage (5) werden die Temperatur sowie die Feuchte manuell bestimmt, um anschließend den Kompostierungsprozeß nach den Erfahrungswerten des Betriebs- leiters durch von Hand eingestellte Lüfterlaufzeiten zu regeln.

Eine Temperaturbestimmung erfolgt in den vier übrigen Kompostanlagen automatisch. In drei Anlagen findet zusätzlich zur Temperatur- eine Sauerstoffmes- sung statt. Dabei wird in einer Anlage neben Temperatur und Sauerstoff zusätzlich der CO₂-Gehalt gemessen.

Tab. 4.4.8-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der offenen Mietenkompostierung

	Automatisch gemessene Parameterkombinationen		Zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	1	20,0	--	--
Temperatur, O ₂	2	40,0	--	--
T, CO ₂ , O ₂	1	20,0	--	--
Feuchte, pH-Wert	--	--	2	40,0
CO ₂ , O ₂ , Feuchte, pH	--	--	1	20,0
Feuchte	--	--	1	20,0
Temp., Feuchte	--	--	1	20,0

Wie die Tabelle 4.4.8-2 zeigt, erfolgt die Temperaturmessung auf vier der fünf Kompostplätze ausschließlich mit Hilfe in die Kompostmieten eingebrachter Stechsonden. Auf einem Kompostplatz (2) erfolgt die Temperaturmessung automatisch im Abluftstrom der Saugbelüftung.

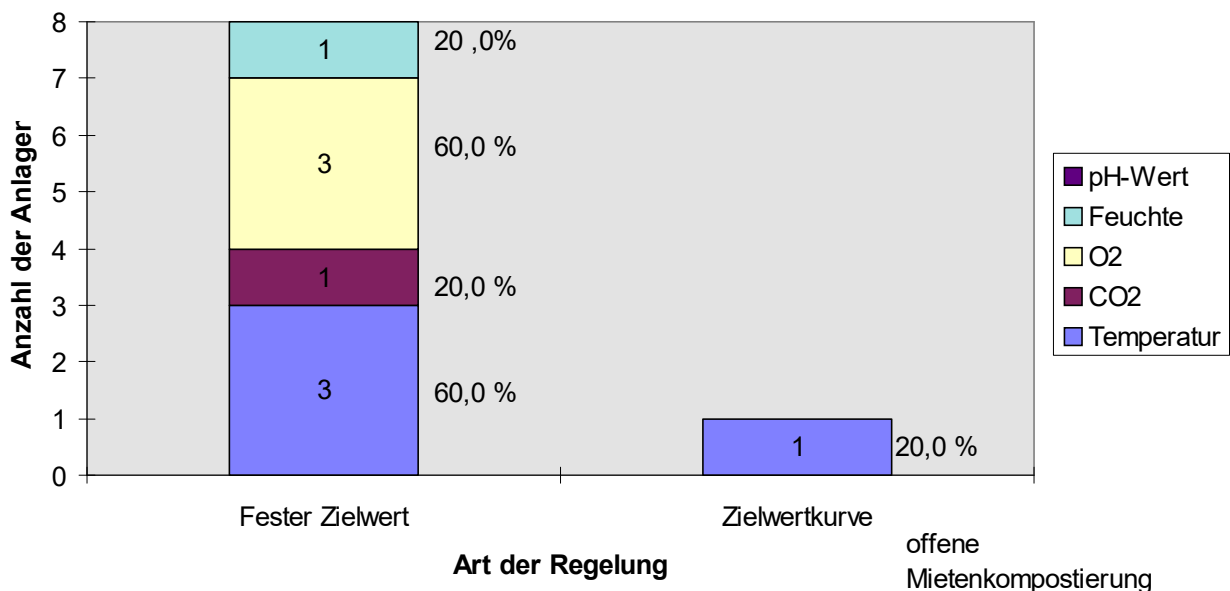
Tab. 4.4.8-2: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der offenen Mietenkompostierung; die Prozentangaben beziehen sich auf den jeweiligen Parameter

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH-Wert	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Material	4	80,0	--	--	1	25,0	5	100	3	100
Zuluft	--	--	--	--	1	25,0	--	--	--	--
Abluft	1	20,0	2	100	2	50,0	--	--	--	--

In zwei Anlagen wird eine Messung des CO₂-Gehaltes in der Abluft vorgenommen. Von den vier Anlagen, die eine Messung des Sauerstoffgehaltes durchführen, wird in zwei Anlagen eine Abluftmessung vorgenommen. In einer der beiden übrigen Anlagen wird der Sauerstoffgehalt mittels in die Mieten eingebrachter Stechsonden überprüft (3). Innerhalb der Anlage (4) wird zum Vergleich der gemessenen CO₂-Abluftwerte der Sauerstoffgehalt der Zuluft festgestellt.

Bei Betrachtung der Regelungsgrößen, welche den Kompostierungsprozeß bei den offenen Mietensystemen bestimmen, fällt auf, daß bis auf eine Ausnahme (2) in allen Anlagen über feste Grenzwerte geregelt wird.

Abb. 4.4.8-1: Regelungsarten bei der offenen Mietenkompostierung



Beinahe jeder der Anlagenbetreiber, die eine offene Mietenkompostierung mit aktiver Prozeßsteuerung betreiben, gab eine von den übrigen sich unterscheidende Kombination der Regelgrößen an. Bei fünf Anlagen gibt es vier verschiedene Regelungsgrößenkombinationen. Hierbei ist anzumerken, daß es sich in allen Anlagen nicht nur um den selben biologischen Prozeß handelt, sondern auch bei der Verfahrenstechnik kaum Unterschiede zu bemerken sind.

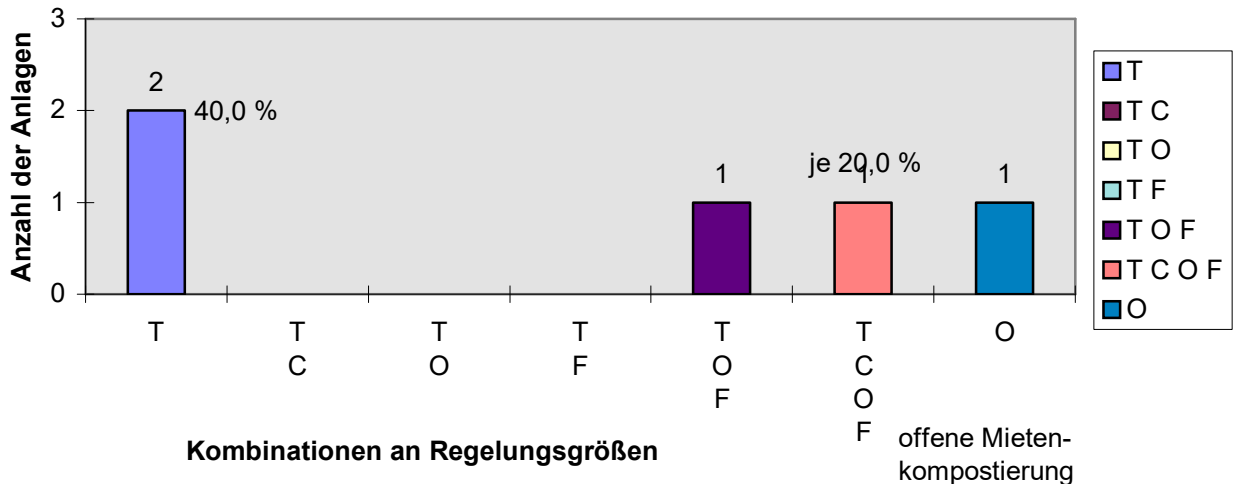


Abb. 4.4.8-2: Verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen bei der offenen Mietenkompostierung

Einen Sonderfall stellt die Anlage (3) dar. In dieser Anlage wird zwar neben dem Sauerstoffgehalt auch die Temperatur mittels Stechsonden automatisch ermittelt, die Regelung des Kompostierungsprozesses erfolgt jedoch ausschließlich über den Sauerstoffgehalt innerhalb der Kompostmiete. Die Betriebsleiterin der betreffenden Anlage teilte mit, daß bei Unterschreitung einer Sauerstoffsättigung von 80 bis 85 Prozent, welche einen Sauerstoffgehalt von ca. 17 Prozent bedeutet, die Belüftung durch das Regelungssystem automatisch aktiviert wird. Selbst bei Mietentemperaturen von bis zu 85° C werden Gegenmaßnahmen weder seitens des Regelungssystems noch durch das Betriebspersonals unternommen.

In der Anlage (5) wird die Belüftung in Abhängigkeit von der Temperatur nach einem bestimmten Zeitplan durchgeführt. In der Regel wird zu Anfang der Kompostierung die Druckbelüftung durch eine Zeitschaltuhr im Abstand von 20 Minuten aktiviert. In den letzten beiden Wochen der sechswöchigen Belüftungsphase wird dagegen nur noch einmal pro Stunde die Miete belüftet.

In der folgenden Darstellung sind der angestrebte Zielwertverlauf der Temperatur sowie die festen Grenzwerte von Sauerstoffgehalt und Feuchte der Prozeßregelung, wie sie in der Anlage (2) betrieben wird, abgebildet.

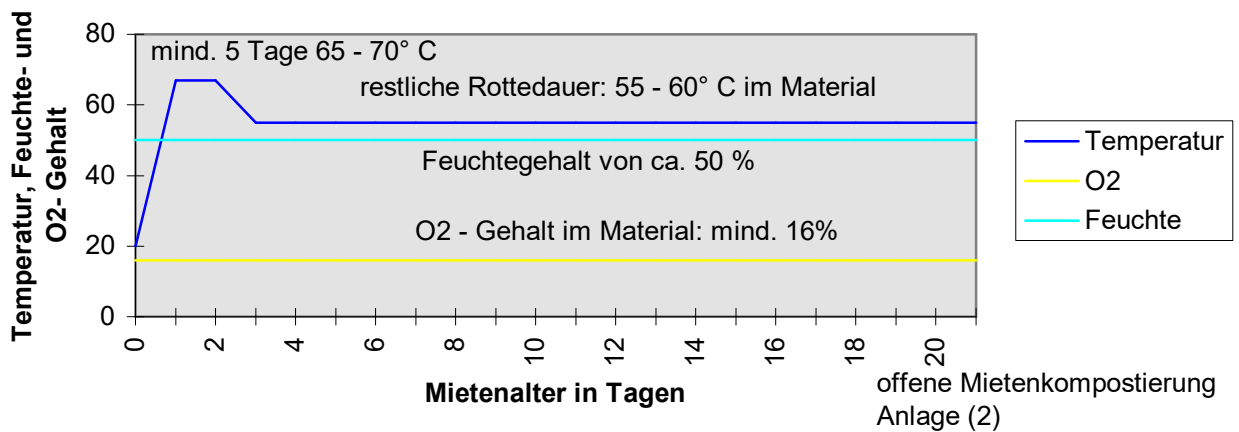


Abb. 4.4.8-3: Angestrebter Prozeßverlauf bei einer Anlage nach der offenen Mietenkompostierung

Als Mindestwert des O₂-Gehaltes innerhalb der Abluft wird bei diesem Regelungssystem die 16-Prozentmarke angesehen, bei deren Unterschreitung die Belüftung verstärkt wird. Über die Dauer des Kompostierungsprozesses wird eine Stabilisierung des Feuchtegehaltes im Kompost auf 50 Prozent angestrebt. Dabei wird eine manuelle Bewässerung vorgenommen, die sich an den Werten der entnommenen Proben orientiert. Die Temperatur wird durch eine Zielwertkurve geregelt. Bei dieser Anlage werden vergleichende Messungen der Temperatur im Material und in der Abluft vorgenommen. Die in der Abbildung dargestellten Maximalwerte beziehen sich auf die im Material anzutreffenden Temperaturen. Zu Anfang des Kompostierungsprozesses wird zur Hygienisierung eine Temperatur von 65 bis 70° C zugelassen. Nach mindestens fünf Tagen wird durch eine verstärkte Belüftung eine Temperatur von 50 bis 55° C für die restliche Zeit des Kompostierungsprozesses angestrebt. Diese wird aber gegen Ende des Kompostierungsprozesses nicht mehr erreicht. Auch bei dieser Kompostierungsanlage stellt die Temperatur die Hauptführungsgröße dar, da der angegebene Sollwert von 16 Prozent Sauerstoff innerhalb der Abluft nur sehr selten unterschritten wird.

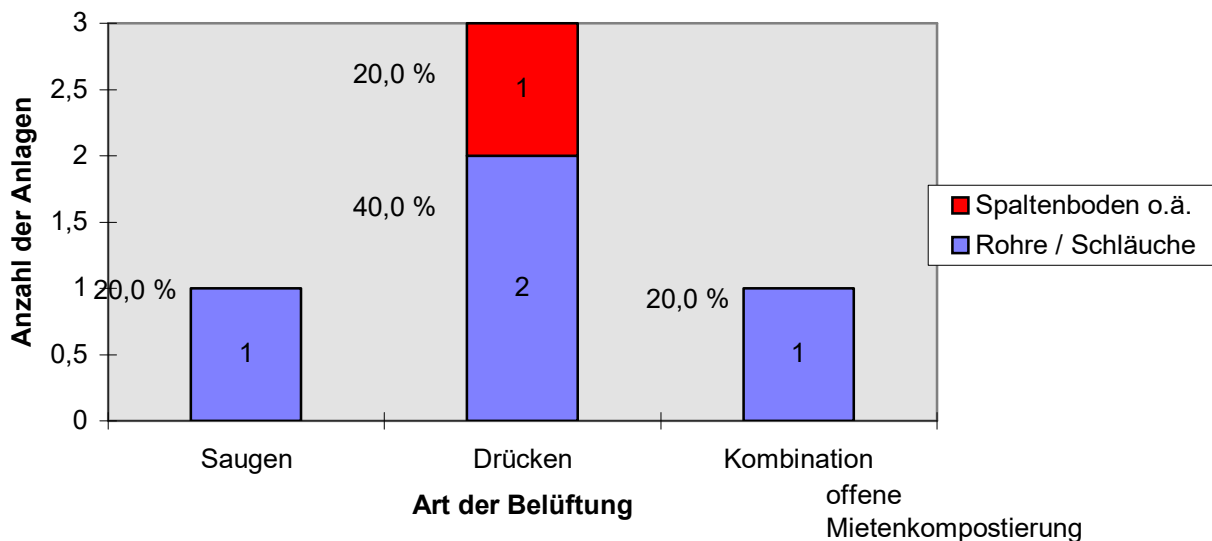


Abb. 4.4.8-4: Belüftungsarten bei der offenen Mietenkompostierung

Die Abbildung 4.4.8-4 zeigt, daß bei der Wahl des Belüftungssystems in drei von fünf offenen Mietensystemen auf Rohre oder Schläuche zurückgegriffen wird. Diese werden jeweils vor dem Auftragen der Mieten auf dem befestigten Untergrund installiert und vor einem Umsetzungsvorgang herausgezogen. In einer weiteren Anlage wird dem Kompost über Belüftungsrinnen, die im Boden des Kompostplatzes eingelassen sind, die nötige Prozeßluft zugeführt. Zwar ist bei diesem System ein bedeutend geringerer Arbeitsaufwand als bei den Rohr- oder Schlauchsystemen zu verzeichnen, jedoch ist auch hier wie bei diesen anzumerken, daß eine gleichmäßige Belüftung, wie sie durch einen Spaltenboden erzielt wird, nicht erreicht werden kann. Drei der fünf Anlagen verfügen über eine im Hinblick auf die Prozeßführung vorteilhafte Druckbelüftung. Bei einem druckbelüfteten offenen System besteht jedoch das Problem, einer zu großen Menge an emittierten Geruchsstoffen. Daher sollte auf eine ausreichende Entfernung zu Bebauung geachtet werden.

Innerhalb einer Anlage ist es möglich, die Prozeßluft bei Bedarf künstlich zu erwärmen, um den Prozeßverlauf gerade zu Anfang der Kompostierung zu beschleunigen (s. Anh., Tab. 49). In der selben Anlage wurde vor einiger Zeit ein Versuch über sauerstoffangereicherte Prozeßluft durchgeführt. Nach Aussage des Betriebsleiters dieser Anlage (4) waren allerdings keine nennenswerten Fortschritte gegenüber der Belüftung mit normaler Luft zu verzeichnen.

Die Befeuchtung findet bei allen Anlagen, die eine offene Mietenkompostierung betreiben, in Form einer manuellen Wasserzugabe statt (s. Anh., Tab. 50). Dabei besteht das Problem, daß es bei ungenauer Handhabung einerseits zu partiellen Vernässungen kommt, während es andererseits im inneren Bereich der Kompostmiete deutlich zu trocken ist.

Zwei Anlagenbetreiber (1, 2) teilten mit, daß ihre Anlagen über Regelungsprogramme verfügen, die auf verschiedenartige Chargen reagieren können (s. Anh., Tab. 51). Dabei ist nach Auskunft des Betriebsleiters der Anlage (2) darunter jedoch nur eine Verlängerung der belüfteten Intensivphase um eine oder zwei Wochen zu verstehen.

Bei den Baumustern nach der offenen Mietenkompostierung handelt es sich überwiegend um Anlagen, in denen dezentral jedes Anlagenteil gesteuert werden muß. Nur in einer Anlage ist es möglich, von einer zentralen Leitwarte aus, das gesamte Kompostwerk zu überwachen und einzelne Anlagenteile zu steuern (s. Anh., Tab. 53).

Auf die Frage nach einer geplanten Optimierung des Kompostierungsprozesses gab ein Anlagenbetreiber (4) an, daß eine Verbesserung des Regelungssystems für die nächste Zeit geplant ist (s. Anh., Tab. 54). Bei dieser Anlage besteht ein Bedarf nach einer verbesserten Dokumentationsfähigkeit, insbesondere der Lüfterlaufzeiten sowie der rottespezifischen Daten. In einer zweiten Anlage (3) ist es geplant, die offenen Mieten mit einer Laminatabdeckung zu überziehen, um erstens die Geruchsstoffe und Feuchtigkeit zurückzuhalten und zweitens den Kompost vor Wettereinflüssen zu schützen.

4.4.9 Baumusterkategorie VII: Turmkompostierung

In Deutschland besteht zur Zeit eine Anlage, die dem Baumuster der Turmkompostierung zugeordnet werden kann. Der Prozeßverlauf innerhalb des Rotteturms läßt sich wie folgt beschreiben: nach einem von oben erfolgten Eintrag des Kompostmaterials in den Rotteturm, durchläuft dieses über einen vierzehntägigen Zeitraum kontinuierlich den Rotteturm. Dabei erfährt es schichtweise die verschiedenen Phasen der Kompostierung. Im oberen Bereich des Rotteturms beginnt sich das Material nach dem erfolgten Eintrag zu erwärmen. Hier entstehen im oberen Drittel des Rotteturms, in jenem Abschnitt, der durch die mesophile Phase charakterisiert ist, Temperaturen von bis zu 55° C. Im mittleren Bereich des Rotteturms kommt es während der thermophilen Phase zu Temperaturen von 65 bis 75° C. Im unteren Drittel des Rotteturms stellen sich bei bis zu 50° C wieder Lebensbedingungen für mesophile Mikroorganismen ein. Nach zwei bis drei Wochen hat das Kompostmaterial den Rotteturm durchlaufen und wird durch einen Schneckenförderer ausgetragen.

Bei der betreffenden Turmkompostierungsanlage findet eine Überprüfung der Materialfeuchte sowie des pH-Wertes durch eine Probenentnahme vor und nach der Kompostierung statt. Bei Bedarf wird vor Eintrag des Materials in den Rotteturm die Materialfeuchte durch eine Zugabe von Sickerwasser auf einen Wassergehalt von 60 Prozent eingestellt.

Lediglich die Temperaturmessung sowie die Analyse des Sauerstoffgehaltes der Abluft werden durch das Regelungssystem automatisch durchgeführt. An der Innenwand des Rotteturms befinden sich zwei Meßleitern, die sich über die Gesamthöhe des Rotteturms erstrecken. Darauf wurden im Abstand von jeweils einem Meter Temperaturmeßsonden installiert. Diese ermöglichen die Erstellung eines vertikalen Temperaturprofils. Außerdem findet eine Messung der Ablufttemperatur am oberen Ende des Rotteturms statt.

Der Kompostierungsprozeß wird in dieser Anlage ausschließlich über den Sauerstoffgehalt der Abluft geregelt. Als Führungsgröße des Sauerstoffgehaltes wird dabei eine Spanne von 17 bis 19 Prozent angestrebt, innerhalb der das Regelungssystem den Volumenstrom an benötigter Prozeßluft selbständig korrigiert.

Nur in Ausnahmefällen, bei denen eine Temperatur von 75° C im Mittelteil des Rotteturms deutlich überschritten wird (> 80° C), nimmt das Betriebspersonal über eine verstärkte Belüftung eine Handregelung der Temperatur vor.

Nach Aussage des betreffenden Betriebsleiters ist bei Temperaturen von über 75° C mit einem verstärkten Feuchtigkeitsverlust zu rechnen. Dieser Effekt wird zudem durch die zur Wärmeableitung zusätzlich vorgenommene Belüftung intensiviert. Aus diesem Grund wird vereinzelt bei Überschreitung der Maximaltemperaturen nicht nur manuell eine Verstärkung der Belüftung sondern auch eine von oben erfolgende Beregnung des Kompostmaterials mit Sickerwasser veranlaßt. Dies soll neben einem nötigen Feuchtigkeitsausgleich gleichzeitig eine Kühlung des Kompostes bewirken.

Die Belüftung des Kompostes erfolgt bei dieser Anlage im Gegenstromverfahren. Die Prozeßluft wird aus in einem Kiesbett verlegten Rohren nach oben gedrückt. Der Kompost sinkt dabei innerhalb von zwei bis drei Wochen kontinuierlich nach unten. Die Grundfläche des Rotteturms ist in zwei Segmente aufgeteilt, die abwechselnd in Abhängigkeit vom jeweiligen O₂-Gehalt der Abluft belüftet werden.

Im Gegensatz zu anderen Anlagen wird in dieser Kompostierungsanlage der benötigte Volumenstrom über die vom Sauerstoffgehalt der Abluft abhängige Leistung des Luftverdichters reguliert. Auch die Leistung der sich am oberen Ende des Rotteturms befindlichen Absauganlage wird dem jeweiligen

Bedarf angepaßt: Durch die unterschiedlichen Mengen an Prozeßluft, die durch das Belüftungssystem von unten nach oben gedrückt werden, entstehen am oberen Ende des vollständig geschlossenen Systems unterschiedliche Luftdruckwerte. In deren Abhängigkeit wird die Leistung der Absauganlage reguliert.

Bei dieser Anlage ist systembedingt kein Umluftbetrieb vorgesehen, da dies im unteren und besonders im mittleren Teil des Rotteturms zu unerwünscht hohen Temperaturen führen würde.

Wie schon oben erwähnt, wird eine Befeuchtung des Materials nur in Ausnahmefällen während des zwei- bis dreiwöchigen Kompostierungsprozesses vorgenommen. Statt dessen wird versucht, vor dem Eintrag des Kompostmaterials in den Rotteturm den Feuchtegehalt des Materials auf 60 bis 65 Prozent einzustellen.

Bei dieser Anlage findet ein täglicher Ein- und Austrag von Kompostmaterial statt. Im Gegensatz zu chargenweise betriebenen Systemen ist es bei dieser Anlage daher nicht möglich, auf unterschiedliche Zusammensetzungen des angelieferten Materials zu reagieren. Statt dessen wird mittels einer Mischtrommel eine Homogenisierung des Frischkompostes angestrebt. Ferner wird das Material beim Eintrag mit Hilfe einer sich drehenden Verteileinrichtung gleichmäßig über den Querschnitt des Rotteturms eingebracht.

Bei dieser Anlage ist in absehbarer Zukunft keine Optimierung des Regelungssystems geplant. Nach Auffassung des Betriebsleiters wäre es jedoch überlegenswert, bald die Anzahl an Temperatursensoren innerhalb des Rotteturms zu erhöhen.

4.4.10 Resümee und Zusammenfassung der Umfrage

Als eine zentrale Aussage dieser Arbeit kann folgender Sachverhalt angeführt werden: Obwohl es sich in allen untersuchten Anlagen um den gleichen biologischen Prozeß handelt, findet keine einheitliche Regelung des Kompostierungsprozesses statt. So wurden von den 72 Betreibern, die eine Kompostierungsanlage mit einer aktiven Prozeßregelung unterhalten, insgesamt sieben verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen genannt. Einen weiteren wichtigen Aspekt stellen die Unterschiede zwischen den einzelnen Zielwerten bzw. Zielwertkurven dar, die im Laufe dieser Recherche ermittelt wurden. Daraus ergibt sich, daß zur Zeit weder die den Kompostierungsprozeß regelnden Größen noch deren Zielwerte wirklich bekannt sind.

Bis auf Ausnahme zweier Anlagen, die ausschließlich über den Sauerstoff den Kompostierungsprozeß regeln, wird in allen Anlagen die Temperatur als Regelungsgröße berücksichtigt. In nahezu einem Drittel der untersuchten Anlagen (31,9 %) erfolgt eine Regelung des Kompostierungsprozesses ausschließlich über die Temperatur. Es besteht hierbei jedoch das Problem, daß über die Temperatur nur bedingt eine Aussage über den Abbauvorgang getroffen werden kann. Gerade während der thermophilen Phase beruhen die hohen Temperaturen innerhalb

des Materials auf dessen geringer Wärmeleitfähigkeit. Dahingegen nimmt die biologische Aktivität bei zunehmender Hitze ab.

Im Verlauf dieser Recherche mußte festgestellt werden, daß in den meisten Anlagen eine zufriedenstellende Regelgüte bezüglich der Temperatur nicht erreicht wird. Bei den angegebenen Zielwerten handelt es sich lediglich um Richtwerte, von denen sich die tatsächlich einstellenden Temperaturen möglichst wenig unterscheiden sollten. Besonders zu Anfang des Kompostierungsprozesses sind jedoch des öfteren deutliche Regelabweichungen von der Temperaturführungsgröße um bis zu 20° C zu verzeichnen. Eine vom Regelungssystem veranlaßte Intensivierung der Belüftung kann in dieser Situation sogar einen weiteren Temperaturanstieg bedeuten. So nannten die Betriebsleiter auch häufig weite Grenzwertspannen, innerhalb derer die Temperaturen geregelt werden.

Nur in einem geringen Anteil aller Anlagen werden die Atmungsparameter Sauerstoff und CO₂ als Regelgrößen verwandt. Infolgedessen findet eine Regelung über den CO₂-Gehalt nur in 14 Boxensystemen (19,4 %) statt. Hier kann jedoch der CO₂-Gehalt der Abluft nur bedingt als Regelgröße des Kompostierungsprozesses bezeichnet werden. In erster Linie dient der CO₂-Gehalt bei diesen Anlagen zur Steuerung der Frischluftzufuhr innerhalb der vorhandenen Umluftsysteme, um die zu behandelnde Abluftmenge möglichst gering zu halten. Einige Betriebsleiter teilten mit, den CO₂-Gehalt über eine Zielwertkurve dem Verlauf des Kompostierungsprozesses anzupassen. Bei Rücksprachen stellte sich hingegen meist heraus, daß es sich hierbei um prozeßbedingte Schwankungen der sich tatsächlich einstellenden Werte handelt, deren Toleranz innerhalb einer Grenzwertspanne von 4,5 bis 5,0 Prozent liegt.

Auch der O₂-Gehalt wird zur Zeit bei der Regelung des Kompostierungsprozesses nur unzureichend berücksichtigt. In nur 31,9 Prozent der Anlagen findet diese Regelgröße Verwendung, obwohl es möglich ist, über die Sauerstoffzehrung eine Aussage über den Stand des Abbauprozesses zu treffen. In 25 Prozent der Anlagen stellt die Führungsgröße des O₂-Gehaltes einen festen Grenzwert dar. Bei den meisten Anlagen ist jedoch der Grenzwert so niedrig angesetzt, daß dieser nur in Ausnahmefällen unterschritten wird, da die ohnehin zur Wärmeableitung benötigte Luftmenge den geforderten Mindestgehalt an O₂ sicherstellt. Nach Auffassung der meisten Betriebsleiter dient die Regelung des O₂-Gehaltes nur zur Vermeidung anaerober Zustände. Des weiteren mußte festgestellt werden, daß in der Realität der Sauerstoffgehalt nicht über den Verlauf einer dem biologischen Prozeßverlauf angepaßten Zielwertkurve, sondern allenfalls innerhalb einer Grenzwertspanne geregelt wird. Diese erstreckt sich in der Regel von 14 bis 18 Prozent. Über einen der jeweiligen Phase des Kompostierungsprozesses angepaßten Zielwertverlauf der Atmungsparameter kann daher von keiner Anlage berichtet werden.

Keine der untersuchten Anlagen verfügt über ein Regelungssystem, das sowohl den CO₂- als auch den Sauerstoffgehalt berücksichtigt. Dabei wäre es möglich, über das Verhältnis von entstandenem CO₂ zu zugeführtem Sauerstoff, dem sogenannten Respirationskoeffizienten, den Stand des Abbauprozesses zu erkennen und so die benötigten Luftmengen genau zu dosieren. Voraussetzung ist jedoch, daß die Temperatur unter diesen Bedingungen beherrschbar bleibt.

In der Abwassertechnik werden die biologischen Abwasserbehandlungsanlagen nicht nur über die anfallenden Mengen, sondern auch über die Zusammensetzung bzw. Belastung des jeweils anzutreffenden Abwassers dimensioniert (Abwasser-technische Vereinigung 1991). Weiterhin ist es hier möglich, die Prozeßregelung den gemessenen Zulaufwerten des Abwassers anzupassen. Auch bei der Kompostierung wäre mit Hilfe des Respirationskoeffizienten eine Aussage über die Natur des Materials möglich (Fertig 1981). Allerdings wird momentan in keinem Kompostwerk auf die Natur des Materials durch die Auswahl eines chargenbezogenen Regelungsprogramms automatisch reagiert. Vielmehr geschieht dies nach Betrachtung des zu behandelnden Materials durch den Bediener der Anlage. Eine Anpassung der Zielwerte findet dabei in der Regel nicht statt, eher werden die einzelnen Phasen bzw. der gesamte Verlauf des Kompostierungsprozesses zeitlich variiert.

Wie in den Kapiteln 2.1.2 und 2.1.3 geschildert, stehen die zur Wärme- und CO₂-Ableitung sowie zur Sauerstoffversorgung dienende Belüftung und die notwendige Wasserversorgung der Mikroorganismen in Konkurrenz zueinander. Einerseits bewirkt die Belüftung des Kompostes einen zu kompensierenden Feuchtigkeitsverlust, andererseits wird die Sauerstoffversorgung durch Wasser gefüllte Poren beeinträchtigt. So erscheint es unverständlich, daß innerhalb von nur 26,4 Prozent der untersuchten Anlagen die Feuchtigkeit als Regelungsgröße verwandt wird. Dies geschieht immer über eine Handregelung. Ein vollautomatisches Befeuchtungssystem, das selbsttätig zwecks anschließender Korrektur Feuchtwerte aufnimmt, ist zur Zeit innerhalb keiner Anlage vorhanden. Dies resultiert u. a. daraus, daß eine Möglichkeit zur kontinuierlichen Bestimmung des Feuchtegehaltes in nur 9,2 % der Kompostwerke vorhanden ist. Dabei handelt es sich um Sensoren, die den Wassergehalt der Abluft feststellen. Eine on line Messung der Materialfeuchte ist gegenwärtig in keiner der untersuchten Anlagen möglich. Die Bestimmung der Kompostfeuchte geschieht statt dessen durch eine wöchentlich erfolgende Probenentnahme. Bei dieser Art der Feuchtebestimmung ist es allerdings fraglich, inwiefern über den Feuchtegehalt der betreffenden Miete eine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann. Bei Optimierung einer Kompostierungsanlage sollte daher versucht werden, durch ein vollautomatisches Feuchteregelsystem die Effizienz des Regelungssystems zu steigern. Dies trifft besonders auf die vollständig gekapselten Intensivrottesysteme zu. Bei diesen Anlagen besteht während des zehn- bis vierzehntägigen Kompostierungsprozesses häufig die Gefahr der Austrocknung. Bei der Feuchteregelung sollte der Schwerpunkt der Optimierung bei der Meßwertaufnahme liegen. Ideal wäre eine Kombination aus Messung der Materialfeuchte mittels Stechsonden sowie begleitender Bestimmung der Abluftfeuchte.

Die Prozeßregelung der Kompostierung besteht augenblicklich nur aus einer Reaktion auf die Folgewirkungen des biologischen Prozesses, wie z. B. die Temperaturextrema in der ersten Phase des Kompostierungsprozesses oder die Austrocknung des Materials. Die Ursachen der teilweise unbefriedigenden Regelgüte vermag kein System zu beheben, da die Physiologie des Kompostierungsprozesses momentan in keiner Kompostierungsanlage näher berücksichtigt wird. Ziel einer Optimierung des Regelungsprozesses sollte es daher vor allem sein, die Atmung und zwar sowohl den CO₂- als auch den O₂-Gehalt analog zum biologischen Prozeßverlauf beeinflussen zu können.

Neben einer Optimierung der Regelsysteme sollte in nächster Zeit auch über eine Reduzierung des Energieverbrauchs nachgedacht werden. So führten auch fünf Anlagenbetreiber zu hohe

Energiekosten als Grund einer anstehenden Optimierung des Regelungssystems ihres Kompostwerkes an.

Eine Möglichkeit diese zu verringern, besteht in der Produktion eines Kompostes mit einem geringeren Reifegrad. Daher ist zu überlegen, ob es wirklich nötig ist, unter einem hohen technischen und energetischen Aufwand einen für die Landwirtschaft bestimmten Kompost höchster Qualität herzustellen, der einen Rottegrad von IV bis V besitzt sowie nach der Kompostierung noch eine Aufbereitung erfährt. Im allgemeinen sollte ein hygienisierter Kompost des Rottegrades III den Anforderungen der Landwirtschaft genügen. Eine Auswirkung auf die Prozeßregelung innerhalb der Kompostierungsanlagen hätte diese Maßnahme jedoch nicht, da der Biomüll zwar nur eine kürzere Zeit aber weiterhin unter den gleichen technischen Voraussetzungen behandelt werden würde.

Zur Reduzierung der Energiekosten ist es notwendig, die Belüftungstechnik zu optimieren, da bei der Kompostierung mindestens 60 Prozent der Energiekosten auf diesen Anlagenteil entfallen. Nach Abschluß der Recherche kann hingegen nur von einer Anlage berichtet werden, in welcher die Leistung des Luftverdichters bedarfs- gerecht gesteuert wird. In den übrigen Anlagen liegt die Leistung des Luftverdichters meistens deutlich über dem Bedarf der Kompostierung, da die Luftverdichterleistung über den gesamten Prozeßverlauf konstant bleibt.

Als Gegenbeispiel soll hier die Klimatechnik angeführt werden. Bei den heute auf dem Markt befindlichen Systemen findet eine Regelung der Luftverdichterleistung nach den jeweils gegebenen Bedürfnissen statt. Diese ist erstens von den vorherrschenden Temperaturen sowie zweitens von der Tageszeit abhängig. In den Sommermonaten findet in den Nachtstunden unter Vollast ein Austausch mit kühler Außenluft statt. Tagsüber wird die Leistung des Luftverdichters so gedrosselt, daß sie einerseits zur Stabilisierung der Raumklimate ausreichend ist, andererseits jedoch die Bewohner bzw. die Bediensteten einem möglichst geringen Volumenstrom aus- gesetzt werden.

Auch bei einigen Kompostwerken sind die technischen Möglichkeiten bereits gegeben, in Form einer Frequenzregelung die Leistung des Luftverdichters den Bedürfnissen des Kompostierungsprozesses anzupassen. In der Regel wird darauf jedoch verzichtet. Vielmehr wird bei einigen druckbelüfteten Systemen die zur Kompostierung nicht benötigte Prozeßluft direkt zum Biofilter geleitet, um mit der an Geruchsstoffen belasteten Abluft vermischt zu werden. Dadurch versprechen sich die Betreiber eine deutlich verringerte Anzahl der emittierten Geruchseinheiten. Diese Maßnahme ist ein Beispiel dafür, daß Probleme bei der Prozeßregelung der Kompostierung nur so weit behoben werden, bis sie nicht mehr wahrnehmbar sind. So wird auch auf die Ursachen der Bildung von Geruchsstoffen nicht eingegangen. Bei der Kompostierung kommt es nämlich zu unvollständigen Oxidationen, was zur Bildung einer Vielzahl von Zwischenprodukten führt, unter denen sich viele Geruchsstoffe befinden. Im Idealfall jedoch würden aus den abzubauenen Kohlenhydraten bei optimaler Regelung des Kompostierungsprozesses unter vollständiger biologischer Oxidation nur CO₂ und H₂O als Endprodukte entstehen. Anstatt jedoch in eine Optimierung des Regelungssystems zu investieren, wird in diesen Kompostwerken weiterhin eine in bezug auf den eigentlichen Kompostierungsprozeß überdimensionierte und somit energiezehrende Belüftungsanlage betrieben. Dies ist u. a. auf die aktuell noch geringen Energiepreise zurückzuführen, die eine Investition in eine fortschrittlichere Technik verhindern. Denn diese würde sich, von der heutigen Situation ausgegangen, erst nach einem langen Zeitraum amortisieren. Erst bei deutlich angestiegenen Energiepreisen wäre es für die Betreiber von Kompostierungsanlagen finanziell nicht mehr zu vertreten, ständig energiezehrende Luftverdichter bei Vollast zu betreiben, obwohl zur Regelung des Kompostierungsprozesses über den längsten Zeitraum deutlich geringere Mengen an Prozeßluft benötigt werden. So ist erst bei einer Verteuerung der Energie mit einem deutlichen Anstieg der Investitionen in die Optimierung der Verfahrenstechnik zu rechnen, was nicht nur für die Kompostierungsanlagen, sondern auch für weitere Wirtschaftszweige gilt.

5 Zusammenfassung

Gegenstand dieser Arbeit war eine Recherche zum aktuellen Stand der Prozeßregelung in Kompostierungsanlagen. Der Schwerpunkt lag in der Ermittlung der Regelgrößen und den jeweiligen Zielwerten. Neben der einschlägigen Literatur sind auch elektronische Medien wie das Internet berücksichtigt worden. Weiterhin wurde eine Umfrageaktion durchgeführt, bei der 176 Betreiber von Kompostierungsanlagen angeschrieben wurden.

Im Verlauf der Bearbeitung stellte sich heraus, daß zur Zeit weder in der Literatur noch in den elektronischen Medien ausreichende Informationen zu diesem Thema vorhanden sind. Die hohe Rücklaufquote an beantworteten Fragebögen führte dahin- gegen zu einem auswertbaren Ergebnis. Folgende Aussagen lassen sich festhalten:

Von allen über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parametern stellt die Temperatur zur Zeit die bestimmende Regelgröße des Kompostierungsprozesses dar. So wird bei 97,2 Prozent der Anlagen der Kompostierungsprozeß über die Temperatur geregelt. Atmung und Feuchte hingegen werden bei den meisten der untersuchten Anlagen nicht oder nur am Rande einbezogen.

Bei weniger als einem Drittel (31,9 %) der über eine aktive Prozeßsteuerung verfügenden Anlagen findet eine Regelung des Sauerstoffgehaltes statt. Zudem mußte festgestellt werden, daß eine Regelung über den Sauerstoffgehalt sich nicht nach der Physiologie des Kompostierungsprozesses richtet, sondern aufgrund der niedrig an- gesetzten Zielwerte einzig zur Verhinderung anaerober Zustände dient.

Auch der zweite über die Atmung aussagefähige Parameter wird nur unzureichend bei der Regelung des Kompostierungsprozesses berücksichtigt, da nur in 19,4 Pro- zent der untersuchten Anlagen eine Regelung des CO₂-Gehaltes stattfindet. In erster Linie steht bei diesen Anlagen jedoch weniger eine Einflußnahme auf den Kompostierungsprozeß als eine Reduzierung der Abluftmengen im Vordergrund.

Der geringe Anteil an Kompostwerken (26,4 %), in denen eine Regelung der Feuchte stattfindet, ist u. a. darauf zurückzuführen, daß bei vollständig gekapselten Kompostierungssystemen nur vereinzelt auf den Feuchtegehalt Einfluß genommen werden kann. Ferner läßt sich nur in wenigen Anlagen on line der Wassergehalt der Abluft bestimmen; eine automatische Bestimmung der Materialfeuchte ist in keiner Anlage anzutreffen.

Im Gegensatz zur biologischen Abwasserbehandlung findet zum jetzigen Zeitpunkt eine Regelung des Kompostierungsprozesses nach einem allgemeinen Stand der Technik nicht statt. Dies begründet sich darin, daß sieben verschiedene Kombinationen an Regelungsgrößen verzeichnet werden konnten, obwohl es sich in allen An- lagen um den gleichen biologischen Prozeß handelt.

Über die genauen Zielwerte bzw. Zielwertkurven der einzelnen Regelgrößen kann ebenfalls keine allgemeingültige Aussage getroffen werden, da diese in Abhängigkeit von den Vorgaben des jeweiligen Betriebsleiters bzw. Regelungssystems variieren.

Die Gemeinsamkeit aller Anlagen besteht darin, daß nicht auf die Physiologie des biologischen Prozesses eingegangen, sondern hauptsächlich auf dessen Folgewirkungen, wie beispielsweise die Temperaturextrema zu Anfang des Kompostierungsprozesses, reagiert wird. So regelt nahezu ein Drittel aller untersuchten Anlagen (31,9 %) ausschließlich über die Temperatur den Kompostierungsprozeß, während über keine Anlage berichtet werden kann, in der ein Regelsystem sowohl den CO₂- als auch den O₂-Gehalt berücksichtigt.

Ziel der Forschung sollte es in nächster Zeit sein, die den Kompostierungsprozeß bestimmenden Größen zu identifizieren - unter besonderer Beachtung der bis dato unterrepräsentierten Regelgrößen CO_2 und O_2 - und ihnen allgemeingültige Zielwerte zuzuweisen, die sich nach den jeweiligen Bedürfnissen der Biologie richten.

6 Literatur

Abwassertechnische Vereinigung e. V. (1991):

Arbeitsblatt A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen
ab 5.000 Einwohnerwerten

Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., St. Augustin

Anonymus, (1986):

Modellversuch „Grüne Naßmülltonne“ in Hamburg-Harburg

1. Zwischenbericht, Hamburg

Anonymus, (1997),

517 Kompostierungsanlagen in Betrieb

in: Informationdienst Humuswirtschaft und Kompost, Heft 2/97

Bertoldi, M. de, Vallini, G., Pera, A. (1982):

Comparisation of Three Windrow Compost Systems

In: Biocycle März/April 1982, Seite 45 bis 50

Bertoldi, M. de, Vallini, G., Pera, A. (1983):

The biology of Composting – A Review

In: Waste Management Resource 1, Seite 157 bis 176

Bidlingmaier, W. (1983):

Das Wesen der Kompostierung von Siedlungsabfällen

In: Kumpf, Maas, Straub: Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung
KZ 5305, Berlin

Bidlingmaier, W. (1985):

Biologische Grundlagen der Kompostierung

In: Thome´ - Kotzmiensky (Hrsg.): Kompostierung von Abfällen Teil 2
EF-Verlag, Berlin

Bilitewski, B., Härdtle, G., Marek, K. (1994):

Abfallwirtschaft, 2. Auflage

Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

Bonfig, K. W. (1993):

Sensorik, Band 3: Sensoren und Mikroelektronik

Expert Verlag, Ehningen

Brock, T. D., Madigan, M. T. (1991):

Biology of Microorganisms, 6. Auflage

Prentice-Hall, Englewood Cliffs / New Jersey

Bundesgütegemeinschaft Kompost (1996):

Hygiene Baumusterprüfsystem für Kompostierungsanlagen
Kompostinformation Nr. 225, Stand 8/96
Bundesgütegemeinschaft Kompost, Köln

Bundesgütegemeinschaft Kompost (1997):

Kompostanlagen in Deutschland 1997
Kompostinformation 104, Stand 4/97
Bundesgütegemeinschaft Kompost, Köln

Darbyshire, J. F., Davidson, M. S., Gaskin, G. J., Campbell, C. D. (1989):

Forced Aeration Composting of coniferous Bark
In: Biological Wastes 30, Seite 275 bis 287

Dörscheidt, F., Latzel, W. (1993):

Grundlagen der Regelungstechnik, 2. Auflage
B. G. Teubner Verlag, Stuttgart

Deutsches Institut für Normung (1977):

DIN 43710: Messen, Steuern, Regeln:
Elektrische Thermometer: Thermospannungen und Werkstoffe der Thermopaare

Deutsches Institut für Normung (1978):

DIN 19227: Messen, Steuern, Regeln:
Sinnbilder für die Verfahrenstechnik: Zeichen für die funktionelle Darstellung
Beuth Verlag, Berlin

Deutsches Institut für Normung (1980):

DIN IEC 60381: Analoge Signale für Regel- und Steueranlagen;

Deutsches Institut für Normung (1983):

DIN IEC 751: Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-
Meßwiderstände

Deutsches Institut für Normung (1984):

DIN 19226: Regelungs- und Steuertechnik: Begriffe, allgemeine Grundlagen
Beuth Verlag, Berlin

Ebertseder, Th., Gutser, R. (1994):

Qualität und Nährstoffwirkung von Bioabfallkomposten für den Einsatz in der
Landwirtschaft

In: Umweltschonende Aufbereitung und Verwertung von Bioabfall durch
Kompostierung und Rückführung auf landwirtschaftliche und gärtnerische Flächen

Herausgegeben vom Bay, Landesamt für Umweltschutz

Emberger, J. (1993):

Kompostierung und Vergärung
Vogel Verlag, Würzburg

Fachinformationszentrum Technik e. V. (1997):

FIZ-Technik Informationsdienst:
Z 26: Steuerungs- und Regelungstechnik
60314 Frankfurt

Feidner, S., Hangen, H. O. (1994):

Die Kompostierung von Bioabfall in Deutschland
Ergebnisse einer Umfrage
Schriftenreihe des ANS, Heft 28

Fertig, J. (1981):

Untersuchungen von Wechselwirkungen zwischen Belüftung, Wärmebildung,
Sauerstoffverbrauch, Kohlendioxidbildung und Abbau der organischen Substanz bei
der Kompostierung von Siedlungsabfällen;
Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades in dem Fachbereich angewandte
Biologie und Umweltsicherung der Justus-Liebig-Universität Gießen

Finstein, M. S., Morris, M. L. (1975):

Microbiology of Municipal Solid Waste Composting
In: Adv. Appl. Microbiol., Vol. 19, Seite 113 bis 151

Firmenmitteilung der Firma Neuenhauser Maschinenbau GmbH & Co. KG (1997)

Neuenhaus

Firmenmitteilung der Firma Steinmüller Rompf Wassertechnik GmbH und Co (1997)

Dillenburg – Frohnhausen

Föllinger, O. (1994):

Regelungstechnik, 8. Auflage
Hüthig Buch Verlag, Heidelberg

Fricke, K., Nießen, H., Vogtmann, H., Hangen, H.O. (1992):

Die Bioabfallsammlung und -kompostierung in der Bundesrepublik Deutschland
Situationsanalyse 1991
Schriftenreihe des ANS, Heft 20

Glathe, H., Farkasdi, G. (1966):

Bedeutung verschiedener Faktoren für die Kompostierung

In: Kumpf, Maas, Straub. Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung
KZ 5020, Berlin

Golueke, C. G. (1977):

Biological Reclamation of Solid Waste
Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania

Golueke, C. G. (1989):

Putting Principles into Successful Practice
In: Biocycle Guide to Yard Composting
J.G. Press, Emmaus, Pennsylvania

Grabbe, K. (1988):

Der Kompostierungsprozeß in Abhängigkeit von biochemischen und mikrobiellen
Einflußgrößen
Vortrag am 20.08.1988 im Haus der Technik, Essen

Grabbe, K. (1996):

Grundlagen der Prozeßführung bei der Kompostierung biogener Reststoffe und ihre
Relevanz zur Herstellung reproduzierbarer Kompostqualitäten
In: Wiemer / Kern (Hrsg): Biologische Abfallbehandlung III
M.I.C. Baeza Verlag, Witzenhausen

Gray, K. R., Biddlestone, A. J. (1973):

Composting Process Parameters
In: The Chemical Engineer, Feb./73, Seite 71 bis 76

Gruber, U., Klein, W. (1989):

Messen, Regeln und Steuern, Band 6: Grundoperationen der Prozeßleittechnik
VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim

Haug, R.T. (1979):

Engineering principles of sludge composting
In: Journal WPCF, Vol. 51, No. 8, Seite 2189-2206

Haug, R. T. (1980):

Compost-Engineering – Principles and Practice
Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor / Michigan

Higgins, A. J. (1982):

Ventilation for static pile composting
In: Biocycle, Juli/August, Seite 36 bis 41

Helm, M. (1985):

Prozeßführung bei der Kompostierung von organischen Reststoffen aus Haushalten
KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup

Hentschel, K. H., Bühler, W. (Hrsg.), (1997):

VTB – Verfahrenstechnische Berichte
Bayer AG, Leverkusen
BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen

Jeris, J. S., Regan, R. W. (1973):

Controlling enviromental parameters for optimum composting
In: Compost science, Ausgabe Jan./Feb. 73, Seite 10-15

Jourdan, B. (1988):

Zur Kennzeichnung des Rottegrades von Müll- und Müllklärschlammkomposten
In: Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 30
Erich Schmidt Verlag, Bielefeld

Karg, E. (1992):

Elementare Grundlagen der Regelungstechnik, 7. Auflage
Vogel Buchverlag, Würzburg

Kranert, M. (1988):

Freisetzung und Nutzung von thermischer Energie bei der Schlammkompostierung
In: Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Heft 33
Erich Schmidt Verlag, Bielefeld

Krist, T. (1987):

Meß-, Steuerungs-, Regeltechnik: Formeln, Daten, Begriffe, 3. Auflage
Hoppenstedt Verlag, Darmstadt

Kronmüller, H., Barakat, F. (1974):

Prozeßmeßtechnik I: Elektrisches Messen nicht elektrischer Größen
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

Laatz, W. (1993):

Empirische Methoden, ein Lehrbuch für Sozialwissenschaftler
Seite 109 bis 114
Verlag Harry Deutsch, Thun (CH), Frankfurt/M

LAGA – Merkblatt M10, (1995):

Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost

Linder, H. (1995):

Das Brikollare – Verfahren

In: Wiemer/Kern (Hrsg.): Herstellerforum Bioabfall
M.I.C. Baeza – Verlag, Witzhausen

Mac Gregor, S. T., Miller, F. C., Psarianos, K. M., Finstein, M. S. (1981):
Composting Process Control, based on interaction between microbial heat output
and temperature
In: Appl. Environ. Microbiol; Vol. 41, No. 6, Seite 1321 bis 1330

Mann, J., Schiffelgen, H., Froriep, R. (1997):
Einführung in die Regelungstechnik, 7. Auflage
Carl Hanser Verlag, München, Wien

Marktspiegel Umwelttechnik 1998 (1997):
Sonderveröffentlichung von „Wasser, Luft, Boden“, Heft 10/97

Mayer, J. (1990):
Geruchsstoffe bei der Heißrotte von Hausmüll
Dissertation an der Universität Tübingen

Mc. Kinley, V. L., Vestal, J. R., Eralp, A. E. (1985):
Microbial activity in Composting, Teil 1
In: Biocycle, Sep./85, Seite 39-43

Miller, F. C., Mac Gregor, S. D., Psarianos, K. M., Cirello, J., Finstein, M. S. (1982):
Direction of Ventilation in composting wastewater sludge
In: Journal WPCF, Vol. 54, Seite 111-113

Miller, F. C., Harper, E. R., Macauley, B. J. (1989):
Field examination of temperature and oxygen relationships in mushroom composting
Stacks, consideration of stack oxygenation based on utilisation and supply
In: Australian Journal of Experimental Agriculture 29, Seite 741-750

Mittelstaedt, H. (1961):
Regelungsvorgänge in lebenden Wesen
Sammlung von Vorträgen, die am 6. und 7. November 1958 im Haus der Technik,
Essen gehalten wurden.
Oldenbourg Verlag, München

Mudrack, K., Kunst, S. (1988):
Biologie der Abwasserreinigung, 2. Auflage
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Nagasaki, K., Shoda, M., Kubota, H. (1985):
Effect of temperature on composting sewage sludge

In: Appl. Environ. Microbiol., Vol. 50, No. 6, Seite 1526-1530

Niese, G. (1969):

Die Bestimmung der mikrobiellen Aktivität in Müll und Müllkomposten durch die Messung der Sauerstoffaufnahme und der Wärmebildung.

Habilitationsschrift am Institut für Landwirtschaftliche Mikrobiologie der Universität Gießen

Ottow, C. G., Bidlingmaier, W. (Hrsg.), (1997):

Umweltbiotechnologie

Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Pereira-Neto, J. T., Stentiford, E. I., Mara, D. D. (1986):

Pathogen Survival in a Refuse / Sludge Forced Aeration Compost System

In: Inst. Chem. Eng. Sym. Ser. (Effluent Treat. Disposal), No. 96, Seite 373 bis 391

Poincelot, R. P. (1974):

A scientific examination of the principles and practice of composting

In: compost science, No. 15, Seite 24-31

Poincelot, R. P. (1975):

The Biochemistry and Methodology of Composting

In: Bulletin 754, The Connecticut Agricultural Experiment Station, New Haven

Profos, P., Pfeifer, T. (1994):

Handbuch der industriellen Meßtechnik, 6. Auflage

Oldenbourg Verlag, München, Wien

Profos, P., Pfeifer, T. (1997):

Grundlagen der Meßtechnik, 5. Auflage

R. Oldenbourg Verlag, München, Wien

Reuter, M. 1994:

Regelungstechnik für Ingenieure, 9. Auflage

Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden

Rexilius, R. (1990):

Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Feststoffabtrennung aus Flüssigmist und zur Feststoffkompostierung

Dissertation an der Universität Hohenheim

Rheinbaben, von W. (1993):

Steuerung der Temperatur bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen mittels variierter Belüftung in halbtechnischen Versuchen

In: Müll und Abfall 8/93, Seite 591 bis 598

Schiessle, E. (1992):

Sensortechnik und Meßwertaufnahme
Vogel Verlag, Würzburg

Schneider, W. (1994):

Regelungstechnik für Maschinenbauer, 2. Auflage
Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden

Schnell, G. (1993):

Sensoren in der Automatisierungstechnik, 2. Auflage
Vieweg Verlag, Wiesbaden

Schuchardt, F. (1988):

Verlauf von Kompostierungsprozessen in Abhängigkeit von technisch, physikalischen
und chemischen Randbedingungen
Vortrag am 20.08.1988 im Haus der Technik, Essen

Schulz, D. (1991):

PC-gestützte Meß- und Regeltechnik: Grundlagen und praktische Anwendung
Franzis Verlag, München

Sikora, L. J., Sowers, M. A. (1985):

Effect of the temperature control on the composting process
In: Environment Journal, Vol. 14, No. 3 Seite 434-439

Stöcklein, A. (1995):

Was ist die richtige Kompostierungstechnik?
In: Faulstich, Kolb, Netter (Hrsg.): 18. Mülltechnisches Seminar
Praxis der biologischen Abfallbehandlung
Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft der TU München 1995
Berichtsheft Nr.:121
Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Wassergüte- und Abfallwirtschaft,
Garching

Suler, D. J., Finstein, M. S. (1977):

Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Bench-scale
Continuously thermophilic composting of solid waste
In: Appl. Environ. Microbiology, Vol. 33, Seite 345-350

Teuteberg, F. (1997):

Effektives Suchen im World Wide Web (WWW): Suchdienste und Suchmethoden
In: Wirtschaftsinformatik 39/1997, Heft 4, Seite 373 bis 383

Thome´ Kozmiensky, K. (1995):

Biologische Abfallbehandlung
EF- Verlag, Berlin

Unger, J. 1990:

Einführung in die Regelungstechnik
B. G. Teubner Verlag, Stuttgart

Vallini, G., Pera, A. (1989):

Green Compost Production from Vegetable Waste
In: Biological Wastes 29, Seite 33 bis 41

Viel, M., Sayag, D., Peyre, A., Andre´, van P. (1987) :

Optimization of In-Vessel Co-Composting through heat recovery
In: Biological Wastes 20, Seite 167 bis 185

Waksmann, S. A., Cordon, T. C., Hulpoi, N. (1939):

Influence of Temperature upon the Microbiological Population and Decomposition
Processes in composts stable manure
In: Soil science, Vol. 47, Seite 83-98

Wendehorst, R., Muth, H. (1989):

Bautechnische Zahlentafeln, 24. Auflage
B.G. Teubner Verlag, Stuttgart

Wiemer, K., Kern, M. (1996):

Kompostatlas 1996/97
M.I.C. Baeza – Verlag, Witzenhausen

Wiemer, K., Kern, M. (1997):

Hersteller- und Dienstleisterkatalog 1997/98
M.I.C Baeza – Verlag, Witzenhausen

Anhang I Allgemeine Daten

Tab. A 1: Gesamtüberblick: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	13	18,1
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	1	1,4
Umluftbetrieb	31	43,1
Dosierung des Volumenstroms möglich	56	77,8
Ein- und Ausschalten der Belüftung	16	22,2

Tab. A 2: Gesamtüberblick: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	9	12,5
Automatische Wasserzugabe durch das System	22	30,1
manuelle Wasserzugabe	18	25,0
Summe aller Anlagen, die eine Befeuchtung durchführen	49	68,1

Tab. A 3: Gesamtüberblick: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
individuelle Regelung jeder Box möglich	68	94,4
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	63	87,5
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	65	90,3
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	53	73,6

Tab. A 4: Gesamtüberblick: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	2	2,8
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	10	13,9
SPS plus einem Computer	56	77,8

Tab. A 5: Gesamtüberblick: Automatisierungsgrad aller Kompostierungsanlagen

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	20	27,8
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	13	18,1
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	35	48,6

Tab. A 6: Gesamtüberblick: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Kompostierungsanlagen und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		60	83,3
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		12	16,7
<u>Davon:</u>	unbefriedigenden Prozeßverläufen	4	5,6
Optimierung wegen	zu lange andauernden Rotteprozessen	3	4,2
	zu hohen Energiekosten	5	6,9
	sonstiges	5	6,9

Anhang II: Baumusterkategorien

Baumusterkategorie I: Boxen- und Containerkompostierung

Tab. A 7: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme Boxen- und Containerkompostierung

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	8 (davon 2 ohne Umluft)	33,3
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	14	58,3
Dosieren der Belüftung	17	70,8
Ein- und Ausschalten der Belüftung	7	29,2

Tab. A 8: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in Boxen- und Containersystemen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	5	20,1
Automatische Wasserzugabe durch das System	3 (Nachrotte)	12,5
Manuelle Wasserzugabe	7 (Nachrotte)	29,2

Tab. A 9: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der Boxen- und Containerkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jeder Box möglich	24	100
Speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	24	100
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	24	100
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Cargen liegen vor	22	91,7

Tab. A 10: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente, wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei der Boxen- und Containerkompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	2	8,3
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	1	4,2
SPS plus einem Computer	21	87,5

Tab. A 11: Automatisierungsgrad der verschiedenen Boxen- und Container- Kompostierungssysteme

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	13	54,2
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	8	33,3
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	3	12,5

Tab. A 12: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Boxen- und Containerkompostierungssysteme und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		21	87,5
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		3	12,5
Davon: Optimierung wegen	unbefriedigenden Prozeßverläufen	1	4,2
	zu lange andauernden Rotteprozessen	2	8,3
	zu hohen Energiekosten	3	12,5

Baumsternkategorie II: Brikollare-Kompostierung

Tab. A 13: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei der Brikollare-Kompostierung

	Automatisch gemessene Parameter		zusätzlich manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	6	100	--	--
CO ₂ -Gehalt	--	--	3	50,0
O ₂ -Gehalt	--	--	3	50,0
Feuchte	4	66,7	1	16,7
pH-Wert	--	--	2	33,3

Tab. A 14: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der Brikollare-Kompostierung

	Automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	2	33,3	--	--
Temp., Feuchte	4	66,7	--	--
Feuchte	--	--	1	16,7
CO ₂ , O ₂	--	--	1	16,7
CO ₂ , O ₂ , pH	--	--	2	33,3

Tab. A 15: Meßorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Brikollare-Kompostierung

	Meßorte					
	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	5	83,3	2	33,3	6	100
CO ₂ -Gehalt	--	--	--	--	3	50,0
O ₂ -Gehalt	--	--	2	33,3	3	50,0
Feuchte	2	33,3	--	--	5	83,3
pH-Wert	2	33,3	--	--	--	--

Tab A 16: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Brikollare – Kompostierung; Prozentanteil ist auf den jeweiligen Parameter bezogen

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH-Wert	
	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%
Material	--	--	--	--	--	--	--	--	2	100
Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Abluft	1	16,7	3	100	1	33,3	3	60,0	--	--
Material, Abluft	4	66,7	--	--	--	--	2	40,0	--	--
Material, Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	1	16,7	--	--	--	--	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	--	--	--	--	2	66,7	--	--	--	--

Tab. A 17: Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Brikollare-Kompostierung

Kombinationen der Regelungsgrößen	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	3	50,0
Temperatur, CO ₂	--	--
Temperatur, O ₂	--	--
Temperatur, Feuchte	3	50,0
Temperatur, O ₂ , Feuchte	--	--
O ₂	--	--
Temperatur, CO ₂ , O ₂ , Feuchte	--	--

Tab. A 18: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	--	--
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	4	66,7
Dosierung der Belüftung	6	100
Ein- und Ausschalten der Belüftung	--	--

Tab. A 19: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in Brikollare-Anlagen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	2	33,3
Automatische Wasserzugabe durch das System	--	--
manuelle Wasserzugabe	--	--

Tab. A 20: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der Brikollare-Kompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
individuelle Regelung jeder Kammer möglich	6	100
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	6	100
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	6	100
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	6	100

Tab. A 21: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente, wie z. B. der Belüftungsanlage, bei der Brikollare-Kompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	--	--
SPS plus einem Computer	6	100

Tab. A 22: Automatisierungsgrad der Brikollare-Kompostierungsanlagen

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	1	16,7
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	--	--
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	5	83,3

Tab. A 23: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Brikollare-Kompostierungsanlagen und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		6	100
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		--	--
<u>Davon:</u>	Unbefriedigenden Prozeßverläufen	--	--
Optimierung Wegen	Zu lange andauernden Rotteprozessen	--	--
	Zu hohen Energiekosten	--	--

Baumuster III: Tunnel- und Zeilenkompostierung

Tab. A 24: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	2	13,3
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	12 (11 Tunnel, 1 Zeile)	80,0
Dosierung der Belüftung	15	100
Ein- und Ausschalten der Belüftung	--	--

Tab. A 25: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in Tunnel- und Zeilensystemen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	2	13,3
Automatische Wasserzugabe durch das System	11	73,3
manuelle Wasserzugabe	4	26,6

Tab. A 26: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jedes Tunnels / jeder Zeile möglich	15	100
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	13	86,7
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	14	93,3
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	14	93,3

Tab. A 27: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente, wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	--	--
SPS plus einem Computer	14	93,3

Anlage (8): k. A.

Tab. A 28: Automatisierungsgrad der verschiedenen Tunnel- und Zeilenkompostierungssysteme

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	1	6,7
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	4	26,6
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	10	66,6

Tab. A 29: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Tunnel- und Zeilenkompostierungssysteme und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

	Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant	13	86,7
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant	2	13,3
<u>Davon:</u>		
Optimierung wegen unbefriedigenden Prozeßverläufen	1	6,7
zu lange andauernden Rotteprozessen	--	--
zu hohen Energiekosten	1	6,7
Sonstiges	1	6,7

zu Sonstiges: Anlage (5): Vereinheitlichung des Regelungssystems mit denen der anderen Kompostwerke des Betreibers

Baumusterkategorie IV: Trommelkompostierung

Tab. A 30: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der Trommelkompostierung

	automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	1	25,0	--	--
Temperatur, O ₂	2	50,0	--	--
Temp., Feuchte	--	--	1	25,0
Feuchte, pH	--	--	2	50,0

Tab. A 31: Meßorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Trommelkompostierung

	Meßorte					
	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	4	100	--	--	--	--
CO ₂ -Gehalt	--	--	--	--	--	--
O ₂ -Gehalt	1	25,9	2	50,0	2	50,0
Feuchte	3	75,0	--	--	--	--
pH-Wert	2	50,0	--	--	--	--

Tab. A 32: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Trommelkompostierung, Prozentanteile sind auf den jeweiligen Parameter bezogen

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH-Wert	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Material	4	100	--	--	--	--	3	100	2	100
Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	--	--	--	--	1	50,0	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	--	--	--	--	1	50,0	--	--	--	--

Tab. A 33: Art der Belüftung bei der Trommelkompostierung

Art der Belüftung				
	Belüftung durch Rohre oder Schläuche		Belüftung durch einen Spaltenboden o. ä.	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Saugbelüftung	1	25,0	--	--
Druckbelüftung	--	--	--	--
Kombination	2	50,0	--	--
Summe	3	75,0	--	--

Tab. A 34: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	--	--
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	--	--
Dosierung der Belüftung	2	50,0
Ein- und Ausschalten der Belüftung	1	25,0

Tab. A 35: Art der Befeuchtung des Materials bei der Trommelkompostierung

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	--	--
Automatische Wasserzugabe durch das System	--	--
manuelle Wasserzugabe	3	75,0

Anlage (1), : k. A.

Tab. A 36: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der Trommelkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jeder Trommel möglich	3	75,0
Speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	1	25,0
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	3	75,0
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	1	25,0

Tab. A 37: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente, wie z. B. der Belüftungsanlage, und der Rottetrommel

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	3	75,0
SPS plus einem Computer	1	25,0

Tab. A 38: Automatisierungsgrad der verschiedenen Trommelkompostierungssysteme

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	3	75,0
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	--	--
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	1	25,0

Tab. A 39: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Rottetrommeln und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

	Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant	2	50,0
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant	2	50,0
<u>Davon:</u>		
Optimierung wegen unbefriedigenden Prozeßverläufen	1	25,0
zu lange andauernden Rotteprozessen	--	--
zu hohen Energiekosten	1	25,0

Baumusterkategorie V: geschl. Mietenkompostierung

Tab. A 40 Meßorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der geschl. Mietenkompostierung

	Meßorte					
	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozent- anteil	Anzahl	Prozent- anteil	Anzahl	Prozent- anteil
Temperatur	13	72,2	--	--	8	44,4
CO ₂ -Gehalt	--	--	--	--	4	22,2
O ₂ -Gehalt	3	16,7	1	5,5	6	33,3
Feuchte	17	94,4	--	--	2	11,1
pH-Wert	7	38,9	--	--	1	5,5

Tab. A 41: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	2	11,1
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	1	5,5
Umluftbetrieb	1	5,5
Dosierung der Belüftung	13	72,2
Ein- und Ausschalten der Belüftung	5	27,8

Tab. A 42: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in geschl. Mietensystemen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	--	--
Automatische Wasserzugabe durch das System	11	61,1
manuelle Wasserzugabe	7	38,8

Tab. A 43: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der geschl. Mietenkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jeder Miete möglich	15	83,3
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	14	77,7
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	13	72,2
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	8	44,4

Tab. A 44: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente, wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei der geschl. Mietenkompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	5	27,7
SPS plus einem Computer	11	61,1

Anlagen (15), (16): k. A.

Tab. A 45: Automatisierungsgrad der verschiedenen Systeme bei der geschl. Mietenkompostierung

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	--	--
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	--	--
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	15	83,3

Anlagen (13), (15), (16): k. A.

Tab. A 46: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der geschl. Mietenkompostierungssysteme und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		15	83,3
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		3	16,7
<u>Davon:</u>			
Optimierung wegen	unbefriedigenden Prozeßverläufen	1	5,5
	zu lange andauernden Rotteprozessen	1	5,5
	zu hohen Energiekosten	--	--
	sonstiges	2	11,1

Zu sonstiges: Anlage (17): geplante Messung des O₂-Gehaltes im Material
 Anlage (7): Vereinheitlichung der Regelungstechnik aller Anlagen des Betreiber

Baumusterkategorie VI: offene Mietenkompostierung

Tab. A 47: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei der offenen Mietenkompostierung

	Automatisch gemessene Parameter		zusätzlich manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	4	80,0	1	20,0
CO ₂ -Gehalt	1	20,0	1	20,0
O ₂ -Gehalt	3	60,0	1	20,0
Feuchte	--	--	5	100,0
pH-Wert	--	--	3	60,0

Tab. A 48: Meßorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der offenen Mietenkompostierung

	Meßorte					
	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	4	80,0	--	--	1	20,0
CO ₂ -Gehalt	--	--	--	--	2	40,0
O ₂ -Gehalt	1	20,0	1	20,0	2	20,0
Feuchte	5	50,0	--	--	--	--
pH-Wert	3	30,0	--	--	--	--

Tab. A 49: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	1	20,0
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	1	20,0
Umluftbetrieb	--	--
Dosierung der Belüftung	2	40,0
Ein- und Ausschaltung der Belüftung	3	60,0

Tab. A 50: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in offenen Mieten

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	--	--
Automatische Wasserzugabe durch das System	--	--
manuelle Wasserzugabe	5	100

Tab. A 51: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der offenen Mietenkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jeder Miete möglich	4	80,0
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	4	80,0
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	4	80,0
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	2	40,0

Anlage (5): k. A.

Tab. A 52: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei der offenen Mietenkompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	1	20,0
SPS plus einem Computer	2	40,0

Anlagen (3), (5): k. A.

Tab. A 53: Automatisierungsgrad der verschiedenen offenen Mietenkompostierungssysteme

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	1	20,0
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	1	20,0
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	1	20,0

Anlagen (3), (5): k. A

Tab. A 54: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der offenen Mietenkompostierungssysteme und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		3	60,0
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		2	40,0
<u>Davon:</u>	unbefriedigenden Prozeßverläufen	--	--
Optimierung wegen	zu lange andauernden Rotteprozessen	--	--
	zu hohen Energiekosten	--	--
	sonstiges	2	40,0

Zu sonstiges: Anlage (3): Abdeckung mit Laminatabdeckung geplant 4): Verbesserte Dokumentationsmöglichkeit, insbesondere auf die Lüfterlaufzeiten bezogen, geplant

Zielwerte und Prozeßabläufe

Tab A. 55: Zielwerte und Prozeßverläufe bei der Baumusterkategorie I:

Anlagen Nr.:	Zielwerte und Prozeßverläufe Baumusterkategorie I: Boxen- und Containerkompostierung
1	<p>Aufteilung in 4 Phasen: 1.) Aufwärmphase (Umluftbetrieb), 3 Tage 2.) Abbauphase (Saug- und Druckbetrieb), 3 Tage 3.) Hygienisierungsphase (Umluftbetrieb), 3 Tage 4.) Regenerierungsphase (Saug- und Druckbetrieb), 1 Tag</p> <p>Regelung über Temperatur und CO₂- Gehalt in der Abluft: Phase 1: Temperatur = 48° C, CO₂ = 4,5 % Phase 2: Temperatur = 48° C, CO₂ = 4,5 % Phase 3: Temperatur = 62° C, CO₂ = 4,9 % Phase 4: Temperatur = 48° C, CO₂ = 0,25 % (Trockenblasen des Kompostmaterials)</p>
2	<p>Verfahren wie 1 Phase 1: Temperatur = 60 – 65° C, CO₂ = 4,5 % Phase 2: Temperatur = 60 - 65 ° C, CO₂ = 4,5 % Phase 3: Temperatur = 75° C, CO₂ < 5,0 % Phase 4: Temperatur = 50° C, CO₂ = 0,3 %</p>
4	<p>Verfahren wie 1 Phase 1: Temperatur = 45° C, CO₂ < 5,0 % Phase 2: Temperatur = 45° C, CO₂ < 5,0 % Phase 3: Temperatur = 65° C, CO₂ < 5,0 % Phase 4: Temperatur = 40° C, CO₂ < 5,0 %</p>
6	<p>Verfahren wie 1 Phase 1: Temperatur = 50° C, CO₂ = 5,0 % Phase 2: Temperatur = 50° C, CO₂ = 5,0 % Phase 3: Temperatur = 62° C, CO₂ = 5,0 % Phase 4: Temperatur = 45° C, CO₂ = 5,0 %</p>
8	<p>Verfahren wie 1 Phase 1: Temperatur = 50° C, CO₂ = 4,5 % Phase 2: Temperatur = 50° C, CO₂ = 4,5 % Phase 3: Temperatur = 65° C, CO₂ = 4,9 % Phase 4: Temperatur = 40° C, CO₂ = 4,5, %</p>
9	<p>Verfahren wie 1 Phase 1: Temperatur = 50° C, CO₂ = 5,0 % Phase 2: Temperatur = 50° C, CO₂ = 5,0 % Phase 3: Temperatur = 65° C, CO₂ = 5,0 % Phase 4: Temperatur = 45° C, CO₂ = 5,0 %</p>
10	<p>Verfahren wie 1 Phase 1: Temperatur = 45° C, CO₂ = 5,0 %</p>

	<p>Phase 2: Temperatur = 45° C, CO₂ = 5,0 %</p> <p>Phase 3: Temperatur = 65° C, CO₂ = 5,0 %</p> <p>Phase 4: Temperatur = 40 - 45° C, CO₂ = 5,0 %</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

An-lagen Nr.:	Baumusterkategorie I: Boxen- und Containerkompostierung Zielwerte und Prozeßverläufe
11	<p>Verfahren wie 1</p> <p>Phase 1: Temperatur = 45° C, CO₂ = 4,8 %</p> <p>Phase 2: Temperatur = 50° C, CO₂ = 4,8 %</p> <p>Phase 3: Temperatur bis 70° C, CO₂ = 4,8 %</p> <p>Phase 4: Temperatur = 45° C, CO₂ = 4,8 %</p>
13	<p>Verfahren wie 1</p> <p>Phase 1: Temperatur = 50° C, CO₂ = 5,0 %</p> <p>Phase 2: Temperatur = 50° C, CO₂ = 5,0 %</p> <p>Phase 3: Temperatur = 65° C, CO₂ = 5,0 %</p> <p>Phase 4: Temperatur = 40° C, CO₂ = 5,0 %</p>
14	<p>10 bis 14 Tage im Container</p> <p>fest vorgegebene Temperaturspanne von 65 bis 70° C als Höchstwerte der Temperatur, jedoch wegen Hygienisierung gefordert: 3 Tage über 65° C im Material</p>
15	<p>10 bis 14 Tage im Container</p> <p>fest vorgegebene Temperaturspanne von mindestens 60° C bis höchstens 65° C in der Abluft</p>
17	<p>Fester Grenzwert: Temperatur von 65° C im Material, bei Überschreitung setzt verstärkte Belüftung ein</p>
18	<p>Wie 17</p>
19	<p>Temperaturspanne von mindestens 60 bis höchstens 65°C im Material, dabei wird eine Überschreitung von insgesamt 3 Tagen zugelassen</p>

Tab. A 56: Zielwerte und Prozeßverläufe bei der Baumusterkategorie II

Anlagen Nr.:	Baumusterkategorie II: Brikollare-Kompostierung Zielwerte und Prozeßverläufe
2	Steuerung über die Umgebungsluft in der Rottekammer Temperaturzielwertkurve: 2-3 Tage: Anstieg auf 50 bis 60° C (Abluft) 1. Woche: 50 bis 60° C, 2.-5. Woche: 35 bis 45° C Feuchte: kein Steuerungsparameter, kontinuierliches Trocknen: von 55 auf 35 %
5	Phase I: Umluftbetrieb 5 Tage, Erwärmung auf 60° C Abluft Phase II: Frischluft/Umluft, 1 Woche 60-65°C Phase III: Frischluft, 50° C Feuchte: kontinuierliche Trocknung von 60 auf 30 - 35 %

Tab. A 57: Zielwerte und Prozeßverläufe bei der Baumusterkategorie III

Anlagen Nr.:	Baumusterkategorie III: Tunnel- und Zeilenkompostierung Zielwerte und Prozeßverläufe:
2	Regelung über Temperatur im Material: Anstieg zu Anfang auf mind. 60° C , 36 h Hygienisierung 60° C, anschl. 50° C, Sauerstoff: 15 %
3	14 Tage Intensivrotte bei 52° C, davon 10-12 h mind. 60° C Sauerstoff: mind. 10 % in der Abluft Feuchte: Ziel: 50 % bei Austrag
4	Steuerung über Materialtemperatur: Temperaturspanne: 55 – 65° C
5	Ablufttemperatur: Hygienisierung mind. 36 h 60° C, danach 45 – 50° C
6	Ablufttemperatur: 3 Tage 50° C, 2 Tage Hygienisierung 65° C, restl. Zeit: 50° C
9	Rottedauer: 7 - 10 Tage, zuerst 2 Tage aufwärmen auf 65° C, danach Intensivphase: 3 - 4 Tage bei 65° C, anschl. Abkühlphase Sauerstoff: mind. 15 % in der Abluft, Ist-Wert: 18 %
10	Zeilenkompostierung: 6 Wochen andauernder Prozeß, jeweils 2 Wochen andauernde Phasen Temperatur: I : 50° C, II: Spanne 55 – 65° C, III: 50° C Sauerstoff: mind. 14 % Feuchte: Phasen I und II: 50 %, Phase III: 35 %
11	Steuerung über Materialtemperatur: Grenzwertspanne: 55 –75° C
12	Materialtemperatur: fester Grenzwert: 65° C Sauerstoff: mind. 15 %, Ist-Wert: mind. 17 %
13	7 Tage dauernder Prozeß, 3 Phasen: I: Aufwärmen 60° C, II: Intensivphase mind. 36 h 60 – 70° C, III: Abkühlen 55° C Sauerstoff: mind. 15 %, Ist-Wert: 18 %
14	Temperaturregelung über 3 Phasen: Phase I: Erwärmen auf 65° C, Phase II: Hygienisierung 65° C , Phase III: 55° C Sauerstoff: mind. 11 – 12 %, Ist-Wert: 14 – 16 %
15	Regelung über Temperatur im Material: Anstieg zu Anfang auf mind. 60° C , 36 h Hygienisierung 60° C, anschl. 50° C, Sauerstoff: 15 %

Tab. A 58: Zielwerte und Prozeßverläufe bei der Baumusterkategorie IV

Anlagen Nr.:	Baumusterkategorie IV: Trommelkompostierung Zielwerte und Prozeßverläufe
2	1 Woche Aufenthalt des Materials in der Trommel Temperatursteuerung: T > 70° C: Belüftung sowie 10 min. drehen Sauerstoff: 19 %, bei 16,5 % Fehlermeldung
3	Keine Prozeßregelung, Temperatur ca. 60 – 65° C

Tab. A 59: Zielwerte und Prozeßverläufe bei der Baumusterkategorie V

Anlagen Nr.:	Baumusterkategorie V: geschl. Mietenkompostierung Zielwerte und Prozeßverläufe:
2	3 Temperaturphasen: I: 5 Tage 40 – 45°C, II: 3 Tage Hygienisierung 70° C restl. Zeit: Höchstwert: 55° C, gegen Ende: 35° C Feuchte: Phase I und II: 60 %, restl. Zeit: 50 %
3	Zu Anfang: Erwärmungsphase in der Abluft 45° C, anschl. Mind. 3 Tage Hygienisierung bei 65 – 75°C, restl. Zeit: höchstens 50° C Ablufttemperatur Sauerstoff und CO ₂ werden nur gemessen, bei Unter- bzw. Überschreitung best. Werte (12 %, bzw. 6 %): Eingreifen von Hand
4	Nur noch Steuerung über die Ablufttemperatur, Temperaturspanne von 50 bis höchstens 70° C ; wenn Temperatur zu hoch: Umsetzung
5	Regelung über Ablufttemperatur: zu Anfang 4 Tage Hygienisierung 65° C, anschl. 55° C
6	6 – 7 Wochen Rottezeit, 5 – 6 mal umsetzen Saugbelüftung: Erwärmen 1 – 3 Tage, Hygienisieren 3 – 4 Tage 65° C , anschl. 5 Wochen 50 – 55° C Sauerstoff: mind. 12 %, Ist-Wert: mind. 16 % Feuchte: zu Anfang 65 %, nach Hygienisierung 45 – 50 %
7	Gleiche Regelung wie 6, jedoch keine Sauerstoffregelung vorhanden
11	10 Wochen Rottezeit, eigentliche Regelung geschieht durch Umsetzen, dabei Messung der Temperatur und Einstellung der Belüftung, Temperatur 60 – 75° C Feuchte: zu Anfang: 55 – 60 %, gegen Ende: 35 %
12	Temperaturspanne 65 – 70° C, in Ausnahmefällen 80° C Feuchte: 55 % in der 1. Miete, 35 % in der letzten Miete
13	Zu Anfang Erwärmung auf höchstens 70° C im Material (Druckbelüftung) Anschl. höchstens 55° C (Saugbelüftung) Feuchte: von 50 auf 35 % gegen Ende
14	Temperatur wird nur beobachtet, d.h. mind. 5 Tage bei 65° C müssen erreicht sein, ab 75° C verstärkte Belüftung
17	10 Mietenfelder a 1 Woche Aufenthalt; Temperatur: Felder 1 – 3: 70° C , Felder 4 – 8: 50 – 55° C, Felder 9 – 10: 35 – 45° C Feuchte: Felder 1 – 4: 65 % , nach der Hygienisierung 45 – 50 % pH-Wert: nur zur Überwachung: 6,5 – 7,5
18	10 Mietenfelder a 1 Woche Aufenthalt Temperatur: Miete 1 – 3: 65 – 70° C (Druckbelüftung, Abluft aus Nachrotte) Miete 4 – 10: höchstens 50° C, gegen Ende 45° C (Saugbelüftung) Feuchte: zu Anfang 55 %, gegen Ende 45 %

Tab. A 60: Zielwerte und Prozeßverläufe bei der Baumusterkategorie VI

Anlagen-Nr.:	Baumusterkategorie VI: Offene Mietenkompostierung Zielwerte und Prozeßverläufe:
1	Temperaturspanne von 55 – 65° C während der Intensivphase Feuchte: 50 – 55 % CO ₂ und O ₂ werden automatisch überwacht, um bei Bedarf von Hand einzugreifen
2	3 Tage Erwärmungsphase, anschl. mind. 5 Tage Hygienisierung bei 65 – 70° C, anschl. Höchstwerte 55 - 60° C Sauerstoffgehalt: mind. 16 % Feuchte: 50 %
3	Regelung nur nach Sauerstoffzehrung: 80 -85 % Sauerstoffzehrung = 17 – 18 Prozent Sauerstoff, selbst Temperaturen von über 85° C bleiben unberücksichtigt
5	Regelung nach Lüfterlaufzeiten, erste 3 Wochen: alle 20 min., letzte 2 Wochen: alle 60 Minuten Feuchte: 55 %

Tab. A 56: Zielwerte und Prozeßverläufe bei der Baumusterkategorie VII

Anlagen-Nr.:	Baumusterkategorie VII: Turmkompostierung Zielwerte und Prozeßverläufe:
1	Ausschließliche Regelung über Sauerstoff: 17 - 19 % in der Abluft, Einflußnahme auf die Temperatur nur in Ausnahmefällen (T > 80° C)

Anhang III: Messparameter und Messorte

Tab. 4.4.2-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei allen Kompostierungsanlagen

	Automatisch gemessene Parameter		Zusätzlich manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	67	93,1	5	6,9
CO ₂ – Gehalt	17	23,6	6	8,3
O ₂ – Gehalt	29	40,3	6	8,3
Feuchte	7	9,7	31	43,1
pH – Wert	--	--	19	26,4

Tab. 4.4.2-2: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei allen Kompostierungsanlagen

	Automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameter-kombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	21	29,2	--	--
Temp., CO ₂	12	16,7	--	--
Temp., O ₂	22	30,5	--	--
Temp., CO ₂ , O ₂	5	6,9	--	--
Temp., Feuchte	5	6,9	--	--
Temp., O ₂ , Feuchte	2	2,8	--	--
Feuchte, pH – Wert	--	--	13	18,1
Feuchte	--	--	11	15,3
Temp., Feuchte	--	--	3	4,2
CO ₂ , O ₂	--	--	2	2,8
CO ₂ , O ₂ , pH – Wert	--	--	2	2,8
pH – Wert	--	--	1	1,4
Feuchte, O ₂	--	--	1	1,4
Temp., Feuchte, pH	--	--	1	1,4
Temp., CO ₂ , Feuchte, pH	--	--	1	1,4
CO ₂ , O ₂ , Feuchte, pH	--	--	1	1,4
Summe:	67	93,1	36	50,0

4.4.2.3 Messorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei allen Kompostierungsanlagen

	Messorte					
	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozent-anteil	Anzahl	Prozent-anteil	Anzahl	Prozent-anteil
Temperatur	48	66,7	16	22,2	46	63,9
CO ₂ – Gehalt	1	1,4	--	--	23	31,9
O ₂ – Gehalt	8	11,1	13	18,1	29	40,3
Feuchte	32	44,4	1	1,4	10	13,9
pH – Wert	19	26,4	--	--	1	1,4

Tab. 4.4.2-4: Kombinationen von Messorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei allen Kompostierungsanlagen, der Prozentanteil ist auf den jeweiligen Parameter bezogen

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ – Gehalt		O ₂ – Gehalt		Feuchte		pH – Wert	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Material	26	36,1	--	--	2	5,7	28	73,7	18	94,7
Zuluft	--	--	--	--	2	5,7	--	--	--	--
Abluft	22	30,1	22	95,7	18	51,4	5	13,2	--	--
Material, Abluft	9	12,3	1	4,3	2	5,7	4	10,5	1	5,3
Material, Zuluft	--	--	--	--	2	5,7	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	13	17,8	--	--	2	5,7	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	2	2,7	--	--	7	20,0	1	2,6	--	--

Tab. 4.4.2-5: Anzahl der bei der Kompostierung in Boxen- und Containersystemen den Kompostierungsprozeß beeinflussenden Regelungsgrößen

	Rotteführung beeinflussende Regelungsgrößen									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ – Gehalt		Feuchte		PH – Wert	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	
Fester Zielwert	29	40,3	8	11,1	18	25,0	14	19,4	--	--
Zielwertkurve	41	56,9	6	8,3	5	6,9	5	6,9	--	--
Summe	70	97,2	14	19,4	23	31,9	19	26,4	--	--

Tab. 4.4.2-6: Kombinationen an Regelungsgrößen bei den Kompostierungsanlagen aller Baumuster

Kombinationen der Regelungsgrößen	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	23	31,9
Temperatur, CO ₂	13	18,1
Temperatur, O ₂	15	20,8
Temperatur, Feuchte	13	18,1
Temperatur, O ₂ , Feuchte	5	6,9
O ₂	2	2,8
Temperatur, CO ₂ , O ₂ , Feuchte	1	1,4

Tab. 4.4.2-7: Art der Belüftung bei der Kompostierung in den Kompostierungsanlagen aller Anlagen (ausgenommen: Baugruppen II und IV)

Art der Belüftung				
	Belüftung durch Rohre oder Schläuche		Belüftung durch einen Spaltenboden o. ä.	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Saugbelüftung	2	3,2	7	11,3
Druckbelüftung	11	17,8	18	29,3
Kombination	9	14,5	15	24,2
Summe	22	35,5	40	64,5

Tab. 4.4.2-8: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	13	18,1
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	1	1,4
Umluftbetrieb	31	43,1
Dosierung des Volumenstroms möglich	56	77,8
Ein- und Ausschalten der Belüftung	16	22,2

Tab. 4.4.2-9: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in allen Baugruppen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	9	12,5
Automatische Wasserzugabe durch das System	22	30,1
manuelle Wasserzugabe	18	25,0
Summe aller Anlagen, die eine Befeuchtung durchführen	49	68,1

Tab. 4.4.2-10: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei den Kompostierungsanlagen aller Baumuster

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
individuelle Regelung jeder Box möglich	68	94,4
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	63	87,5
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	65	90,3
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	53	73,6

Tab. 4.4.2-11: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei den Kompostierungsanlagen aller Baumuster

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	2	2,8
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	10	13,9
SPS plus einem Computer	56	77,8

Tab. 4.4.2-12: Automatisierungsgrad aller Kompostierungsanlagen

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	20	27,8
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	13	18,1
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	35	48,6

Tab. 4.4.2-13: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Kompostierungsanlagen und Angabe Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		60	83,3
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		12	16,7
<u>Davon:</u>			
Optimierung Wegen	Unbefriedigenden Prozeßverläufen	4	5,6
	zu lange andauernden Rotteprozessen	3	4,2
	zu hohen Energiekosten	5	6,9
	sonstiges	5	6,9

4.4.3 Baumusterkategorie I: Boxen- und Containerkompostierung

Tab. 4.4.3-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei der Boxen- und Containerkompostierung

	Automatisch gemessene Parameter		zusätzlich manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	24	100,0	--	--
CO ₂ – Gehalt	13	54,2	1	4,2
O ₂ – Gehalt	4	16,7	1	4,2
Feuchte	1	4,2	--	--
pH – Wert	--	--	--	--

Tab. 4.4.3-2: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der Boxen- und Containerkompostierung

	automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	7	29,2	--	--
Temperatur, CO ₂	12	50,0	--	--
Temperatur, O ₂	3	12,5	--	--
Temp., CO ₂ , O ₂	1	4,2	--	--
Temp., Feuchte	1	4,2	--	--
CO ₂ , O ₂	--	--	1	4,2

Tab. 4.4.3-3: Meßorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Boxen- und Containerkompostierung

	Meßorte					
	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	11	45,8	4	16,7	18	75,0
CO ₂ – Gehalt	1	4,2	--	--	14	58,3
O ₂ – Gehalt	1	4,2	1	4,2	3	12,5
Feuchte	--	--	--	--	1	4,2
pH – Wert	--	--	--	--	--	--

Tab. 4.4.3-4: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Boxen- und Containerkompostierung, der Prozentanteil ist auf den jeweiligen Parameter bezogen.

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH- Wert	
	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
Material	6	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--
Zuluft	--	--	--	--	1	25,0	--	--	--	--
Abluft	13	54,2	13	92,8	2	50,0	1	100	--	--
Material, Abluft	1	4,2	1	7,1	1	25,0	--	--	--	--
Material, Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	4	16,6	--	--	--	--	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tab. 4.4.3-5: Anzahl der bei der Kompostierung in Boxen- und Containersystemen den Kompostierungsprozeß beeinflussenden Regelungsgrößen

	Rotteführung beeinflussende Regelungsgrößen									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ – Gehalt		Feuchte		pH – Wert	
	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
Fester Zielwert	10	41,6	7	29,2	2	8,3	1	4,2	--	--
Zielwertkurve	14	58,3	6	25	1	4,2	--	--	--	--
Summe	24	100	13	54,2	3	12,5	1	4,2	--	--

Tab. 4.4.3-6: Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Boxen- und Containerkompostierung

Kombinationen der Regelungsgrößen	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	7	29,2
Temperatur, CO ₂	13	54,2
Temperatur, O ₂	3	12,5
Temperatur, Feuchte	1	4,2
Temperatur, O ₂ , Feuchte	--	--
O ₂	--	--
Temperatur, CO ₂ , O ₂ , Feuchte	--	--

Tab. 4.4.3-7: Art der Belüftung bei der Kompostierung in Boxen- und Containersystemen

Art der Belüftung				
	Belüftung durch Rohre oder Schläuche		Belüftung durch einen Spaltenboden o. ä.	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Saugbelüftung	--	--	--	--
Druckbelüftung	2	8,3	9	37,5
Kombination	4	16,6	9	37,5
Summe	6	25,0	18	75,0

Tab. 4.4.3-8: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	8 (davon 2 ohne Umluft)	33,3
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	14	58,3
Dosierung der Belüftung	17	70,8
Ein- und Ausschalten der Belüftung	7	29,2

Tab. 4.4.3-9: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in Boxen- und Containersystemen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	5	20,1
Automatische Wasserzugabe durch das System	3 (Nachrotte)	12,5
manuelle Wasserzugabe	7 (Nachrotte)	29,2

Tab. 4.4.3-10: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der Boxen- und Containerkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jeder Box möglich	24	100
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	24	100
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	24	100
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Cargen liegen vor	22	91,7

Tab. 4.4.3-11: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei der Boxen- und Containerkompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	2	8,3
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	1	4,2
SPS plus einem Computer	21	87,5

Tab. 4.4.3-12: Automatisierungsgrad der verschiedenen Boxen- und Containerkompostierungssysteme

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	13	54,2
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	8	33,3
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	3	12,5

Tab. 4.4.3-13: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Boxen- und Containerkompostierungssysteme und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		21	87,5
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		3	12,5
<u>Davon:</u>	Unbefriedigenden Prozeßverläufen	1	4,2
Optimierung Wegen	zu lange andauernden Rotteprozessen	2	8,3
	zu hohen Energiekosten	3	12,5

4.4.4 Baumusterkategorie II: Brikollare – Kompostierung

Tab. 4.4.4-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei der Brikollare - Kompostierung

	Automatisch gemessene Parameter		zusätzlich manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	6	100	--	--
CO ₂ – Gehalt	--	--	3	50,0
O ₂ – Gehalt	--	--	3	50,0
Feuchte	4	66,7	1	16,7
pH – Wert	--	--	2	33,3

Tab. 4.4.4-2: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der Brikollare – Kompostierung

	automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	2	33,3	--	--
Temp., Feuchte	4	66,7	--	--
Feuchte	--	--	1	16,7
CO ₂ , O ₂	--	--	1	16,7
CO ₂ , O ₂ , pH	--	--	2	33,3

Tab. 4.4.4-3 Meßorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Brikollare - Kompostierung

	Meßorte					
	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	5	83,3	2	33,3	6	100
CO ₂ – Gehalt	--	--	--	--	3	50,0
O ₂ – Gehalt	--	--	2	33,3	3	50,0
Feuchte	2	33,3	--	--	5	83,3
pH – Wert	2	33,3	--	--	--	--

Tab. 4.4.4-4: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Brikollare – Kompostierung, Prozentanteil ist auf den jeweiligen Parameter bezogen

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH-Wert	
	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%
Material	--	--	--	--	--	--	--	--	2	100
Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Abluft	1	16,7	3	100	1	33,3	3	60,0	--	--
Material, Abluft	4	66,7	--	--	--	--	2	40,0	--	--
Material, Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	1	16,7	--	--	--	--	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	--	--	--	--	2	66,7	--	--	--	--

Tab. 4.4.4-5: Anzahl der bei der Kompostierung in Brikollare - Anlagen den Kompostierungsprozeß beeinflussenden Regelungsgrößen

	Rotteführung beeinflussende Regelungsgrößen									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH-Wert	
	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%	An-zahl	%
Fester Zielwert	3	50,0	--	--	--	--	2	33,3	--	--
Zielwertkurve	3	50,0	--	--	--	--	1	16,7	--	--
Summe	6	100	--	--	--	--	3	50,0	--	--

Tab. 4.4.4-6: Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Brikollare - Kompostierung

Kombinationen der Regelungsgrößen	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	3	50,0
Temperatur, CO ₂	--	--
Temperatur, O ₂	--	--
Temperatur, Feuchte	3	50,0
Temperatur, O ₂ , Feuchte	--	--
O ₂	--	--
Temperatur, CO ₂ , O ₂ , Feuchte	--	--

Tab. 4.4.4-7: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	--	--
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	4	66,7
Dosierung der Belüftung	6	100

Tab. 4.4.4-8: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in Brikollare - Anlagen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	2	33,3
Automatische Wasserzugabe durch das System	--	--
manuelle Wasserzugabe	--	--

Tab. 4.4.4-9: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der Brikollare – Kompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
individuelle Regelung jeder Kammer möglich	6	100
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	6	100
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	6	100
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	6	100

Tab. 4.4.4-10: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage bei der Brikollare - Kompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	--	--
SPS plus einem Computer	6	100

Tab. 4.4.4-11: Automatisierungsgrad der Brikollare - Kompostierungsanlagen

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	1	16,7
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	--	--
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	5	83,3

Tab. 4.4.4-12: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Brikollare - Kompostierungsanlagen und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		6	100
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		--	--
<u>Davon:</u>	Unbefriedigenden Prozeßverläufen	--	--
Optimierung wegen	zu lange andauernden Rotteprozessen	--	--
	zu hohen Energiekosten	--	--

4.4.5 Baumusterkategorie III: Tunnel- und Zeilenkompostierung

Tab. 4.4.5-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

	Automatisch gemessene Parameter		zusätzlich manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	15	100	--	--
CO ₂ – Gehalt	--	--	--	--
O ₂ – Gehalt	12	80,0	--	--
Feuchte	2	13,3	5	33,3
pH – Wert	--	--	4	26,6

Tab. 4.4.5-2: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

	Automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	3	20,0	--	--
Temperatur, O ₂	10	66,6	--	--
Temp., O ₂ , Feuchte	2	13,3	--	--
Feuchte	--	--	2	13,4
pH-Wert	--	--	1	6,7
Feuchte, pH-Wert	--	--	3	20,0

Tab. 4.4.5-3: Meßorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

	Meßorte					
	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	11	73,3	10	66,6	12	80,0
CO ₂ –Gehalt	--	--	--	--	--	--
O ₂ –Gehalt	2	13,3	6	40,0	11	73,3
Feuchte	5	33,3	1	6,7	2	13,3
pH-Wert	4	26,6	--	--	--	--

Tab. 4.4.5-4: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung, die Prozentanteile beziehen sich auf den jeweiligen Parameter

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH – Wert	
	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
Material	3	20,0	--	--	--	--	5	71,4	4	100
Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Abluft	2	13,3	--	--	6	50,0	1	14,3	--	--
Material, Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft	--	--	--	--	1	8,3	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	8	53,3	--	--	1	8,3	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	2	13,3	--	--	4	33,3	1	14,3	--	--

Tab. 4.4.5-5: Anzahl der bei der Kompostierung in Tunnel- und Zeilensystemen den Kompostierungsprozeß beeinflussenden Regelungsgrößen

	Rotteführung beeinflussende Regelungsgrößen									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH– Wert	
	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
Fester Zielwert	3	20,0	--	--	8	53,3	1	6,7	--	--
Zielwertkurve	12	80,0	--	--	2	13,3	1	6,7	--	--
Summe	15	100	--	--	10	66,6	2	13,4	--	--

Tab. 4.4.5-6: Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

Kombinationen der Regelungsgrößen	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	5	33,3
Temperatur, CO ₂	--	--
Temperatur, O ₂	8	53,3
Temperatur, Feuchte	--	--
Temperatur, O ₂ , Feuchte	2	13,4
O ₂	--	--
Temperatur, CO ₂ , O ₂ , Feuchte	--	--

Tab. 4.4.5-7: Art der Belüftung bei der Kompostierung in Tunnel- und Zeilensystemen

Art der Belüftung				
	Belüftung durch Rohre oder Schläuche		Belüftung durch einen Spaltenboden o. ä.	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Saugbelüftung	--	--	3 (3 Zeilensysteme)	20,0
Druckbelüftung	2	13,3	5	33,3
Kombination	--	--	5	33,3
Summe	2	13,3	13	86,7

Tab. 4.4.5-8: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	2	13,3
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	12 (11 Tunnel, 1 Zeile)	80,0
Dosieren der Belüftung	15	100

Tab. 4.4.5-9: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in Tunnel- und Zeilensystemen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	2	13,3
Automatische Wasserzugabe durch das System	11	73,3
manuelle Wasserzugabe	4	26,6

Tab. 4.4.5-10: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jedes Tunnels / jeder Zeile möglich	15	100
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	13	86,7
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	14	93,3
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	14	93,3

Tab. 4.4.5-11: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei der Tunnel- und Zeilenkompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	--	--
SPS plus einem Computer	14	93,3

Anlage (8): k. A.

Tab. 4.4.5-12: Automatisierungsgrad der verschiedenen Tunnel- und Zeilen- kompostierungssysteme

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	1	6,7
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	4	26,6
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	10	66,6

Tab. 4.4.5-13: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Tunnel- und Zeilenkompostierungssysteme und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		13	86,7
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		2	13,3
<u>Davon:</u>	Unbefriedigenden Prozeßverläufen	1	6,7
Optimierung Wegen	zu lange andauernden Rotteprozessen	--	--
	zu hohen Energiekosten	1	6,7
	sonstiges	1	6,7

zu Sonstiges: Anlage (5): Vereinheitlichung des Regelungssystems mit denen der anderen Kompostwerke des Betreibers

4.4.6 Baumusterkategorie IV: Trommelkompostierung

Tab. 4.4.6-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei der Trommelkompostierung

	Automatisch gemessene Parameter		Zusätzlich manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	3	75,0	1	25,0
CO ₂ – Gehalt	--	--	--	--
O ₂ – Gehalt	2	50,0	--	--
Feuchte	--	--	3	75,0
pH – Wert	--	--	2	50,0

Tab. 4.4.6-2: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der Trommelkompostierung

	automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	1	25,0	--	--
Temperatur, O ₂	2	50,0	--	--
Temp., Feuchte	--	--	1	25,0
Feuchte, pH	--	--	2	50,0

Tab. 4.4.6-3: Meßorte der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Trommelkompostierung

	Material		Zuluft		Abluft	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	4	100	--	--	--	--
CO ₂ –Gehalt	--	--	--	--	--	--
O ₂ –Gehalt	1	25,9	2	50,0	2	50,0
Feuchte	3	75,0	--	--	--	--
pH–Wert	2	50,0	--	--	--	--

Tab. 4.4.6-4: Kombinationen von Meßorten der über den Kompostierungsprozeß aussagefähigen Parameter bei der Trommelkompostierung, Prozentanteile sind auf den jeweiligen Parameter bezogen

	Gemessene Parameter									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH- Wert	
	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
Material	4	100	--	--	--	--	3	100	2	100
Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Abluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Material, Zuluft, Abluft	--	--	--	--	1	50,0	--	--	--	--
Zuluft, Abluft	--	--	--	--	1	50,0	--	--	--	--

Tab. 4.4.6-5: Anzahl der bei der Kompostierung in Trommelkompostierungssy- systemen den Kompostierungsprozeß beeinflussenden Regelungsgrößen

	Rotteführung beeinflussende Regelungsgrößen									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ – Gehalt		Feuchte		pH – Wert	
	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
Fester Zielwert	2	50,0	--	--	1	25,0	--	--	--	--
Zielwertkurve	1	25,0	--	--	1	25,0	1	25,0	--	--
Summe	3	75,0	--	--	2	50,0	1	25,0	--	--

Anlage (3): k. A.

Tab. 4.4.6-6: Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Trommelkompostierung

Kombinationen der Regelungsgrößen	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	1	25,0
Temperatur, CO ₂	--	--
Temperatur, O ₂	1	25,0
Temperatur, Feuchte	--	--
Temperatur, O ₂ , Feuchte	1	25,0
O ₂	--	--
Temperatur, CO ₂ , O ₂ , Feuchte	--	--

Anlage(3): k. A.

Tab. 4.4.6-7: Art der Belüftung bei der Trommelkompostierung

Art der Belüftung				
	Belüftung durch Rohre oder Schläuche		Belüftung durch einen Spaltenboden o. ä.	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Saugbelüftung	1	25,0	--	--
Druckbelüftung	--	--	--	--
Kombination	2	50,0	--	--
Summe	3	75,0	--	--

Tab. 4.4.6-8: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	--	--
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	--	--
Dosieren der Belüftung	2	50
Ein- und Ausschalten der Belüftung	1	25

Tab. 4.4.6-9: Art der Befeuchtung des Materials bei der Trommelkompostierung

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	--	--
Automatische Wasserzugabe durch das System	--	--
manuelle Wasserzugabe	3	75,0

Anlage (1), : k. A.

Tab. 4.4.6-10: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der Trommelkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jeder Trommel möglich	3	75,0
Speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	1	25,0
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	3	75,0
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	1	25,0

Tab. 4.4.6-11: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage, und der Rottetrommel

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	3	75,0
SPS plus einem Computer	1	25,0

Tab. 4.4.6-12: Automatisierungsgrad der verschiedenen Trommelkompostierungssysteme

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	3	75,0
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	--	--
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	1	25,0

Tab. 4.4.6-13: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der Rottetrommeln und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		2	50,0
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		2	50,0
<u>Davon:</u>	Unbefriedigenden Prozeßverläufen	1	25,0
Optimierung Wegen	zu lange andauernden Rotteprozessen	--	--
	zu hohen Energiekosten	1	25,0

4.4.7 Baumusterkategorie V: geschl. Mietenkompostierung

Tab. 4.4.7-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei der geschl. Mietenkompostierung

	Automatisch gemessene Parameter		manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	14	77,7	4	22,2
CO ₂ – Gehalt	3	16,7	1	5,5
O ₂ – Gehalt	7	38,9	1	5,5
Feuchte	--	--	17	94,4
pH – Wert	--	--	7	38,8

Tab. 4.4.7-2: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der geschl. Mietenkompostierung

	automatisch gemessene Parameterkombinationen		manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	7	38,9	--	--
Temp., O ₂	4	22,2	--	--
Temp., O ₂ , CO ₂	3	16,7	--	--
Feuchte	--	--	7	38,9
Feuchte, pH	--	--	5	27,8
Feuchte, O ₂	--	--	1	5,5
Temp., Feuchte	--	--	2	11,1
Temp., Feuchte, pH	--	--	1	5,5
T., CO ₂ , Feuchte, pH	--	--	1	5,5

Tab. 4.4.7-5: Anzahl der bei der Kompostierung in geschl. Mietensystemen den Kompostierungsprozess beeinflussenden Regelungsgrößen

	Rotteführung beeinflussende Regelungsgrößen									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ - Gehalt		Feuchte		pH-Wert	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Fester Zielwert	8	44,4	--	--	3	16,7	8	44,4	--	--
Zielwertkurve	10	55,5	--	--	1	5,5	3	16,7	--	--
Summe	18	100	--	--	4	22,2	11	61,1	--	--

Tab. 4.4.7-6: Kombinationen an Regelungsgrößen bei der Kompostierung in geschl. Mieten

Kombinationen der Regelungsgrößen	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	5	27,8
Temperatur, CO ₂	--	--
Temperatur, O ₂	2	11,1
Temperatur, Feuchte	9	50,0
Temperatur, O ₂ , Feuchte	2	11,1
O ₂	--	--
Temperatur, CO ₂ , O ₂ , Feuchte	--	--

Tab. 4.4.7-7: Art der Belüftung bei der Kompostierung in geschl. Mieten

Art der Belüftung				
	Belüftung durch Rohre oder Schläuche		Belüftung durch einen Spaltenboden o. ä.	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Saugbelüftung	1	5,5	4	22,2
Druckbelüftung	5	27,8	2	11,1
Kombination	4	22,2	1	5,5
Summe	10	55,5	7	38,9

Anlage (15): k. A.

Tab. 4.4.7-8: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	2	11,1
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	1	5,5
Umluftbetrieb	1	5,5
Dosieren der Belüftung	13	72,2
Ein- und Ausschalten der Belüftung	5	27,8

Tab. 4.4.7-9: Art der Befeuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in geschl. Mietensystemen

Befeuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befeuchtung der Prozeßluft	--	--
Automatische Wasserzugabe durch das System	11	61,1
manuelle Wasserzugabe	7	38,8

Tab. 4.4.7-10: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der geschl. Mietenkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Individuelle Regelung jeder Miete möglich	15	83,3
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	14	77,7
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	13	72,2
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	8	44,4

Tab. 4.4.7-11: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei der geschl. Mietenkompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	5	27,7
SPS plus einem Computer	11	61,1

Anlagen (15), (16): k. A.

Tab. 4.4.7-12: Automatisierungsgrad der verschiedenen Systeme bei der geschl. Mietenkompostierung

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	--	--
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	--	--
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	15	83,3

Anlagen (13), (15), (16): k. A.

Tab. 4.4.7-13: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der geschl. Mietenkompostierungssysteme und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		15	83,3
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		3	16,7
<u>Davon:</u>	Unbefriedigenden Prozeßverläufen	1	5,5
Optimierung wegen	zu lange andauernden Rotteprozessen	1	5,5
	zu hohen Energiekosten	--	--
	sonstiges	2	11,1

Zu sonstiges: Anlage (17): geplante Messung des O₂-Gehaltes im Material Anlage (7): Vereinheitlichung der Regelungstechnik aller Anlagen des Betreiber

4.4.8 Baumusterkategorie VI: offene Mietenkompostierung

Tab. 4.4.8-1: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameter bei der offenen Mietenkompostierung

	Automatisch gemessene Parameter		zusätzlich manuell gemessene Parameter	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	4	80,0	1	20,0
CO ₂ – Gehalt	1	20,0	1	20,0
O ₂ – Gehalt	3	60,0	1	20,0
Feuchte	--	--	5	100,0
pH – Wert	--	--	3	60,0

Tab. 4.4.8-2: Anzahl und prozentualer Anteil der automatisch sowie zusätzlich manuell gemessenen Parameterkombinationen bei der offenen Mietenkompostierung

	automatisch gemessene Parameterkombinationen		zusätzlich manuell gemessene Parameterkombinationen	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	1	20,0	--	--
Temperatur, O ₂	2	40,0	--	--
T, CO ₂ , O ₂	1	20,0	--	--
Feuchte, pH-Wert	--	--	2	40,0
CO ₂ , O ₂ , Feuchte, pH	--	--	1	20,0
Feuchte	--	--	1	20,0
Temp., Feuchte	--	--	1	20,0

Tab. 4.4.8-5: Anzahl der bei der Kompostierung in offenen Mietensystemen den Kompostierungsprozeß beeinflussenden Regelungsgrößen

	Rotteführung beeinflussende Regelungsgrößen									
	Temperatur		CO ₂ - Gehalt		O ₂ – Gehalt		Feuchte		pH – Wert	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Fester Zielwert	3	60,0	1	20,0	3	60,0	1	20,0	--	--
Zielwertkurve	1	20,0	--	--	--	--	--	--	--	--
Summe	4	80,0	1	20,0	3	60,0	1	20,0	--	--

Tab. 4.4.8-6: Kombinationen an Regelungsgrößen bei der offenen Mietenkompostierung

Kombinationen der Regelungsgrößen	Anzahl	Prozentanteil
Temperatur	2	40,0
Temperatur, CO ₂	--	--
Temperatur, O ₂	--	--
Temperatur, Feuchte	--	--
Temperatur, O ₂ , Feuchte	1	20,0
O ₂	1	20,0
Temperatur, CO ₂ , O ₂ , Feuchte	1	20,0

Tab. 4.4.8-7: Art der Belüftung bei der Kompostierung in offenen Mietensystemen

Art der Belüftung				
	Belüftung durch Rohre oder Schläuche		Belüftung durch einen Spaltenboden o. ä.	
	Anzahl	Prozentanteil	Anzahl	Prozentanteil
Saugbelüftung	1	20,0	--	--
Druckbelüftung	2	40,0	1	20,0
Kombination	1	20,0	--	--
Summe	4	80,0	1	20,0

Tab. 4.4.8-8: Besonderheiten der jeweiligen Belüftungssysteme

Besonderheiten des Belüftungssystems	Anzahl	Prozentanteil
Erwärmung der Prozeßluft	1	20,0
Anreicherung der Prozeßluft mit Sauerstoff	--	--
Umluftbetrieb	--	--
Dosieren der Belüftung	2	40,0
Ein- und Ausschalten der Belüftung	3	60,0

Tab. 4.4.8-9: Art der Befuchtung des Kompostmaterials bei der Kompostierung in offenen Mieten

Befuchtung des Kompostmaterials	Anzahl	Prozentanteil
Befuchtung der Prozeßluft	--	--
Automatische Wasserzugabe durch das System	--	--
manuelle Wasserzugabe	5	100

Tab. 4.4.8-10: Besonderheiten der jeweiligen Regelungssysteme bei der offenen Mietenkompostierung

Besonderheiten des Regelungssystems	Anzahl	Prozentanteil
individuelle Regelung jeder Miete möglich	4	80,0
speichern und Dokumentation der Rotteprozeßdaten per Computer möglich	4	80,0
Umprogrammierung bei Schwierigkeiten durch das Personal möglich	4	80,0
Regelungsprogramme für verschiedene angelieferte Chargen liegen vor	2	40,0

Anlage (5): k. A.

Tab. 4.4.8-11: Überwachung und Steuerung der jeweiligen Instrumente wie z. B. der Belüftungsanlage, und dem Umsetzgerät bei der offenen Mietenkompostierung

Steuerung der zur Regelung des Kompostierungsprozesses nötigen Instrumente	Anzahl	Prozentanteil
Keine Speicherprogrammierbare Steuerung	--	--
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	1	20,0
SPS plus einem Computer	2	40,0

Anlagen (3), (5): k. A.

Tab. 4.4.8-12: Automatisierungsgrad der verschiedenen offenen Mietenkompostierungssysteme

Automatisierungsgrad der Anlage	Anzahl	Prozentanteil
Überwachung und Regelung nur des Kompostierungsprozesses	1	20,0
Überwachung und Regelung des Kompostierungsprozesses sowie weiterer Anlagenteile	1	20,0
Überwachung und Regelung des gesamten Kompostwerkes	1	20,0

Anlagen (3), (5): k. A

Tab. 4.4.8-13: Anzahl der geplanten Optimierungen an den Regelungssystemen der offenen Mietenkompostierungssysteme und Angabe der Gründe für eine geplante Optimierung

		Anzahl	Prozentanteil
Keinerlei Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		3	60,0
Optimierung des Regelungssystems des Kompostierungsprozesses geplant		2	40,0
<u>Davon:</u>	Unbefriedigenden Prozeßverläufen	--	--
Optimierung Wegen	zu lange andauernden Rotteprozessen	--	--
	zu hohen Energiekosten	--	--
	sonstiges	2	40,0

Zu sonstiges: Anlage (3): Abdeckung mit Laminatabdeckung geplant Anlage (4): Verbesserte Dokumentationsmöglichkeit, insbesondere auf die Lüfterlaufzeiten bezogen, geplant

Anlage IV: Muster des Fragebogens

Fragebogen zur Prozeßsteuerung von Kompostierungsanlagen:

Fax: 0201/1833465

Seite 1 von 4

1.) Kompostanlage:

Name:

Straße:

PLZ / Ort:

Tel.: Fax:

Betriebsleiter:

Inputmenge: genehmigt: Mg

Kompostrohstoffe: a) Grünschnitt:..... %
(geschätzt im Jahresmittel) b) Bioabfall: %
c) Sonstiges %

2.) Baumuster:

Mietenkompostierung geschlossen offen

Boxen- und Containerkompostierung

Tunnelkompostierung

Trommelkompostierung

Brikollare Kompostierung

Sonstiges:

Name des Rottesystems / Hersteller:

.....

Wird die Homogenisierung / das Mischen von Grünschnitt und Bioabfall auf ein

bestimmtes Verhältnis computergesteuert durchgeführt?

Nein

Ja

3.) Rottesteuerung:

Mehrfachnennungen sind möglich.

Welche Parameter werden gemessen?

	automatische	manuelle
	Messung	
Temperatur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Feuchte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pH-Wert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wo wird gemessen?

	Im Material	in der Zuluft	in der Abluft
Temperatur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wassergehalt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pH-Wert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welche Parameter sind bei Ihrer Anlage die Rotteführung beeinflussende Parameter?

Temperatur	<input type="checkbox"/>
CO2	<input type="checkbox"/>
O2	<input type="checkbox"/>
Feuchte	<input type="checkbox"/>

pH-Wert



Falls über einen oder mehrere Parameter gesteuert wird:
 Welche Parameter werden automatisch über einen festen Zielwert eingehalten und welche über eine Zielwertkurve (z.B. Temperaturkurve während der Rottephase)?

	fester Grenzwert :	Grenzwertkurve:
Temperatur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Feuchte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pH-Wert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ist das Steuerungssystem in der Lage, jede Box / Miete individuell zu steuern?

Ja Nein

Ist das Steuerungssystem in der Lage, den Luftvolumenstrom zu dosieren, oder schaltet es die Belüftung der jeweiligen Box/Miete einfach nur Ein und Aus?

Dosierung der Belüftung Ein- und Ausschalten der Belüftung

Wie wird belüftet?

	Saugbelüftung	Druckbelüftung	Kombination
durch Rohre / Schläuche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mattenboden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nur bei Druckbelüftung: Wird die Luft bei Bedarf durch das System automatisch erwärmt bzw. mit reinem Sauerstoff angereichert?

Wärme Sauerstoff

Ist ein Umluftbetrieb möglich? Nein

Wie wird befeuchtet?

	automatisch	manuell
Anfeuchten der Luft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zugabe von Wasser	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ist das Steuerungssystem in der Lage, auf verschiedenartige Chargen zu reagieren, indem unterschiedliche Steuerungsprogramme gefahren werden können?

Nein

Ist es möglich, die den Rotteprozeß betreffenden Daten (wie z.B. Temperaturkurve und Belüftungszeiten) abzuspeichern und jederzeit zu dokumentieren (Monitor, Drucker)

Nein

Ist es möglich, daß das Betriebspersonal z.B. durch Umprogrammieren des Steuerungsprogramms aktiv in den Prozeßverlauf bei Schwierigkeiten eingreifen kann?

Nein

Handelt es sich bei der Steuerung um eine einfache SPS-Steuerung oder steht neben der SPS-Steuerung zusätzlich noch ein Computersystem zur Verfügung?

keine SPS SPS SPS + Computer
sondern:
.....

Wird in Ihrer Anlage nur der eigentliche Rotteprozeß elektronisch überwacht und gesteuert oder ist es sogar möglich, weitere Anlagenteile mit Hilfe des Steuerungssystems zu überwachen?

nur der Rotteprozeß Rotteprozeß plus einen oder mehrere Teile gesamte Anlage

Ist bei Ihrer Anlage in der nächsten Zeit eine Optimierung des Steuerungssystems geplant?

Nein

Bei Ja → Warum soll das Steuerungssystem Ihrer Anlage optimiert werden?

- unbefriedigender Prozeßverlauf
- Rotteprozeß benötigt zu viel Zeit
- Zu hohe Energiekosten
- Sonstiges

Danke für Ihre Mitarbeit!