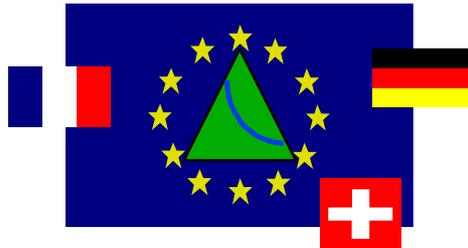


ITADA

Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft



ABSCHLUSSBERICHT DES PROJEKTS 1.2.1 (1999-2001)

Stickstoffverfügbarkeit von Komposten im Ökolandbau

**DIESE STUDIE WURDE DURCH DIE GEMEINSCHAFTSINITIATIVE
INTERREG II "OBERRHEIN MITTE-SÜD" KOFINANZIERT**

ITADA-Sekretariat: 2 allée de Herrlisheim, F-68000 COLMAR
Tel.: 00333 89229550 Fax: 00333 89229559 eMail: itada@wanadoo.fr www.itada.org

ITADA

Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft

DAS AKTIONSPROGRAMM DES ITADA STEHT UNTER FEDERFÜHRUNG
DES CONSEIL RÉGIONAL D'ALSACE UND WIRD KOFINANZIERT DURCH:

- DEN EUROPÄISCHEN REGIONALENTWICKLUNGSFONDS (INTERREG PROGRAMM II OBERRHEIN MITTE-SÜD),
- DAS LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUM DES LANDES BADEN-WÜRTTEMBERG,
- DEN CONSEIL RÉGIONAL D'ALSACE,
- DIE AGENCE DE L'EAU RHIN MEUSE,
- DIE LANDWIRTSCHAFTLICHEN BERUFSVERBÄNDE DES ELSASS
- DIE SCHWEIZER KANTONE AARGAU, BASEL-LANDSCHAFT UND BASEL-STADT

DAS PROJEKT 1.2.1:

„Stickstoffverfügbarkeit von Komposten im Ökolandbau“

Wurde durchgeführt von :

Projektleitung: JOSEPH WEISSBART und BENJAMIN LAMMERT (OPABA)
Partner: DR. REINHOLD VETTER und CHRISTINE GROSCHUPP (IfuL)
Mitbeteiligt: ALFRED BERNER (FiBL); BLAISE LECLERC (ITAB-GRAB)
CHRISTIANE SCHAUB (C.A. 67)

Organisation professionnelle de l'Agriculture Biologique en Alsace, F-Schiltigheim (OPABA)
Institut für umweltgerechte Landwirtschaft D-Müllheim (IfuL)
Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, CH-Frick (FiBL)
Institut Technique de l'Agriculture Biologique, F-Paris (ITAB)
Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin, F-Schiltigheim (CA 67)

INHALTSVERZEICHNIS

ITADA	3
VORWORT UND DANKSAGUNG	6
1. PROJEKTSTRUKTUR	9
1.1. Institutionelle Partner	9
1.2. Umsetzung des Projekts und Redaktion des Abschlussberichts	9
1.3. Projektdauer	9
1.4. Zielsetzung	9
2. PROBLEMATIK UND ZIELSETZUNGEN	10
2.1. Problemeingrenzung	10
2.2. Zielsetzung	10
2.3. Erwartete Ergebnisse	10
2.4. Veröffentlichung der Ergebnisse	10
2.5. Wissenschaftliche, technische und praktische Erkenntnisse	11
3. MATERIAL UND METHODEN	12
3.1. Kommunikation	12
3.2. Quellen	12
3.3. Methodischer und konzeptioneller Ansatz	12
3.4. Beitrag der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit	14
4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION	15
4.1 Die Kompostierung: Ablauf und Ziele des Kompostierungsprozesses	15
4.1.1. Definition des Kompostierungsprozesses und Beschreibung der Umsetzungsprozesse der organischen Substanz während der Kompostierung	15
4.1.2. Parameter für das Verständnis des Kompostierungsprozesses	16
4.1.2.1. Physikalische und chemische Parameter	16
4.1.2.2. Biologische Parameter	24
4.1.2.3. Zusammenfassung: Auf welche Parameter kommt es an?	29
4.1.3. Was ist „Humus“?	29
4.1.3.1. Charakterisierung der Humuskomponenten	29
4.1.3.2. Bedeutung der Humusuntersuchung für die Untersuchung der Stickstoff-mineralisierung von Komposten	31
4.1.3.3. Humifizierung in den Böden und verschiedene Humustypen	33
4.1.3.4. Die Entstehung von Humuskomponenten während der Kompostierung	37
4.1.4. Vor- und Nachteile der Kompostierung	40
4.1.4.1. Verluste an Kohlenstoff und an organischer Substanz	40
4.1.4.2. Stickstoffverluste	42
4.1.4.3. Weitere mögliche Verluste	48
4.1.4.4. Vorteile der Kompostierung	49
4.1.4.5. Nachteile und Grenzen der Kompostierung	50
4.1.4.6. Wie steht es um die Umweltbelastungen?	51
4.1.5. Wie können Umbauprozesse organischer Substanz während der Kompostierung gesteuert werden?	53
4.1.5.1. Auswahl des Ausgangssubstrats	54
4.1.5.2. Lagerung vor der Kompostierung	56

4.1.5.3. Häckseln	56
4.1.5.4. Mietenform und Mietengröße	57
4.1.5.5. Umsetzen und Belüftungsverfahren	58
4.1.5.6. Mietenschutz und Mietenabdeckung	62
4.1.5.7. Reifung	65
4.1.5.8. Zusatzstoffe	67
4.1.5.9. Absieben	10
4.2. Komposte aus Grüngut: Klassifizierung und Stickstofffreisetzungspotential	70
4.2.1. Wie soll eine Klassifizierung von Komposten aussehen?	70
4.2.2. Betrachtung der Ausgangsmaterialien	71
4.2.3. Dreiecksmieten: der Typ TRI	74
4.2.4. Die Tafelmieten: Der Typ TAB	79
- Feldversuch mit Tafelmietenkompost	84
4.2.5. Tafelmieten mit Zwangsbelüftung: Typ TAB-AF	88
4.2.6. Grenzen dieser Klassifizierung: Wissensdefizite und Unsicherheiten	90
4.2.7. Schlussfolgerungen: vorläufige Auswertung der agronomischen Qualitäten von Komposten aus Grüngut	91
4.3. Mistkomposte: Typologie und Stickstofffreisetzungspotential	96
4.3.1. Versuch des Aufbaus einer Typologie für landwirtschaftlichen Kompost	96
4.3.2. Äußerst heterogene Ausgangssubstrate	96
4.3.3. Ein Unterscheidungsmerkmal innerhalb der verschiedenen Kategorien: der Reifegrad	97
4.3.4. Kaum umgesetzter Kompost: die Typen RET und RET-BD	98
4.3.5. Kompostierung mit häufigem Umsetzen: die Typen INT und INT-BD	100
4.3.6. Kompostierung ohne Umsetzen: die Typen COMP und COMP-BD	102
4.3.7. Rottemist: die Typen FD und FD-BD	103
4.3.8. Einflussgrößen auf die Kompostmineralisierung	104
4.3.9. Vorrangig zu behandelnde Fragen und Unsicherheiten	106
4.3.10. Schlussfolgerung: Vergleich der wichtigsten Charakteristika von Kompost und Mist	107
5. KOMMUNIKATION DER PROJEKTERGEBNISSE	108
5.1. Welche Ansatzpunkte gibt es, um eine Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis zu erreichen?	108
5.2. Kommunikationsstrategie	108
5.3. Weiterführung des Projekts	109
6. AUSBLICK UND SCHLUSSBEMERKUNG	111
Vorschlag eines Bestimmungsschlüssels zur Abschätzung des Stickstoffmineralisierungspotentials von Kompost	111
7. ZUSAMMENFASSUNG	113
8. LITERATURVERZEICHNIS	126
9. ANHANG	132

Vorwort und Danksagung

Die diesem Projekt vorangestellte Fragestellung – wie hoch ist die Stickstoffverfügbarkeit von Kompost? – ist nach HARTZ *et al.* (2000) insofern nonkonformistisch, als die Stickstoffmineralisierung von Kompost im Vergleich zum Stickstoffbedarf der Pflanzen relativ bescheiden ist.

Für die meisten Landwirte liegt der Hauptnutzen der Kompostierung und der Kompostanwendung nicht in ihrem Beitrag zur Stickstoffbilanz. Im Ökolandbau wird letztere durch Fruchtfolge mit Leguminosen, dem Anbau von Gründünger und dem Ausbringen von weitaus labileren Quellen organischer Substanz (Gülle oder Mist) versorgt.

Außerdem gestaltet sich das Stickstoffmanagement – ein Faktor, der sich zu einem Hemmschuh im Bioanbau entwickeln kann – mit stabilen organischen Substanzen aufgrund ihrer langsamen Mineralisierung, die zudem noch von Bodenbedingungen und Klimaschwankungen beeinflusst wird, als äußerst schwierig.

Dessen ungeachtet erschien es uns aber angesichts der unterschiedlichen Praktiken in der Kompostierung interessant, der Frage nachzugehen, wie sich diese nach ihrer Ausbringung verhalten. Die Auswahl des Kriteriums „Stickstoffmineralisierungspotential“ zur Bewertung des Verhaltens von Kompost ist aus mindestens drei Gründen sinnvoll:

- bei diesen Substraten hängt die Stickstoffmineralisierung stark von der Kohlenstoffmineralisierung ab (CASTELLANOS *et PRATT*, 1981) d.h. also von der Entwicklung organischer Substanz im Boden;
- die befragten Landwirte setzen Kompost in erster Linie als Bodenverbesserer ein, sind sich aber der mehr oder weniger ausgeprägten Düngewirkung bewusst, die mittels unterschiedlicher Herstellungsverfahren erreicht werden kann (insbesondere der Einfluss der Kompostierungsdauer);
- selbst wenn die Nitratfreisetzung aus Komposten allgemein als niedrig angesehen wird, so verdient sie doch eine mengenmäßige Bewertung innerhalb der verschiedenen Komposttypen.

Das Projekt verfolgte den methodischen Ansatz, zunächst einfach anzuwendende Unterscheidungskriterien herauszuarbeiten, welche auf einer anerkannten theoretischen und praktischen Grundlage basieren, um mit ihrer Hilfe verschiedene Komposttypen zu unterscheiden. In einem zweiten Schritt wurden dann Korrelationen zwischen dieser Klassifizierung und der Beantwortung der Ausgangsfrage hergestellt.

Nach einer knappen Darstellung des institutionellen Kontexts des Projekts (§ 1.), werden wir detailliert auf die Gründe für die Auswahl dieses Projektthemas eingehen (§ 2.).

Im dritten Teil (§ 3.) erläutern wir die zu diesem Zweck entwickelten Konzepte und den im Rahmen des Projekts verfolgten methodologischen Ansatz.

Eine allgemeine Definition des Kompostierungsprozesses (§ 4.1.1.) eröffnet den Abschnitt über die Entwicklung der Hauptparameter im Verlauf dieses biochemischen Umbaus (§ 4.1.2.) und über den Versuch einer Charakterisierung jener Produkte, die man sich von diesen Umwandlungen erhofft: den Humuskomponenten (§ 4.1.3.). Abschnitt 4.1.4. befasst sich dann mit den Vor- und Nachteilen dieser Technik für Landwirtschaft und Umwelt. Nachdem der Leser sich nun Kenntnisse über den Prozess erworben hat und vielleicht vom Nutzen dieser Praxis überzeugt ist, kann er sich den konkreten Aspekten der Überwachung des Umbaus organischer Substanz während der Kompostierung in Abschnitt (§ 4.1.5.) zuwenden.

Kapitel 4.2. und 4.3. befassen sich mit einer Typologie von Grüngutkomposten einerseits und Mistkomposten andererseits.

Kapitel (§ 5.) ist der Information über die geplante Öffentlichkeitsarbeit zur Bekanntmachung der Resultate gewidmet, während Kapitel (§ 6.) die wichtigsten Erkenntnisse des Projekts zusammenfasst und einige zusätzliche Fragestellungen aufwirft, die es verdienen, untersucht zu werden.

Ergänzende Informationen finden sich in Kapitel 7. (Literaturverzeichnis) und 8. (Anhänge).

Beim vorliegenden Bericht handelt es sich um eine Übersetzung der französischen Original-Version, die auf Anfrage beim ITADA-Sekretariat erhältlich ist bzw. bei www.itada.org heruntergeladen werden kann.

Zahlreiche Personen haben an diesem Projekt mitgewirkt oder dazu beigetragen. Wir möchten Ihnen ganz herzlich dafür danken.

Die Anfangsphase des Projekts wurde stark vom ITADA-Sekretariat in Colmar unterstützt, welches uns mit seiner logistischen Hilfe den Start erst ermöglichte. Die Diskussionen mit Hervé CLINKSPOOR, Jürgen RECKNAGEL und Florence CLAIRET und ihre Ratschläge haben uns bei der Eingrenzung des Projektinhalts und der Organisation sehr geholfen.

Das sympathische und dynamische Team von MVAD-68 unter Leitung von Nathalie VALENTIN hat uns die Erstellung einer ersten Literaturübersicht erleichtert und Kontakte zu Fachleuten für Kompost und organische Substanz geknüpft. Der Austausch mit den Mitgliedern der Mission hat ebenfalls zu einer stringenten Projektdefinition beigetragen.

Die unschätzbaren Kenntnisse von Rémi KOLLER von der ARAA haben uns viel wertvolle Zeit gespart und uns die Kontaktaufnahme mit Spitzenforschern und –technikern im Kompostbereich ermöglicht. Seine methodischen Ratschläge zur Projektstruktur im allgemeinen und zu den Befragungen der Landwirte im besonderen haben unseren Ansatz um eine synthetische und präzise externe Sichtweise bereichert.

Die detaillierte methodologische Kritik von André BLOUET aus der INRA von Mirecourt, seine Unterstützung bei der Ausarbeitung der Landwirtbefragung, sowie der rege Austausch mit ihm haben uns große Schritte nach vorn gebracht.

Das umfangreiche Literaturverzeichnis dieser Arbeit stützt sich weitgehend auf die von Joséphine PEIGNÉ von ECOCERT/INRA Colmar (Département Agronomie et Environnement) zusammengetragenen Referenzen. Die Detailgenauigkeit und Reichhaltigkeit ihrer Arbeiten über die Kompostherstellung und –mineralisierung hat uns immer wieder angespornt.

Joseph WEISSBART hat die Umsetzung des Projekts laufend mitverfolgt, die Landwirte, Tierzüchter, Gemüsebauern und Winzer aus der Projektlenkungsgruppe ihrerseits haben regelmäßig als Supervisoren gewirkt. Simone KRIESEMER, Yves PERRON von der OPABA, und in wesentlich intensiverer Art und Weise Christiane SCHAUB vom SUAD der Landwirtschaftskammer des Départements Bas-Rhin, haben die Debatten um ihre Sichtweise bereichert.

Der Leiter des IfuL, Dr. Reinhold VETTER, sowie alle Kollegen, insbesondere Dr. Martin NAWRATH und Jürgen MAIER, haben das Projekt durch zahlreiche Anregungen mitgestaltet.

Die punktuelle, fundierte Unterstützung von Alfred BERNER vom FIBL in Frick (CH) und von Blaise LECLERC vom ITAB-GRAB haben wir sehr geschätzt, da sie uns die nötige Distanzierung erlaubte, derer es zur Projektdurchführung bedurfte.

Unser herzlicher Dank gilt ebenfalls den Kompostwerkbetreibern, die uns immer mit offenen Armen in ihren Anlagen empfangen und uns einen sehr reichhaltigen Daten- und Informationsfundus aus ihrer täglichen Arbeit zur Verfügung stellten. Dank auch an die Bundesgütegemeinschaft Kompost für ihre Anregungen und den Behörden für Abfallwirtschaft der Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald und Lörrach für ihre freundliche Unterstützung.

Ganz besonders möchten wir allen elsässischen und badischen Biolandwirten und biologisch-dynamischen arbeitenden Landwirten danken, die uns auf ihren Höfen empfangen und sich die Zeit genommen haben, unsere zahlreichen Fragen über ihre Art der Kompostherstellung und Anwendung zu beantworten. Die Gespräche mit ihnen erlaubten uns, ihre Erwartungen besser zu verstehen und somit tatsächlich auf ihre Fragestellungen einzugehen. Dank gebührt auch M. BECKER vom Beratungsdienst ökologischer Landbau Emmendingen-Hochburg für die gute Zusammenarbeit.

In rechtlichen Fragen stand uns Herr BURGER vom Regierungspräsidium Freiburg immer beratend zur Seite.

Eine besondere Erwähnung verdienen T. MAYER, der die Versuchsparzelle in Schliengen zur Verfügung stellte und einen Teil der Arbeiten übernahm, R. MEIER für die Entnahme der Bodenproben sowie die LUFA Augustenberg für die Laboruntersuchungen. Dies gilt auch für das Labor Lacher, Ehrenkirchen.

Die Erfahrungen und Kenntnisse der Herren Dr. R. KLUGE, R. BOLDUAN und DR. M. MOKRY von der LUFA-Augustenberg waren in der Begleitung des Projekts eine unschätzbare Hilfe.

Laure METZGER und Corinne BITAUD vom SADEF standen uns mit der ihnen eigenen Lebhaftigkeit immer dann hilfreich zur Seite, wenn es darum ging, Analyseresultate zu präzisieren oder die Resultate komplexer und tiefgreifender Analysen zu interpretieren.

Wir hatten das Glück, im Verein Vignes Vivantes eine Plattform konkreter Debatten und avantgardistischer Aktionen zur Förderung der Kompostherstellung und Anwendung in unserer Region zu finden. Es war uns ein Vergnügen, diesem Verein und seinen Mitgliedern in ihrer Aktivität punktuelle Unterstützung geben zu können.

Jean-Michel FLORIN, Pierre MASSON, Patrick RIEHL und Laurent DREYFUS haben unsere Arbeit mit ihren Beiträgen, ihren Kenntnissen und ihrem Wissen über die biodynamische Landwirtschaft bereichert.

Der SUAD für Berggebiete der Landwirtschaftskammer des Départements Haut-Rhin hat Synergieeffekte für ein gezielteres und umweltschonenderes Wirtschaftsdüngermanagement bei Tierhaltungsbetrieben in den Vogesen ermöglicht und wird dies zweifellos auch in Zukunft tun.

Dank auch an alle Organisatoren und Referenten, die uns in zahlreichen Fortbildungsveranstaltungen einen regen Erfahrungsaustausch ermöglichten.

Wir danken all jenen, die von nah und fern ihren Beitrag zu diesem Werk geleistet haben!

1. Projektstruktur

1.1. Institutionelle Partner

Projektleitung

OPABA

(Organisation Professionnelle de l'Agriculture Biologique en Alsace)
Maison de l'Agriculture
2, rue de Rome
F - 67309 SCHILTIGHEIM

Partner

IfuL

(Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung)
Auf der Breite 7
D – 79379 MÜLLHEIM

Weitere Teilnehmer

FiBL

(Forschungsinstitut für biologischen Landbau)
Ackerstraße
CH – 5070 FRICK

Koordinierung, Übersetzung

ITADA Sekretariat

2, allée de Herrlisheim
F – 68000 COLMAR

1.2. Umsetzung des Projekts und Redaktion des Abschlussberichts

Joseph WEISSBART (OPABA): Projektformulierung, Projektstart und -betreuung, Lektorat des Abschlussberichts

Benjamin LAMMERT (OPABA): Koordinierung und Umsetzung des Projekts, Redaktion des Abschlussberichts, Übersetzung

Christine GROSCHUPP (IfuL): Projektumsetzung, Versuchsleitung, Beitrag zur Redaktion des Abschlussberichts, Übersetzung

Christine WINTRINGHAM (WILCO): Übersetzung des Abschlussberichts ins Deutsche.

1.3. Projektdauer

vom 01.09.1999 bis zum 31.12.2001

1.4. Zielsetzung

Auszug aus der Gemeinsamen Erklärung, dem Gründungsdokument des Grenzüberschreitenden Instituts zur rentablen umweltgerechten Landbewirtschaftung (ITADA):

„...in Anbetracht der wichtigen Grundwasservorkommen im Oberrheingraben, sucht das Land Baden-Württemberg wie seine französischen Partner nach einer besseren Kompatibilität von Landwirtschaft und Umweltschutz, insbesondere zum Schutz der Grundwasserqualität. Da in beiden Regionen vergleichbare Produktionsbedingungen herrschen und zusehends höhere ökologische Ansprüche an die Landwirtschaft gestellt werden, halten wir es für wünschenswert, gemeinsam rentable und zugleich umweltgerechte Produktionsmethoden zu untersuchen, zu entwickeln und zu optimieren...“

2. Problematik und Zielsetzungen

2.1. Problemeingrenzung

Im ökologischen Landbau wird zur Düngung hauptsächlich auf «Wirtschaftsdünger» zurückgegriffen. Diese werden vor der Ausbringung meistens aufbereitet: Mist und organische Abfälle durch Kompostierung, Gülle durch Rühren und Belüften. Diese Aufbereitung führt zu einem Umbau des Stickstoffs in seine organische Form.

Die Stickstoffverfügbarkeit ist bei kompostierten Materialien weniger ausgeprägt und wesentlich progressiver als bei Rohprodukten.

Mineralisierungsbeitrag und –dynamik kompostierter organischer Bodenverbesserer sind noch weitgehend unbekannt und werden in der Praxis oft empirisch ausgehend von der Düngewirkung des Ausgangssubstrats eingeschätzt. Dies kann zu einer Überdüngung oder zu einem Ungleichgewicht von Stickstoffverfügbarkeit und Stickstoffbedarf der Kulturen führen, mit dem Risiko einer Stickstoffauswaschung in das Grundwasser.

Mehrere Studien konnten aufzeigen, dass die Stickstoffverfügbarkeit eines organischen Produkts und sein C/N Verhältnis nicht korrelieren. Es scheint jedoch eine Korrelation zwischen der Umwandlung organischen Kohlenstoffs in CO₂ im Laufe der Kompostierung und der Stickstoffverfügbarkeit vorzuliegen.

Im Oberrheingebiet sind die verfügbaren organischen Quellen kompostierter Mist von den Höfen (biodynamische Kompostierung oder mechanische Verfahren) und Kompost aus Grünschnitt.

2.2. Zielsetzung

Das Projekt verfolgt namentlich folgende Ziele:

- die Stickstofffreisetzungsdynamik der wichtigsten im Ökolandbau der Oberrheinregion eingesetzten Wirtschaftsdünger und Grüngutkomposte einzuschätzen;
- eine Korrelation zwischen möglichen Messungen und Labortests und der Verfügbarkeit von Düngernährstoffen aufzuzeigen.

2.3. Erwartete Ergebnisse

Ursprünglich verfolgte das Projekt folgende Ziele:

- die Düngeberatung sowohl hinsichtlich der Aufbereitung des Wirtschaftsdüngers als auch hinsichtlich seiner Anwendung zu verbessern;
- das Verhältnis zwischen Gaben und Bedarf der Kulturen ohne Auswaschungsgefahr zu verbessern;
- die wirtschaftlichen Kosten der gängigen Praktiken der Produzenten zu bewerten und Lösungen für die Aufbereitung und die Ausbringung von Bodenverbesserern aufzuzeigen, die für jede gegebene Situation die rentabelste Lösung darstellen

2.4. Veröffentlichung der Ergebnisse

Am Abschluss dieser Untersuchungen steht die gemeinsame Redaktion und Veröffentlichung von technischen Anleitungen zur Herstellung und Nutzung von Mist- und Grüngutkompost durch beide Partner. Besonderes Augenmerk wird auf die Risiken der Stickstoffauswaschung nach der Ausbringung der Produkte gelegt. Die Veröffentlichung erfolgt in zwei Sprachen.

Zur Fortsetzung des Projekts sind weitere Kommunikationsmaßnahmen geplant: Organisation eines Kolloquiums, Anleitung, Weiterbildung, technische Besuche mit eigens gebildeten, aber dynamischen Gruppen.

2.5. Wissenschaftliche, technische und praktische Erkenntnisse

Kompostierungsverfahren mit Umsetzung der Mieten haben sich im Biolandbau im Elsass unter dem Einfluss des OPABA ab 1992/1993 entwickelt. In Maschinenringen zusammengeschlossene Landwirte beherrschen diese Technik sehr gut. Die elsässischen Biolandwirte haben den Wunsch geäußert, ihre Kenntnisse über die Stickstofffreisetzungsdynamik von Komposten zu vertiefen, um diese organischen Bodenverbesserer gezielter einzusetzen. Auch jenseits des Rheins stieß diese Anfrage auf ein positives Echo. Dort ist die Kompostierung wesentlich weiter entwickelt und die Universitäten haben bereits zahlreiche Studien durchgeführt (München, Darmstadt, Stuttgart...). Die französische Literatur hat zu diesem Thema eher wenig beizutragen und wir mussten uns an die angelsächsische Wissenschaft wenden, die sich eingehender mit diesen Verfahren befasst hat, insbesondere mit der Aufbereitung von Klärschlämmen. Trotzdem existieren aber auch einige lokale Quellen, hier sei an erster Stelle das Projekt A.1.5. des ITADA genannt „Stickstoffversorgung und -dynamik in Fruchtfolgen vieharmen Betriebe des ökologischen Landbaus“.

Die Ausgangslage ist also folgende: es existieren vereinzelt Kenntnisse; Verbindungen zwischen verschiedenen Stadien oder Größenordnungen in der Produktion und der Anwendung des Komposts werden hingegen selten hergestellt. Der wesentliche Beitrag dieser Arbeit besteht im Vorschlag einer Struktur zur Definition von Komposten und ihren Qualitäten, ausgehend von einem besonderen methodologischen Ansatz.

3. Material und Methoden

3.1. Kommunikation

Um eine Wiederholung abgeschlossener Arbeiten Dritter zu verhindern, machte das Projekt zunächst auf lokaler und nationaler Ebene jene Forscher und Techniker ausfindig, die sich bereits mit Komposten beschäftigt haben. Zu Kommunikationszwecken wurde ein Faltblatt als Projektpräsentation gedruckt (s. Anhang 1) und allen kontaktierten Personen zugestellt. Aus Kontakten mit den Berufsorganisationen kristallisierten sich dann Kreise von Landwirten heraus, die sich für Fragen des Komposts und der Kompostierung interessieren könnten. Hier zeigten sich bald Synergieeffekte, die sich der Dynamik des Projekts als zuträglich erwiesen, die Abgrenzung erleichterten und die Auswertung der Ergebnisse initiierten (Kolloquium und Weiterbildung im Herbst).

3.2. Quellen

Das vollständige Literaturverzeichnis der vom Projekt verwendeten Quellen ist bei der OPABA erhältlich. Es besteht aus wissenschaftlichen und technischen Quellen, populärwissenschaftlichen Artikeln und einigen Fachpublikationen zur Kompostierung.

Um die verschiedenen Kompostarten genau bestimmen zu können, hat das Projekt einige weitreichende Analysen durchgeführt (siehe die Liste der durchgeführten Analysen in Anhang 2; diese Daten können bei der OPABA eingesehen werden).

Im Rahmen des Möglichen hat das Projekt sich ebenfalls bemüht, von den Kompostwerken Analysedaten zu erhalten (insbesondere über das periodisch anfallende Grüngut).

Angesichts des Mangels an wissenschaftlichen Daten, und insbesondere aufgrund der fehlenden Zusammenhänge, erschien es uns angebracht, mit Kompostherstellern und –anwendern in einen offenen Dialog zu treten. Grundlage dieser Diskussionen bildeten zwei verschiedene Fragebögen, einer war an die Kompostwerksbetreiber gerichtet, der andere an die Landwirte und Hersteller und/oder Anwender von Kompost. Anhänge 3 und 4 enthalten die betreffenden Fragebögen für diese Befragungen. Sie hatten sich das Ziel gesteckt, weitestgehend die Erfahrungen, Feststellungen und Beobachtungen der Praktiker zu sammeln und die konkreten Anliegen dieser Akteure aufzugreifen (zur Eingrenzung des Projektinhalts).

Letzten Endes haben wir einen Feldversuch zum besseren Verständnis des Verhaltens eines bestimmten Typs von Grüngutkompost durchgeführt. Wir gingen der Fragestellung nach, ob ein Kompost mit hohem C/N-Verhältnis (welcher einem nicht vollständig kompostierten Produkt entspricht) in der Lage sein könnte, im Verlauf des Winters die Stickstoffauswaschung unter Weizen zu verringern (Kompost wirkt als Nitratfalle).

3.3. Methodischer und konzeptioneller Ansatz

Indem es sich verschiedener Quellen höchst unterschiedlichen Inhalts bediente, hat das Projekt neue Denkmodelle geschaffen, die zwar unter Umständen von den Akteuren nicht unbedingt wahrgenommen oder gar eine Nachwirkung zeitigen werden, allerdings über den Vorteil verfügen, Wechselbeziehungen zwischen bekannten Faktoren aufzuzeigen, die bis jetzt eher isoliert untersucht wurden.

Zur Schaffung eines Kenntnismodells über Kompost (s. Anhang 5) wurden die Wechselbeziehungen zwischen folgenden Parametern untersucht: Substratzusammensetzung, Struktur, Feuchte, Klimaeinflüsse, Umsetzen, Zusatzstoffe, Mietenform, sowie die biologische Aktivität der Kompostmiete in der aktiven Phase, Reifungsphase und während der Lagerung.

Somit konnten wir die Analyse in drei Hierarchieebenen unterteilen:

- die erste ist die biologische Aktivität der Mikroorganismen während des Kompostierungsprozesses, die man zu steuern sucht;
- die zweite betrifft den Handlungsbereich des Landwirts und seine Auswahl der Ausgangsmaterialien (im Rahmen des Möglichen), die Entscheidung über Form und Größe der Miete, die Möglichkeit, die Miete umzusetzen oder Additive zuzufügen, die Wahl einer Mietenabdeckung und letzten Endes die Entscheidung, den Kompost reifen zu lassen oder ihn vor dem Ausbringen mehr oder weniger lange zu lagern;
- auf der dritten Ebene finden wir die Wettereinflüsse auf die Kompostierung, gegen welche gegebenenfalls Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Um eine Wissensgrundlage über die Verwertung von Kompost auf den Feldern aufzubauen, wurden die Wechselbeziehungen zwischen Klima, Pflanzenbedarf, ackerbaulichen Maßnahmen, Ausbringungszeitpunkt, Kompostqualitäten (Reifegrad und Ausgangsmaterialien), weitere organische Zusätze, Bodentyp (seine Wirkungsweise) und Bodenleben untersucht. Hierbei wurden die Angaben der Kompostanwender einbezogen.

Mit Hilfe dieser Analyse konnten wir ein Funktionsmodell für eine Parzelle mit Kompostgaben erstellen (s. Anhang 6). Im Zentrum dieses Systems steht der Landwirt, der mit seiner Erfahrung einen gewissen Ertrag auf seinen Schlägen zu erzielen sucht, indem er seine Anbaumethoden an das Wetter mit seinen Einflüssen auf das Bodenleben und den Nährstoffbedarf der Pflanzen anpasst. Der Einfluss des Landwirts ist beschränkt: er kann nur auf die Bodenbearbeitung, den Ausbringungszeitpunkt für seinen Kompost, die Auswahl des Komposttyps und die zusätzlichen organischen Gaben einwirken. Organisationstechnische Zwänge veranlassen ihn, ein relativ starres System zu entwerfen, welches keine grundlegenden Änderungen von Jahr zu Jahr verlangt. Die Kompostierung unterliegt also gewissen Zwängen, welche in dieses Organisationssystem einbezogen werden müssen: sie muss Kompost einer bestimmten Qualität zum richtigen Zeitpunkt erzeugen. Der Landwirt bestimmt die Qualität hauptsächlich abhängig vom Alter des Komposts, der Herkunft des Ausgangsmaterials und dem Kompostierungsergebnis.

Aufbau und Anwendung dieser Modelle sind mitnichten maßgebend. Wir erwarten weder, dass alle Prozesse wie beschrieben ablaufen, noch dass alle Praktiker sich an allen oder einigen dieser Modelle orientieren.

Die Modelle stellen lediglich Vorschläge dar. Sie sollen helfen, Überlegungen zu strukturieren und das Verständnis gewisser Phänomene zu erleichtern, um gegebenenfalls Messungen oder Beobachtungen zu erklären.

Sie sind die theoretische Grundlage der vorliegenden Arbeit und haben die Konzeption der Komposttypologie stark beeinflusst.

Im Projektverlauf haben wir zunächst das Funktionsmodell der Kompostierung auf Grüngutkomposte angewendet. Komposte, zu denen uns mehrere Analysen vorlagen, sowie genaue Anleitungen zur Herstellung. Die ersten Schlussfolgerungen für diese Komposte bestätigten uns in unserem Ansatz, woraufhin wir ihn für andere Substrattypen weiterentwickelten: Mist. Diese Aufgabe war ungleich schwerer, da uns wesentlich weniger Quellen und Analysen vorlagen, die zudem eine breite Palette von Substraten abdeckten. Wechselbeziehungen zwischen Kompostverhalten und Herstellungsverfahren – die zudem noch sehr unterschiedlicher Natur waren – waren kaum nachgewiesen. Trotzdem ist es uns gelungen, einige grundlegende Unterschiede nachzuweisen, um diese verschiedenen Komposttypen voneinander zu unterscheiden.

Diese Arbeit hat uns außerdem die Möglichkeit gegeben, gewisse Überlegungen weiterzuverfolgen, die die These stützen, dass Herstellungsverfahren und Substrateigenschaften das agronomische Verhalten von Kompost bestimmen. Ein einfacher und effizienter Weg wären ein schneller Nachweis und Charakterisierung der Humuskomponenten und ihrer Bildungswege, welches uns mittels einer Routineuntersuchung im Labor möglich erscheint.

3.4. Beitrag der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit

Diese Zusammenarbeit betraf verschiedene Aspekte. Sie erlaubte uns schnelleren Zugang zu den deutschen und schweizerischen Quellen, die in dieser Frage wesentlich weiter sind als wir. Kontakte zu Wissensträgern wurden erleichtert. Die organisierten grenzüberschreitenden Treffen von Landwirten und Technikern beiderseits des Rheins führten zu einem regen Austausch der Praktiker.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Die Kompostierung: Ablauf und Ziele des Kompostierungsprozesses

4.1.1. Definition des Kompostierungsprozesses und Beschreibung der Umsetzungsprozesse der organischen Substanz während der Kompostierung

Je nachdem aus welchem Blickwinkel man die Kompostierung betrachtet, gibt es verschiedene Möglichkeiten, diese zu beschreiben (Hersteller, Anwender, Betreiber...). Eine umfassende Definition gibt es daher nicht. In der vorliegenden Arbeit stützen wir uns auf die allgemeine Definition von MUSTIN (1987):

„Die Kompostierung ist ein kontrolliertes biologisches Verfahren, das die Zerlegung (die als Umbau/Verwertung betrachtet wird) der organischen Bestandteile von Nebenprodukten und Abfällen zu einem stabilen, hygienisierten, erdeähnlichen organischen Produkt bewirkt, das reich an Huminverbindungen ist: dem Kompost“

Diese Definition weist alle Eigenschaften einer „black box“ auf: Vorne gibt man organische Substanz hinein und hinten erhält man Kompost. Eine detailliertere Definition der Kompostierung von LECLERC (2001) beschreibt die wichtigsten physikalisch-chemischen und biologischen Parameter, die sich im Verlauf dieses Prozesses verändern, genauer:

„Die Kompostierung ist ein Prozeß des „kontrollierten“ Abbaus und Umbaus von organischen, biologisch abbaubaren Abfällen pflanzlicher und/oder tierischer Herkunft durch das Wirken verschiedener Arten von Mikroorganismen unter aeroben Bedingungen. Sie ist gekennzeichnet durch:

- *Eine Erwärmung zu Beginn des Prozesses auf Temperaturen zwischen in der Regel 40 und 70 °C, die auf die starken mikrobiellen Abbauprozesse unter aeroben Bedingungen zurückzuführen ist (thermische Oxidation).*
- *Ein Masse- und Volumenverlust, der auf den Verlust an Masse (ausgehend von organischen Molekülen entstehen CO₂ und Wasser), auf die Wasserverdampfung unter dem Einfluss der Wärme, sowie auf eine Setzung (infolge Strukturverlustes) zurückzuführen ist.*
- *Eine Umwandlung der organischen Ausgangssubstanzen auf chemischem, biochemischem (mikrobiellen) und physikalischem (Veränderung von Farbe, Aussehen und Körnung) Wege, wobei insbesondere stabile Humuskomponenten gebildet werden.*

Der Kompost, Endprodukt der Kompostierung, unterscheidet sich von den Ausgangssubstanzen in erster Linie durch:

- *Eine homogene Struktur (beispielsweise findet man im Stallmistkompost keine leicht abbaubaren pflanzlichen oder tierischen Reste mehr),*
- *die Stabilität der organischen Substanz, die umso größer ist, je reifer der Kompost ist (Gehalt an Huminverbindungen),*
- *eine teilweise Hygienisierung durch Zerstörung von Krankheitskeimen, Tierparasiten, Samen und Vermehrungsorganen von Pflanzen,*
- *das Fehlen unangenehmer Gerüche.“*

Aus rechtlicher Sicht (Anhang II Teil A der Verordnung EWG/2092/91) wird der Kompostierungsprozeß definiert als 'kontrollierte Umwandlung in Mieten infolge aeroben Abbaus von organischen Substanzen pflanzlicher und/oder tierischer Herkunft, ausgenommen Stoffe aus Abfällen der Tierhaltung im Sinne des Erlasses vom 30.12.1991 (französisches Amtsblatt JORF vom 12.02.1992, geändert durch den Erlass vom 12.03.93, JORF vom 23.03.93, geändert durch Erlass vom 28.06.96, JORF v. 29.06.96, geändert

durch Erlass v. 06.02.98, JORF v. 10.02.98.) Die Kompostierung zielt auf eine Verbesserung des Humusgehalts ab. Sie ist gekennzeichnet durch:

- *Temperaturerhöhung*
- *Volumenreduktion*
- *Veränderung der chemischen und biochemischen Zusammensetzung*
- *Verringerung von Krankheitskeimen, Unkrautsamen und sonstigen Problemstoffen*

Das Material muss genügend Kohlenstoff enthalten und wenn nötig befeuchtet werden. Weder das Einbringen von Stalmist noch die Flächenkompostierung (Ausbringen von Stalmist auf das Feld mit oberflächlicher Einarbeitung) können mit einer Kompostierung gleichgesetzt werden.

In der Praxis spricht man von Kompostierung, wenn die Umsetzung organischer Substanz in *Gegenwart von Sauerstoff* erfolgt und infolge des Aufsetzens in Mieten mit einer *Temperaturerhöhung* einhergeht.

Diese beiden Faktoren sind ausschlaggebend dafür, dass die Kompostierung *im eigentlichen Sinne* stattfinden kann. Durch folgende Maßnahmen kann man die von den Mikroorganismen vollzogenen Umsetzungsprozesse beeinflussen:

- durch Regelung der Temperatur selektiert man die aktivsten Mikroorganismenpopulationen;
- durch Regelung des Sauerstoffgehalts beeinflusst man die Intensität der mikrobiellen Umsetzungen und sogar deren Art (die bei schlechten Kompostierungsbedingungen anaerob werden kann).

In § 4.1.5. werden wir erfahren, wie die Umsetzungsprozesse bei der Kompostierung eine Veränderung der Temperaturbedingungen und der Belüftung in der Miete bewirken, aber erst nachdem wir uns etwas näher mit den Schlüsselparametern befasst haben, die man im Kopf haben muss, um die Abläufe in einer Kompostmiete wirklich zu verstehen (§ 4.1.2.), nachdem wir die Begriffe Humus und Humuskomponenten definiert haben (§ 4.1.3.) und nachdem wir schließlich die Vor- und Nachteile der Kompostbereitung betrachtet haben (§ 4.1.4.).

4.1.2 Parameter für das Verständnis des Kompostierungsprozesses

Die Kompostmiete ist ein belebtes Milieu, das sich entwickelt und verändert. Um gut zu verstehen, was während der Kompostierung vor sich geht, stellen wir die wichtigsten physikalisch-chemischen Einflussgrößen vor, die dieses Milieu beschreiben, um dann auf die direkt mit der Biologie verbundenen Parameter zu kommen. Das erlaubt uns auch, die für die Praxis wichtigsten Parameter hervorzuheben.

4.1.2.1. Physikalische und chemische Parameter

Die wichtigsten physikalischen und chemischen Parameter mit Einfluss auf den Kompostierungsprozess und/oder die sich während dieses Prozesses verändern, sind der Sauerstoffgehalt, die Feuchtigkeit, die Temperatur, die Struktur der Kompostmiete, das C/N-Verhältnis, der pH-Wert und der Gehalt an Hauptnährstoffen.

Der Sauerstoffgehalt (O₂)

Damit die Kompostierung unter aeroben Bedingungen abläuft, sind mindestens 5 % Sauerstoff in der Mietenatmosphäre nötig (CITTERIO *et al.*, 1987; COOPERBAND, 2000; MUSTIN, 1987) obwohl die tatsächliche Grenze für Anaerobie unter 1 % liegt (MUSTIN, 1987).

Von daher kann es vorkommen, dass sich bei der Kompostierung anaerobe oder mit Sauerstoff unterversorgte Zonen bilden (FINSTEIN *et al.*, 1999).

Bei bestimmten Kompostierungsmethoden wird vorgeschlagen, den Sauerstoff- oder den CO₂-Gehalt in der Kompostmiete als Indikator für den Kompostierungsprozess zu messen. Unter aeroben Bedingungen ist der CO₂-Gehalt dem O₂-Gehalt gegenläufig. Jedoch wird CO₂ sowohl bei der Atmung als auch bei der Gärung (unter anaeroben Bedingungen) gebildet. Seine Anwesenheit sowie seine Schwankungen in der Atmosphäre der Kompostmiete sind deshalb kein zuverlässiger Anzeiger für die Überwachung des Kompostierungsprozesses (CITTERIO *et al.*, 1987; MUSTIN, 1987), im Gegensatz zur Ermittlung des Sauerstoff-Verbrauchs (MUSTIN, 1987).

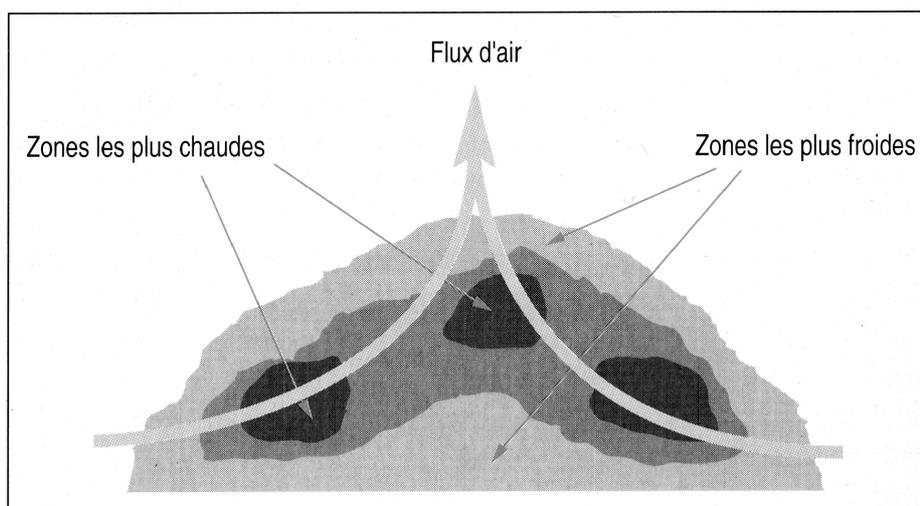
Der Sauerstoffgehalt hängt von der Porosität der Miete ab, demzufolge sowohl (MUSTIN, 1987):

- von der Korngröße und der Form der organischen Partikel als auch
- von der Menge an Wasser in den Poren (also der Feuchtigkeit der Miete).

Der Sauerstoffgehalt verändert sich im Laufe der Zeit: Die aeroben Mikroorganismen verbrauchen den Sauerstoff und geben CO₂ ab, wobei die Umgebung an O₂ verarmt. Die Luftzirkulation in der Kompostmiete erneuert die Atmosphäre und reichert sie wieder mit O₂ an.

Der Bedarf an Sauerstoff verändert sich während der Kompostierung; nach MUSTIN (1987), ist er hoch in der thermophilen Phase (entsprechend 0,5 bis 1 m³ Luft/Minute/Tonne TS), mittel in der Abkühlungsphase (0,1 bis 0,5 m³) und niedrig in der Reifungsphase (< 0,1).

Die Luft zirkuliert in einer Kompostmiete wie in einem Kamin. Die warme Luft steigt auf und lässt neue Luft seitlich von unten nachströmen (siehe Abbildung 1). Die Luftzirkulation ist umso stärker, je höher die Temperatur der Miete steigt. Die vorherrschenden Winde können auf diese Zirkulation Einfluss nehmen. Die über den Kamin-Mechanismus eingebrachte Menge an Luft hängt von der Höhe, der Form und der Ausrichtung der Miete ab (MICHEL, 1999).



**Abb. 1 : Luftzirkulation in der Kompostmiete:
Wärmeverteilung und Kamineffekt (nach Gobat *et al.*, 1998)**

Folgerungen für die Praxis:

- die für eine gute Zirkulation empfohlene Mietenhöhe liegt zwischen 1,5 und 1,8 m. Kleinere Mieten weisen eine bessere Zirkulation auf, haben aber höhere Temperaturverluste (COOPERBAND, 2000). Einige Praktiker empfehlen gelegentlich, den

Kompost vor austrocknenden Winden zu schützen, indem man die Mieten in der Nähe von Hecken oder einem Windschutz aufsetzt.

- Je höher das Porenvolumen, desto einfacher die Luftzirkulation. Mit dem Feuchtegehalt verhält es sich umgekehrt. Die für die Kompostierung idealen Werte liegen zwischen 30 und 36 % Porenvolumen (MUSTIN, 1987).

Zusammenfassend betrachtet werden aerobe Bedingungen für die Kompostierung erreicht, indem man gleichzeitig die Struktur des Ausgangsmaterials, Größe und Form der Miete, deren Ausrichtung in Bezug auf die Hauptwindrichtung und deren Wassergehalt beachtet. Diese Parameter (besonders die Struktur und die Feuchte) können sich mit der Zeit verändern und zu Sauerstoffmangel führen. Ein Eingreifen (zum Beispiel durch Umsetzen) kann sich daher zur Wiederherstellung aerober Bedingungen als nötig erweisen (siehe § 4.1.5). Die Beobachtung des O₂-Gehalts scheint ein wissenschaftlich zuverlässigerer Anzeiger zu sein als die Beobachtung des CO₂-Gehalts, um die Entwicklung der Sauerstoffverhältnisse in einer Miete zu beschreiben.

Feuchtegehalt

Die Feuchtigkeit (oder der Wassergehalt) der Kompostmiete beeinflusst die Porosität, die Temperatur, die Durchlüftung sowie die Art und die Aktivität der Mikroorganismenpopulation in der Miete.

Es gibt keine streng proportionale Beziehung zwischen der Zunahme an Feuchtigkeit und der Verringerung des Porenvolumens in der Miete. Die Beziehung ist für jedes Substrat unterschiedlich und abhängig von seiner Körnung sowie seiner Wasserhaltefähigkeit (MUSTIN, 1987). Das Porenvolumen der Miete wird durch den Feuchtegehalt beeinflusst. Über 60% Feuchte wird die Luftmenge für die Kompostierung knapp: Es kommt zu anaeroben Bedingungen und die Kompostierung stoppt (COOPERBAND, 2000; GODDEN, 19??). Darüber hinaus steigt mit zunehmendem Feuchtegehalt die Gefahr von Verdichtung und Strukturverlust. Strohhiger Kuhmist scheint dieser Regel nicht zu folgen. Auf Grund seiner großen Wasserhaltekapazität scheint eine Schwankung im Wassergehalt zwischen 57 und 73 % weder auf die Verdichtung noch auf die Luftführung einen Einfluss zu haben (DAS und KEENER, 1997).

Ein zu geringer Feuchtegehalt kann möglicherweise zur Selbstentzündung führen. Mittels der Feuchtigkeit kann die Temperatur gepuffert werden, dank der größeren thermischen Trägheit von Wasser gegenüber Luft (COOPERBAND, 2000).

Auch für die Entwicklung von Mikroorganismen ist ein Minimum an Wasser nötig. Unter 40 % Feuchtigkeit verläuft die Kompostierung von organischer Substanz langsam (HONG *et al.*, 1984), da die Mikroorganismenaktivität stark reduziert ist.

Bei genauer Betrachtung erkennt man, dass die Feuchtebedingungen die Mikroorganismenpopulation beeinflussen. Die Bakterien sowie die Aktinomyceten wachsen und arbeiten bei höheren Wassergehalten als die Pilze, obwohl die Aktinomyceten mitunter Trockenheit besser ertragen als die Bakterien. Folglich sind bei sinkendem Feuchtegehalt in der Kompostmiete nur noch die Pilze aktiv und die Temperaturen fallen auf 40 - 50 °C ab. Die festen Kompostpartikel werden von einem grau-weißen Belag aus Pilzmycel überzogen. Diese Zonen sind bei Berührung oft trocken und zerfallen zwischen den Fingern zu grauem Staub (MUSTIN, 1987).

Im Kompostierungsverlauf kann sich der Feuchtegehalt aus zwei Gründen in entgegengesetzte Richtungen entwickeln (MUSTIN, 1987):

- Tendenz zum Anstieg, weil Mikroorganismen, die in Anwesenheit von O₂ organische Substanz abbauen, Wasser produzieren. Man nennt dieses Wasser „*metabolisches Wasser*“,

- Tendenz zur Verringerung durch die kombinierte Wirkung von Temperaturerhöhung und Luftzirkulation, was zu Verlusten in Form von Wasserdampf führt.

Praktische Schlussfolgerung:

Die Austrocknung einer Kompostmiete erfolgt umso schneller, je stärker die Belüftung (Zwangszirkulation oder Umsetzen) und je höher die Temperatur sind (MUSTIN, 1987).

Die optimale Feuchtigkeit schwankt in Abhängigkeit vom Substrat; man findet in der Literatur Werte zwischen 45 und 70 Gewichts-Prozent. Einige Autoren empfehlen als Faustregel Werte zwischen 55 und 65 Gew.% (DAS & KEENER, 1997).

Praktiker empfehlen, den Feuchtigkeitsgehalt mit einer einfachen Methode, der Faustprobe, zu bestimmen (s. Abb. 2). Dazu nimmt man eine Hand voll Kompostmaterial und presst es in der Faust. Wenn Wasser austritt, ist das Material zu nass, wenn beim Öffnen der Faust das Material zerfällt, ist es zu trocken und wenn das Material seine Form behält, ist die Feuchte optimal (DUNST, 1991).

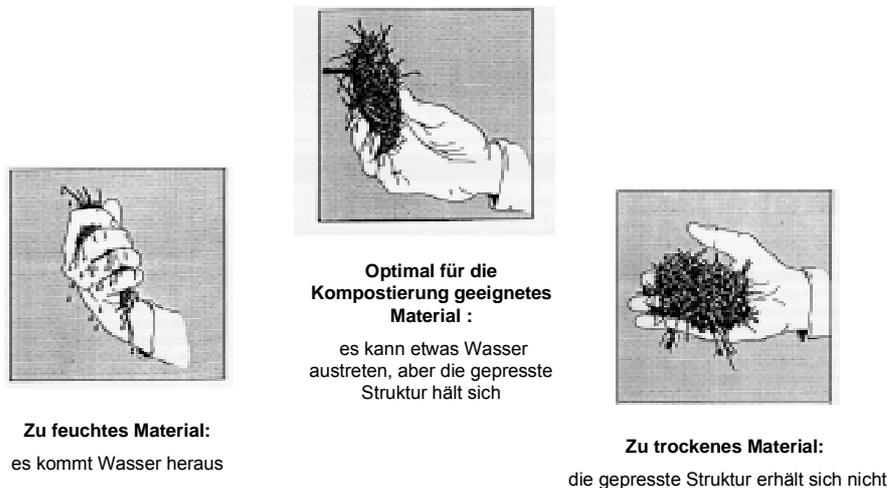


Abb. 2 : die 'Faustprobe', eine einfache und praktische Schätzmethode für den Feuchtigkeitsgehalt von Kompost (nach Dunst, 1991)

Die Temperatur¹

Der Temperaturanstieg ist einer der wichtigsten bei der Kompostierung angestrebten Effekte. Diese Erhitzung ist der Grund für die Zerstörung von bestimmten pathogenen Keimen und verschiedenen Parasiten, für die Verdampfung des Wassers und dem beschleunigten Abbau von organischer Substanz. Die Temperaturen werden als optimal angesehen, wenn der gewünschte Hygienisierungseffekt erreicht wird (um 65°C) oder wenn sich die biologischen Prozesse in der Kompostmiete gut entwickeln (55 - 60°C) (KISLIG, 1989). Höhere Temperaturen (Verlangsamung der Aktivität der meisten Mikroorganismen durch „Kochen“ des Kompostes), werden ebenso wie zu geringe Temperaturen (unter 40°C), bei denen der thermische Effekt für die angegebenen Kompostierungsziele nicht ausreicht (Hygienisierung des Substrats, schnelle Abbaugeschwindigkeit), besser vermieden.

Der Temperaturanstieg kommt von der Mikroorganismenaktivität in der Kompostmiete, welche exotherme Oxidationsreaktionen durchführen.

Man muss unbedingt darauf hinweisen, dass die Hitze keine direkte Folge der Mikroorganismenaktivität ist: Sie ist nur zum Teil eine Folge davon. Die von den Mikroorganismen produzierte Wärme wird von der Miete mehr oder weniger gut

zurückgehalten. Die Temperatur in der Miete ergibt sich aus der Bakterientätigkeit und den thermischen Eigenschaften des Mietenmaterials.

Die durch die Mikroorganismen produzierte Wärme hängt von der Abbaugeschwindigkeit der Bestandteile (tierische Materialien und kohlenhydratreiche pflanzliche Ausgangsstoffe werden besser abgebaut als ligno-cellulosehaltige) und dem Energiegehalt des Substrats (der Abbau von einem Gramm Kohlenhydrate liefert weniger Energie als der Abbau von Eiweiß oder Fett) ab.

Die Temperaturübertragung (eingestuft nach abnehmenden Verlusten) erfolgt in der Kompostmiete auf drei Arten: Strahlungswärme (Infrarot), Wärmeleitung und Konvektion (die Verluste werden durch Umsetzen und Zwangsbelüftung größer). Das thermische Verhalten einer Kompostmiete beruht auf der spezifischen Wärme und der Wärmeleitfähigkeit des Materials, welche wiederum von der Feuchtigkeit der Miete (Anstieg der Verluste mit Anstieg der Feuchtigkeit) und vom Reifegrad (Verringerung der Verluste mit steigender Polymerisation des organischen Materials und Anstieg des mineralischen Anteils während der Kompostierung) abhängen.

Praktische Schlussfolgerungen:

- Die Wärmeleitung ist im optimalen Feuchtebereich der Miete verhältnismäßig gering; unter diesen Bedingungen ist eine große Miete stärker selbst-isolierend und hält die Wärme besser als eine kleine Miete.
- Eine Miete, deren Temperatur auf Grund der hohen Feuchte schlecht ansteigt (hoher Wassergehalt und geringes Porenvolumen), ist vor allem eine Miete, die schnell ihre Wärme verliert (erhöhte Wärmeleitung).

Isolierende Abdeckungen (zum Beispiel ein „Mantel“ aus Stroh) haben einen internen Temperaturanstieg und eine Stabilisierung auf einer Gleichgewichtstemperatur (Kompensation der Verluste durch Wärmeproduktion) zur Folge. Trotzdem Obacht: Ist die Isolationswirkung zu stark, besteht die Gefahr der Selbstentzündung.

Zusammenfassend betrachtet ist die Temperatur ein mit Vorsicht zu gebrauchender Indikator für die Beurteilung von Umsetzungsprozessen und der mikrobiellen Aktivität in der Miete:

- Ein schwacher Anstieg oder ein starkes Abfallen der Temperatur am Anfang der Kompostierung weisen zuverlässig auf schlechtes Funktionieren hin.
- Auch wenn die optimale Temperatur während einer Kompostierungsphase eingehalten wird, heißt das nicht zwangsläufig, dass in der aeroben Phase das optimale Ergebnis erreicht wurde (zum Beispiel kann die Temperatur durch die Isolierung oder schlechte Wärmeleitfähigkeit hoch bleiben, obwohl die Mikroorganismen ihre Aktivität eingestellt haben).

Auf die Aktivität der Mikroorganismen und den Temperaturverlauf in der Kompostmiete wird in § 4.1.2.2. näher eingegangen.

Struktur und Dichte

Volumen und Masse der Kompostmiete nehmen im Verlauf der Kompostierung aus zwei Gründen ständig ab (MUSTIN, 1987):

- Durch Zusammenfallen (Abbau des Substrates) und das Sich-Setzen der Miete.
- Durch Verringerung der organischen Masse infolge von Abgabe von CO₂ und flüchtigen Substanzen sowie von Wasserverlust durch Verdunstung. Bei einem optimalen C/N-

Verhältnis ist im Mittel ein Verlust an organischer Substanz von 35 - 50 % zu erwarten. Die Abnahme ist umso stärker, je besser die Ausgangsmaterialien abbaubar sind (zum Beispiel über 50 % bei Klärschlämmen) und schwächer für schlecht abbaubare Materialien (25 - 40 % für an Ligno-Cellulosefasern reichen Materialien).

Die Verringerung von Volumen und Masse kompensieren sich teilweise: Die Dichte am Ende ist ähnlich der Dichte zu Beginn.

Was sich dagegen verändert, ist die Struktur der Kompostmiete. In Abhängigkeit von Ausgangsmaterial und Abbaugeschwindigkeit ist das Zusammensacken der Miete mehr oder weniger schnell und bedeutend. Dadurch werden die Porosität und die Luftzirkulation reduziert und der Kompostierungsprozess möglicherweise blockiert. Zur Wiederherstellung aerober Verhältnisse kann deshalb ein Eingriff erforderlich werden (siehe § 4.1.5.)

Das C/N-Verhältnis

Das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zum Gesamt-Stickstoff (C/N-Verhältnis) sinkt im Kompostierungsverlauf (MUSTIN, 1987): Der Kohlenstoff geht schneller verloren (hauptsächlich in Form von CO₂) als der Stickstoff (vorwiegend als gasförmige Verluste in Form von NH₃).

Der Stickstoffbedarf während der Kompostierung ist abhängig vom Gehalt an leicht abbaubaren kohlenstoffhaltigen Verbindungen. Je schwieriger das Substrat abbaubar ist, desto geringer braucht der optimale Stickstoffgehalt zu sein (MUSTIN, 1987). Es ist tatsächlich so, dass wenn der Kohlenstoff langsam abgebaut wird, sich mineralischer Stickstoff anreichern kann, was gegenüber dem Bedarf für die Mikroorganismen (zur Produktion von Enzymen und anderen Proteinen) zu einem Missverhältnis führen kann, was zu hohen Stickstoffverlusten durch Abgasung führen kann (HAMMOUDA und ADAMS, 1987).

Unter den von MUSTIN (1987) mitgeteilten Versuchsbedingungen hat sich ein C/N-Verhältnis zwischen 70 und 20 für die aeroben Umsetzungsvorgänge als am besten erwiesen. Für durchschnittlich gut abbaubare Substrate wird ein C/N-Verhältnis zwischen 30 und 35 als optimal angesehen. Diese Zahl wird von anderen Autoren bestätigt und differenziert. GOLUEKE (1992) nimmt ein ideales C/N-Verhältnis von 30 an. Ist der Anteil an ligninreichem Material hoch (Holz), steigt das ideale Verhältnis auf 35 bis 40 an, da ein großer Teil an Kohlenstoff für die Mikroorganismen schwer verfügbar ist.

Das Ausgangsverhältnis von C/N hat auch einen Einfluss auf die Nährstoffverluste (GODDEN, 1995): Nach SOMMER und DAHL (1999) reduziert die Anhebung des C/N-Verhältnisses auf über 20 Stickstoffverluste und GODDEN (1995) setzt Verluste an Stickstoff und Kalium praktisch gleich null für ein C/N von 35. Für PARÉ *et al.* (1998) ist das C/N weder ausreichend um einen guten Verlauf der Kompostierung noch um eine Minimierung der Verluste, insbesondere der Stickstoff-Verluste zu garantieren. Es wäre besser, das C/N-Verhältnis nicht als Verhältnis von $C_{\text{org}}/N_{\text{total}}$ zu beschreiben, sondern vielmehr als $C_{\text{leicht biologisch abbaubar}}/N_{\text{leicht biologisch abbaubar}}$, wie GODDEN bestätigt (persönliche Mitteilung).

Seit rund 10 Jahren werden neue Methoden zur Analyse und Charakterisierung von organischen Substanzen sowohl von staatlichen als auch von privaten Interessenten (Untersuchungslabors) entwickelt und verfeinert. Diese Methoden zerstören das Untersuchungsgut nicht oder schrittweise und können die organischen Substanzen präziser und differenzierter charakterisieren (BALESDENT *et al.*, 2000; ROBIN, 1997a).

Diese Methoden sind sicher von Interesse, um ein in grossen Mengen verkauftes Wirtschaftsgut vor dessen Ausbringung zu untersuchen, oder um eine Genehmigung für dessen Vertrieb zu erhalten. Für einen Landwirt, der lediglich seinen Stallmist kompostieren will, sind sie dagegen nur von geringem Interesse.

In einem sehr praxisorientierten Ansatz wird ein C/N-Verhältnis von 25 bis 35 empfohlen (GODDEN, 1995), sofern die Menge an leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen mit den Mengen an leicht verfügbarem Stickstoff zusammenpasst. In der Praxis wird man nach kompostierbaren und nicht kompostierbaren Materialien unterscheiden und das C/N-Verhältnis ist nichts weiter als eines von vielen Kriterien, die die „Kompostierbarkeit“ eines Substrats beschreiben.

Der pH-Wert

Die optimale pH-Bandbreite für die Kompostierung ist gleichzeitig diejenige mit optimalen Lebensbedingungen für die Mikroorganismen: Sie liegt um den neutralen Bereich.

Die Bakterien haben ihr pH-Optimum nach Literaturangaben zwischen 6 und 8 (COOPERBAND, 2000; MUSTIN, 1987).

Pilze sind toleranter: Ungefähr zwischen 5 und 8,5 (COOPERBAND, 2000; MUSTIN, 1987). Für diese scheint die hemmende Wirkung durch den pH indirekt durch eine Verringerung und Veränderung der Nährstoffverfügbarkeit zu erfolgen (MUSTIN, 1987). Pilze bevorzugen saure Bedingungen. Die Basidiomyceten haben die Besonderheit, keine pH-Werte über 7,5 zu ertragen (TUOMELA *et al.*, 2000).

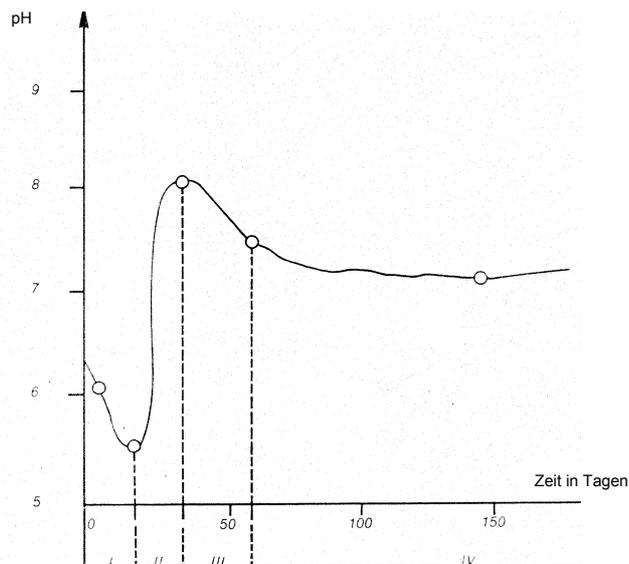
Zusammenfassend kann man feststellen, dass ein saures Milieu Bakterien und Pilze begünstigt, während ein basisches Milieu für Aktinomyzeten und Alkalibakterien günstig ist (LECLERC, 2001).

Außer den Auswirkungen auf die Mikrobiologie der Kompostierung sind bei einem erhöhten pH-Wert höhere Stickstoffverluste in Form von Ammoniak zu befürchten. Die Schwellenwerte schwanken in der Literatur stark: COOPERBAND (2000) gibt einen Wert von 7,5 an, während MICHEL *et al.* (1996) von 8,2 für Grüngut redet. Bei pH 9,24 (was dem $pK_a[NH_4^+/NH_3]$ entspricht), liegt theoretisch gleich viel Ammonium wie Ammoniak in der Miete vor (DRIEUX, 1993).

Während der Kompostierung gibt es viele Prozesse, die auf den pH-Wert einwirken können (MUSTIN, 1987; HELLMANN *et al.*, 1997; TUOMELA *et al.*, 2000). Die Ansäuerung kann den pH-Wert bis auf 4 absenken.

Der pH-Wert entwickelt sich stark im Verlauf der Kompostierung, man unterscheidet im allgemeinen 4 Phasen (siehe Abbildung 3):

- Phase der Säurebildung (I): der pH fällt ab. Die Organismen produzieren viel CO_2 und organische Säuren zu Beginn der thermophilen Phase.
- Alkalisierungsphase (II): der pH steigt. Die Bakterien hydrolysieren den Stickstoff aus Proteinen und organischen Verbindungen, wobei Ammoniak freigesetzt wird.
- pH-Stabilisierungsphase (III): das C/N-Verhältnis sinkt ab, die Reaktionen werden langsamer. Ammoniak ist gasförmig verloren gegangen (besonders bei $pH > 8$) und der Stickstoff wird von den Mikroorganismen zur Synthese von Humuskomponenten gebraucht.
- Stabile Phase (IV): Annähernd neutral: Der Kompost ist auf dem Weg zur Reifung. Die Stabilität kommt von den langsamen Reaktionen und dem Puffervermögen des Humus.



**Abb. 3: Entwicklung des pH-Werts im Verlauf der Kompostierung
(nach Poincelot, 1974)**

In der Praxis braucht man sich um den pH-Wert während der Kompostierung wenig zu kümmern, da er schwierig zu regulieren ist und im allgemeinen im Bereich der für die Entwicklung der Mikroorganismen tolerierbaren Werte liegt.

Der Gehalt an anderen Hauptnährstoffen

Für die gesamten gängigen Ausgangsstoffe liegt man über den Grenzgehalten an Hauptnährstoffen, wie Tabelle 1 zeigt.

Tabelle 1: Grenzgehalte (in % TS) an Hauptnährstoffen für die Kompostierung und deren Gehalt für Rindermist (Milchvieh, Laufstall) und für Grünguthäcksel

ELEMENT (% TS)	GRENZGEHALTE FÜR DIE KOMPOSTIERUNG MUSTIN (1987)	RINDERMIST LAUFSTALLHALTUNG (ZIEGLER und HÉDUIT, 1991)	GRÜNGUTHÄCKSEL (RYSSEL, pers. Mitt.)
P	0,2-0,3 (0,5-0,6 für Miste)	1,4	0,3
K	0,2-0,5	3,2	0,6
Mg	0,1-0,2	0,8	0,8
Ca	0,1-0,2	2,0	3,8

Man sieht daraus, dass die mikrobiologischen Umsetzungsprozesse im Komposthaufen für das Wachstum, die Entwicklung und die Aktivität der Mikroorganismen vor allem von den verfügbaren Quellen an Kohlenstoff und Stickstoff abhängig sind. Für Phosphor gilt das nicht uneingeschränkt, da dieses Element in verschiedenen Verbindungen vorliegt, die nicht alle von den Mikroorganismen verwertet werden können.

Diese Elemente bestätigen die Bedeutung des vorhergehend beschriebenen C/N-Verhältnisses als teilweisen Nachweis für die Kompostierbarkeit des Ausgangsmaterials.

Während der Kompostierung gibt es keine großen Verluste an Hauptnährstoffen. Sie reichern sich an, wenn es nicht zu außergewöhnlichen Verlusten kommt.

4.1.2.2. Biologische Parameter

Bakterien, Aktinomyzeten und Pilze sind alleine für 95 % der Umsetzungsprozesse während der Kompostierung verantwortlich. Die Bakterien dominieren im Verhältnis zu den Aktinomyzeten und zu den Pilzen und sind für 80 - 90 % der Aktivitäten im Komposthaufen verantwortlich (MUSTIN, 1987, GODDEN *et al.*, 1983), besonders auf Grund ihrer Größe, Form und ihres Oberflächen/Volumen-Verhältnis (TUOMELA *et al.*, 2000), kurz ihrer räumlichen Anpassung.

Um die Kompostierung verstehen und beeinflussen zu können, muss man sich vergegenwärtigen, dass der größte Teil der Umsetzungen beim Kompostierungsprozess durch die Aktivität der Mikroorganismen erfolgt (KAISER, 1996).

Daraus lassen sich zwei Folgerungen ziehen:

- Die Umsetzungen der organischen Substanz im Komposthaufen bewirken sehr komplexe Nahrungsbeziehungen und Abhängigkeiten innerhalb einer aktiven und differenzierten Mikroorganismenpopulation.
- Einen solch komplexen Prozess sicher zu kontrollieren ist sehr schwierig. Man kann höchstens vermeiden, ihn zu behindern oder versuchen, ihn in eine Richtung zu lenken ohne ihn wirklich völlig kontrollieren zu können.

Biochemischer und mikrobiologischer Aspekt der Kompostierung

Betrachtet man die Vorgänge auf molekularbiologischer Ebene, kann man die Umsetzungsprozesse verstehen und vorsichtige Vorhersagen machen. Exakte mikrobiologische Untersuchungen sind für unsere Fragestellung zwar nur am Rande von Interesse, wir wollen aber dennoch auf die wichtigsten Zusammenhänge eingehen. Der größte Teil der Umsetzungsprozesse erfolgt durch extrazelluläre Enzyme (Exoenzyme werden von den aktiven Mikroorganismen produziert und an die Umgebung abgegeben) und intrazelluläre Enzyme (können nach dem Absterben der Mikroorganismen in die Umgebung abgegeben werden und dort mehr oder minder lange wirken bevor sie abgebaut werden). Der Begriff des Enzym-Substrat-Paares in einem vorgegebenen Medium erlaubt uns eine Annäherung an die Entwicklung der Umsetzungsprozesse und der mikrobiellen Besiedelung in einem Komposthaufen. Unter dem Einfluss der enzymatischen Aktivität wird das Substrat verbraucht und die Umgebungsbedingungen verändern sich. Dadurch werden die einen Organismen im Wachstum begrenzt und schließlich zerstört und der Weg für andere geöffnet. Mikrobiologen (HELLMANN *et al.*, 1997) haben die Sukzession der Mikroorganismenpopulationen in der Kompostmiete untersucht und sich dieses Merkmals bedient, um den Fortschritt des Kompostierungsprozesses beschreiben zu können.

Einteilung der Mikroorganismengemeinschaften

Die am Kompostierungsprozess beteiligten Mikroorganismen sind bodenbürtig (MUSTIN, 1987). Sie sind in allen zur Kompostierung oder zur Ausbringung auf Böden bestimmten Substraten in großer Zahl anzutreffen.

Man unterscheidet verschiedene Klassen von Mikroorganismen in Abhängigkeit von den für ihre Entwicklung optimalen Temperaturbereichen (s. Tab. 2).

Tabelle 2: Einteilung der Mikroorganismen nach optimalen Temperaturbedingungen für deren Wachstum und Entwicklung

	MUSTIN (1987)	FINSTEIN <i>et al.</i> (1999)
PSYCHROPHILE (nicht im Kompost)	0-30°C	< 15°C
MESOPHILE (am zahlreichsten)	30-45°C	25-40°C
THERMOPHILE (gering vertreten)	> 45°C, 50-60°C, maxi 90°C	45-80°C

Die Temperaturgrenzen sind bei den verschiedenen Autoren verhältnismäßig schwammig und inhomogen. Die Frage nach der Maximaltemperatur, bei der man noch enzymatische und mikrobielle Aktivität finden kann, stellt sich ebenfalls, ohne dass darauf eine klare Antwort gegeben wird. Eine Temperaturerhöhung beschleunigt eine biochemische Reaktion bis zu einer kritischen Temperatur, bei der das Enzym zerstört wird. Diese Denaturierung kann irreversibel sein und schon bei relativ geringen Temperaturen (40 - 50°C) eintreten. Dies umso mehr, je höher das Molekulargewicht und je komplexer die Struktur sind. Für MUSTIN (1987) liegen die höchsten kritischen Temperaturen selten über 80 - 85 °C.

Mikrobiologische Beschreibung der Kompostierung

In Kenntnis dieser Fakten unterteilt man die Kompostierung klassisch in 4 Phasen (LECLERC, 2001; HELLMANN *et al.*, 1997), die mit der Entwicklung verschiedener anderer Parameter in Beziehung stehen. Die wichtigste veränderliche Größe in einem Komposthaufen ist die Temperatur (HELLMANN *et al.*, 1997), von der angenommen wird, dass sie die Mikroorganismenaktivität und die Umgebungsbedingungen (Nährstoffangebot, Luft, pH....) widerspiegelt. Diese 4 Phasen sind (s. Abb. 4):

- Mesophile Phase (A)
- Thermophile Phase (B)
- Abkühlungsphase (C)
- Reifungsphase (D), diese letzte Phase kann sehr kurz sein, oder ganz fehlen.

In Deutschland werden meist nur 3 Phasen unterschieden:

- Abbauphase (≈ A + B)
- Umbauphase (≈ C)
- Aufbauphase (≈ D)

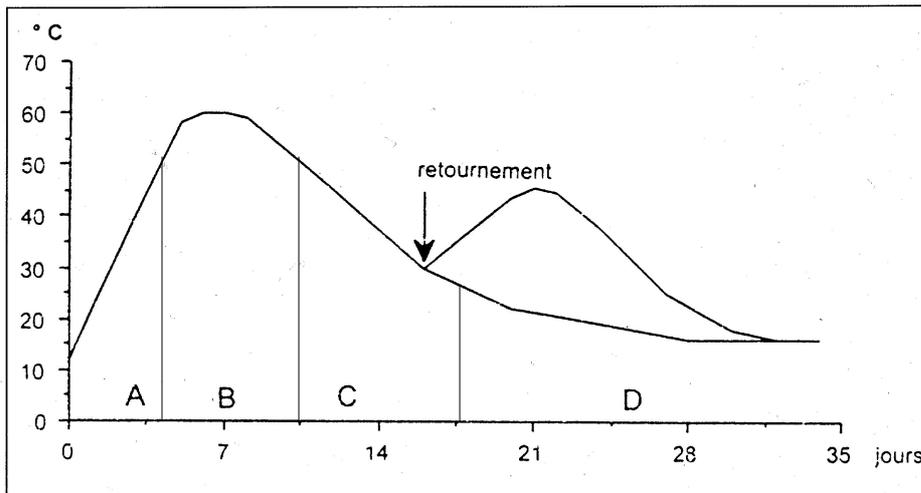


Abb. 4: Temperaturverlauf während der 4 Phasen der Kompostierung und Einfluss des Umsetzens (nach Godden, 1995b)

In § 4.1.5. werden wir sehen, dass man, um einen Umsetzungsprozess gegenüber einem anderen zu begünstigen, sich auf das bezieht, was in diesen verschiedenen Phasen abläuft. Die Untersuchung dieser Nährstoffbeziehungen auf intermediärem Niveau ist vereinfacht (KAISER, 1996) und beschränkt sich auf die Prozesse des primären Abbaus und der Humifizierung. Drei Fraktionen von organischer Substanz sind bei der Umsetzung während der Kompostierung besonders zu betrachten (VEEKEN *et al.*, 2000): Die Kohlenhydrate (Cellulose-Polymere und einfache Zucker), Lignin und stickstoffhaltige Verbindungen. Zu Beginn der Kompostierung werden die Kohlenhydrate in CO_2 und H_2O , die Stickstoffverbindungen in NH_3 umgewandelt. In den späteren Phasen folgen Cellulose und Hemicellulose und zum Schluss wird das Lignin abgebaut. Neben den Mineralisierungsprozessen kann organische Substanz in Humuskomponenten umgewandelt werden. Die Reste des Lignin-Abbaus dienen als Vorstufen für Humussubstanzen (TUOMELA *et al.*, 2000).

Mesophile Phase

Mit dieser Phase beginnt der Kompostierungsprozess. Sobald man eine Miete aufgesetzt hat und die Bedingungen (Durchlüftung, Wassergehalt, C/N ...) gut sind, beginnen unspezifische mesophile Mikroorganismen (hauptsächlich Bakterien und Pilze), die im Substrat vorhanden sind, sich zu entwickeln und einfache Verbindungen (einfache Zucker, Alkohole, Fette, Aminosäuren ...) sowie einen Teil der Polymere (Proteine, Nukleinsäuren, Stärke, Pektine, Hemicellulose, Cellulose ...) abzubauen. Diese intensive Aktivität bewirkt einen Temperaturanstieg (auf 30 - 40 °C in wenigen Stunden, längstens in wenigen Tagen), eine starke Freisetzung von CO_2 und eine Ansäuerung (LECLERC, 2001; HELLMANN *et al.*, 1997; TUOMELA *et al.*, 2000). Mit steigender Mieten temperatur nimmt die Menge an Mikroorganismen ab, der Anteil der Pilze geht zurück und macht Bakterien Platz, offenbar weil das leicht abbaubare Substrat zur Neige geht, also aus Konkurrenzgründen.

Thermophile Phase

Zu Beginn der thermophilen Phase herrschen die Bakterien vor (HELLMANN *et al.*, 1997) bis mit steigender Temperatur im Mieteninnern (bis auf 60 - 70 °C bei landwirtschaftlichen Komposten) nur noch die thermophilen Bakterien und die Aktinomyzeten überleben

(LECLERC, 2001; HELLMANN *et al.*, 1997). Zu Beginn dieser Phase, manchmal als „Temperatur-Peak“ bezeichnet, ist die mikrobielle Aktivität noch hoch und führt zu starker Freisetzung von CO₂ und Wasserdampf. Unter dem Effekt der Wärme und des Anstiegs des pH-Werts können in dieser Phase große Mengen an Stickstoff in Form von Ammoniak abgasen (DEWES, 1995; MORVAN und DACH, 1998).

Bei diesen hohen Temperaturen gehen einige Mikroorganismen von der vegetativen Form in eine Dauerform über. Diese Mikroorganismen, besonders die Bakterien (MUSTIN, 1987; TUOMELA *et al.*, 2000), sporulieren im Bereich von 65 °C. Die thermophile Phase übt also einen starken Selektionsdruck auf die Mikroorganismen aus, die nach diesem Temperatur-Peak vorhanden sind. Diese thermophile Phase ermöglicht eine Hygienisierung der Kompostmiete unter der Bedingung, dass die pathogenen Keime nicht sporulieren können.

In Gesellschaften, die durch extreme physikalische Bedingungen eingegrenzt sind (zum Beispiel durch die Temperatur), ist die Artenvielfalt im allgemeinen gering. Sie nimmt rapide ab, sobald eine Temperatur von 60-65°C überschritten wird. Bei 49, 50 oder 55°C, ist die Artenvielfalt (gemessen durch einen Spezialindikator, den Shannon-Index) ziemlich gleichbleibend. Es ist demnach besser, die 60 °C nicht zu überschreiten um eine Artenvielfalt und eine gute Anpassung an die Stoffwechselprodukte zu erhalten. Die Artenvielfalt ist umso wichtiger, je unterschiedlicher die Ausgangssubstrate sind (STROM, 1985).

Die Abkühlungsphase

Mit dem zur Neige gehenden Substrat und der Reduzierung der aktiven Mikroorganismenpopulationen infolge der Hitzeentwicklung, geht die Mikroorganismenaktivität schliesslich zurück und die Kompostmiete kühlt sich mehr oder weniger schnell ab, bis sie die Umgebungstemperatur erreicht (LECLERC, 2001). In der Praxis geht man davon aus, dass die thermophile Phase bei Temperaturen unter 50 °C im Mietenkern beendet ist. Nach dem Temperatur-Peak hat die mikrobielle Biomasse im Vergleich zur anfänglichen Biomasse um 95 % abgenommen (HELLMANN *et al.*, 1997). Das Substrat kann nun von neuem mit mesophilen Mikroorganismen besiedelt werden (LECLERC, 2001; HELLMANN *et al.*, 1997; TUOMELA *et al.*, 2000), aber man findet nicht die gleichen Populationen wie in der ersten Phase. Es handelt sich um Stämme, die in der Lage sind, in langsamen Prozessen Cellulose, Hemicellulose und Lignin abzubauen. In dieser Phase beginnt auch die Humifizierung und der Einbau von Stickstoff in komplexe Moleküle. Man nimmt sehr stark an, dass die Pilze in dieser Phase keine unwesentliche Rolle spielen. Tatsächlich beobachtet man, dass ihr Wachstum reduziert ist, wenn die Quellen an leicht verfügbarem Kohlenstoff und Stickstoff zurückgehen. Die Fähigkeit zum Ligninabbau erscheint in diesem Zusammenhang wie eine sekundäre Stoffwechselform oder eine Überlebensstrategie (TUOMELA *et al.*, 2000). Die Pilze widerstehen jedoch keinen Temperaturen über 55 - 60 °C.

Die Reifungsphase

In dieser letzten Phase kann man einen Anstieg der mikrobiellen Biomasse beobachten und man findet sowohl Bakterien als auch Pilze (HELLMANN *et al.*, 1997). In dieser Phase beginnt auch die Besiedelung durch die Makrofauna, im Besonderen durch die Kompostwürmer sofern sie in der Umgebung der Kompostmiete vorhanden sind (direkter Bodenkontakt der Kompostmiete). Die organischen Substanzen werden im Verhältnis zu den Ausgangsmaterialien stabilisiert und humifiziert und der pH-Wert bewegt sich in Richtung auf den Neutralpunkt (LECLERC, 2001). Die Reifungsphase dauert bis zur Ausbringung an, wenn der Kompost nicht durch Niederschläge vernässt. In der Praxis empfiehlt es sich, die Miete in dieser Phase abzudecken.

Ist es möglich, die Kompostmiete mit ausgewählten Mikroorganismen zu impfen?

Das ist eine sehr umstrittene Frage.

Fast alle Mikrobiologen zeigen auf, dass es keinen deutlich signifikanten Einfluss auf die Umsetzungsprozesse im Kompost hat, Mieten in praxisüblichem Maßstab bei der Kompostierung mit Reinkulturen oder handelsüblichen Präparaten zu impfen. Die Beobachtungen der Praktiker bei Versuchen bestätigen diese Ansicht. Die Autoren weisen darauf hin, dass bei massiver Zufuhr von zu Beginn nicht vorhandenen Organismen, diese binnen weniger Tage im Rahmen der Konkurrenz der Arten wieder verschwinden (MUSTIN, 1987). Wenn das Impfen mit Mikroorganismen unter Laborbedingungen auch funktionieren mag, ist es doch sehr unwahrscheinlich, damit in der Praxis Erfolg zu haben (Laure METZGER, persönliche Mitteilung).

Andererseits erscheint nach MUSTIN (1987) und einigen anderen Quellen (HÉRODY, persönliche Mitteilung) in der Praxis die Beimpfung mit altem Kompost oder Erde eher gerechtfertigt.

Wenn man regelmäßig das gleiche Substrat kompostiert, findet tatsächlich eine Art Selbstselektion aus der Masse der Arten hin zu den an die Kompostierungsbedingungen am besten angepassten Arten statt. Das legt den Gedanken nahe, dass *a priori*, die am besten an den Wettbewerb um Nahrung angepassten Mikroorganismen auch die aktivsten sind. Diese Organismen existieren ohne Zweifel in der Endphase der Kompostierung noch und ein massives Wiederbeimpfen (1 bis 10 % der zu kompostierenden Masse und mehr) hat deren schnelle Entwicklung zur Folge. Das funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie der Bodensatz im Weinfass bei der Weinbereitung. Die Praxis zeigt, dass die Rückführung von Kompost die Qualität und die Zusammensetzung des Kompostes gleichmäßiger macht.

Desweiteren können, wenn einige mikrobielle Nischen unbesetzt sind, Erde und alter Kompost dank ihrem Reichtum an Mikroorganismen und dank der Zusammensetzung des Substrats, dazu beitragen, mit großer Sicherheit die fehlenden Stämme zu ersetzen (FINSTEIN *et al.*, 1999)

Schließlich wird auch von gelungenen Impfungen unter natürlichen Bedingungen berichtet, wenn die Mikroorganismen in einem schützenden Substrat verabreicht werden (insbesondere Kompost wurde als ein solchermaßen effizientes Substrat benutzt, Thierry LEBEAU, persönl. Mitteilung)

Dessenungeachtet versprechen die Impfungen, die nach dem Überschreiten der Temperaturspitze erfolgen, wenn die Zahl der Mikroorganismen stark reduziert ist, den größten Erfolg (THAKUR *et SHARMA*, 1998). Es muss dann jedoch eine große Population eingebracht werden. Zum Beispiel scheint es interessant zu sein, mesophile cellulolytische Pilze für die Kompostierung von Grüngut einzubringen (MUSTIN, 1987); die Abbaugeschwindigkeit kann um etwa 20 % steigen, das C/N-Verhältnis ist nach 4 Wochen signifikant geringer (was auf einen stärkeren Abbau hinweist), der Verlust an Kohlenstoff liegt nach 8 Wochen bei 54 % (im Vergleich zu 45 % ohne Impfung).

Es ist auf alle Fälle so, dass für das Funktionieren der Kompostierung eine ganze Menge von Voraussetzungen erfüllt sein müssen, auf jeden Fall deutlich mehr als das Hinzufügen eines speziellen Mikrobenstamms, von dem man letztlich weder weiß, ob er überleben wird noch ob er die erwartete Qualitäts- oder Produktivitätssteigerung herbeiführen wird. Die Frage nach der Effizienz der Impfung erscheint uns von daher, einmal abgesehen von der Impfung mit altem Kompost oder mit Erde, als ziemlich nebensächlich.

In § 4.1.5. werden wir auf Substanzen eingehen, die die Aktivität der Mikroorganismen oder die Umsetzungsprozesse der organischen Substanz direkt oder indirekt positiv beeinflussen. Diese Substanzen sind meist Mineralsalze, Hormone, Vitamine, Enzyme, ... Man bezeichnet sie im allgemeinen als Zuschlagstoffe und Kompostierungsmittel.

4.1.2.3. Zusammenfassung: Auf welche Parameter kommt es für eine erfolgreiche Kompostierung an?

Wir können festhalten, dass die Kompostierung vor allem ein sehr aktiver aerober, biologischer Prozess ist. Für gute Erfolgsaussichten muss man in der Praxis das Ausgangsmaterial extrem sorgfältig auswählen. Wenn die Kompostierung nicht richtig in Gang kommt oder eine Korrektur des C/N-Verhältnisses, der Struktur, der Feuchtigkeit, ... nötig wird, ist es sehr schwierig, in den laufenden Prozess wirkungsvoll einzugreifen, um wieder gute Bedingungen herzustellen. Die allgemeinen Empfehlungen, die man geben kann, betreffen die Wahl des Ausgangsmaterials sowie die Beeinflussung des Temperaturverlaufs und der Luftverhältnisse.

Nehmen Sie ein ausgeglichenes Ausgangsmaterial (C/N 25 bis 30), ausreichend aber nicht zu feucht (Faustprobe), mit einer guten Struktur, die auch erhalten werden kann.

Während der Kompostierung ist darauf zu achten, dass der Temperaturanstieg auch tatsächlich stattfindet. Erfassen Sie die Temperatur möglichst objektiv (siehe technische Anleitung für die Herstellung eines Kompostmieten-Thermometers in Anhang 7). Am besten wäre, die Temperaturmessungen während der ersten Jahre aufzuzeichnen (Kurve) und diese Messungen mit allgemeinen Beobachtungen zu verbinden und zu versuchen, Zusammenhänge mit der Mietenaktivität, der Abbaugeschwindigkeit und dem Masseverlust, der Witterung (Niederschläge, Lufttemperatur, Wind...) herzustellen. Alle diese Elemente gemeinsam bringen einen Erfahrungsschatz zusammen und erfordern einen gewissen Lernprozess, damit die Kompostierung genügend zuverlässig wird.

Weiterhin ist es wichtig, aerobe Bedingungen in der Miete sicherzustellen. Man kann diese erreichen, wenn man regelmäßig das Mieteninnere untersucht (fettig-glänzende Stellen, mit unangenehmen Gerüchen und schwarz oder grün gefärbt, deuten auf anaerobe Bedingungen hin).

Schließlich kann man eventuell eine bessere Besiedelung der Kompostmiete mit Mikroorganismen erreichen, wenn man zu Beginn Erde oder alten Kompost hinzufügt.

4.1.3. Was ist „Humus“?

Bei Gesprächen über Kompost oder Kompostierung wird häufig die Festlegung der organischen Substanz und die Humusbildung bzw. die Bildung von Humuskomponenten angesprochen. Diese Verbindungen sind sehr zahlreich und verschieden und werden unter äußerst unterschiedlichen Bedingungen gebildet. Der folgende Abschnitt befasst sich mit dem Humus und den Humuskomponenten.

4.1.3.1. Charakterisierung der Humuskomponenten

Unter dem Sammelbegriff Humus wird eine komplexe und äußerst diversifizierte biochemische Realität zusammengefasst. Daher ist es wesentlich treffender, von Humuskomponenten oder Huminstoffen zu sprechen.

Humus ist eine schwärzliche kolloidale Substanz, die durch den Abbau pflanzlicher und tierischer Abfälle durch Bodenmikroben entsteht (Dictionnaire encyclopédique Larousse, 1979). Abbau und Festlegung können mehr oder weniger stark ausgeprägt sein. Daher unterscheiden wir verschiedene Humuskomponenten abhängig von ihrem Humifizierungsgrad.

Biochemisch gesehen bestehen Humuskomponenten aus organischen Aromatenringen und lateralen Kohlenstoffketten, den so genannten Aliphaten (MUSTIN, 1987). Sie unterscheiden sich durch:

- ihr Molekulargewicht
- die Prozentanteile der verschiedenen funktionellen chemischen Gruppen
- ihre Viskosität und Oberflächenspannung

Nach diesen Kriterien unterteilt, sind die Humuskomponenten also:

- Fulvosäuren
- Huminsäuren
- Humin

• Fulvosäuren

Haben ein geringeres Molekulargewicht als die anderen Humuskomponenten. Es schwankt zwischen 100 und mehr als 100.000 (MUSTIN, 1987). SOLTNER (1996) gibt nicht die gleichen Molekulargewichtspanne an, sondern unterteilt die Fulvosäuren in drei klare Untergruppen:

- die wasserlöslichen Krenosäuren, mit geringem Molekulargewicht zwischen 100 und 500,
- die alkohollöslichen Hymatomelansäuren, mit einem Molekulargewicht zwischen 500 und 900,
- die salzsäurelöslichen Fulvosäuren, deren Molekulargewicht zwischen 900 und 2.000 liegt.

Fulvosäuren verfügen über einen aromatischen, wenig kondensierten Kern (s. Abbildung 5), umgeben von einer lockeren Struktur funktionaler Gruppen aus azyklischen Aliphatketten und weiteren organischen Verbindungen (MUSTIN, 1987).

Sie sind bei allen pH-Werten wasserlöslich (TUOMELA *et al.*, 2000). Fulvosäuren scheinen für Wasserrückhaltevermögen und Benetzbarkeit der Böden eine entscheidende Rolle zu spielen.

• Huminsäuren

Ihr Molekulargewicht kann nach MUSTIN (1987) zwischen 1.000 bis über 1.000.000 schwanken und zwischen 1.000 und 100.000 nach SOLTNER (1996). Letzterer unterscheidet außerdem zwischen braunen Huminsäuren (mit einem Molekulargewicht zwischen 1.000 und 10.000) und grauen Huminsäuren (50.000 bis 100.000).

Diese Säuren sind unter sauren Bedingungen nicht wasserlöslich (SOLTNER, 1996; TUOMELA *et al.*, 2000).

Sie haben aromatische Kerne (s. Abbildung 5), die in Schichten angeordnet zu sein scheinen. Auf diesen Kernen lagern sich Aliphatketten und gewisse organische Verbindungen an (Zucker, Proteine oder Polypeptide, organische Säuren...) (MUSTIN, 1987).

• Humin

Sein Molekulargewicht liegt bei 500.000 (SOLTNER, 1996) und kann bis zu 1.000.000 (MUSTIN, 1987) erreichen.

Humin ist bei allen pH-Werten und in Lösungsmitteln unlöslich (SOLTNER, 1996; TUOMELA *et al.*, 2000).

Es weist wiederum eine ähnliche Molekularstruktur (MUSTIN, 1987) auf wie die Huminsäuren (s. Abb. 5: geschichtete aromatische Kerne, auf denen sich Seitenketten und organische Verbindungen anlagern).

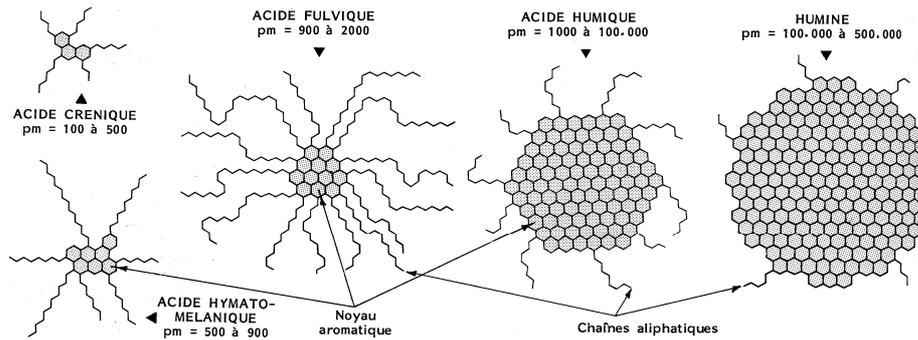


Abb. 5: Biochemie der Huminstoffe
(nach Soltner, 1996)

4.1.3.2. Bedeutung der Humusuntersuchung für die Untersuchung der Stickstoffmineralisierung von Komposten

• Humus und Stickstofffestlegung

Stickstoff liegt im Boden fast ausschließlich in organischer Form vor. Durch Hydrolyse freigesetzte Proteine, Polypeptide und Aminosäuren stellen ihrerseits nur 20 bis 50% des Gesamtstickstoffs im Boden dar (MUSTIN, 1987), die verbleibenden 50 bis 80% stammen also aus Humuskomponenten.

Molekular gesehen wird Stickstoff im Verlauf der Humusbildung in komplexen organischen Verbindungen gespeichert, insbesondere in Huminstoffen (LECLERC, 1995; VEEKEN *et al.*, 2000). Dieser Stickstoff liegt zunächst in den Aminosäuren der Seitenketten vor (s. Abbildung 6) und lagert sich im Laufe der Humifizierung als Aminogruppe oder als heterozyklische Verbindung in den aromatischen Kern ein. Letztere ist wesentlich schwerer freisetzbar als Erstere.

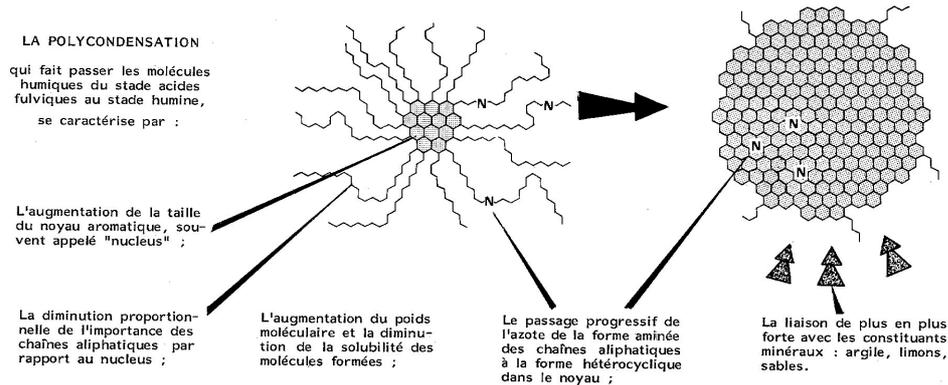


Abb. 6: Der Einbau von Stickstoff in Huminverbindungen im Laufe der Humifizierung (nach Soltner, 1996)

Der Stickstoff ist also genau wie der Sauerstoff eine der strukturgebenden Humuskomponenten. Diese beiden Atome erlauben den Aufbau „chemischer Brücken“ (s. Abb. 7) zwischen aromatischen Kernen (Phenole, Chinone). Der Aufbau dieser Bindungen ermöglicht die Aggregation von Aromatenringen und die Kondensation weiterentwickelter Humuskomponenten (SOLTNER, 1996).

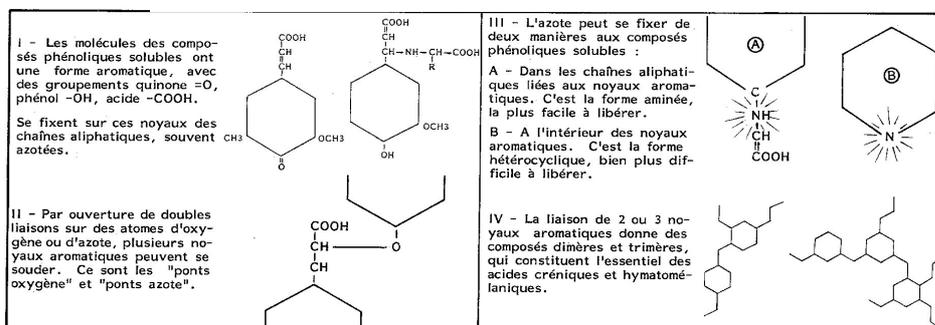


Abb. 7: Die besondere Rolle des Stickstoffs in der Architektur von Huminverbindungen und der Einfluss der Architektur auf die Stabilität des Stickstoffs (nach Soltner, 1996)

Das Verständnis der Bildung dieser Huminstoffe ist also grundlegend, da die potentielle Mineralisierung des in Komposten enthaltenen Stickstoffs – der Dreh- und Angelpunkt unserer Arbeit – eng mit den biochemischen Eigenschaften dieser Verbindungen verknüpft ist.

Der im Dauerhumus enthaltene Stickstoff (aromatische Gruppen) ist tatsächlich sehr stabil, d.h. kaum pflanzenverfügbar.

Der in den Polypeptiden der Seitenketten enthaltene Stickstoff hingegen ist wesentlich labiler und hat eine mittlere Erneuerungsdauer von 25 Jahren, was für Bodenprozesse eine kurze Zeitspanne ist. Die Seitenketten haben ein niedriges C/N Verhältnis (~5) und können bis zu

10% des Kohlenstoffs im Boden binden. Sie sollen alleine für 80% der jährlichen Stickstoffmineralisierung verantwortlich sein (MUSTIN, 1987), was nicht vernachlässigt werden darf.

Humuskomponenten können nach ihrem Stickstoffgehalt klassifiziert werden (MUSTIN, 1987):

- Huminsäuren haben den höchsten Stickstoffgehalt (5%, Spanne zwischen 3,5 und 6%),
- es folgen die Fulvosäuren (2 bis 3,5%),
- und letztendlich Humin mit ca. 1%, oder geringer.

Laut Yves HÉRODY (persönl. Mitteilung) bestimmt ein Anpassungsmechanismus in gemäßigttem Klima in der kalten Jahreszeit die Humifizierung durch Mikroorganismen und die Stickstofffestlegung im so entstehenden Humus. Um einem Stickstoffverlust des Bodens nach dem Ende der biologischen Aktivität vorzubeugen, wenn die Gefahr der Nitratauswaschung durch Regenfälle besteht, haben die Mikroorganismen einen Stickstoffspeichermechanismus in stabilen Verbindungen entwickelt, die sie in der warmen Jahreszeit wieder aufbrechen können.

Diese Information muss noch bestätigt und untermauert werden, könnte aber den Kern einer qualitätsgestützten Kompostbetrachtung darstellen.

• Humus und weitere chemische Elemente und Verbindungen

Phosphor, anorganische Phosphorverbindungen und Schwefel spielen keine strukturbildende Rolle in der Humifizierung, was aber nicht bedeutet, dass sie keine festen Verbindungen mit Humus eingehen, die Humophosphate, welche unter Beteiligung von Kalzium, Eisen und Aluminium gebildet werden. Humophosphate spielen in der Phosphatversorgung von Pflanzen eine zwar wichtige, aber noch nicht ausreichend erforschte Rolle. Schwefelhaltige Elemente spielen ihrerseits eine wichtige Rolle in der Bodenfruchtbarkeit (MUSTIN, 1987) und insbesondere in der Entwicklung der Mikroorganismen.

Neben den Humuskomponenten liegen zahlreiche andere Verbindungen vor oder begleiten sie. Hier wären insbesondere Zucker (einfache und komplexe) und organische Stickstoff-, Phosphor- und Schwefelverbindungen (MUSTIN, 1987) zu nennen.

4.1.3.3. Humifizierung in den Böden und verschiedene Humustypen

Die Kenntnisse über Humusbildung in Kompostmieten sind noch sehr eingeschränkt. Oft werden Rückschlüsse aus der Humifizierung im Boden auf Mieten übertragen.

Die Humifizierung ist kein vom Bodenleben isolierter und unabhängiger Prozess, sondern geschieht in Interaktion mit der Umgebung. Sie beginnt mit der Produktion makromolekularer Verbindungen wie den Huminsäuren, die dann umorganisiert und zu Fulvosäure oder Humin abgebaut werden (MUSTIN, 1987).

Der pH-Wert spielt in der Humusbildung eine wichtige Rolle: die Bakterienaktivität, insbesondere cellulolytischer Bakterien, kommt bei einem pH-Wert unter 6 praktisch zum Erliegen und andere Organismen übernehmen deren Platz (Aktinomyceten bis 5,5; Pilze bis 3,0). In sauren Böden ist die Humifizierung stark gehemmt (LECLERC, 1995).

Vorläufer der Huminstoffe sind insbesondere aromatische Übergangsverbindungen. Man kann feststellen, dass praktisch die gesamte frische organische Substanz vor ihrer Umwandlung zu einem organischen Huminmolekül von Bodenorganismen „verdaut“ wird (MUSTIN, 1987).

Im Boden ist der Humus fast vollständig in der organischen Substanz enthalten, die an die mineralischen Komponenten des Bodens gebunden ist (MUSTIN, 1987), dies ist der Ton-Humus-Komplex.

Tabelle 3: Entstehungsbedingungen für unterschiedliche Humustypen und Mineralisierungsgeschwindigkeit (nach SOLTNER, 1996 und BRUN, 1997)

	<i>innig durchmischter Humus</i>	<i>unvollständig durchmischter Humus</i>	<i>überlagerter Humus</i>
<i>belüftetes Milieu</i>	MULL langsame Mineralisierung von calciumhaltigem Mull und schnelle Mineralisierung der Mullaufgabe von Waldböden	MODER verlangsamte Mineralisierung	MOOR Mineralisierung stark erschwert
<i>zeitweise wasser-gesättigtes Substrat</i>	-	ANMOOR langsame Mineralisierung	-
<i>permanent wasser-gesättigtes Substrat</i>	-	-	TORF Mineralisierung stark erschwert

Die Humusschicht bebauter Böden gleicht aufgrund der landwirtschaftlichen Anbaumethoden der Humusform Mull (kalziumhaltiger und Waldbodenmull): hier wären Bodenbelüftung und Homogenisierung der Oberflächenhorizonte, Gabe kalkhaltiger Bodenverbesserer auf sauren Böden, Gabe organischer Bodenverbesserer und Rückführung von Pflanzenbestandteilen zu nennen. Die Landwirtschaft hat daher auf die Humusbildung eine uniformisierende Wirkung.

• Auflagehumus

Der Begriff des Auflage- oder Rohhumus wird für Pflanzenbestandteile verwendet, die sich Mikroorganismen gegenüber besonders abbauresistent zeigen, daher nur teilweise zersetzt werden und somit einen Humusvorläufer darstellen, der sich langsam zu einem Humus weiterentwickelt.

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Ausgangspflanzen haben beträchtlichen Einfluss auf das Endprodukt. Diese Pflanzen enthalten gewisse Stoffe, die entweder kaum biologisch abbaubar oder in der Lage sind, die Mikrobenaktivität zu stabilisieren (z.B. In Harzen enthaltene aromatische Terpene oder mehrwertige Alkohole mit bakteriostatischen Eigenschaften). Die Mikroorganismen sollen dann in einer zweiten Phase auf der Ebene des Vor-Abbaus, der neugebildeten Verbindungen und der Humusneuorganisation wirken.

Humus der Typen Moder und Moor wird hauptsächlich durch gebremste Humifizierung gebildet. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen findet man sie im allgemeinen nicht vor, da sie Kennzeichen ursprünglicher Böden sind (Sande, Ödland und Bleicherde, saure, kalkarme und durchlässige Böden) oder primitiver Klimazonen (kaltes oder feuchtes Klima), deren Vegetation hauptsächlich aus Nadelbäumen besteht. Werden allerdings Rinden von Nadelbäumen eingesetzt, so ist das Auftreten dieses Humustyps auf landwirtschaftlichen Flächen denkbar.

• geochemischer Humus

Man spricht von geochemischem Humus oder Unlöslichkeit durch gebremste Humifizierung, wenn der Humus das Resultat einer geochemischen Reaktionen zwischen einer dominierenden Bodenkomponente und einer organischen Substanz ist; zu diesen Komponenten zählen:

- Kalk. Er ergibt einen primitiven calciumhaltigen oder kohlendioxidgesättigten Mull, welcher eher labil ist und über einen hohen Anteil instabiler Seitenketten verfügt, selbst wenn der Anteil organischer Substanz relativ hoch ist;
- Eisen (als Oxid oder Hydroxid, zuweilen gemeinsam mit Aluminium). Ergibt einen eisenhaltigen Humus, der relativ wenig Schutz bietet; im allgemeinen niedriger

Anteil organischer Substanz, was zu schneller, bzw. vorzeitiger Mineralisierung im Frühjahr führt;

- Ton. Ergibt tonigen Humus, welcher die organische Substanz umschließt, ohne jedoch die Humifizierung zu unterbinden: die Polymerisation wird nicht unterbrochen, da in diesen eher kalten Böden die Pilzaktivität ausreichend stark ist. In diese Kategorie fällt der tonige Mull-Humus,
- Aluminium und Silicium. Diese Humustypen sind vulkanische Humusformen und treten typischerweise in Böden über vulkanischem Gestein auf. In der Vegetationsperiode können sie sehr intensiv mineralisieren.

• Entwickelter Humus oder Humus aus Neubildung

Unter dieser Bezeichnung werden im allgemeinen zwei Theorien zusammengefasst: die mikrobielle Synthese und die biochemische Polymerisation (TUOMELA *et al.*, 2000). Dieser Humifizierungsprozess interessiert uns im Rahmen der Kompostierung vornehmlich.

In der mikrobiellen Synthese sollen bestimmte Typen von Mikroorganismen aus kleinen organischen Molekülen und vorliegenden Mineralen Huminstoffe synthetisieren. Diese Huminstoffe werden entweder in die Umgebung ausgeschieden oder nach dem Tod der Mikroorganismen freigesetzt.

In der biochemischen Polymerisation werden organische Abfälle zu kleinen organischen Molekülen und Mineralen zersetzt, welche den Mikroorganismen als Substrat dienen. Letztere scheiden Stoffwechselprodukte wie z.B. Aminosäuren, organische Säuren, Phenole und weitere einfache Verbindungen aus, welche in der Masse Huminmoleküle polymerisieren. Die Art des organischen Ausgangsmaterials soll auf die Eigenschaften des so entstandenen Humus keinen oder wenig Einfluss haben.

Es wird ebenfalls erwähnt, dass die Mikroorganismen immer längere Ketten synthetisieren, um somit die Mineralisierung zu bremsen (eine Art der Speicherung). Diese Ketten können den Ausgangspunkt für komplexe Verbindungen darstellen. Es ist noch nicht bekannt, ob dieser Prozess rein mikrobiellen Ursprungs ist oder ob eine chemische Reifungs- oder Umbaureaktion stattfindet. Der Prozess scheint aber eine Kombination beider Theorien zu sein (mikrobielle Synthese und biochemische Polymerisation).

In der Literatur werden 4 verschiedene Typen von entwickeltem Humus unterschieden:

- *aktiver oder biologischer Humus*, bzw. *Mull* oder saurer Mull; verfügt über eine hohe mikrobielle Aktivität, eine körnige Struktur und hohe Fruchtbarkeit. Dies ist der Humus ergiebiger Böden;
- *mikrobieller Humus*, auf überdüngten und aktiven landwirtschaftlich genutzten Böden; die organischen Substanzen werden von einem mikrobiellen Schleim umschlossen. Dieser Typ Humus ist charakteristisch für Gärten und den Gemüseanbau;
- *Humus mit geringer Umsetzfreudigkeit*; mit der Abnahme der biologischen Aktivität geht eine Akkumulierung organischer Substanzen einher, die eher stabil und schwer zersetzbar sind
- *Faserhumus*; der charakteristische Humus kalter Klimazonen und wenig entwickelter oder abgebaute Böden. Die organische Substanz reichert sich in Form kaum zersetzter Fasern an. Diesen Humustyp findet man ebenfalls auf den Böden alter Almweiden vor.

• Hydromorpher Humus

Hydromorphe Böden enthalten während gewisser Zeiten im Jahr Wasser.

Dieses Wasser führt zur Entwicklung einer bestimmten mikrobiellen Flora. Die anaerobe Cellulosezersetzung führt unter diesen Umständen nicht zur Humusbildung, sondern zur

Bildung löslicher Zucker. Lignin gibt durch Hydrolyse die charakteristische Schwarzfärbung. Wir unterscheiden zwischen:

- der bebaubaren torfhaltigen Weide (oder Anmoor), die, selbst wenn sie einen Teil des Jahres unter Wasser steht, eine mikrobielle Aktivität während der nicht-überfluteten Zeit entwickelt. Allerdings wird die organische Substanz lohgar und wirft im Frühling Mineralisierungsprobleme auf. Bei ausreichenden Temperaturen entfällt dieses Hemmnis;
- wassergesättigter Humus oder Torf. Dieser Humus ist charakteristisch für eine starke Wasserrückhaltung, allerdings nicht für Sümpfe. Die Fruchtbarkeit dieser Böden ist stark eingeschränkt.

4.1.3.4. Die Entstehung von Humuskomponenten während der Kompostierung

• Kann man im Kompost von Humus sprechen?

Nein. Im engeren Sinne kann die Kompostierung nicht als Humifizierung bezeichnet werden. Tatsächlich läuft die Humifizierung im Boden unter wesentlich geringeren Temperaturen ab als in der Kompostmiete, unter Beteiligung einer anders zusammengesetzten mikrobiellen Flora unterschiedlicher Dynamik, sowie in Interaktion mit verschiedenen Bodenkomponenten (kolloidale mineralische Partikel, Pflanzenwurzeln, Rhizosphäre). Unter diesen Umständen kann man höchstens von einer Vorhumifizierung oder der Produktion von Humusvorläufern sprechen. Die im Verlauf der Kompostierung gebildeten Humuskomponenten werden sich weiterentwickeln, sobald sie in den Boden gelangen und diese Entwicklung wird vom Bodentyp und seinen Abläufen abhängen. Hauptbestandteil dieser Entwicklung wird die Entstehung des Ton-Humus-Komplexes sein.

• Humifizierungsprozesse² während der Kompostierung

In einem lebendigen Milieu wie dem Kompost kann die Humifizierung höchst unterschiedlichen Wegen folgen und die Bestimmung eines Hauptprozesses ist äußerst heikel. Dies hängt mit der großen Anzahl von Humusvorläufern und den zahlreichen möglichen Reaktionen zusammen (MOREL, 1989). Angesichts der Literaturangaben kann man sich allerdings einige Vermutungen über die Humusbildungsprozesse während der Kompostierung erlauben.

Wir können annehmen, dass aufgrund der starken biologischen Aktivität in der Kompostmiete der wesentliche Bildungsprozess der Humuskomponenten mit der mikrobiellen Synthese und der biochemischen Polymerisation vergleichbar ist. Für einige Autoren (HAMMOUDA et ADAMS, 1987; VEEKEN *et al.*, 2000; TUOMELA *et al.*, 2000) steht dieser Prozess im Vordergrund.

Die Neubildung bei einem Überschuss organischer Substanz könnte zur Entstehung von Faserhumus führen.

Ein Teil der nicht zersetzten Verbindungen, wie z.B. Lignin, Hemicellulose und Cellulose kann in eine gebremste Humifizierung übergehen: wir gehen davon aus, dass in diesem Fall die Zersetzung dieser Verbindungen gehemmt wurde (z.B. durch Zerstörung der Mikroorganismen durch zu hohe Temperaturen).

Unterliegt die Kompostierung ungünstigen Bedingungen und steigt der Feuchtegehalt der Kompostmiete so sehr an, dass in der Reifungsphase kein aerobes Milieu mehr vorherrscht, so kann vermutet werden, dass die Humifizierung in einen hydromorphen Prozess umschlägt

² wir behalten den eigentlich unpassenden Ausdruck der Humifizierung aus Gründen der sprachlichen Vereinfachung und wegen seiner weitverbreiteten Nutzung zur Bezeichnung des Abbaus organischer Substanz auch für Kompost bei.

und Verbindungen geringer agronomischer Qualität entstehen (wenige Seitenketten) oder Humus mit geringer Umsatzfreudigkeit.

Eine Humifizierung mit z.B. geochemischer Blockade kann unter Umständen ablaufen, wenn große Mengen toniger Erde in die Kompostmiete eingearbeitet oder dem Substrat Kalk zugefügt werden (Algenkalk).

• Umbau durch Mikroorganismen

Das Verständnis der unterschiedlichen Humifizierungsprozesse im Verlauf der Kompostierung kann sicherlich durch die Betrachtung der schwer abbaubaren Moleküle (Lignin, Hemicellulose und Cellulose) und der umbauenden Mikroorganismen (Bakterien, Aktinomyzeten, Pilze) verbessert werden.

- Lignin ist ein aus 3 Phenolsäuren zusammengesetztes Polymer (LYNCH, 1987). Wir unterscheiden drei Lignintypen (aus Nadelbäumen, Laubbäumen und Gräsern). Lignin ist eine Zellwandkomponente und verleiht zusammen mit der Cellulose den Pflanzen ihre Tragfähigkeit und schützt sie gegen mikrobielle Angriffe (TUOMELA *et al.*, 2000; GODDEN und PENNINGCKX, 1987), indem es die Zersetzung der Hemicellulose und der Cellulose an gewissen Pflanzenteilen verhindert (LYNCH, 1987). Es handelt sich also um eine schwer abbaubare Verbindung.

i) Bakterien³ sind kaum in der Lage, Lignin abzubauen. Dies gelingt nur anaeroben Bakterien, die in Extrembedingungen aktiv werden (wassergesättigtes Holz, Sauerstoffmangel,...) mit geringem Ertrag und sehr langsamer Zersetzung. Gewisse Bakterienspezies hingegen werden erst im Endabbau des Lignins aktiv: diese Spezies können aromatische Verbindungen mit einem Ring abbauen.

ii) Aktinomyzeten zersetzen in stickstoffreichen Substraten bei hohen Temperaturen Lignin durch ihren primären Stoffwechsel. Die Zersetzung von Gräserlignin gelingt ihnen besser als von Holzlignin. Auf diesen Substrattypen ist ihre Aktivität allerdings im Vergleich zu den Pilzen weniger effizient.

iii) Obwohl sie in geringer Anzahl vorliegen, spielen mesophile Pilze (aktiv zwischen 40 und 50°C, maximal 55°C, Grenztemperatur 60-61,5°C) beim Abbau von Cellulose und Lignin eine Schlüsselrolle. Die Frage der Grenztemperatur dieser Pilze ist sehr umstritten. Einige Beobachtungen sprechen für eine Aktivität bei Temperaturen über 65°C. Das Wachstum dieser Pilze ist allerdings unter extremen Temperaturbedingungen im Vergleich zum Temperaturoptimum stark gehemmt. Am effizientesten bauen Weißfäulepilze (hauptsächlich mesophile und gewisse thermophile) Lignin ab. Es folgen Weichfäulepilze, die ein schlechteres Zersetzungsergebnis erzielen, allerdings auch unter trockenen Bedingungen abbauen können.

Die im Verlauf der Zersetzung vom Lignin freigesetzten Phenolsäuren können phytotoxisch wirken. Angesichts der geringen Ligninkonzentration im Stroh ist das Risiko derartiger Probleme bei Kompost aus Mist allerdings gering. Bei Grüngutkompost liegt das Risiko hingegen höher (LYNCH, 1987).

- Hemicellulose ist ein heterogenes Polymer aus Hexosen und Pentosen, versehen mit Seitenketten. Die Cellulose ist ein reines Glukosepolymer (LYNCH, 1987).

i) Ein großer Teil der Bakterien wirkt cellulolytisch (TUOMELA *et al.*, 2000). Im anaeroben Milieu kann der Abbau von Hemicellulose und Cellulose zur Entstehung von organischen Säuren wie der Brenztraubensäure und ihren Metaboliten (Methan, Acetat, Butyrate und Propionate) führen, die phytotoxisch wirken können (LYNCH, 1987).

³ diese Informationen über die ligninabbauenden Spezies in der Kompostmiete stammen aus einer Literatursynthese von TUOMELA *et al.* (2000).

- ii) Aktinomyzeten können Cellulose bei hohen Temperaturen abbauen, sind dabei aber wesentlich weniger effizient als Pilze (TUOMELA *et al.*, 2000).
- iii) Pilze sind in der Lage, Hemicellulose und Cellulose zu zersetzen und sind im allgemeinen besser zum Hemicelluloseabbau als zum Celluloseabbau geeignet (TUOMELA *et al.*, 2000). Braunfäulepilze sind auf die Zersetzung dieses Substrats geradezu spezialisiert. Pilze können auch Lignin abbauen, allerdings nur sehr begrenzt. Sie besiedeln hauptsächlich Weichholz (insbes. Nadelbäume), welches dann eine Braunfärbung annimmt.

Nach diesen Informationen zu den Beziehungen zwischen Mikroorganismen und Substrat können wir erste Querverbindungen zwischen der Evolution gewisser Mikroorganismenpopulationen während der verschiedenen Kompostierungsphasen und dem Abbau von Lignin, Hemicellulose und Cellulose ziehen.

Schlecht abbaubare Verbindungen wie Lignin verschwinden nur teilweise (15%) und auch nur zu Beginn der Kompostierung (mesophile Phase und Beginn der thermophilen Phase). Dieser teilweise Abbau legt die Vermutung nahe, dass sich die stabilen Komponenten sich verändern. Einige Studien (GODDEN und PENNINGCKX, 1987) belegen, dass tatsächlich ein Depolymerisations-Repolymerisationsprozess abläuft. Die Depolymerisation scheint unmittelbar nach der thermophilen Phase der Kompostierung abzulaufen. Biochemisch gesehen steigt der Anteil der Huminsäuren während der Kompostierung an. Sie werden insbesondere in der letzten Phase der Kompostierung (Reifungsphase) gebildet (VEEKEN *et al.*, 2000), die einige Wochen bis Monate dauern kann. Eine Studie über Pferdemitkompost (TUOMELA *et al.*, 2000) zeigt, dass die Temperatur Einfluss auf den Zersetzungsgrad des Lignins hat: zwischen 28 und 50°C werden 26% bis 43% des Lignins abgebaut. Bei höheren Temperaturen kehrt sich das Verhältnis um: nur noch 33% bei 65°C und 12% bei 75°C (s. folgender Absatz).

Wir können also feststellen, dass Lignin von mesophilen und thermophilen Pilzen abgebaut wird (d.h. während der drei ersten Phasen der Kompostierung und insbesondere während der Abkühlung) und dass die Reorganisation der Abbauprodukte des Lignins hauptsächlich in der Reifungsphase erfolgt.

Bei Mistkomposten wird Cellulose schneller während der mesophilen Phase abgebaut und während der Kompostierung zur Hälfte zersetzt (GODDEN und PENNINGCKX, 1987).

Wir nehmen an, dass die Abbauprodukte der Cellulose teilweise zur Energieversorgung der Mikroorganismen dienen (es handelt sich um Monosacharide) und teilweise in die Humuskomponenten integriert werden.

• nicht-mikrobieller Umbau?

Wenige Autoren sind dieser Frage nachgegangen. Sie gehen davon aus, dass die Möglichkeit eines nicht-spezifischen oxidativen Abbaus besteht (LYNCH, 1987). Hier wird insbesondere an die Solubilisation bei hohen Temperaturen und hohem pH-Wert (alkalische Reaktion) gedacht, die den Abbau von 12% des Lignins bei 75°C ermöglicht (TUOMELA *et al.*, 2000). Bei dieser Temperatur ist die Aktivität der Mikroorganismen im allgemeinen stark eingeschränkt.

Um im Labor einen oxidativen Lignin- oder Celluloseabbau zu erreichen, setzt man Kaliumpermanganat und CuO-NaOH als Katalysator ein (Claude BOURGUIGNON, mündliche Mitteilung; genaue Konzentrationen wurden nicht angegeben).

Unabhängig von den verschiedenen möglichen chemischen Reaktionen in der Kompostmiete erscheint die Annahme, dass diese in ihrer Aktivität den Umbau durch enzymatische Katalyse - unter den gewöhnlichen Temperatur- und Druckbedingungen in diesem Milieu - übertreffen könnten, unwahrscheinlich.

Die Möglichkeit abiotischer Reaktionen sollte aber dennoch nicht von der Hand gewiesen werden, selbst wenn wir ihren Ertrag skeptisch beurteilen.

4.1.3.5. Schlussfolgerung: produziert Kompost unter allen Umständen Humus?

Man ist versucht, die Frage positiv zu beantworten. Humuskomponenten können allerdings abhängig von den Kompostierungsbedingungen höchst unterschiedliche Qualitäten aufweisen. Im folgenden Abschnitt werden wir mit aller gebotenen Vorsicht einige Angaben und Kommentare zu den typischen Humifizierungsprozessen für gewisse Kompostierungsmethoden machen und Hypothesen aufstellen.

Offensichtlich scheinen Durchlüftung, Temperatur und Entwicklung von Pilzen in Abbauprozessen stabiler Verbindungen eine Schlüsselrolle zu spielen. Es liegen allerdings weniger Erkenntnisse über die Determinanten der Entstehung und Reifung von Humuskomponenten vor. Nachdem wir uns bereits mit den Prinzipien der Kompostierungsprozesse auseinandergesetzt haben, stellen sich zwei Hauptfragen:

- welches sind unter Landwirtschafts- und Umweltaspekten die Vor- und Nachteile dieser Umbauprozesse?
- kann man diese Umbauprozesse steuern und wenn ja, inwieweit ?

Die beiden folgenden Abschnitte sollen diese Fragen beantworten.

4.1.4. Vor- und Nachteile der Kompostierung

In diesem Abschnitt werden wir zunächst die Vor- und Nachteile der Kompostierung aus der Sicht des landwirtschaftlichen Betriebs untersuchen, bevor wir uns möglichen Umweltauswirkungen dieser Technik und ihrer praktischen Anwendung zuwenden.

4.1.4.1. Verluste an Kohlenstoff und an organischer Substanz

• Verluste während der Kompostierung und Einflussfaktoren

Während der Kompostierung führt die Atmung der Mikroorganismen zu einer starken Freisetzung von CO₂. Dieses Gas stammt aus dem Abbau von Kohlenstoffverbindungen, die als Energiequelle dienen. Es ist also ein substanzieller Verlust an organischer Substanz zu verzeichnen. Die Kohlenstoff- oder organischen Substanzverluste schwanken je nach Autor zwischen 26 und 62% (s. Tabelle 4).

Tabelle 4: Kohlenstoff- (C) und organische Substanzverluste (OS) in Prozent, nach Kompostierungsbedingungen und -dauer

% C ODER OS- VERLUSTE	KOMPOSTIERUNGSBEDINGUNGEN	DAUER IN TAGEN	QUELLE
OHNE UMSETZEN			
47% C	Kompostierung im Labor, Rindermist	35	CHÈNEBY <i>et al.</i> , 1994
53% C	Kompostierung im Labor, Schafsmist	86	THOMSEN, 2000
46% C	gute Rahmenbedingungen	197	SOMMER <i>et al.</i> , 19??
SELTENES UMSETZEN			
47% OS	einmaliges Umsetzen nach einem Monat	90 Sommer 120 Winter	BERNER <i>et al.</i> , 1997
44% C	einmaliges Umsetzen nach 30 Tagen	197	SOMMER <i>et al.</i> , 19??
HÄUFIGES UMSETZEN			
26% C	wöchentliches Umsetzen	90	ATALLAH <i>et al.</i> , 1995
57% OS	4-Mal umgesetzt im ersten Monat	90 Sommer 120 Winter	BERNER <i>et al.</i> , 1997

STAPELMIST, ROTTEMIST, ANAEROBE BEDINGUNGEN			
24% C	anaerobe Bedingungen im Labor Schafsmist	86	THOMSEN, 2000
17% C	strohhaltiger Rottemist	90	ATALLAH <i>et al.</i> , 1995
43% C	keine Erwärmung	197	SOMMER <i>et al.</i> , 19??
29% OS	anaerob gelagerter Mist	?	BERNER <i>et al.</i> , 1997
31% OS	Stapelmist	?	DRIEUX, 1993
DIVERSE			
46 à 62% C	-	-	EGHBALL <i>et al.</i> , 1997

Diese Ergebnisse sind äußerst variabel und auf den ersten Blick lassen sich weder Tendenzen noch Korrelationen ablesen. Die beobachtete Heterogenität kann mit den Unterschieden des Ausgangsmaterials, den Kompostierungstechniken oder klimatischen Einflüssen zusammenhängen. Um fundierte Schlussfolgerungen ziehen zu können, sollten wir eher die Vergleiche der Autoren innerhalb ihrer eigenen Versuchsanordnungen untersuchen.

Kohlenstoff- und organische Substanzverluste verlängern die Dauer der Kompostierung und treten bei Umsetzen schneller ein. Sie sind außerdem zum Beginn der Kompostierung wesentlich stärker ausgeprägt (aktive Phase: mesophile Phase + thermophile Phase SOMMER *et al.*, 19??). Bei gleicher Dauer favorisieren aerobe Bedingungen die Verluste mehr als anaerobe Bedingungen (ATALLAH *et al.*, 1995; THOMSEN, 2000). Langfristig gesehen (197 Tage: SOMMER *et al.*, 19??) gleichen sich die Verluste bei allen Kompostierungsmethoden aus (Kompostierung mit oder ohne Umsetzen, anaerobe Lagerung). Die Verluste unterliegen ebenfalls klimatischen Einflüssen: sie laufen im Sommer schneller ab als im Winter (BERNER *et al.*, 1997). Dies wird auch von COOPERBAND (2000) bestätigt: in der Sommerkompostierung können Temperaturen – und somit die biologische Aktivität - besser gehalten werden als in der Winterkompostierung.

Durchschnittlich muss von einem Kohlenstoff- oder organischen Substanzverlust in Höhe von 45% ausgegangen werden, wenn ein gut abgebauten Endprodukt entsteht.

Die Verluste durch Lagerung unter anaeroben Bedingungen schwanken abhängig von der Dauer und können gleiche Werte wie die Kompostierung erreichen.

• Vergleich der globalen Kohlenstoff- und organischen Substanzverluste: sollte kompostiert werden?

Den Landwirt interessiert die Frage, ob durch Kompostierung des Mistes höhere Kohlenstoffverluste auftreten als bei der Aufbringung unmittelbar nach seinem Anfallen im Stall, bzw. nach mehr oder weniger langer Lagerung. Zum Vergleich der unterschiedlichen Möglichkeiten müssen die globalen Verluste von der Lagerung bis zur Kohlenstoffstabilisierung im Boden verglichen werden.

Je kürzer Mist gelagert wird, und je abgeschlossener die Atmosphäre im Misthaufen ist, desto geringer ist die biologische Aktivität und somit der Kohlenstoff- und organische Substanzverlust.

Die Verluste können bei der Kompostierung beträchtliche Mengen erreichen. Der verbleibende Kohlenstoff wird im Gegensatz zum Frischmist allerdings stabilisiert, der wiederum stabiler ist als anaerob gelagerter Mist (KIRCHMANN UND BERNAL, 1997).

Die einmal dem Boden zugeführte organische Substanz bleibt somit stabiler (THOMSEN, 2000).

KIRCHMANN UND BERNAL (1997) nehmen ausgehend vom selben Ausgangssubstrat folgende Kohlenstoffverlusthierarchie in aufsteigender Reihenfolge an (unter Einbeziehung der Verluste bei Kompostierung und auf dem Feld):

Mistkompost < *Frischmist* < anaerob gelagerter Mist

Claude BOURGUIGNON gab uns mündlich an, dass einmal in den Boden eingearbeiteter und humifizierter Frischmist einen Humusertrag von 10% zeitigt, während der selbe Mist nach Kompostierung und Einarbeitung einen Ertrag zwischen 17 und 20% bringt, das hieße fast das Doppelte.

Trotz starker Verluste während der Kompostierung erlaubt der Kompost im Vergleich zum Frischmist eine bessere Konservierung der Kohlenstoffgaben auf bebauten Böden.

Hinsichtlich des Kohlenstoffs liegt der Vorteil der Kompostierung in den Umbauprozessen außerhalb des Bodens, welche organische Substanz stabilisieren und sich gleichzeitig weitgehend den klimatisch bedingten Schwankungen des Bodenlebens entziehen. Wir werden allerdings später sehen, dass das Wetter noch technische (Regen, Wind, Temperatur) und praktische (Befahrbarkeit, Arbeitszeit) Auswirkungen auf die Kompostierung hat.

4.1.4.2. Stickstoffverluste

Da diese Frage sehr weit gefasst ist, werden wir nacheinander die Stickstoffverluste während der Lagerung, der Kompostierung und auf dem Feld behandeln, unter gleichzeitiger Betrachtung der verursachenden Faktoren und der Möglichkeiten, diese Verluste einzudämmen.

• Verluste bei Lagerung

Stickstoffverluste während der Lagerung schwanken bei den verschiedenen Autoren und den unterschiedlichen Versuchsanordnungen erheblich: zwischen 0 und 62% (BERNER *et al.*, 1997; DRIEUX, 1993).

Die Mehrheit der Autoren ist sich hingegen über die Tatsache einig, dass diese Verluste eng mit den Lagerbedingungen des Mistes zusammenhängen (ATALLAH, 1993; BERNER *et al.*, 1997; CREPAZ *et al.*, 1997; KIRCHMANN und LUNDVALL, 1998):

- unter anaeroben Bedingungen erstrecken sich die Verluste auf Werte zwischen 10% (in der Grube), 15% (im Mittelwert) und 20-30% (auf dem Misthaufen)
- unter aeroben Bedingungen sind die Verluste höher: 20-25% bis zu 40-45%
- zunächst aerobe und dann anaerobe Bedingungen lassen die Verluste in die Höhe schnellen: von 22 auf 50%

Verluste während der Lagerung geschehen hauptsächlich durch Ammoniakverflüchtigung (KIRCHMANN und WITTER, 1989; SHEPHERD *et al.*, 2000; SOMMER und DAHL, 1999).

Wird der Einstreu Stroh hinzugefügt, so kann sich das auf die Verluste höchst unterschiedlich auswirken: Anstieg der Verluste (DEWES, 1995) wenn das Stroh auf den Mist strukturgebend wirkt und aerobe Bedingungen fördert; bzw. Verringerung der Verluste (KIRCHMANN und WITTER, 1989), wenn das C/N-Verhältnis verbessert wird (mehr Kohlenstoff zur Ernährung der Bakterien, die dann mehr Stickstoff verbrauchen).

In jedem Fall ist zu unterstreichen, dass die Lagerung von Mist unter abgeschlossener Atmosphäre Lagerungsverluste verringert. Da die Verluste mit der Zeit ansteigen (DEWES, 1995), ist eine kürzere Lagerdauer günstiger.

Selbstverständlich sind Stickstoffverluste bei der Lagerung des Mistes weniger ausgeprägt als bei seinem aeroben Umbau: der Kompostierung (BERNER *et al.*, 1997).

• Verluste bei der Kompostierung

Die Stickstoffverluste können fast bei Null liegen (GODDEN, 1995a; SOMMER und DAHL, 1999) und bis zu 50% (BERNER *et al.*, 1997) des ursprünglich im kompostierten Mist enthaltenen Stickstoffs erreichen. Meistens liegen sie jedoch über 20% und erreichen im Mittelwert 30% (s. Tabelle 5). Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass diese Verluste relativ gesehen niedriger als die Kohlenstoffverluste sind (das C/N-Verhältnis steigt) und dass wir im Verlauf der Kompostierung eine Stickstoffkonzentration feststellen (ATALLAH, 1993; OTT, 1991).

Stickstoffverluste hängen vom Kompostierungsverfahren ab (WILLSON und HUMMEL, 19??) und treten als unterschiedliche Phänomene auf (MORVAN und DACH, 1998): teilweise Ammoniakverflüchtigung bei hohen Temperaturen und hohem pH-Wert, Auswaschung (von

Nitrat, Ammonium und organischem Stickstoff) oder durch Denitrifikation (Freisetzung von N_2O und/oder N_2).

Diese Verluste liegen am Anfang der Kompostierung während der thermophilen Phase höher (THOMSEN, 2000). Dies gilt nur begrenzt für das N_2O , welches zu Beginn der Kompostierung schwächer freigesetzt wird, allerdings während der Reifungsphase zu starken Verlusten neigt.

Wie auch bei der Lagerung treten die meisten der bei der Kompostierung beobachteten Stickstoffverluste gasförmig (bis zu 92% laut EGHBALL *et al.*, 1997) und insbesondere durch Ammoniakverflüchtigung auf (ATALLAH, 1993; KIRCHMANN und LUNDVALL, 1998; KÖRNER *et al.*, 1997; MARTINS und DEWES, 1992; MORVAN und DACH, 1998; THOMSEN, 2000). In den Sickersäften kann man praktisch keinen Stickstoff nachweisen (EGHBALL *et al.*, 1997; GODDEN, 19??).

Tabelle 5: Stickstoffverluste während der Kompostierung, abhängig vom Kompostierungsverfahren (in Prozent des Gesamtstickstoffs im Ausgangssubstrat)

KOMPOSTIERUNGSBEDINGUNGEN UND/ODER AUSGANGSSUBSTRAT	GESAMT-STICKSTOFF-VERLUST	VERLUSTE VON NH_3	VERLUSTE D. AUSWASCHUNG	LITERATURANGABE
VERSCHIEDENE				
Extremwerte	6-53			BERNER <i>et al.</i> , 1997
-	10-40			MORVAN und DACH, 1998
-	16-29			EGHBALL <i>et al.</i> , 1997
Mittelwerte	18-21			BERNER <i>et al.</i> , 1997
-	> 25		4	OTT, 1991
-	30-40			VUORINEN und SAHARINEN, 1997
gute Bedingungen		3		SOMMER <i>et al.</i> , 19??
-		5-70	< 5	SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
-		>20		SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
98 bis 114 Kompostiertage		47-77	10-20	MARTINS und DEWES, 1992
EINFLUSS DES UMSETZENS				
Umsetzen nach 30 Tagen		3		SOMMER <i>et al.</i> , 19??
gute Bedingungen, mit oder ohne Umsetzen		25-44	3	DEWES, 1995
3 Monate kompostiert; einmaliges Umsetzen nach 1 Monat	30			BERNER <i>et al.</i> , 1997
3 Monate kompostiert; 4-mal im ersten Monat umgesetzt	33			BERNER <i>et al.</i> , 1997
7 Wochen mit Umsetzen	50			ATALLAH, 1993
EINFLUSS DER ABDECKUNG				
ohne Abdeckfolie (177 Tage)	28			DEWES, 1995
mit Kunststoffolie (177 Tage)	43			DEWES, 1995
EINFLUSS DES C/N				
C/N=22	~0	~0	~0	SOMMER und DAHL, 1999
C/N=35	~0	~0	~0	GODDEN, 1995a
abhängig vom N-Gehalt zu Beginn	19-42	17-39	0,1-0,2	EGHBALL <i>et al.</i> , 1997
EINFLUSS DER DAUER				
nach 7 Tagen (C/N=14)	18			THOMSEN, 2000
nach 86 Tagen (C/N=14)	46			THOMSEN, 2000
EINFLUSS PH-WERT				
pH 8 bis 8,5	20-30			DRIEUX, 1993
BEZUGSGRÖSSEN UNTER KONTROLLIERTEN BEDINGUNGEN				
Laborversuch, gezielte Belüftung	20	4	3	OTT, 1991
Labor (35 Tage)	21			CHÈNEBY <i>et al.</i> , 1994
Labor	20-30			ATALLAH, 1993
Labor: Mist + Erde	40-45			ATALLAH, 1993

• Verflüchtungsverluste und erschwerende Faktoren

Generell steigen die Verluste durch Verflüchtigung während der Kompostierung an (DEWES, 1995), die höchsten Ammoniakverluste treten allerdings zum Beginn während der thermophilen Phase auf (KÖRNER und STEGMANN, 1997; KÖRNER *et al.*, 1997; SOMMER *et al.*, 19??; MORVAN und DACH, 1998).

Diese Verluste sind umso stärker, je höher pH-Wert (DEWES, 1995; KIRCHMANN und WITTER, 1989) und Temperatur (MARTINS und DEWES, 1992; SHEPHERD *et al.*, 2000) ansteigen. Außer diesen Parametern muss der zur Verflüchtigung verfügbare „Stickstoffpool“ einbezogen werden. Dieser Pool wird von der Gesamtstickstoffmenge im Mist bedingt, also vom Misttyp (MORVAN und DACH, 1998), dem Abbau der Stickstoffverbindungen (MARTINS und DEWES, 1992), der Ammoniumionenkonzentration (welche mit der Zeit absinkt) und vom C/N-Verhältnis. Tatsächlich wird die Höhe dieser Stickstoffverluste durch das Verhältnis von $C_{\text{leicht abbaubar}} / N_{\text{leicht abbaubar}}$ determiniert.

Alle Maßnahmen, die die Luftzirkulation in der Kompostmiete begünstigen, steigern die Verluste durch Verflüchtigung. Eine gute Struktur, die eine zufriedenstellende Kompostierung erlaubt, wirkt sich nachteiliger auf die Stickstoffhaltung aus (SHEPHERD *et al.*, 2000) als eine Miete unter Luftabschluss, die sich anaerob entwickelt (KIRCHMANN und WITTER, 1989). Das Umsetzen der Mieten soll die Ammoniakverflüchtigung verstärken, da schlagartig große Gasmengen in die Atmosphäre entlassen werden (DEWES, 1995; MORVAN und DACH, 1998). Außerdem regt das Umsetzen die Aktivität der Mikroorganismen an und führt zu einer Temperaturerhöhung in der Miete (SOMMER *et al.*, 19??).

Tabelle 6 beziffert Stickstoffverluste durch Verflüchtigung für verschiedene Komposttypen.

Tabelle 6: Stickstoffverluste durch Verflüchtigung, gemessen während der Kompostierung verschiedener Misttypen

KOMPOSTTYP	VERFLÜCHTIGUNG (% DES GESAMT-N)	BEMERKUNGEN	AUTOREN
Rinder	5-9	Laborversuch < 7 Tage	SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
Rinder	18-41		EGHBALL <i>et al.</i> , 1997
Rinder	47-55		MARTINS und DEWES, 1992
Rinder	42-54	nicht abgedeckt	SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
Rinder	25-50	Strohabdeckung	SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
Rinder	34-64	mit Teerleinwand abgedeckt	SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
Rinder	4-9	doppelte Menge Stroh wie obige Versuche	SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
Rinder	28	nicht abgedeckt	DEWES <i>et al.</i> , 1991
Rinder	43	Polyäthylenfolie	DEWES <i>et al.</i> , 1991
Rinder	43	Geotextilfolie (Polypropylen)	DEWES <i>et al.</i> , 1991
Schweine	18-31	Laborversuch < 7 Tage	SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
Schweine	29	Frischmist, Brutversuch 70 Tage bei 25°C	BERNAL und KIRCHMANN, 1992
Schweine	28	anaerob behandelte Mist, Brutversuch 70 Tage bei 25°C	BERNAL und KIRCHMANN, 1992
Schweine	103	aerob behandelte Mist, Brutversuch 70 Tage bei 25°C	BERNAL und KIRCHMANN, 1992
Schweine	49-51	Aktivkompostierung mit Abdeckung	MARTINS und DEWES, 1992
Geflügel	6-40	Laborversuch < 7 Tage	SHEPHERD <i>et al.</i> , 2000
Geflügel	9-44	Laborversuch mit unterschiedlichem C/N (Strohzusatz)	KIRCHMANN und WITTER, 1989
Geflügel	62-77	häufiges Umsetzen	MARTINS und DEWES, 1992
Geflügel	34-37%	Laborversuch	LARNEY <i>et al.</i> , 2000

• Stickstoffauswaschung aus der Kompostmiete

Auswaschungsverluste sind schwach und liegen im allgemeinen unter 5% des ursprünglich vorhandenen Gesamtstickstoffs (DEWES, 1995; MARTINS UND DEWES, 1992). Gegen Ende der Kompostierung sind sie normalerweise unbedeutend (durch den Umbau seitens der Mikroorganismen steht immer weniger mineralischer Stickstoff zur Verfügung), sie treten also hauptsächlich zu Beginn der Kompostierung auf (SHEPHERD *et al.*, 2000): 70% der Sickersäfte einer Kompostierung von 98 bis 114 Tagen fallen in den ersten zehn Tagen an (MARTINS UND DEWES, 1992). Das auswaschende Wasser ist metabolisches Wasser, das die Mikroorganismen während der thermophilen Phase produzieren (DEWES, 1995). Niederschläge beeinflussen die Auswaschung zum Beginn der Kompostierung also kaum.

Stickstoffverbindungen werden in unterschiedlichen Formen ausgewaschen (MARTINS UND DEWES, 1992): hauptsächlich als Ammonium (76,5 bis 97,8% des ausgewaschenen Stickstoffs), organischer Stickstoff und Nitrat (nur 0,1 bis 2,2%). Die Gefahr einer Grundwasserverschmutzung durch Nitrate unter einer Kompostmiete ist also gering, wenn man in Betracht zieht, dass diese Auswaschung im allgemeinen nur unter Rahmenbedingungen eintritt, die dem Kompostierungsprozess ohnehin schädlich sind (KÖRNER *et al.*, 1997).

Bei heftigen Niederschlägen können hingegen starke Stickstoffverluste durch Auswaschung auftreten und dies insbesondere gegen Ende der Kompostierung (DEWES, 1995). Eine Kompostmietenabdeckung kann eine solche späte, niederschlagsbedingte Auswaschung verhindern. Wir werden allerdings sehen, dass sie mit Umsicht einzusetzen ist.

• Weitere Formen des Stickstoffverlusts

Verluste durch Denitrifikation sind im allgemeinen äußerst schwach (unter 1% SHEPHERD *et al.*, 2000). Sie laufen mehrheitlich eher in Form von N_2 und nicht von N_2O ab (einem umweltschädigenden Gas). Unter fortwährend anaeroben Bedingungen kann allerdings der N_2O -Anteil ansteigen.

Denitrifikationsverluste werden punktuell oder teilweise beobachtet, sofern unter anaeroben Bedingungen hohe Nitratmengen auftreten, d.h. also auf stickstoffreichen Substraten mit starker mikrobieller Aktivität, wie z.B. auf Geflügelmist (MAHIMAIRAJA *et al.*, 1995).

• Verluste bei Ausbringen und Einarbeiten

Verluste nach dem Ausbringen werden vom Ammoniumgehalt bestimmt, welcher durch die Aufarbeitungsmethode bedingt ist. Verluste nach dem Ausbringen liegen bei anaerob aufbereiteten Wirtschaftsdüngern höher als bei kompostierten (KIRCHMANN und LUNDVALL, 1998).

Ein nicht eingearbeiteter Rohmist kann bis zu 25% seiner Stickstoffdüngewirkung innerhalb von 24 Stunden verlieren und über 40% nach 4 Tagen (Ammoniakverflüchtigung, beschleunigt bei Hitze und Trockenheit, gebremst bei Kälte und Regen) (KISLIG, 1989). Diese Verluste können durch Kompostierung des Mistes verringert werden; Kompost enthält weniger Ammonium als Rohmist.

Durch Einarbeiten können die Verluste auf dem Feld eingedämmt werden. Wird 1 cm tief eingearbeitet, können die Verluste halbiert werden. Einarbeiten in 5 cm Tiefe verringert die Verluste durch Verflüchtigung um 80%. Tieferes Einarbeiten begrenzt die Verluste nicht weiter (KIRCHMANN und LUNDVALL, 1998), sondern kann sogar zu einer anaeroben Weiterentwicklung des Komposts führen und somit die Bildung phytotoxischer Substanzen anstoßen.

Wir möchten noch auf zwei weitere Formen von Verlusten hinweisen, die eher mit Bewirtschaftungsformen als dem Substrat zusammenhängen: Denitrifikationsverluste (unter Luftabschluss) und Auswaschungsverluste (eher Resultat eines ungünstigen

Zusammentreffens von Substratmineralisierung und Pflanzenbedarf, als des relativen Nitratgehalts des Substrats; ansonsten ist Stickstoff im Kompost besser stabilisiert als in Rohmist).

• erste Zwischenbilanz: kann Kompostierung die Stickstoffverluste eindämmen?

Im Vergleich zu Frischmist:

- die Kompostierung kann mit starken Stickstoffverlusten einhergehen,
- bei Aufbringen des Komposts sind hingegen die Stickstoffverluste geringer.

Welche dieser zwei gegensätzlichen Wirkungen gewinnt die Oberhand? Welche Technik ist also zur Stickstoffkonservierung besser geeignet?

Je höher der Stickstoffgehalt im Ausgangssubstrat, desto größer sind die Verflüchtigungsverluste während der Kompostierung (DEWES, 1995; GOLUEKE, 1992). In diesem Fall ist die Verringerung der Verluste durch Einarbeiten nach Ausbringen im Vergleich zu den Verlusten während der Kompostierung zu vernachlässigen (KIRCHMANN und LUNDVALL, 1998). Tabelle 7 belegt dies.

Tabelle 7: Verflüchtigungsverluste (gemessen in Prozent vom ursprünglich vorhandenen Gesamtstickstoff) verschiedener Substrate mit Kumulierung der Verluste bei Aufarbeitung und Anwendung mit oder ohne Einarbeiten nach KIRCHMANN und LUNDVALL (1998)

	FRISCHMIST		MISTKOMPOST		UNVOLLSTÄNDIG KOMPOSTIERTER MIST	
	nein	ja	nein	ja	nein	ja
<i>5 cm tief eingearbeitet</i>						
RINDER	3,0	0,6	2,9	0,7	18,6	3,7
SCHWEINE	3,1	0,6	24,6	23,6	9,6	1,9
GEFLÜGEL	50,7	9,0	77,3	76,6	37,3	13,3

Diese Ergebnisse lassen also den Rückschluss zu, dass:

- bei Rindermist die Kompostierung keinen Einfluss auf die Stickstoffverluste durch Verflüchtigung hat, allerdings sichergestellt werden muss, dass die Kompostierung vollständig erfolgt, um Stickstoffverluste zu vermeiden. Diese Verluste können aber für einen schlecht kompostierten Rindermist durch schnelles Einarbeiten eingedämmt werden. Vorsicht ist aber dennoch geboten! Selbst wenn diese Praxis schadensbegrenzend wirkt, so gibt es spätere Risiken, da der Stickstoff in unvollständig kompostiertem Mist weniger stabilisiert ist. Verluste sind also weiterhin möglich, insbesondere durch Auswaschung von Nitrat aus dem Boden;
- es bei Schweinemist offensichtlich besser ist, ihn anaerob zu behandeln oder ihn unbehandelt aufzubringen und ihn immer schnell einzuarbeiten, um den Stickstoff maximal zu konservieren. Durch die geringere Stickstoffstabilisierung ist die Gefahr von Verlusten ohne Kompostierung sicherlich größer (THOMSEN, 2000). So findet man im Kompost wesentlich mehr organischen Stickstoff vor (96 bis 99%) als Ammoniak (ATALLAH, 1993). Anaerob entwickelter Mist hingegen enthält zwei Drittel des Gesamtstickstoffs in Form von Ammonium (KIRCHMANN UND WITTER, 1989);
- für Geflügelmist die gleichen Feststellungen gelten wie für Schweinemist. Die größte Verlustgefahr verlagert sich und hängt vom Ausbringungszeitpunkt ab. Um eine Entwicklung des Mists vor der Pflanzung zu gestatten, wird er allgemein in Herbst ausgebracht. Das setzt aber den löslichen Stickstoff eher der Auswaschungsgefahr im Winter aus. Ausbringen im Frühling hingegen kann den Kulturen und der Wurzelbildung schaden (Stickstoffhunger, lockere, puffige Böden, phytotoxische Wirkung).

Die Autoren bestätigen, dass die Kompostierung stickstoffreicher Substrate (Schweine und Geflügel) jenen Misten vorbehalten werden sollte, die vor dem Ausbringen hygienisiert werden müssen. SHEPHERD *et al.* (2000) sind außerdem der Ansicht, dass die

stickstoffökonomischste Variante in anaerober Lagerung und Einarbeiten unmittelbar nach dem Aufbringen besteht.

Aus zwei Gründen sind wir vorsichtiger als diese Autoren:

- in der Kompostmiete treten andere Stickstoffformen auf als im Mist. Dies hat einen Einfluss auf potentielle Verluste und auf die Stickstoffverwertung im Feld im Biolandbau;
- es existieren Techniken, die die Stickstoffverluste während der Kompostierung eindämmen helfen.

• etwas weiter gedacht: wie sind die Stickstoffverluste einzudämmen?

Wie bereits angesprochen (s. oben) gehen durch Verflüchtigung die größten Stickstoffmengen verloren. Wird korrekt kompostiert, so stellen weder Auswaschung noch Denitrifikation signifikante Verluste dar. Sind alle Vorbedingungen für eine optimale Kompostierung erfüllt, findet praktisch keine Verflüchtigung und somit kein Verlust statt.

Die Gasverluste werden von Temperatur und pH-Wert beeinflusst (KÖRNER und STEGMANN, 1997). Der pH-Wert ist ein bei der Kompostierung schwer zu kontrollierender Parameter. Die Temperatur kann aber gesteuert werden und man kann versuchen, auf Praktiken zu verzichten, die über lange Zeiträume hohe Temperaturen halten.

Ist dies getan, so besteht immer noch die Möglichkeit, das Problem der Stickstoffverluste an der Wurzel zu packen: treten Verluste auf, so liegt löslicher Stickstoff - insbesondere als Ammonium - vor, welches von den Mikroorganismen nicht abgebaut wird. Techniken zur Verringerung des mineralischen Stickstoffs in der Kompostmiete verringern gleichzeitig das Verflüchtigungsrisiko. Dazu zählt der Zuschlag von Stroh, welcher den Mikroorganismen Kohlenstoff zuführt und den Abbau des überschüssigen Stickstoffpools fördert.

Die Anhebung des C/N-Verhältnisses im Ausgangssubstrat (durch Strohzuschlag, bzw. Sägemehl, was noch besser zu wirken scheint; TEXIER *et al.*, 2000) erhöht den Anteil des für Mikroorganismen verfügbaren Kohlenstoffs, welche somit den Stickstoff besser verwerten können (KIRCHMANN UND WITTER, 1989). Die Auswahl des Strohs scheint ebenfalls einen nicht zu vernachlässigenden Effekt auf das C/N zu haben. Zudem kommt der Tierfütterung und der Verdaulichkeit des Futters in der Anpassung des CN-/Verhältnisses große Bedeutung zu (BONGIRAUD, persönl. Mitteilung). Eben dieses Phänomen wird zur Eindämmung der Verflüchtigungsverluste bei der Mistlagerung ausgenutzt. Hier treten wiederum zwei widersprüchliche Auswirkungen der C/N-Anhebung zu Tage: einerseits wird den Bakterien mehr Kohlenstoff zugeführt, andererseits wirkt sie strukturverbessernd, somit durchlüftungsfördernd und steigert somit die Verflüchtigung. Es scheint Obergrenzen zu geben, die nicht überschritten werden sollten. Das optimale Verhältnis, welches nur zu vernachlässigbaren Stickstoffverlusten sämtlicher Formen während der Kompostierung führt, schwankt von Autor zu Autor: 22 bei SOMMER und DAHL (1999), zwischen 25 und 35 bei SHEPHERD *et al.* (2000), 30 bei THOMSEN (2000) und 35 bei GODDEN (1995). Jeder Praktiker sollte aufgrund eigener Erfahrungen das beste C/N-Verhältnis wählen und an der Kompostmiete immer wieder Riechtests machen, um Ammoniakverflüchtigungen nachzugehen.

Der Zuschlag natürlicher Stoffe mit großer Absorptionsfläche (wie z.B. Bentonit oder Zeolit), die die Bindung positiver Ammoniumionen erlaubt, soll sich ebenfalls günstig auswirken (MARTINS UND DEWES, 1992). Wir werden später noch in § 4.1.5. detailliert auf Nutzen und Wirken von Additiven und Zuschlagstoffen eingehen.

Laut dieser Autoren kann auch eine vernünftige Reduktion proteinhaltigen Futters in der Zusammensetzung des Tierfutters zur Verringerung der freigesetzten Ammoniakmengen führen. Einige Versuche wurden durchgeführt (SHEPHERD *et al.*, 2000), um der Annahme nachzugehen, dass eine Verringerung der Verflüchtigung mittels Abdeckung der Mieten mit verschiedenen Materialien möglich ist. Weder Stroh noch Teerleinwand konnten dieses Ziel erreichen. Die Abdeckung soll sogar kontraproduktiv wirken: sie kann zum Austrocknen der Miete und somit höherer Verflüchtigung führen (DEWES, 1995).

LARNEY *et al.*, (2000) schlagen die Abdeckung der Miete mit einer 15 cm dicken Schicht alten Komposts vor, um Ammoniakemissionen biologisch zu filtern (ohne jedoch den Erfolg dieser Technik zu bestätigen).

Einige Forschungsarbeiten scheinen darauf hinzudeuten, dass der Einsatz biodynamischer Präparate eine bessere Stickstoffkonservierung in der Kompostmiete erlaubt.

4.1.4.3. Weitere mögliche Verluste

• Kalium: potentiell substanzielle Verluste

Laut DRIEUX (1993) können bis zu 62,8% des Kaliums während der Lagerung verloren gehen. Angesichts Tabelle 8 gehen wir davon aus, dass es sich dabei um einen extremen Wert handelt, andere Autoren geben Verluste zwischen 7 und 67% an.

Tabelle 8: Werte für Kaliumverluste (in Prozent des Gesamtkaliums im Ausgangssubstrat vor Kompostierung) während der Kompostierung

K ⁺ VERLUSTE	QUELLE	K ⁺ VERLUSTE	QUELLE
> 7	EGHBALL <i>et al.</i> , 1997	35	GODDEN, 1995a
18-67	GODDEN, 1995a	35-38	OTT, 1991
20-37	GODDEN, 1995a	39-54	DEWES <i>et al.</i> , 1991
28	EGHBALL <i>et al.</i> , 1997	43-51	GODDEN, 1995a
28-60	GODDEN, 1995a		

Kalium wäscht sich von allen Elementen am schnellsten aus (OTT, 1991). Kaliumverluste (und Natriumverluste) geschehen vornehmlich durch Sickersäfte (GODDEN, 19??). Kalium kommt hauptsächlich in Tierurin vor (85% des Gesamt K⁺ im Mist stammt aus dieser Quelle; DRIEUX, 1993).

Kaliumverluste treten auf wenn:

- der Mist zu feucht ist (zu hoher Exkrementanteil und/oder zu wenig Stroh; DRIEUX, 1993),
- der Mist sich setzt und mit schlechter Struktur gelagert wird (GODDEN, 19??),
- es während der Kompostierung stark regnet und die Miete nicht abgedeckt wurde (DRIEUX, 1993; EGHBALL *et al.*, 1997),
- die Sickersäfte nicht aufgefangen werden und sämtliche o.g. nachteiligen Bedingungen vorherrschen (DRIEUX, 1993).

Laut GODDEN (1995) soll die Anhebung des C/N-Verhältnisses die Kaliumverluste verringern können. In der Praxis kann das C/N-Verhältnis Anzeichen des Feuchtegehalts, der Strohmenge und der Miststruktur sein. Steigt es an, sind die Bedingungen der Kaliumauswaschung nicht mehr so förderlich. Der gleiche Autor berichtet von Kaliumverlusten, deren Werte vom C/N-Verhältnis bedingt werden (s. Tabelle 9) und stellt fest, dass bei einem C/N-Verhältnis von 35 die Kaliumverluste vernachlässigt werden können.

Tabelle 9: Kaliumverluste in Prozent, abhängig vom Ausgangsgehalt des Substrats und vom C/N-Verhältnis im Ausgangssubstrat (verschiedene Autoren zitiert von GODDEN, 1995a)

C/N-VERHÄLTNIS DES AUSGANGSSUBSTRATS	K ⁺ VERLUSTE	C/N-VERHÄLTNIS DES AUSGANGSSUBSTRATS	K ⁺ VERLUSTE
14	67	20	28
14	63	35	18
14	51	35	~0
18	60	36	8
18	59	52	28

Wir stellen fest, dass bei hohen C/N-Verhältnissen (52) die Kaliumverluste ohne mögliche Erklärung ansteigen.

Der Korrelationsgrad zwischen C/N-Verhältnis (für einen Wertebereich zwischen 14 und 36) und Kaliumverlust beläuft sich auf -93% . Wir können daher wagen, einen linearen Rückgang zwischen diesen beiden Variablen anzunehmen (s. Abbildung 9). Daraus resultiert folgende Gleichung:

$$\mathbf{K^+}\text{-Verlust während der Kompostierung (\%)} = - 2,5 \times \mathbf{C/N} + 95$$

Für diesen Rückgang (nach Rundung der Koeffizienten) entspricht $r^2 = 0,86$. Dieses Ergebnis ist nicht statistisch validiert (kleine Stichprobe, keine Überprüfung der Modellvalidität). Wir schlagen die Gleichung⁴ aber dennoch vor, bzw. einen einfachen Abakus (s. Anhang 8), der auf dieser Gleichung beruht und Landwirten ein Werkzeug zur Bemessung der Kaliumverluste an die Hand geben und somit eine Entscheidungshilfe darstellen soll (z.B.: Einschränkung der Verluste mittels Strohzuschlag).

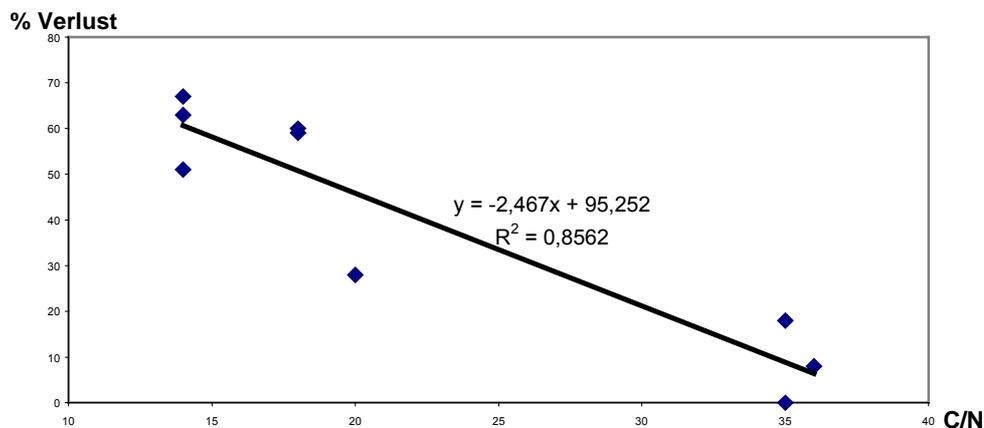


Abbildung 9: Kaliverluste (%) i. Abh. v. C/N-Verhältnis

• Sonstige Verluste: Phosphor, Calcium, Magnesium

Diese Verluste beschäftigen die Wissenschaft weit weniger, da sie einerseits die Umwelt nur gering belasten und sich andererseits in Grenzen halten.

Laut DRIEUX (1993) können Phosphorverluste bei Lagerung bis zu 16% erreichen. Der Autor schlägt keinen Mechanismus zur Erklärung dieser Verluste vor.

Phosphorverluste während der Kompostierung sind schwach: 2 % durch Rieseffekte (EGHBALL *et al.*, 1997), bei ausreichend strohhaltigem Mist können sie vernachlässigt werden (C/N-Verhältnis = 22; SOMMER und DAHL, 1999) .

Calcium- und Magnesiumverluste liegen während der Kompostierung unter 6% (EGHBALL *et al.*, 1997).

4.1.4.4. Vorteile der Kompostierung

Diese Vorteile sind weitgehend bekannt, wir beschränken uns daher auf eine Aufzählung. Den interessierten Leser verweisen wir für weitere Angaben auf LECLERC (2001).

- Volumenverringering (um die Hälfte); Kompostierungszeit und –kosten werden durch geringere auszubringende Mengen kompensiert,

⁴ sie gilt ausschließlich für C/N-Verhältnisse zwischen ca. 15 und 35

- größere Freiheit beim Ausbringen: Kompost kann praktisch das ganze Jahr über ausgebracht werden,
- Trockenmasse- und Mineralstoffkonzentration, erlaubt die Ausbringung kleinerer Mengen pro Hektar oder die Düngung größerer Flächen,
- krümeligere und homogenere Struktur, die eine gleichmäßigere klumpenfreie Ausbringung erlaubt,
- Unkrautsamen werden unschädlich gemacht: dies beruht auf 2 Prozessen: die Aufhebung der Samenruhe (Temperatur und Feuchte der Kompostmiete begünstigen die Keimung, das Pflänzchen überlebt allerdings nicht) und die Produktion von Antibiotika durch gewisse Bakterien in der Kompostmiete, welche die Samenkeimung hemmen. Insbesondere Ampfersamen werden durch Kompostierung komplett zerstört. Erreicht die Temperatur im Mieteninneren 55-60°C, braucht es 24 Tage, bis alle Samen an der Oberfläche zerstört sind, 24 Tage, für alle in 30 cm Tiefe und nur 3 Tage für Samen im Mieteninneren. Vorsicht ist dennoch geboten, der Wind kann frische Samen an die Oberfläche tragen,
- Abtötung von Krankheitskeimen und Tierparasiten. Palisadenwürmer und Leberegel werden schnell abgetötet. Gleiches gilt für sämtliche Salmonellentypen unter der Voraussetzung, dass die Kompostierung korrekt abläuft und dass die Temperatur in der Miete 3 bis 4 Wochen lang über 50°C liegt (1 Stunde ist bei 67°C ausreichend, bei 41°C allerdings braucht es 40 Tage). Auf Schafsmist zerstört die Kompostierung *Escherichia coli*-, Enterokokken-, Kokken- und Salmonellenpopulationen vollständig; Clostridien- und Wurmpopulationen teilweise.
Im Rindermist kann man davon ausgehen, dass 6 Wochen bei 40-50°C zur Zerstörung von Parasitenwürmern nötig sind, dass allerdings für Viren, Bakterien und Parasiten bei gleicher Dauer die Temperatur über 50°C liegen muss,
- vollständige oder teilweise Zerstörung von Pflanzenschutzmittelrückständen (WIART, 1997),
- Abwesenheit unangenehmer Gerüche sowohl beim Kompostieren als auch beim Aufbringen. Treten unangenehme Gerüche auf, so kann das Anzeichen einer nicht optimal ablaufenden Kompostierung sein,
- Bekämpfung von Krankheitskeimen im Boden und von Pflanzenkrankheiten: positive Auswirkungen (BERNER *et al.*, 2000) auf Wurzelkrankheiten wie *Pythium ultimum*. Andere Beispiele für die Erhöhung der Widerstandskraft des Bodens durch Kompostgaben konnten bei folgenden beobachtet werden: widerstandsfähig gegen Rhizoctonia, Fusariosen, Umfallkrankheit, sowie Fäulnis durch *Rhizoctonia sp.*, *Fusarium sp.*, *Sclerotinia sp.*, *Phytophthora sp.*, *Pythium sp.* Diese Auswirkungen sollen mit der biologischen Aktivität zusammenhängen (allgemeine Resistenz oder spezifische Resistenz) und/oder mit einer Modifizierung des physikalischen Milieus.

4.1.4.5. Nachteile und Grenzen der Kompostierung

- es werden nicht alle Parasiten abgetötet: Kokken und Kryptosporidien halten sich, auch der Botulinusbazillus (*Clostridium botulinum*) wird nicht durch Hitze zerstört,
- Schwermetalle werden durch die Kompostierung nicht etwa eliminiert, sondern im Gegenteil konzentriert,
- der Betrieb einer Kompostieranlage ist im Hinblick auf Platz, Zeit, Betreuung, Ausrüstung und Verfügbarkeit der Ausrüstung anspruchsvoll,

- im Kompost wird der Stickstoff festgelegt, was die Verfügbarkeit dieses Nährstoffs mehr vom Bodenleben und Wittereinflüssen abhängig macht.

4.1.4.6. Wie steht es um die Umweltbelastungen?

• Mögliche Risiken und Chancen

Pessimisten sehen in der Kompostierung vornehmlich die potentiellen Umweltgefährdungen und –belastungen. Optimisten sehen in der Entwicklung dieser Praxis Chancen zur Zurückführung der teilweise durch den landwirtschaftlichen Betrieb verursachten Umweltbelastungen. Wenn auch die Kompostherstellung einige zusätzliche Belastungen im Vergleich mit anderen Aufbereitungsmethoden von Wirtschaftsdünger mit sich bringen kann, so bietet die Kompostanwendung zahlreiche Vorteile im Vergleich mit der Aufbringung anders aufbereiteter Produkte. Die Gesamtbilanz der Operation fällt allgemein positiv aus, sofern die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Kompostierung eingehalten werden.

Die Kompostherstellung kann durch die Emission gewisser Gase die Luftqualität und durch gewisse Molekülfrachten im Sicker- und Oberflächenwasser die Wasserqualität belasten. Die Kompostanwendung bietet zahlreiche Chancen zur Verringerung der Luft- und Wasserbelastung, indem sie unerwünschte Moleküle festlegt oder umbaut, was die Frachten dieser Schadstoffe im Milieu mengenmäßig begrenzt.

• Kompostierung und Wasserbelastung

Aus Kompostmieten ausgewaschenes Wasser kann einige umweltschädigende Moleküle enthalten. An erster Stelle denken wir da an das Nitrat. Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass Stickstoffverluste durch Auswaschung während der Kompostierung gering sind. Außerdem sind die Verluste durch Nitratauswaschung verschwindend gering. Geht man davon aus, dass Nitrate maximal 2 bis 20% der Stickstoffverluste durch Auswaschung während der Kompostierung ausmachen (Maximum nach MARTINS UND DEWES, 1992), so kann die Nitratmenge, welche aus einer Kompostmiete bestehend aus Rindermist⁵ aus Laufstallhaltung austritt, auf 8,5 Gramm/m² geschätzt werden (d.h. ein kg Stickstoff unter einer Miete von 50m Länge). Bei Pferdemit beläuft sich die Menge auf 12,3 g/m² (~1,5 kg/N) und bei reinem Geflügelmist auf 43,5 g/m² (~5,4 kg/N). Bei sehr stickstoffreichen Substraten kann die Nitratfracht unter der Kompostmiete höher ausfallen. Meistens werden aber diese Substrattypen mit anderen Substanzen gemischt, um ihr C/N-Verhältnis auszugleichen und somit einer Stickstoffkonzentration vorzubeugen. Wir legen außerdem zu dieser Berechnung Extremwerte an. Unter normalen Kompostierbedingungen ist die Auswaschung geringer (KÖRNER und STEGMANN, 1997). Wir sind des weiteren bereits auf Techniken zur Verringerung der Auswaschungsgefahr eingegangen (Zuschlag von Stroh, zeitweise Mietenabdeckung bei starkem Regen). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Zeiten mit höherem Auswaschungsrisiko zum Beginn des Prozesses (aktive Phase) und in der Reifungsphase liegen, in welcher sich die Nitratmenge erhöht und bis zu 2% des Gesamtstickstoffs im Kompost erreichen kann.

Die beeindruckend großen Kompostmieten verlieren definitiv nur eine begrenzte Menge Stickstoff durch Nitratauswaschung: eine Miete von 50 Metern Länge enthält den Gegenwert von 270 kg Stickstoff. Die Nitratverluste können daher vernachlässigt werden.

Neben den Nitraten können auch andere Elemente in das Grundwasser eingetragen werden. Kalium ist äußerst mobil, stellt aber kaum eine Umweltgefährdung dar: es wird durch Kolloide im Boden gebunden und wirkt nicht toxisch. Phosphor ist verhältnismäßig wenig mobil und wird ebenfalls von Bodenteilchen aufgefangen.

• Kompostierung und Luftbelastung

⁵ Ausmaße der Miete: 1,5 m hoch, 2,5 m breit, Mistdichte geschätzt auf 0,5; zu Gesamtstickstoffkonzentrationen im Mist siehe Tabelle 24

Die Ammoniakverflüchtigung tierischer Exkremente macht 81% (bzw. mehr, laut einiger Studien, die MARTINS UND DEWES, 1992 zitierten) der Gesamtemissionen dieser Gase in Europa aus. Dieses Gas ist an der Entwicklung des sauren Regens beteiligt, der Versauerung und Überdüngung (Stickstofffracht) natürlicher Ökosysteme, sowie an der Entstehung unangenehmer Gerüche während der Kompostierung (KIRCHMANN UND WITTER, 1989; DEWES, 1995; HLBS, 1991; TAMURA *et al.*, 1999). Bei anaerober Zersetzung fallen die Verflüchtigungsverluste geringer aus als bei aerober. Die Kompostierungspraxis kann also im Hinblick auf dieses Gas eine zusätzliche Belastung darstellen.

Im Gegenzug erlaubt die Kompostierung eine Verringerung der Methanemissionen, einem Treibhausgas, das zu 20% an der Klimaerwärmung beteiligt ist und damit den zweiten Platz hinter dem Kohlendioxid einnimmt. Zudem führen 85% der Methangasemissionen, die die Troposphäre erreichen, zur Ozonproduktion. Das Troposphärenozon trägt zum Treibhauseffekt bei und schadet den Waldökosystemen und der menschlichen Gesundheit. Methan ist schließlich ebenfalls an der Verringerung des Stratosphärenozons beteiligt. Dadurch erreichen mehr UV-Strahlen die Erdoberfläche.

Eine Verringerung der Methanemissionen könnte (bei gleichen Mengen) im Kampf gegen die Klimaerwärmung 20 bis 60 mal effizienter wirken als eine Verringerung der Kohlendioxidemissionen. Die Emissionen können auf zwei Wegen zurückgefahren werden: entweder durch anaerobe Fermentierung mit Methanrückhaltung zur Energiegewinnung, oder durch Kompostierung, welche unter normalen Bedingungen keine Methanemissionen verursacht (LOPEZ-REAL und BAPTISTA, 1996).

Weitere Gase, und insbesondere Stickstoffgase wie das Distickstoffmonoxid (N_2O , Lachgas) entstehen unter anaeroben Bedingungen sowohl in der Kompostmiete als auch in schlecht durchlüfteten Böden. Die Kompostierung verhindert auch hier die Entstehung solcher Gase (BANK, 2000), jedoch unter der Voraussetzung, dass die Reifungsphase nicht zu lang ist.

• Kompostanwendung und Wasserbelastung

Auch wenn der Kompost Vorteile hinsichtlich der Stickstofffestlegung aufweist, so muss er mit der gebotenen Umsicht ausgebracht werden, um Wasserbelastungen durch Stickstoffauswaschung nicht erst entstehen zu lassen oder sie gar zu verschärfen. Hier steht natürlich die Kompostgabe zu dem Zeitpunkt, zu dem die Pflanzen den Stickstoff verwerten, im Vordergrund.

Bei der Aufbringung setzt Kompost weniger Nitrate frei als Rohmist (OTT, 1991). Die ausgewaschenen Nitratmengen nach Kompost- oder Rohmistgabe sind trotzdem nicht signifikant unterschiedlich.

Allgemein ist aber die Gefahr der Auswaschung bei Wirtschaftsdüngern (kompostiert oder nicht) nur halb so hoch wie bei der Düngung mit Mineraldüngern.

Hier bedingen vor allem die lokalen Umgebungsbedingungen (Temperatur, Niederschläge und Bodentyp) die Nitratenauswaschungsmengen. Der Reifegrad des Komposts hat im Vergleich zu den determinierenden Umgebungsbedingungen kaum Auswirkungen (GERKE *et al.*, 1999).

• Kompostanwendung und Luftbelastung

Vergleicht man Kompostgaben mit der Frischmistausbringung (s. dazu auch § 4.1.4.2), so stellt man bei Kompostierung geringere Ammoniakemissionen fest. Bei der Kompostanwendung fällt daher eine geringere Umweltbelastung durch dieses Gas an.

Zudem zeigt die Kohlenstoffbilanz der Kompostherstellung und –anwendung (s. § 4.1.4.1.), dass die Kompostierungspraxis eine bessere Konservierung dieses Elements als die Aufbringung von Frischmist oder anaerob behandeltem Mist (Rottemist) erlaubt. Die Kompostierung kann also ein interessantes Verfahren zur Kohlenstofffestlegung in längeren

Zyklen darstellen und gleichzeitig die CO₂ –Mengen in der Atmosphäre reduzieren; eines Gases, das wie Methan als Treibhausgas wirkt.

• Kompostanwendung und Bodenbelastung

Die Einarbeitung stabilisierter, bereits in Humuskomponenten umgewandelter, organischer Substanz trägt erheblich zur Strukturstabilität der Böden und ihrer Erosionsresistenz bei. Dieser Effekt kommt insbesondere auf Hanglagen zum Tragen.

• Umweltbilanz der Kompostierung

Die Betrachtung eventueller Verringerungen oder Verstärkungen von Umweltbelastungen im Verlauf der Kompostherstellung oder –anwendung erscheint wenig sinnvoll und die Bilanz ist bei diesem Ansatz nicht eindeutig. Zählt man Vor- und Nachteile zusammen und vergleicht sie mit möglichen oder praktizierten Alternativen, so kann diese Technik als wertvoll für die Umwelt bezeichnet werden. Tabelle 10 fasst diese ökologischen Elemente nochmals zusammen.

Tabelle 10: Umweltbilanz der Kompostherstellung und –anwendung (im Vergleich⁶ mit der Aufbringung von Frischmist und Rottemist)

	KOMPOST	FRISCHMIST	ROTTEMIST
LUFTBELASTUNGEN			
CH ₄ -Emissionen	+	+	-
CO ₂ -Emissionen	+	~	-
NH ₃ -Emissionen	-	~	~
N ₂ O-Emissionen	~	~	-
WASSERBELASTUNGEN			
Nitratauswaschung*	+	+	~
BODENBELASTUNG			
Erosionsschutz	+	~	-

* abhängig von Bodentyp, klimatischen Bedingungen und Gabezeitpunkt variable Gefährdung

LEGENDE: + bedeutet Verringerung der Belastung (positiver Effekt) und – Verstärkung der Belastung (negativer Effekt)

4.1.5. Wie können Umbauprozesse organischer Substanz während der Kompostierung gesteuert werden ?

Der vorliegende Teil soll praktische Antworten auf Fragen zur Kompostierung geben und damit folgenden Erwartungen gerecht werden:

- den Landwirten helfen, ihre Praktiken gezielter zu bewerten,
- Informationen geben, die die Herstellung eines „Komposts nach Maß“ erleichtern.

Die verschiedenen beeinflussbaren Parameter zur Steuerung der Kompostierung werden auf der Grundlage gezielt durchgeführter Experimente beschrieben und interpretiert. Zu diesem Zweck werden wir genauere Angaben, Beispiele und Hypothesen zu Mechanismen anführen, welche geeignet sind, die Kompostierung zu „kontrollieren“. Sie stammen aus den Erfahrungen der Praktiker und der Interpretation der bisher dargelegten Erkenntnisse.

Wir halten es jetzt bereits für erwiesen, dass einige Hauptparameter existieren, deren Wirkung auf die optimale Durchlüftung und Feuchte die Entwicklung der Substrate über einen Zeitraum hinweg determinieren (MUSTIN, 1987). Diese Parameter sind die

⁶ eine globalere Betrachtung könnte Fermentierungstechnik und thermische Verwertung mit einbeziehen

Zusammensetzung des Ausgangssubstrats, die mikrobiologische Aktivität und Sauerstoffverfügbarkeit, Temperatur und pH-Wert, wobei letzterer nur schwer „kontrollierbar“ ist.

4.1.5.1. Auswahl des Ausgangssubstrats

• welche Mistarten eignen sich für die Kompostierung besonders?

In der Praxis liegt **Rindermist** aus akkumulierter Einstreu als Substrat dem technischen Optimum am nächsten. Der Strohanteil sollte idealerweise bei 5 bis 7 kg/RGV/Tag liegen (LECLERC, 2001).

Laufstallhaltung oder Anbindehaltung mit Stroheinstreu produziert daher den am besten zur Kompostierung geeigneten Mist. Die Einstreumenge hängt dabei auch von der Fütterung ab (mehr oder weniger stickstoffhaltig), also vom Alter der Tiere und von ihrem Leistungsniveau. Weicherer Mist kann zwar verwendet werden, Strohzuschlag und ausreichende Mischung gestalten sich aber schwierig, es sei denn man schlägt es einem nassen, stroharmen Mist vor dem Ausmisten zu.

Schweinemist von regelmäßigem Ausmisten oder aus dem Tiefstreustall hat einen Feuchtegehalt zwischen 65 und 75%, was dieses Substrat sehr aktiv macht. Zwei Risikofaktoren gefährden seine Kompostierung:

- das von den Tieren zerkaute Stroh hat sich mit Wasser vollgesogen und einen Großteil seiner für die Miete strukturgebenden Eigenschaften eingebüßt, was die Gefahr eines Luftabschlusses in sich birgt,
- dieser Mist ist sehr stickstoffhaltig und kann zu substanziellen Stickstoffverlusten durch Verflüchtigung führen (25 bis 50% des Gesamtstickstoffs kann sich also sprichwörtlich in Luft auflösen; TEXIER, 1998)

Pferdemist ist stickstoff- und phosphorhaltiger als Rindermist (LECLERC, 2001), aber auch strohhaltiger (im allgemeinen legen Reitställe auf die Sauberkeit ihrer Tiere großen Wert) und trockener (46% Feuchtegehalt im Vergleich zu 75% bei Rindermist ZIEGLER und HÉDUIT, 1991). Dieses Ausgangssubstrat ist schwer allein zu kompostieren, was vor allem am Problem der Befeuchtung liegt. Es wird zumeist gemischt mit anderen Substraten kompostiert, wie z.B. mit Schweinemist oder nach Befeuchtung mit Schweine- oder Rindergülle. Praktische Beobachtungen berichten von einem Zusammensinken der Mieten, deren Ausgangshöhe von anderthalb Metern auf einige Dutzend Zentimeter einsinkt.

Geflügelmist ist ebenfalls stickstoffhaltig und sehr trocken: Feuchtegehalt nur zwischen 25 und 40%. Er muss also vor Beginn der Kompostierung befeuchtet werden (500 Liter Wasser pro Tonne, um den Feuchtegehalt von 25 auf 50% anzuheben). Aufgrund der hohen Stickstoffmengen im Ausgangssubstrat sind die Stickstoffverluste beträchtlich: durchschnittlich 40%, bei Putenmist liegen sie höher (46%) als bei Hühnermist (26%). Trotz der Stickstoffverluste während der Kompostierung ist kompostierter Geflügelmist der stickstoffreichste Kompost (AUBERT, 1998).

Schafsmist ist wie Pferdemist verhältnismäßig trocken. Er sollte also angefeuchtet werden, wobei dies im Schafstall geschehen sollte, da die Befeuchtung der aufgesetzten Miete bei weitem nicht so homogen erfolgen kann. Dieser Mist ist wesentlich kaliumhaltiger als Rindermist. Die K⁺-Auswaschung muss also überwacht werden.

• besondere Angaben zu Grüngut

Die Grüngutkompostierung verläuft im allgemeinen problemlos, gemischte Substrate können sich in der Wirkung ergänzen (einige davon sind stickstoffhaltig, andere kohlenstoffhaltig, wie zum Beispiel Holz).

Rasenschnitt ist stark stickstoffhaltig (2,7% TM) und phosphor-, kalium- und calciumhaltig. Anteile von bis zu 30% Rasenschnitt in der Masse eines Grüngutkomposts wirken sich offensichtlich nicht nachteilig auf die Kompostierung aus (MICHEL *et al.*, 1996) außer:

- auf die Mengen verlorenen Kohlenstoffs und verlorener organischer Substanz (stärkere Aktivität, also höhere Verluste),
- auf den pH-Wert, der gegen Ende der Kompostierung den Wert 8 überschreiten kann,
- eventuell auf die Geruchsbelästigung.

Blattwerk ist weniger stickstoffhaltig (1,0% TM), spielt aber eine nicht zu vernachlässigende strukturgebende Rolle, sofern es nicht vollständig mit Wasser vollgesogen ist. Höhere Anteile von Blättern haben einen dämpfenden Effekt auf die mikrobielle Aktivität und können daher die Kompostierungsdauer verlängern.

• wie steht es um die Mischungen?

In der Praxis stellen zahlreiche Landwirte Mistmischungen her, die sie dann kompostieren. Einige rechtfertigen diese Praxis mit der Etymologie des Begriffs „Kompost“, der sich vom mittellateinischen „compostum“ herleitet und „Zusammengesetztes“ bedeutet.

Wichtig ist eigentlich nur, dass die Mischung kompostierbar ist. Mischungen sind bis jetzt noch kaum untersucht worden, es gibt allerdings einige Hypothesen zu dieser Frage:

- aufgrund der Vielfalt der Substrate und der ihnen assoziierten Floren (insbesondere der tierischen Verdauungstrakte) erlauben diese Mischungen zweifellos die Entwicklung einer größeren Artenvielfalt,
- mittels der Mischungen ist eine Korrektur des C/N-Verhältnisses, des Feuchtegehalts oder jener Strukturen möglich, die nicht mit einer optimalen Kompostierung zu vereinbaren sind. Die Korrektur des C/N-Verhältnisses durch Strohzuschlag ist keine einfache Aufgabe. Eine Anpassung des Feuchtegehalts ist in der Praxis einfacher machbar, die Güllebefeuchtung scheint allerdings progressiver zu wirken und ist der Absorptionsgeschwindigkeit von Mist und dem enthaltenen Stroh besser angepasst,
- letztendlich soll eine Mischung von verschiedenen Misten mit unterschiedlichen Stickstoff-, Kalium- oder Phosphorgehalten eine bedarfsgerechte Beeinflussung der Zusammensetzung des Endprodukts für mehr oder weniger differenzierte Anwendungen erlauben.

MICHEL *et al.* (1996) bestätigen diese Annahmen. In ihren Augen haben die Proportionen der Ausgangssubstrate nur unwesentlichen Einfluss auf zahlreiche wichtige Kompostierparameter, mit Ausnahme der Endzusammensetzung gewisser Düngenährstoffe. Somit wären nur wenige Kompostierparameter durch die Proportionen der Ausgangsmaterialien steuerbar. Die Auswahl der Ausgangsmaterialien determiniert in erster Linie die „Kompostierbarkeit“ des Substrats und in geringerem Maße die Entwicklung der Kompostmiete. Andere Parameter und Faktoren haben wesentlich größeren Einfluss auf den Ablauf der Kompostierung.

Anders ausgedrückt müssen die Ausgangsmaterialien sorgfältig ausgesucht werden, um eine gute Kompostierung zu gewährleisten. Im weiteren Verlauf des Prozesses kann dann auf weitere Maßnahmen zurückgegriffen werden, die die Entwicklung des Prozesses steuern helfen.

Schlechte Ausgangsmaterialien hingegen werden sich, unabhängig von allen späteren Maßnahmen (Umsetzen, Befeuchtung,...) im Verlauf des Kompostierungsprozesses nicht

gut kompostieren lassen. Kurz gesagt heißt das, dass ein schlecht gestarteter Kompost sich kaum nachbessern lässt.

4.1.5.2. Lagerung vor der Kompostierung

Wir hatten bereits darauf hingewiesen, dass die gelagerten Ausgangsmaterialien vor der Kompostierung vor möglichen Umbauprozessen geschützt werden sollten.

Einige Praktiker berichten, dass bereits zu weit umgebaute Ausgangsmaterialien nicht mehr kompostiert werden können, obwohl sie vor der Lagerung durchaus kompostierbar waren. Dies ist z.B. bei Rasenschnitt der Fall, der sehr schnell zu fermentieren beginnt, wenn er nicht sofort kompostiert wird. Das gleiche Phänomen wurde bei Mist beobachtet, der vor der Kompostierung mehrere Monate gelagert worden war und nicht in die thermophile Phase überging, obwohl die Miete mehrmals umgesetzt wurde.

Für die Verringerung der Kompostierbarkeit der Ausgangsmaterialien durch eine Lagerung gibt es zwei Erklärungen, die auch kombiniert auftreten können:

- substanzielle Stickstoffverluste: die Mikroorganismen finden nicht mehr genügend des für ihre Entwicklung notwendigen Stickstoffs vor, ihre Aktivität ist eingeschränkt und die Temperaturen steigen nicht an,
- Verluste leicht abbaubaren Kohlenstoffs: der Umbau dieser Kohlenstoffquelle zu Beginn der Kompostierung zieht den schnellen Temperaturanstieg nach sich (thermophile Phase); sind jedoch nur mehr schwer abbaubare Verbindungen übrig, so verlangsamt sich der Abbau und ist zudem nur mit hochspezialisierten Mikroorganismen möglich.

Einige Autoren wie z.B. MICHEL *et al.* (1996) betonen, dass die Lagerung zu einem Anstieg des Feuchtegehalts in der Kompostmiete führen kann, was den Start des aeroben Abbaus verhindert.

Um solchen Misserfolgen vorzubeugen, ist es ratsam, den Mist unmittelbar nach dem Ausmisten der Ställe zu kompostieren oder Grüngut zu häckseln und sofort zu Mieten aufzuschichten.

Kann man nicht so verfahren, ist es besser, die Substrate unter Luftabschluss weitgehend vor Sauerstoff geschützt zu lagern, um einer Umwandlung so weit wie möglich vorzubeugen (Kohlenstoffverluste und Stickstoffverluste sind unter anaeroben Bedingungen weitaus geringer als unter aeroben).

Es sollte auch darauf hingewiesen werden, dass einige Praktiker Mist mit behandelten Strohhalmen (Wachstumshemmer) gerne zwei Wochen lagern. In dieser ersten Umbauphase werden die schwerer abbaubaren, glänzenden Strohhalme bereits ein wenig angegriffen.

4.1.5.3. Häckseln

Die Technik des Häckselns wird in der Grüngutkompostierung systematisch eingesetzt. Das Häckseln kann aber auch für den Landwirt, der Grüngut mit anderen Substraten mischt, von Interesse sein.

Betreiber von Kompostwerken können durch die Auswahl der Häckselgröße Einfluss nehmen. Die Häckselteilchengröße beeinflusst die Kompostierung in zweifacher Weise (MUSTIN, 1987; COOPERBAND, 2000):

- einerseits stimulieren kleine Häcksel durch die Ausdehnung der Angriffsfläche die Aktivität der Mikroorganismen,
- andererseits verringern zu kleine Häcksel die Porosität und bergen das Risiko, die Kompostmiete zu ersticken.

Es muss also ein gesunder Mittelweg gefunden werden. Große Häcksel werden außerdem nur teilweise von den Mikroorganismen abgebaut. Sie werden nach der Kompostierung durch Siebung ausgesondert und einer erneuten Kompostierung zugeführt. Dieses Verfahren wird angewandt, um die Abnutzung der Schlegel in Grenzen zu halten: je größer die

Häcksel, desto weniger nutzen sich die Schlegel ab. Da diese Verschleißteile aus Legierungen hergestellt werden und sehr kostspielig sind, ist das Einsparpotential nicht unterzubewerten. Da im Gegenzug allerdings die selben Häcksel mehrmals den Kompostierprozess durchlaufen, erfordert diese Praxis mehr Platz. Abhängig von diesen Vorbedingungen findet man in der Praxis sowohl Anhänger großer Häcksel als auch Anhänger kleiner Häcksel (diese Praktiken werden in § 4.2.4. nochmals aufgegriffen).

WIART (1997) weist des weiteren darauf hin, dass die Schlegelabnutzung potentiell die Ausgangsmaterialien mit Schwermetallpartikeln verschmutzen kann. Dieses Problem ist zwar im allgemeinen sekundär, die Chrom-(Cr) , Nickel- (Ni) und Bleigehalte (Pb) sollten aber dennoch überwacht werden.

4.1.5.4. Mietenform und Mietengröße

Unseres Erachtens hat dieses Kriterium entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung der Kompostierung. Es wirkt sich in der Folge auf Kompostierungsdauer, Verluste organischer Substanz, Humifizierungsindex und Körnergröße des Komposts aus (MICHEL *et al.*, 1996); diese vier Parameter stellen die Konsequenz der biologischen Aktivität dar, die durch Temperatur- und Durchlüftungsbedingungen vorselektiert wurde.

Schaffung und Erhaltung aerober Bedingungen werden bedingt durch:

- Luftzirkulation: in einer Dreiecksmiete zirkuliert Luft durch Konvektion (Aufsteigen erwärmter Luft bei gleichzeitigem Absinken kalter Luft in der Umgebung), während in größeren Mieten die Luftzirkulation wesentlich kompliziertere Wege einschlägt als das einfache Aufsteigen (insbesondere seitliche Verteilung); das Ausmaß der Luftzirkulation hängt außerdem von der Körnergröße ab. Allgemein lässt sich zusammenfassen, dass mit steigender Austauschfläche auch der Luftaustausch ansteigt. Dieser Faktor kann durch das Verhältnis [Größe der Luftaustauschfläche] / [Volumen des kompostierten Substrats] bemessen werden; je größer dieses Verhältnis, desto intensiver der Gasaustausch zwischen dem Mieteninneren und der Außenatmosphäre;
- die Sauerstoffzufuhr in das Mieteninnere: je höher oder breiter eine Miete ist, desto mehr verringert sich der Sauerstoffgehalt der in das Innere geführten Luft, was die Entwicklung eines anaeroben Kerns nach sich ziehen kann; insofern hängt alles von der Geschwindigkeit der Luftzirkulation ab: zirkuliert sie schnell, so ist das Risiko der Bildung eines anaeroben Kerns geringer;
- von der Stabilität der Mietenstruktur: je höher eine Miete angelegt wird, desto weniger ist sie gegen Einstürzen durch das eigene Gewicht gefeit, was zu Strukturverlust und somit schlechterer Luftzirkulation führt (HONG *et al.*, 1984). Das Einsturzrisiko ist im Mietensockel höher (Auftreten einer schwarzen, feuchten und übelriechenden Schicht).

Die Mietentemperatur schwankt abhängig von:

- der Luftzirkulationsgeschwindigkeit, die wiederum von Form und Größe der Miete und der Teilchengröße bedingt wird,
- der Wärmehaltungsfähigkeit und dem Wärmeleitwiderstand der Miete: Mieten mit geringer Austauschfläche für ein gegebenes Volumen (große Mieten mit niedrigem Fläche/Volumen-Verhältnis) erleiden weniger Wärmeverluste als kleine Mieten (geringere Wärmeableitung). Große Mieten weisen also einen höheren Wärmeleitwiderstand auf als kleine Mieten (MICHEL *et al.*, 1996).

Um also aerobe Bedingungen in der Kompostmiete abzusichern, müssen die zwei Faktoren Mietengröße und Körnergröße aufeinander abgestimmt werden.

Tabelle 11 bildet die Wechselwirkungen dieser zwei Parameter auf die natürliche Durchlüftung und die Mietentemperatur ab.

Tabelle 11: Grundlegende Rahmenbedingungen der Kompostierung (Temperatur und Sauerstoff) in Bezug auf Mietengröße und Körnergröße des Ausgangssubstrats nach HONG *et al.* (1984), MICHEL *et al.* (1996), MICHEL (1999) & MUSTIN (1987)

	KLEINE MIETEN	GROSSE MIETEN
ZU KLEINE KÖRNERGRÖSSE	<ul style="list-style-type: none"> • Erstickungsgefahr • Überhitzungsgefahr (geringer) 	<ul style="list-style-type: none"> • Erstickungsgefahr (Anaerobiose) <ul style="list-style-type: none"> • hält die Wärme zu sehr (zu hohe Temperatur, bremst die mikrobielle Aktivität)
OPTIMALE KÖRNERGRÖSSE	Gute Wärme-, Temperatur- und Durchlüftungsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • eher gute Durchlüftungsbedingungen, aber sehr heterogen • zum Teil zu hohe Temperaturen
GROBE KÖRNERGRÖSSE	<ul style="list-style-type: none"> • Austrocknungsgefahr • Auskühlungsgefahr 	<ul style="list-style-type: none"> • Austrocknungsgefahr • Selbstentzündungsgefahr

Wir haben die Grenzen zwischen kleinen und großen Mieten und Körnergrößen absichtlich fließend angegeben. Hier sollte vor allen Dingen in Betracht gezogen werden, dass gewisse Bereiche eine bessere Kompostierung erlauben als andere.

Tabelle 12 gibt Anhaltspunkte für die Größenordnungen des Austauschfläche/Volumen-Verhältnisses in Bezug auf die Mietengröße.

Tabelle 12: Austauschfläche/Volumen-Verhältnis der Miete in Bezug auf ihre Form und/oder Größe (laut MICHEL *et al.*, 1996)

FORM	GRÖSSE (BREITE x HÖHE IN METERN)	A_{FLÄCHE} / V (IN M²/M³)
Dreiecksmiete	4 x 1,2 - 1,5	1,6 - 1,9
kegelförmige Miete	3,5 - 4,3 (Ø) x 3	1,0 - 1,1
Tafelmiete	7 - 8 x 3	0,2 - 0,3

Diese Verhältniszahl schwankt unter Umständen sehr stark und wir wissen, dass Mietengröße und Mietenform einen großen Einfluss auf den Ablauf der Kompostierung haben. Wir werden uns am Beispiel des Grüngutkomposts (s. § 4.2.) mit der Frage befassen, inwieweit die Mietengröße die Ausrichtung des Kompostierungsprozesses und die Eigenschaften des Endprodukts beeinflussen kann.

Der folgende Abschnitt ist den Auswirkungen des Mietenumsetzens und der verschiedenen Durchlüftungsverfahren gewidmet.

4.1.5.5. Umsetzen und Durchlüftungsverfahren

• Umsetzen und Sauerstoffzufuhr in der Kompostmiete

Um von vorneherein Missverständnisse auszuschließen, muss festgestellt werden, dass Umsetzen keine unmittelbare Sauerstoffzufuhr in der Miete garantiert. Der durch das Umsetzen und die Lufterneuerung der Miete zugeführte Sauerstoff verschwindet bereits nach wenigen Stunden (MICHEL, 1999).

Hauptziel des Umsetzens ist die Schaffung einer luftzirkulationsbegünstigenden Struktur (MICHEL, 1999). Unter Umständen kann es sogar dazu führen, dass schlecht strukturierte oder bereits abgebaute Materialien die Miete zum Einsturz bringen, was sie ersticken kann. GODDEN (19??) weist darauf hin, dass mit dem Streuer auf die Miete aufgebracht Mist sein Volumen um das 2,5-3-fache vergrößert.

• Weitere Auswirkungen des Umsetzens auf den Kompostierungsprozess

Das Umsetzen wirkt entscheidend auf die Substrathomogenisierung: es ermöglicht das Vermischen mehr oder weniger abgebauter organischer Substanz und die Flüssigkeitsverteilung (FINSTEIN *et al.*, 1999; HONG *et al.*, 1984). Außerdem verringert Umsetzen die Körnergröße (leichter Häckseleffekt durch Verschleiß und Zerschlagen nach MICHEL, 1999 und FINSTEIN *et al.*, 1999).

Unmittelbar nach dem Umsetzen tritt ein Temperaturanstieg ein (CREPAZ *et al.*, 1997); wird zweieinhalb Wochen nach der Anlage der Miete umgesetzt, so verbleibt die Temperatur für drei Wochen auf einem hohen Niveau (GODDEN, 19??). Werden noch kaum umgebaute Flächen durch die Vermengung des Substrats (was ebenfalls zur einer Verteilung der Mikroorganismen führt, da diese sich nicht selbständig fortbewegen können) der Aktivität der Mikroorganismen ausgesetzt (Vorsicht: das Zerschlagen tötet immer gleichzeitig zahlreiche Bakterien ab), so steigt der Sauerstoffgehalt der Miete schlagartig an (er geht von durchschnittlich 1-5% auf 20% hinauf, welches dem Luftsauerstoffgehalt entspricht) und regt somit die Aktivität der Mikroorganismen an (SOMMER *et al.*, 19??). Das Umsetzen verlängert die thermophile Phase und führt zu einer Verkürzung der Kompostierungsdauer (GODDEN, 19??; HONG *et al.*, 1984).

Dies verdeutlicht, dass eine häufig umgesetzte Miete wesentlich aktiver ist und mehr organische Substanz verliert als eine kaum oder überhaupt nicht umgesetzte Miete (INSAM *et al.*, 1996). Intensives Umsetzen (z.B. 2 Monate lang wöchentlich) führt zu schnellerem Auskühlen, vollständigerem Abbau und früherer Kompoststabilisierung (CREPAZ *et al.*, 1997; INSAM *et al.*, 1996; SHI *et al.*, 1999).

Wird die Teilchenzerkleinerung übertrieben, so kann sie zu verringerter Porosität und geringerer Luftzirkulation führen (MICHEL, 1999).

Verschiedene Autoren (INSAM *et al.*, 1996; LARNEY *et al.*, 2000) vertreten die Ansicht, dass das Umsetzen die Bildung schwarzer speckiger Stellen im Mieteninneren verhindert, welche schlecht kompostieren (anaerobe Bedingungen bei unvorteilhafter Struktur). Dieses Phänomen wurde auch von Landwirten beobachtet, die sich für das Umsetzen entschieden hatten: sie sind mit der Homogenität des Endprodukts sehr zufrieden.

Setzt man um, so entfernt man gleichzeitig überschüssige Feuchtigkeit (nach dem Umsetzen bildet sich eine Wasserdampf Wolke) und LARNEY *et al.* (2000) weisen darauf hin, dass 10-maliges Umsetzen während einer Kompostierungsdauer von viereinhalb Monaten den Wasserverlust von 23% (nicht umgesetzte Vergleichsmiete) auf 36% ansteigen lässt, das entspricht einem 50%-igen Anstieg. MICHEL *et al.* (1996) konnten zeigen, dass 7-maliges Umsetzen der Miete innerhalb von 4 Wochen den Feuchtegehalt des Endprodukts auf 43% bringt, während er bei im selben Zeitraum lediglich einmal umgesetzten Mieten bei 54% liegt. Werden alle Substrate einmal von außen in das Mieteninnere gebracht, so durchlaufen alle Ausgangsmaterialien die thermophile Phase. Somit wird das gesamte Substrat hygienisiert und Unkrautsamen werden zerstört (CREPAZ *et al.*, 1997; LECLERC, 2001, MICHEL, 1999).

• Sinn und Nutzen des Umsetzens

Laut GOLUEKE (1992) kann eine High-Tech-Kompostierung (im Reaktor oder durch mechanische Wirkung) nicht dazu führen, dass die Mikroorganismen über ihre genetisch festgelegten Fähigkeiten hinauswachsen. Der Maschineneinsatz sollte also mit der nötigen Umsicht erfolgen und sich vor allem auf die unmittelbaren Auswirkungen auf die biologische Aktivität der Kompostmiete konzentrieren.

GODDEN (19??) gibt an, dass unter normalen Kompostierungsbedingungen Umsetzen nicht unbedingt unverzichtbar ist. Es ist insbesondere bei ungünstigen Voraussetzungen (anaerobe Bedingungen, starkes Setzen...) angebracht.

CREPAZ *et al.* (1997) bestätigen außerdem, dass ein Umsetzen insbesondere in den ersten 5 Wochen gerechtfertigt ist. Nach diesem Zeitraum sind keine signifikanten Unterschiede zwischen umgesetzten und unberührten Mieten mehr zu beobachten.

Wir hatten bereits darauf hingewiesen, dass das Umsetzen die Homogenität des Produkts fördert und Keime und Unkrautsamen unschädlich macht.

In kaltem Klima kann mittels Umsetzen die Aktivität der Kompostmiete in der thermophilen Phase wieder angekurbelt werden; dieser Effekt wirkt allerdings nur kurzfristig (LARNEY *et al.*, 2000).

Das Umsetzen kann zudem die Abbauprozesse beschleunigen und somit die Verweilzeiten des Komposts in der Kompostieranlage erheblich verkürzen. Dieser Aspekt ist zweifellos für Betreiber interessant, die große Mengen organischer Substanz zu bewältigen haben (Grüngutkompostwerk, große Tierzuchtbetriebe,...).

Wenn auch organisationstechnisch und flusstechnisch der Nutzen häufigen Umsetzens offensichtlich ist, so stellt sich noch die Frage nach dem landbaulichen Nutzen dieser Praxis. Wir werden die Betrachtung hier auf einige Aspekte beschränken und in der Typologie (§ 4.2. et 4.3.) detailliertere Beispiele aufführen, welche auf Beobachtungen beruhen und sich in der Praxis bewährt haben

Die Stickstoffverluste eines häufig umgesetzten Komposts werden auf 20-30% geschätzt (CREPAZ *et al.*, 1997). Dieser Wert erreicht ca. die Hälfte der durchschnittlichen Verluste während der Kompostierung, welche sich maximal auf 50% belaufen (ATALLAH, 1993). Die Autoren ziehen bezüglich der Auswirkungen des Umsetzens auf Stickstoffverluste durch Ammoniakverflüchtigung unterschiedliche Rückschlüsse. Für DEWES (1995) und MORVAN & DACH (1998, s. § 4.1.4.2.) wird beim Umsetzen durch das Aufreißen der Kompostmietenatmosphäre einmalig eine große Stickstoffmenge freigesetzt, während CREPAZ *et al.* (1997) die Verflüchtigungsverluste für gering halten, da der Stickstoff in organischer Form festgelegt sei und die vorhandenen NH_4^+ -Mengen einen geringen Anteil des Gesamtstickstoffs ausmachen. Die Auswirkungen des Umsetzens auf die Stickstoffverflüchtigung wird von dessen Zeitpunkt abhängen. Die Gefahr der Verflüchtigung ist während der thermophilen Phase am höchsten, und dort insbesondere bei der Temperaturspitze. Normalerweise wird eine Miete aber erst bei einsetzender Abkühlung umgesetzt (unter 50°C).

Laut MICHEL *et al.* (1996) scheint häufiges Umsetzen (7-mal in 4 Wochen) negative Auswirkungen auf den Humifizierungsindex zu haben, was bedeutet, dass der Kohlenstoff nach der Gabe im Boden weniger gut festgelegt ist. Betrachtet man dies zusammen mit der Beobachtung, dass die Verluste organischer Substanz bei häufigem Umsetzen stärker ausfallen (CREPAZ *et al.*, 1997), so ist die Frage berechtigt, ob die Praxis hinsichtlich der Kohlenstoffkonservierung im Vergleich zu seltenerem Umsetzen oder gar zur Frischmistdüngung überhaupt einen Nutzen aufweist (s. dazu § 4.1.4.1.).

Die Autoren stellen immer wieder die Überlegung an, dass häufiges Umsetzen schneller einen reifen Kompost erzeugt. Dabei stützen sie sich vornehmlich auf das Kriterium der beständigen mikrobiellen Aktivität in der Miete als auf tatsächliche Reifekriterien des Komposts.

• Werkzeuge und Ausrüstung für mechanisches Umsetzen

Ein Umsetzen per Hand mit der Grabgabel ist eher dem Gartenkomposthaufen mit seinen geringen Mengen vorbehalten. Zuweilen sieht man aber ganze Gruppen von Arbeitern gemeinsam eine Kompostmiete umsetzen: dort trifft man dann die gesellige Stimmung an,

die sich bei gemeinsamer schwerer Handarbeit einstellt. Solch geteilte Mühe erlangt geradezu soziale Dimensionen.

Weniger anstrengend, aber dennoch mühselig ist das Umsetzen mit der hydraulischen Gabel des Traktors. Hier kann eine Person das Umsetzen bewältigen. Diese Praxis erfordert aber Zeit und genügend Spielraum zum Manövrieren. Außerdem muss ein nicht gut befahrbarer Boden abgetrocknet sein, da ansonsten das häufige Hin- und Herfahren Schäden am Rand der Miete verursacht (Rillen, Setzen), was ihre Wiederbelebung und das Aufsetzen erschweren wird.

Bei einem methodischen Vorgehen wird zunächst der zu kompostierende Mist mit der hydraulischen Frontladergabel auf den Dungstreuer geladen. In der Praxis kann dann der Streuer auf zwei Arten betrieben werden: mit oder ohne Frässtreuwalze. Wenn der Streuer mit Walze betrieben wird, so sollten am Auslass Ablenkbleche angebracht werden. Es kann aber dennoch passieren, dass der Mist zu weit gestreut und zu heftig herausgeschleudert wird und sich zu stark setzt oder sich oben auf der Miete eine Art Rinne bildet. Daher streuen einige Landwirte ohne Walze. Dann müssen Klumpen aber gut zerkleinert werden, denn nur der Transport über den Kratzboden oder die Kettenzüge können das Substrat vor dem Aufsetzen der Miete noch auflockern. Diese Methode verlangt zwei Arbeitskräfte. Sobald die Aufgabe vollendet ist, wird die Miete mit der Frontladergabel in Form gebracht. Kleinere Korrekturen können dann noch mit der Grabgabel vorgenommen werden. Vom Zeit- und Kostenaufwand her ist diese Praxis nicht wirklich rentabel (HABIB und GRÉGOIRE, 1998): dieses Umsetzen verschlingt mehr Zeit als die Zeitersparnis durch die geringere Anzahl auszubringender Ladungen (verursacht durch die Volumenreduzierung des kompostierten Mistes und die Nährstoffkonzentration).

Letztendlich gibt es noch die spezielle Ausrüstung: das Umsetzgerät. Es werden verschiedene Modelle angeboten, die sich für unterschiedliche Mietengrößen und Mietenformen eignen. Die bekanntesten sind die Umsetzgeräte für Dreiecksmieten. Tatsächlich handelt es sich hierbei um eine motorgetriebene Frässtreuwalze, die sich in die Miete vorarbeitet. Die Umdrehungsachse ist senkrecht zur Arbeitsrichtung ausgerichtet. Während das Umsetzgerät sich durch die Miete arbeitet, wird durch die Rotorkraft das gesamte Substrat nach hinten geschleudert. Nach dem Umsetzdurchgang ist die Miete höher als vorher, sie hat also an Struktur gewonnen. Mit adäquater Ausrüstung reicht eine Arbeitskraft. Einige dieser Umsetzgeräte benötigen einen Kriechgang auf dem Traktor, andere werden hydraulisch angetrieben, wobei dieser Antrieb den gesamten Zug bewegt (der Traktor als Kraftquelle wird in den Leerlauf geschaltet und das Umsetzgerät schiebt den Traktor an). Abhängig von der Setzung des Substrats läuft das Umsetzgerät mehr oder weniger leicht. Mehrere Durchgänge können sich zur Schaffung einer annehmbaren Struktur als nötig erweisen (2 bis 3 Mal).

Der Einsatz des Umsetzgeräts ist wirtschaftlich, sofern nicht mehr als 2 oder 3 Durchgänge nötig sind: jenseits dieser Schwelle sind Zeit- und insbesondere Treibstoffaufwand höher als die Einsparungen durch verkürzte Ausbringungszeit.

Für das Umsetzen von Tafelmieten (2 bis 3 Meter hoch, bis zu 30 Meter breit) zur Kompostierung von Grüngut gibt es Spezialmaschinen. Es handelt sich um eine geneigte Vertikalfräse, welche eine vertikale Schicht von 10 bis 15 cm von der Miete abträgt, auf ein Förderband wirft, das seinerseits das Substrat wieder aufwirft und somit die Miete wiederherstellt.

• Andere Verfahren zur Sauerstoffversorgung der Miete: die künstliche Belüftung

Es handelt sich um eine Luftzufuhr mittels auf dem Boden verlegter, oder in die Bodenplatte eingelassener Lüftungsrohre, welche an eine Ansaug- oder Druckpumpe angeschlossen sind. Die Pumpe schickt kleine Luftmengen in die Miete, um so die Ausbildung fester Strömungskanäle zu verhindern. Künstlich belüftete Mieten können unter Umständen mit einer Folie abgedeckt werden.

Werden in der Miete Messsonden angebracht, so kann abhängig von verschiedenen physikalischen Parametern und dem Fortgang der Kompostierung (Sauerstoffgehalt, Temperatur) die Miete bedarfsgesteuert belüftet werden.

Die Autoren sind sich über den sinnvollsten Parameter zur Kompostierungssteuerung durch Belüftung nicht einig. CITTERIO *et al.* (1987) halten den Sauerstoffgehalt für den ausschlaggebenden Faktor. FINSTEIN *et al.* (1999) vertreten die Steuerung der künstlich belüfteten Kompostierung entweder ausschließlich anhand der Temperatur oder anhand der kombinierten Kriterien Temperatur und Sauerstoffgehalt. Ihres Erachtens reicht der Sauerstoffgehalt alleine nicht als Steuerfaktor für die Kompostierung aus.

Diese Praxis ist im Oberrheingraben noch nicht sehr verbreitet und betrifft nur die Grüngutkompostierung, sowie die Kompostierung biologisch abbaubarer Haushaltsabfälle und Klärschlämme.

Wir werden aber dennoch in unserer Typologie auf die Steuerung der künstlichen Belüftung eingehen und die Vor- und Nachteile dieses Mietenmanagements untersuchen.

4.1.5.6. Mietenschutz und Mietenabdeckung

Wir haben bereits betont, dass Kompostierung der Umbau organischer Substanz außerhalb des Bodens ist. Die Umbauprozesse im Boden sind grundlegend anders und kaum steuerbar. Das liegt insbesondere an indirekten Auswirkungen des Klimas auf den Boden (Temperatur und Niederschläge). Finden nun diese Umbauprozesse nicht im Boden statt, so bedeutet das aber nicht, dass das Wetter keine Rolle spielen würde.

• Wetterempfindlichkeit kleiner und großer Mieten

Das Wetter kann die Kompostierung beeinflussen und wirkt besonders auf zwei grundlegende Faktoren: die Luftzirkulation und die Durchlüftungsbedingungen der Miete.

- heißes (oder kaltes) Wetter erhitzt die Mieten (oder kühlt) sie umso mehr ab, je kleiner sie sind; große Mieten reagieren in geringerem Maße auf die Schwankungen der Umgebungstemperatur;
- trockenes (oder regnerisches) Wetter trocknet (oder befeuchtet) eine kleinere Miete eher als eine große; Befeuchtung wirkt sich auf Porosität (also die Luftzirkulation), mikrobielle Aktivität (geringere Luftzufuhr, geringere Aktivität) und Mietentemperatur aus (kaltes Wasser kühlt die Miete ab).

Zusammengefasst sind also größere Mieten allgemein weniger wetterempfindlich als kleinere Mieten.

• Wärmeschutz...

Laut CREPAZ *et al.* (1997) wird durch eine Kompostmietenabdeckung die Wärme besser gehalten.

• ... und Wasserschutz

Die Abdeckung erlaubt in gewissen Grenzen die Feuchtigkeitsregulierung in der Kompostmiete; sie schützt die Miete in trockenen Zeiten vor Austrocknen; sowie vor starken Niederschlägen (THOMSEN, 2000).

• fachgerechter Einsatz der Abdeckung

Über längere Zeiträume verändern sich die Wetterbedingungen und unter Umständen kann während der Kompostierung die gesamte Palette von extremer Hitze/Kälte und Trockenheit/Feuchte durchlaufen werden. Daher muss der Einsatz einer Abdeckung diesen Wetterschwankungen angepasst werden.

Verschiedene Autoren haben sich mit der Frage befasst, ob eine Kompostmietenabdeckung Auswaschungen aus der Miete vorbeugen und eingrenzen kann. Die Auswaschung kann Stickstoffverluste und insbesondere Kaliumverluste nach sich ziehen (s. dazu § 4.1.4.2. f). Es hat sich herausgestellt, dass eine Mietenabdeckung über die gesamte Kompostierungsdauer bei trockenem Wetter größere Verluste durch Auswaschung verursacht (CREPAZ *et al.*, 1997; LE HOUEROU DECLERCQ, 1992). Dieses erstaunliche Ergebnis soll auf der Tatsache beruhen, dass das beim Abbau organischer Substanz freigesetzte Wasser (metabolisches Wasser) nicht als Wasserdampf aus der Miete abziehen kann: es kondensiert und wäscht die Miete aus. Bei feuchtem Wetter hingegen stellen wir fest, dass die Abdeckung die Auswaschung einschränkt (im Vergleich mit einer nicht abgedeckten Vergleichsmiete).

Wir wissen bereits, dass die Auswaschung zum Beginn der Kompostierung am stärksten ist. Der Gefahr der Auswaschung durch starke Regenfälle ist also in diesem Zeitraum vorzubeugen. Einige Autoren empfehlen daher, die aktive Phase des Kompostierungsprozesses (die ersten beiden Monate, in denen die Temperatur der Miete wesentlich über der Lufttemperatur liegt) unter freiem Himmel ohne Abdeckung ablaufen zu lassen, sofern die Niederschläge 200 mm nicht überschreiten (HACALA *et al.*, 1999). In der Reifungsphase wird die Abdeckung der Kompostmiete angeraten um zu vermeiden, dass diese sich mit Regenwasser voll saugt oder aber durch fliegende Unkrautsamen verseucht wird (Yves HÉRODY, persönliche Mitteilung, WIART, 1997).

Eine abschließende Bemerkung an all jene, die Kompost der Normqualität NF U 44-051 '*Amendements organiques*'⁷ vertreiben: exzessive Befeuchtung kann zur Herabstufung des Produkts und zu seiner Entsorgung führen (WIART, 1997).

• bereits existierender Schutz

Bis hierher haben wir nur global von Abdeckungen gesprochen, ohne auf deren Material einzugehen. Zur Kompostmietenabdeckung eignen sich aber verschiedene Materialien.

In der Praxis trifft man mit einer Strohschicht abgedeckte Mieten an (ein abgerollter und auf die Miete verteilter Rundballen). In der Literatur fanden sich keine Angaben zur Wirksamkeit einer solchen Abdeckung (Verringerung oder Anstieg der Sickersaftmengen...). Beobachtungen vor Ort zeigen allerdings, dass Stroh abhängig von seiner Menge und Verdichtung (sollte es als gepresste Schicht aufgelegt, oder mit der Gabel aufgelockert werden?) dazu neigt, Strohfaserwolle zu bilden. Diese Schicht kann die Miete zumindest verhältnismäßig wasserdicht machen: das Stroh absorbiert Wasser und die Halme leiten es in Lagerichtung bis zum Mietensockel ab. Angesichts des Aussehens des unmittelbar unter der Strohschicht liegenden Komposts (er ähnelt laut Angaben einiger Landwirte, die Varianten mit und ohne Strohabdeckung verglichen haben, eher tieferliegendem Kompost), ist anzunehmen, dass die Abdeckung zufriedenstellend als Wärmeschutzschicht wirkt. Etliche Fragen blieben aber unbeantwortet: kann Luft durch diese Schicht zirkulieren? Kann Wasserdampf aus der Miete abziehen (um der Auswaschung vorzubeugen)? Ist diese Schicht tatsächlich wasserdicht? Inwieweit hängt die Wirksamkeit einer solchen Abdeckung von Niederschlagsmengen und Wetterbedingungen ab? Wie mischt sich das Stroh unter und wie entwickelt es sich, wenn die Miete umgesetzt wird? Wie verändern sich die Eigenschaften dieser Abdeckung mit der Zeit (Abbau, Strukturverlust unter Sonnen- und Regeneinfluss)?

Mit Kunststofffolien und Leinwand, bzw. Teerleinwand wurden ebenfalls einige Versuche durchgeführt. Diese Materialien sind kaum porös und bergen daher die Gefahr eines Erstickens der Miete und somit der Unterbrechung der Kompostierung. Hinsichtlich der Auswaschung sind sie wesentlich weniger geeignet, da sie insbesondere zu Beginn der Kompostierung Wasserdampf zurückhalten. Diese Materialien können höchstens zur

⁷ Anm. d. Übs.: frz. Industrienorm für organische Bodenverbesserer

Kompostmietenabdeckung in der Reifungsphase oder zur Lagerung verwendet werden. Es sollten unter Umständen Verspannungen vorgesehen werden (Pflöcke, Reifen?), um den direkten Kontakt einer solchen Plane mit der Miete zu vermeiden und somit die Luftzirkulation zu verbessern.

Der Handel führt für die Kompostierung besonders geeignete Folien. Es handelt sich um nicht gewebte Polypropylenfolien, die (wie Gore-Tex) semipermeabel sind. Sie lassen zwar Wasser aber keine Luft durch und dies nur in eine Richtung. Um korrekt zu funktionieren, müssen sie auf einer Neigung von 45° angebracht werden: dann fängt die Plane Regenwasser auf, welches an der Innenseite bis zum Mietensockel abläuft, ohne jedoch ins Mieteninnere zu gelangen. Es stellt sich die Frage, ob Wasserdampf durch dieses Abfließen an der Folie aus der Miete entweichen kann. In der Praxis wurde beobachtet, dass mit solchen Folien abgedeckte Mieten in der thermophilen Phase rauchen, was bedeuten würde, dass der Wasserdampf durch die Folie hindurch abzieht. Über die Mengen, die die Folie durchqueren können oder aber von ihr zurückgehalten und abgeleitet werden, ist allerdings nichts bekannt. Studien (DEWES *et al.*, 1991) haben belegt, dass in mildem Klima Polypropylenfolien (die für die gesamte Versuchsdauer auf der Miete belassen wurden) im Vergleich zu Kunststofffolien (auch ständig auf der Miete belassen) oder sogar zu nicht abgedeckten Mieten keine signifikante Verringerung der Stickstoffverluste durch Auswaschung erlauben. Der erzielte Erfolg ist sehr gering.

In der Literatur wird eine Kompostierungsform zwar immer wieder angesprochen, ist aber aufgrund ihrer Kosten in der Praxis wenig verbreitet: die Kompostierung unter Dach. Somit könnte man den Problemen mit dem Regenwasser gänzlich aus dem Weg gehen. Da der Stickstoffverlust hauptsächlich in Form der Verflüchtigung geschieht und sich die Kaliumverluste mit korrekter Feuchte und C/N-Verhältnis in Grenzen halten, stellt sich also die Frage, ob sich eine solche Investition lohnt? Kompostierung im Hangar bietet außerdem den Vorteil eines besseren Zugangs zur Miete und der Möglichkeit, sie jederzeit zu bearbeiten (Umsetzen, Entnahmen).

• Was wird zum Schutz der Miete empfohlen?

Auch hier hängt wiederum alles vom Ausgangssubstrat ab: ist es gut kompostierbar, so ergeben sich im Prinzip keine Probleme. Man würde also eine Abdeckung erst ab der Reifungsphase empfehlen, es sei denn, es träten während der aktiven Phase starke Niederschläge auf (sowohl quantitativ gesehen als auch von ihrer Intensität her).

Bei nicht optimalen Bedingungen sollte die Folie zur Feuchtigkeitsregulierung laut Beschreibung in Tabelle 13 eingesetzt werden.

Tabelle 13: Einsatz der Folie zur Feuchtigkeitsregulierung in der Kompostmiete in Abhängigkeit von den Wetterbedingungen

	WARMES WETTER	REGNERISCHES WETTER
TROCKENER KOMPOST	abdecken	aufdecken
FEUCHTER KOMPOST	aufdecken	abdecken

In extremeren Situationen, wo die Auswirkungen der Folie auf die Feuchtigkeit eher zu vernachlässigen sind, kann mit Umsetzen ein besseres Ergebnis erzielt werden:

- ist die Miete zu feucht, so setzt das Umsetzen Wasserdampf frei; es kann sich aber mehrmaliges Umsetzen als notwendig erweisen,
- ist die Miete zu trocken, so kann eine Befeuchtung während des Umsetzens angebracht sein, um eine gleichmäßige Wasserverteilung zu gewährleisten und die korrekte Menge zuzuführen.

Es ist offensichtlich, dass unter nicht optimalen Bedingungen die Feuchtigkeitsregulierung zusätzliche Arbeit verursacht. Polypropylenfolien scheinen die Feuchtigkeit effizienter zu

regulieren, ihre Handhabung erfordert allerdings wiederum zusätzliche Anstrengungen: sie werden bereits nach geringer Wasserabsorption schwerer.

Wir werden jetzt eine Einflussgröße untersuchen, die in der Praxis weit verbreitet ist, die Wirkung der Zeit.

4.1.5.7. Reifung

Bevor wir den Einfluss der Reifung auf die Kompostqualitäten ansprechen können, müssen wir auf folgende grundlegende Unterscheidung hinweisen:

- Stabilität der Mikroorganismenaktivität
welche eine geringe Aktivität des Komposts bedeutet = Reifung
- und Kompostreife
welche eine Stabilisierung des im Kompost enthaltenen Kohlenstoffs bedeutet

Eine stabile Kompostmiete kann daher verschiedenen Reifegraden entsprechen: ein sechs Monate alter und ein zwei Jahre alter Kompost sind beide stabil, haben aber nicht die gleiche Reife.

• Wie ist die Stabilität einer Kompostmiete zu erkennen ?

Sie kann anhand der Atmung, der CO₂-Produktion und der Temperaturentwicklung bemessen werden (VEEKEN *et al.*, 2000). In der Praxis ist ein Kompost stabil, wenn er sich nach dem Umsetzen nicht mehr erhitzt und bei der Lagerung in großen Mieten nicht mehr in eine anaerobe Entwicklung umschlägt (WIART, 1997), oder aber sein C/N-Verhältnis zwischen 12 und 15 liegt.

• Unterschiedliche Reifegrade des Komposts

Die Reife kann anhand unterschiedlicher Kriterien definiert werden: ein Kompost in der Reifungsphase legt keinen Stickstoff mehr fest, wenn er in den Boden eingearbeitet wird (WIART, 1997). Man stellt ebenfalls fest, dass in einem reifen Kompost der gesamte mineralische Stickstoff in Form von Nitraten vorliegt (Vorsicht ist aber dennoch geboten: bei Auswaschung kann man sich nicht mehr auf dieses Kriterium verlassen (ATALLAH, 1993)). Die Reifungsphase kann auch anhand des Kresstests festgestellt werden. Der Reifegrad hingegen kann prinzipiell nur mit Hilfe einer biochemischen Analyse der Humuskomponenten bestimmt werden. In einem reifen Kompost ist der Huminsäuregehalt höher als der Fulvosäuregehalt; bei jungem Kompost ist das Verhältnis umgekehrt (TUOMELA *et al.*, 2000). Mit steigendem Reifegrad bilden die Humuskomponenten zusehends aromatische Verbindungen: es liegen dann mehr Ringe als Aliphatketten vor und die Moleküle vergrößern sich und kondensieren.

Es existiert keine präzise und unkomplizierte Messgröße zur Beurteilung des Kompostreifegrades, einmal abgesehen von seinem Aussehen und der Dauer der Reifungsphase: je mehr Zeit verstreicht, desto krümeliger wird die Struktur und desto tiefer der Farbton. Sein Aussehen gleicht immer mehr dem der Muttererde.

Von den möglichen Analysemethoden⁸ zur Bemessung des Reifegrads und zur Beurteilung der produzierten Humuskomponenten (s. § 4.1.3.), haben wir eine Kombination aus Kationenaustauschkapazität (KAK) und Humifizierungsindex beibehalten (z.B. [Huminsäuren + Fulvosäuren] / Anteil organischer Substanz). Ein hoher Humifizierungsindex zeugt im Prinzip von einem fortgeschrittenen Reifegrad; man sollte dann die Kationenaustauschkapazität untersuchen, um festzustellen, welche der Humuskomponenten

⁸ diese Überlegung lehnt sich an DRIEUX (1993) und eine Kompostanalysenkampagne an, die 1992/1993 vom LAMS-21 auf Anfrage der OPABA durchgeführt wurde

(welche Humifizierungsform) vorliegen. Tabelle 14 rekapituliert die Hauptvorteile dieser Analyseverfahren.

Tabelle 14: Reifegrad und Qualität der Humuskomponenten im Kompost gemessen anhand von Humifizierungsindex und Kationenaustauschkapazität

	SCHWACHE KAK (100 - 200 méq/100g)	HOHE KAK (200 - 600 méq/100g)
NIEDRIGER HUMIFIZIERUNGSINDEX	junger Kompost, normale Entwicklung	-
HOHER HUMIFIZIERUNGSINDEX	reifer Kompost, Humuskomponenten mittlerer Qualität (Typ Moor oder Torf)	reifer Kompost, Humuskomponenten hoher Qualität (Typ Mull)

Ist die Miete in der Reifungsphase gut durchlüftet und stimmt die Feuchtigkeit (nicht zu feucht und nicht zu trocken), so steigt der Humifizierungsindex mit längerer Kompostierungsdauer immer weiter an. Das bedeutet, dass Kohlenstoff und Stickstoff umso besser festgelegt sind, je länger mit dem Ausbringen abgewartet wird. Sind die Rahmenbedingungen für die Humifizierung schlecht, so werden niederqualitative Humuskomponenten mit schlechterer Austauschkapazität gebildet. Ihre bodenverbessernden Eigenschaften sind schlechter (weniger gute Regulierung des Wassergehalts, schlechtere Kationenfixierung, schlechtere Bindung an Ton, schlechtere Struktur,...) und sie werden weniger gut in die Zyklen organischer Substanz im Boden integriert. Dies gilt insbesondere für Kohlenstoff und Stickstoff, was sich in geringerer Düngequalität ausdrückt.

Wir möchten aber darauf hinweisen, dass die Humuskomponenten und die Humifizierungswege in der Kompostmiete noch wenig bekannt sind (man lehnt sich zur Erklärung dieser Phänomene an die Humifizierungstheorie im Boden an) und dass diese Verbindungen sich noch weiterentwickeln können, sobald sie in den Boden eingearbeitet wurden.

Ein weniger zuverlässiger aber schnellerer Indikator⁹ für den Reifegrad des Komposts ist die gemeinsame Betrachtung des Gehalts organischer Substanz und des C/N-Verhältnisses:

- ein niedriger Gehalt organischer Substanz (OS) und ein C/N-Verhältnis unter 12-15 soll Anzeichen eines stark abgebauten, aber gering humifizierten Komposts sein,
- ein normaler Gehalt organischer Substanz und ein C/N-Verhältnis in der Größenordnung 12-15 entspräche einem gut abgebauten und gut humifizierten Kompost,
- ein hoher Gehalt organischer Substanz und ein C/N-Verhältnis über 12-15 wäre Anzeichen eines kaum oder schlecht abgebauten Komposts.

• Reifegrad und Einsatz in der Landwirtschaft

Die Ergebnisse der Landwirtebefragung zeigen, dass der Reifegrad als Hauptkriterium zur qualitativen Beurteilung von Kompost herangezogen wird. Dieses Kriterium belegt äußerst deutlich die erhofften Auswirkungen einer Kompostanwendung auf dem Feld : die befragten Landwirte gaben an, dass ein junger Kompost eher als Dünger eingesetzt wird, während ein reifer Kompost (oder alter Kompost) eher bodenverbessernd und auf das Bodenleben stimulierend wirken soll, obwohl man ihm auch in geringerem Maße eine Dünge Wirkung zugesteht.

Aus praktischen und operativen Gesichtspunkten stellt der Reifegrad zweifellos den am leichtesten zu kontrollierenden Parameter dar. Wenn er tatsächlich das Verhalten (bodenverbessernd oder düngend) des Komposts auf dem Feld determiniert, hieße das, dass der Landwirt großen Einfluss auf die Qualität seines Komposts nehmen kann.

⁹ dieser Indikator wurde nach den Resultaten der Kompostanalysenkampagne des LAMS-21 1992/1993 und nach den Analyseergebnissen im Rahmen des vorliegenden Projekts vorgeschlagen (s. dazu auch die Typologie § 4.2 et 4.3.)

4.1.5.8. Zusatzstoffe

Wir werden in diesem Kapitel nicht nochmals auf die Impfung mit Mikroorganismen und den Zuschlag alten Komposts eingehen (s. dazu § 4.1.2.2.), sondern den Zuschlag von Erde und weiteren Additiven, wie die biodynamischen Präparate, untersuchen.

• Tonminerale

Der Zuschlag von Tonmineralien zum Kompost scheint auf den Prozess an sich keinen großen Einfluss zu haben.

Die Auswirkungen des Tons auf die Bildung des Ton-Humus-Komplexes im Kompost hingegen wird kontrovers diskutiert. GRUNDMANN (1990) und zahlreiche Praktiker bestätigen die Bildung, während HÉRODY (persönliche Mitteilung) sie anzweifelt.

Die wesentliche Wirkung des Tons scheint eine höhere Wasserabsorptionsfähigkeit zu sein (was bei Mist nicht unbedingt der Fall ist, s. dazu § 4.1.2.1. „Feuchtegehalt“), sowie eine bessere Kationenbindung (GRUNDMANN, 1990). HÉRODY gibt in einer persönlichen Mitteilung an, dass zu hohe Tongehalte die Gefahr einer übersteigerten Wasserhaltung in der Miete und somit des „Erstickens“ in sich bergen.

GRUNDMANN (1990) führt zahlreiche widersprüchliche Literaturangaben zum Einfluss des Tons auf die mikrobielle Aktivität auf (anregender oder dämpfender Effekt).

Der Zusatz von Ton zieht allgemein einen Anstieg des Anteils mineralischer Substanz im Kompost nach sich und verringert somit den Anteil organischer Substanz. So variieren die Mengen der von Kompostwerkbetreibern zugeschlagenen Erde anteilmäßig zwischen 5 und 30%, was Auswirkungen auf die Eigenschaften des Endprodukts hat.

• Steinmehl

Basaltsteinmehl scheint gleiche Auswirkungen zu haben wie Tonminerale (GRUNDMANN, 1990), das heißt:

- kaum oder keine Auswirkung auf den Kompostierungsprozess (OTT, 1991),
- bessere Wasserhaltekapazität (jedoch geringer als mit Tonzuschlag),
- Auswirkung (umstritten) auf die Vorstufe zur Bildung des Ton-Humus-Komplexes,

Es sollen außerdem positive Auswirkungen auf die Mineralisierungsaktivität der Mikroorganismen beobachtet worden sein (GRUNDMANN, 1990).

• Algenkalk¹⁰

Lithotham kann den Feuchtegehalt des Komposts beeinflussen, da es bis zum 200-300-fachen seines Eigengewichts an Wasser zu absorbieren vermag.

Lithotham enthält zahlreiche Spurenelemente und aktive Substanzen (Hormone, Vitamine), welche sich positiv auf das mikrobielle Leben auswirken.

Dieser Zusatz scheint die Kompostierung zu beschleunigen. Praktiker, welche es dem Mist bereits in der Einstreu beigemischt hatten, beobachteten eine geringere Ammoniakfreisetzung (geringere oder gar gänzlich verschwundene typische Geruchsbelästigung). Kann das mit einer Senkung des pH-Werts erklärt werden (eher unwahrscheinlich, da das im Lithotham enthaltene Calcium in Form von Kalziumkarbonat, also basisch auftritt), oder mit einer Absorption und Festlegung von Flüssigkeit in den Lithotham-Hohlräumen... ?

• Biodynamische Präparate

Die in der biodynamischen Kompostierung verwendeten 6 biodynamischen Präparate sollen sich auf den Kompostierungsprozess regulierend auswirken. Sie werden aus in Tierorganen fermentierten Medizinalpflanzen hergestellt und in homöopathischen Dosen eingesetzt. Sie

¹⁰ Angaben nach GRUNDMANN (1990)

sind von 502 bis 507 durchnummeriert. Tabelle 15 enthält eine Aufzählung der Hauptinhaltsstoffe und der von den Biodynamikern beschriebenen Wirkung:

Tabelle 15: biodynamische Präparate und ihre Wirkung laut biodynamischer Methode

NR	HAUPTINHALTSSTOFF	ROLLE (NACH MASSON, 2001)
502	Blütenspitzen der Gemeinen Schafgarbe	Schwefel- und Kaliummobilität
503	Blütenspitzen der Echten Kamille	Verbindung mit Calciumstoffwechsel, reguliert die Stickstoffprozesse
504	Große Brennnessel, oberirdischer Teil zu Beginn der Blüte	Zusammenhang mit Stickstoff und Eisen, verstärkt die Wirkung von 502 und 503; fördert die Humifizierung
505	Eichenrinde	Zusammenhang mit Calcium, verhindert Pflanzenkrankheiten
506	Löwenzahnblüten	wirkt auf Silicium
507	Blütensaft des Echten Baldrian	Phosphormobilität und „Wärmender Mantel“

Die Wirkung biodynamischer Präparate ist schwer nachzuweisen (GRUNDMANN, 1990). Verschiedene Studien (mit oder ohne Gegenprobe, durchgeführt von privaten biodynamischen Forschungsinstituten oder öffentlich-rechtlichen Universitäten) sind zu widersprüchlichen Erkenntnissen gelangt, die ein besseres Licht auf die möglichen Wirkungen dieser Zusatzstoffe werfen (s. Tabelle 16).

Tabelle 16: Wirkungen biodynamischer Präparate auf den Ablauf der Kompostierung (nach CARPENTER-BOGGS *et al.*, 2000 & SVENSSON, 1994)

TEMPERATUR	- merklich niedriger (thermophile Phase) - Wirkung endet nach einem Monat - durchschnittlich höhere Temperaturen (auch in der Reifungsphase)
PH	Absinken des pH-Werts gegen Ende der Kompostierung (~neutral)
MIKROBIELLE AKTIVITÄT	- intensiver - höher (besonders gegen Ende: pH ~ neutral) - in der Reifung mehr Bakterien als Pilze
KOMPOSTIERUNGSDAUER	- kürzer - schneller
KOMPOSTSTABILITÄT	geringeres C/N-Verhältnis
KOMPOSTREIFE	- viele Nitrate, wenig Ammonium - 65% mehr Nitrat im Vergleich zur unbehandelten Probe
KAK: KATIONENAUSTAUSCH-KAPAZITÄT	- höher - keine Wirkung
UNANGENEHMER GERUCH	bleibt aus
STICKSTOFFGEHALT	- 10% höherer Stickstoffverlust - geringerer Stickstoffverlust
STRUKTUR DES ENDPRODUKTS	krümeliger

Biodynamiker versichern, dass diese Präparate temperaturregulierend wirken: Abkühlung zu heißer Mieten und Erwärmung lauwarmer Substrate. In der biodynamischen Methode wird die Anlage von kleinen Dreiecksmieten empfohlen (2-2,5 m breit und 1,2-1,5 m hoch), was zweifellos Auswirkungen auf Wärmeströmungen hat.

Die mikrobielle Aktivität scheint lebhafter zu sein, das Produkt scheint sich schneller zu stabilisieren und eine gute Reife zu erlangen.

Die Wirkung auf die Qualität der Humuskomponenten (KAK) und die Stickstoffverluste muss vom Substrat und dem Verlauf der Kompostierung abhängen, bezüglich dieser Faktoren können keine allgemeingültigen Rückschlüsse gezogen werden.

Biodynamische Präparate werden in sehr geringer Konzentration gegeben (entspricht 1,1 mg/kg Kompost). Trotzdem kann aber die wachstumsfördernde oder wachstumshemmende Wirkung gewisser Wirkstoffe auf Pflanzen nicht abgestritten werden.

Wichtiger als eine detaillierte Untersuchung der Wirkung biodynamischer Präparate auf die Kompostmiete, erschien uns hier eine Beschreibung dieser Präparate. Ihre Herstellung lehnt sich zwar an empirische, aber komplexe Rezepte an, und hängt in hohem Maße vom Produktionsort ab (die Umschläge mit den biodynamischen Präparaten werden vergraben). Es erscheint uns also durchaus berechtigt, Fragen zu Zusammensetzung und repräsentativer Wirkung dessen, was unter dem Begriff der biodynamischen Präparate verstanden wird, zu stellen, ohne jedoch deren Wirkung anzweifeln zu wollen.

• Natürliche Phosphate oder Steinphosphate

Diese Zusatzstoffe scheinen den größten Einfluss auf die Kompostierung zu haben:

- Verringerung des Anteils organischer Substanz und Erhöhung der Kohlenstoffverluste (GODDEN, 1995a; OTT, 1991; THAKUR und SHARMA, 1998),
- Erhöhung der Stickstoffverluste (GODDEN, 1995a),
- Erhöhung der Kaliumverluste (OTT, 1991),
- Temperaturerhöhung (OTT, 1991),

im Vergleich zur Miete ohne Steinphosphateinsatz.

Der Phosphor scheint sich also hemmend auf die Kompostierung auszuwirken (OTT, 1991; THAKUR und SHARMA, 1998). Das schlecht verfügbare Trikalziumphosphat scheint in der Kompostierung eine bemerkenswerte Rolle zu spielen: die Substratveränderung soll Veränderungen der Mikrobenpopulationen verursachen. Laut THAKUR und SHARMA (1998), favorisiert Steinphosphat die Entwicklung des Azotobacter (freie stickstofffixierende Bakterie; ihr Auftreten kann den Pool verfügbaren Stickstoffs anheben).

Gesteinsphosphor ist nicht pflanzenverfügbar: diese Form wird nicht im Boden zersetzt (DRIEUX, 1993). Einige Pilze in der Kompostmiete hingegen (der Art *Aspergillus*) sind dazu in der Lage, ihn zu lösen (THAKUR und SHARMA, 1998). Anschließend scheint sich der Phosphor zu reorganisieren oder zu komplexieren. Am Ende der Kompostierung ist er zwar nicht mehr löslich, aber leichter verfügbar als in natürlich vorkommenden Phosphaten (OTT, 1991; THAKUR und SHARMA, 1998). Die Kompostierung ist also eine Technik, mit deren Hilfe diese Phosphate schneller verfügbar gemacht werden können.

Folgende drei Zusatzstoffe sind im Biolandbau nicht zugelassen. Zur Erinnerung möchten wir sie aber dennoch kurz aufzählen.

• Superphosphate

Phosphatzuschlag in der Einstreu scheint eine interessante Wirkung zu entfalten, es soll sich Ammoniumphosphat bilden, eine stabile Verbindung, die der Stickstofffixierung dient: der Rückgang der Verluste kann bis zu 60% erreichen (DRIEUX, 1993), diese Größenordnung ist beeindruckend.

• Calcium- und Magnesiumsalze

Der Zusatz von Calciumchlorid (CaCl_2) in einem Ca/N-Verhältnis von 1 oder 2, oder von Magnesiumsalzen (als MgCl_2 und MgSO_4) im selben Verhältnis ($\text{Mg/N} = 1$ oder 2), verringert die Kohlenstoff- und Ammoniakverluste (mittels einer sauren/basischen chemischen Reaktion). Die Veränderung kann sich bei Ammoniak auf 23 bis 52% belaufen. Bei einem Verhältnis von 2 sind die Verluste noch höher. Magnesium soll eine höhere Rückhalte-

kapazität als Calcium besitzen. $MgSO_4$ verfügt über ein äußerst schlechtes Stickstoffrückhaltevermögen im Vergleich zu $MgCl_2$ und $CaCl_2$ (WITTER und KIRCHMANN, 1989). Kohlensaurer Kalk ($CaCO_3$) und Magnesiumcarbonat ($MgCO_3$) fixieren einen Teil der vorkommenden Carbonate und senken somit den pH-Wert. Diese Ammoniakrückhaltewirkung ist 100 mal höher als bei der Zuführung gleicher Proportionen von Stroh als Kohlenstoffquelle zur erhöhten Stickstoffverwertung, oder gar des Torf- oder Zeolithzuschlags zur Absorption des Ammoniakstickstoffs (WITTER und KIRCHMANN, 1989).

Diese Wirkung auf den pH-Wert und die Verflüchtigung ist enorm, es stellt sich aber die Frage nach der Entwicklung der Mikrobenpopulationen und ihrer Aktivität unter diesem veränderten pH-Wert.

4.1.5.9. Absieben

Sämtliche Grüngutkompostwerke sieben die Substrate. Die Studie von WIART, 1997 konnte belegen, dass die Maschengröße des Siebs durch die Absonderung unterschiedlich großer und unterschiedlich gearteter Stücke mehrfach wirkt:

- auf den Gehalt an organischer Substanz: er sinkt mit der Körnergröße; von 65% OS in der Trockenmasse (Maschengröße 40 mm) bis herunter zu 52% OS in der Trockenmasse (Maschengröße 5 mm);
- auf den Gehalt an Düngernährstoffen: er steigt bei sinkender Körnergröße; Anstieg um 59% für N_{total} , 65% für P_2O_5 , 55% für K_2O , 64 % für CaO und 68% für MgO ;
- auf das C/N-Verhältnis: es sinkt mit dem Sieben (Rückgang des Gehalts organischer Substanz und Stickstoffkonzentration); 17,2 (Maschengröße 40) bis 12,6 (Maschengröße 5);
- auf den Gehalt metallischer Spurenelemente, dessen Konzentration mit steigender Feinheit des Komposts ebenfalls ansteigt; beim Übergang von Maschengröße 40 auf Maschengröße 5 mm, verzeichnet man einen Anstieg um 29% des Cd, 26% des Cr, 19% des Cu, 18% des Hg, 20% des Ni, 34% des Pb und 29% des Zn.

4.2. Komposte aus Grüngut: Klassifizierung und Stickstofffreisetzungspotential

4.2.1. Wie soll eine Klassifizierung von Komposten aussehen?

Nach SHAW *et al.* (1999) gibt es, obwohl es zahlreiche Faktoren gibt, die den Kompostierungsprozess beeinflussen, zwei entscheidende Elemente:

- die Beschaffenheit der Ausgangsmaterialien,
- das Kompostierungsverfahren.

Laut ATALLAH (1993) bestimmt die Kompostierungsmethode die Effizienz der Stickstoffkonservierung, die chemische Verbindungsformen des verbleibenden Stickstoffs und damit seine Stabilität/Festlegung. Für KÖRNER UND STEGMANN (1997) sind die Menge an Gesamtstickstoff und die Menge des pflanzenverfügbaren Stickstoffs eine Konsequenz der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und der Bedingungen bei der Kompostierung. Die gleichen Autoren gehen soweit und sagen, dass man Komposte mit einer leichter vorhersagbaren Düngewirkung herstellen kann, wenn man die Produktionsbedingungen gut kontrolliert.

Wir stützen uns auf diese wissenschaftlichen Erkenntnisse bei der Suche nach einer Klassifizierung von Komposten aus Grünschnitt aus einer Produktion am Oberrhein. Durch eine Analyse der Ausgangsmaterialien mitsamt der Betrachtung der Kompostierungsverfahren, die im Projektgebiet angewandt werden, werden wir versuchen, Typen von

Kompost mit unterschiedlichem Verhalten vorzustellen. Theoretisch treten dabei einige Wechselwirkungen auf.

Beim Lesen von § 4.1. dieses Berichtes können relativ gut abgesicherte Hypothesen über die Zusammenhänge zwischen Ausgangsmaterial, Kompostierungsverfahren und Qualität des Endprodukts aufgestellt werden. Wir schlagen vor, diese Zusammenhänge folgendermaßen zu gliedern:

Auf einer ersten, relativ schnellen Analyseebene:

- die Ausgangsmaterialien haben einen Einfluss auf den Gehalt an Düngemehrstoffen und die Zusammensetzung des Endprodukts,
- das Kompostierungsverfahren entscheidet über den Grad der Kohlenstoff- und Stickstoffstabilisierung.

Auf einer zweiten, verfeinerten Analyseebene:

- die Wahl der Ausgangsmaterialien hat einen Einfluss auf den Verlauf der Kompostierung und folglich auf die Arten der Kohlenstoff- und Stickstoffstabilisierung,
- der Kompostierungsprozess entscheidet über die Verluste an organischer Substanz, an Kohlenstoff, Stickstoff und Kalium und über die Konzentration an Schwermetallen, also über die Zusammensetzung des Endproduktes.

Wir betrachten diese Zusammenhänge unter der Zielsetzung des Projekts als ausreichend bestimmend im Hinblick auf die agronomischen Qualitäten des Produkts, so dass wir die Faktoren 'Ausgangsmaterial' und 'Kompostierungsverfahren' als Grundlage für unsere Klassifizierung verwenden.

4.2.2. Betrachtung der Ausgangsmaterialien

- *Ansicht der Betreiber von Kompostwerken*

Wir verfügen nicht über ausreichende Analysenergebnisse, um eine Vorstellung über die physikalische, chemische oder biologische Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien zu haben. Bei Unterstellung einer Heterogenität der Häckselgüter und der Grösse ihrer Bestandteile (cm bis dm), wäre es andererseits schwierig, repräsentative Proben zu sammeln.

Man weiß jedoch (dank einer Studie sowie der allgemeinen Ansicht der Interessierten), dass der Grünschnitt, der zu den Kompostwerken gelangt, saisonal bedingte Unterschiede in der Zusammensetzung aufweist: mehr Grasschnitt im Frühjahr und im Sommer, mehr Blätter im Herbst, mehr Gehölzschnitt im Herbst und im Winter.

Nach allgemeiner Ansicht wird das Grüngut, abgesehen von den saisonalen Schwankungen, als homogene Materialquelle betrachtet, bis auf das Grüngut aus Städten oder entlang von Hauptverkehrswegen, das viel höhere Konzentrationen an Schwermetallen aufweist.

Nach Aussage der Kompostwerksbetreiber wirken sich die saisonalen Unterschiede in der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials nicht auf das Endprodukt aus, wenn:

- die Kompostwerke über Lagerkapazitäten verfügen, um die saisonalen Unterschiede auszugleichen (Zurückweisung von Ausgesiebttem und souche accumulé den Winter über und Einarbeitung im Frühjahr und Sommer; Einarbeitung von Erde),
- die Kompostwerke passen ihren Kompostierungsprozess (insbesondere die Befeuchtung) dem Ausgangsmaterial an.

Manche der Betreiber anerkennen indessen, dass die Kompostausbeute von Grüngut im Laufe der Saison schwankt (von 30 % im Frühjahr bis 50 % im Winter mit einem Durchschnitt im Jahresverlauf von 40 %).

Wir verfügen über keine geeigneten Mittel, um dies Aussagen zu überprüfen. Man kann sich im Gegenteil sogar fragen, wie empfindlich der Kompostierungsprozess und das Endprodukt auf die unterschiedliche Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien reagieren.

- Mögliche Aussagen auf Grundlage von Analysen

Bei einem gegebenen Kompostierungsverfahren können die chemischen und physikalisch-chemischen Analysen des Endprodukts verglichen werden:

- zwischen verschiedenen Chargen eines Kompostwerks,
- zwischen Chargen verschiedener Kompostwerke.

Um diese Vergleiche anstellen zu können, muss angenommen werden, dass ein bestimmtes Kompostierungsverfahren, das von verschiedenen Betreibern in verschiedenen Kompostwerken eingesetzt wird, im großen und ganzen auf die gleiche Art und Weise gehandhabt wird. Dies schließt insbesondere ein, dass die Betreiber alle vergleichbare technische Grundlagen für die Behandlung ihrer Kompostmieten verwenden. Diese Annahme ist schwer zu überprüfen. Nach Ansicht von ADEME, ist das technische Niveau der Betreiber ziemlich unterschiedlich. Die Händler, die die Technik verkaufen, liefern jedoch gleichzeitig eine Betriebsanweisung mit, so dass die Basisinformation bei allen Betreibern etwa gleich ist.

Diese Vergleiche wurden für die am Oberrhein verbreitetsten Kompostierungsverfahren¹¹ gemacht, bei denen die meisten Analysedaten gewonnen wurden. Es wurde bei einer kleinen Stichprobe (maximale Größe: 14 Einzelproben) eine schnelle statistische Auswertung durchgeführt, die auf zwei Größen basiert:

- der Variationskoeffizient CV (geschätzt durch das Verhältnis der Standardabweichung zum Durchschnitt der Stichprobe,
- die Zugehörigkeit (oder nicht) aller Werte der Stichprobe zum 95%-Vertrauensintervall einer Normalverteilung¹² (Die Grenzen dieses Intervalls werden angegeben durch das Mittel +/- doppelte Standardabweichung)

Die Tabelle 17 zeigt die wichtigsten Kenngrößen der chemischen und chemisch-physikalischen Analyse nach statistischen Kriterien geordnet. Die berechneten Mittelwerte können unter zwei Gesichtspunkten kritisch betrachtet werden:

- wie repräsentativ ist die untersuchte Probe im Vergleich zur Heterogenität der Kompostmiete?
- die vorgestellten Daten sind in Ermangelung einer ausreichenden Anzahl von Ergebnissen nicht nach unterschiedlichen Siebsortierungen differenziert. Das Sieben hat jedoch einen Einfluss auf die Konzentration von verschiedenen Stoffen (WIART, 1997).

Mangels besserer Daten muss akzeptiert werden, dass eine Quantifizierung nicht möglich ist.

¹¹ s. §4.2.4 Grüngutkompostierung in Dreiecksmieten

¹² Die Normalverteilung der Probe ist nicht gewährleistet; nachdem es sich um einen biologischen Umwandlungsprozess handelt, könnte man vorschlagen, dass die Verteilung der Werte eher einer Poisson-Verteilung entspricht. Die Abschätzung der Grenzen des Vertrauensintervalls gestaltete sich dann schwieriger.

Tabelle 17: Variationskoeffizient und statistische Signifikanz der erfassten Analysekenngößen, die bei den Betreibern von Kompostwerken mit Grüngut (Typ Tafelmiere) ermittelt wurden

UNTERSUCHUNGSGRÖSSEN	PROBENUMFANG	VARIATIONSKOEFFIZIENT	STATISTISCHE SIGNIFIKANZ (95%)
% Trockensubstanz im Ausgangsprodukt	14	11%	ja
% organische Substanz	14	15%	ja
% Gesamt-N	14	12%	«nein»
% Gesamt-P	14	20%	«nein»
% Gesamt-K	14	21%	«nein»
% Gesamt-Ca	14	10%	ja
% Gesamt-Mg	14	19%	«nein»
C/N-Verhältnis	13	17%	ja
pH (Wasser)	11	6%	ja
ppm Cd	7	92%	«nein»
ppm Cr	7	41%	ja
ppm Cu	7	15%	ja
ppm Hg	7	44%	ja
ppm Ni	7	31%	«nein»
ppm Zn	7	11%	ja
ppm Pb	7	26%	ja
% C organisch	5	15%	ja
ppm NH ₄ ⁺	2	120%	ja
ppm NO ₃ ⁻	2	125%	ja
Abschätzung K ₁	2	4%	ja

Legende:

- **ja** bedeutet, dass alle Werte der Probe im Vertrauensintervall 95% enthalten sind,
- «nein» bedeutet, dass sich ein einziger Wert außerhalb befindet,
- bei weniger als 10 Proben, ist die statistische Aussagekraft geringer, man bewertet diese Parameter deshalb separat (am Tabellenende),
- der Variationskoeffizient ist offensichtlich nicht mit der statistischen Signifikanz korreliert; er berücksichtigt nur die Verteilung der Daten, nicht ihre Repräsentativität.

Der Gehalt an Trockensubstanz, an organischer Substanz und an Gesamt-Calcium, das C/N-Verhältnis und der pH-Wert sind vergleichbar bei allen Kompostwerken und allen Grüngutkompostproben, zumindest nach den Daten, die im Rahmen des Projekts im Untersuchungsgebiet erhoben wurden. Dagegen scheint sich der Gehalt an Gesamtstickstoff, an Gesamtphosphor, an Gesamtkalium und -Magnesium leicht zu unterscheiden (ein Einzelwert liegt außerhalb des Vertrauensintervalls).

Man könnte daraus schließen, dass es quantitative bzw. sogar qualitative Unterschiede zwischen den verschiedenen Kompostwerken und Grüngutkompostchargen gibt. Die Literatur kann hier einiges zur Klärung beitragen.

• Der Stand der Wissenschaft

Wir erinnern daran, dass KAISER (1996) bestätigt, dass die Kompostierung in verschiedenen Phasen verläuft, in denen unterschiedliche Inhaltsstoffen (Zucker und Stärke, Hemizellulose, Zellulose und Lignin) verarbeitet werden.

MICHEL *et al.* (1996) unterstreichen, dass die Mengenverhältnisse der Ausgangsmaterialien für einen Kompost aus Grüngut (Grasschnitt, frische Blätter und Verholztes) wenig Auswirkung auf eine größere Zahl von wichtigen Parametern der Kompostierung haben, außer vielleicht bei der Nährstoffzusammensetzung des Endprodukts. Bei Anteilen von bis

zu 30% Grasschnitt an der zu kompostierenden Gesamtmasse werden nur einige Gerüche produziert. Man muss allerdings präzisieren, dass die Schlussfolgerungen von MICHEL *et al.* nur für ideale Versuchsbedingungen gelten: gutes C/N-Verhältnis und gute Ausgangsfeuchte. SHAW *et al.* (1999) differenzieren, dass selbst die Zugabe von bis zu 30% Grasschnittgut an der Kompost-Gesamtmasse offensichtlich weder die Aktivität noch die Kompostqualität beeinträchtigt, doch große Mengen an Grasschnitt für eine erhöhte Atmung in der Kompostmiete und für größere Verluste an Kohlenstoff und organischer Substanz verantwortlich sind. Dieselben Autoren weisen darauf hin, dass eine veränderte Zusammensetzung des Ausgangsmaterials auch den Feuchtegehalt des Gemisches und des Endprodukts verändert, sofern nicht regulierend eingegriffen wird.

Nachdem die Tabelle 17 keine großen Unterschiede für die Qualitätskriterien aufzeigt (Beweis für die Prozessführung) wie Gehalt an organischer Substanz, Trockensubstanzgehalt, C/N-Verhältnis und pH-Wert aufzeigt, ist man geneigt zu sagen, dass der Prozess, unabhängig vom Ausgangsmaterial in etwa ähnlich abläuft.

Dagegen ist die Situation bei den rein quantitativen Parametern wie dem Nährstoffgehalt zwiespältiger. Die mehr oder weniger aufgezeigten Unterschiede bei der Zusammensetzung des Endprodukts (N, P, K, Mg) beruhen zweifelsohne auf Unterschieden in der Ausgangszusammensetzung. D.h. dass die Ausgangsmaterialien weder bei allen Kompostwerken, noch im Jahresverlauf dieselben sind, diese Unterschiede den Kompostierungsverlauf aber nicht groß beeinflussen.

- Was man über Grüngutkomposte festhalten kann

Insgesamt scheint die Kompostierung von Grüngut (bei einer guten Zersetzung unter aeroben Bedingungen) wenig auf die Unterschiede in der Ausgangszusammensetzung zu reagieren, wenn dabei akzeptable Bedingungen eingehalten werden (Feuchtegehalt und korrektes C/N-Verhältnis).

Das Endprodukt scheint stärker auf Unterschiede in der Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien zu reagieren, insbesondere bei den Nährstoffen. Deshalb ist den Anwendern von Grüngutkompost anzuraten, ihre Lieferanten um eine Untersuchung zu bitten, um der mit dem Kompost ausgebrachten Nährstoffmenge bestmöglich Rechnung zu tragen. Ein Jahresdurchschnittswert ist nicht aussagekräftig genug. Man braucht Untersuchungsergebnisse von der Einzelcharge.

Was den Schwermetallgehalt (SM) angeht, erlaubt der Umfang der Daten keine Schlussfolgerungen. Indessen konzentrieren sich nach allgemeiner Ansicht bestimmte Metalle wie Blei und Cadmium im Pflanzenmaterial entlang von Hauptverkehrswegen: Blei aus Auspuffgasen (das Risiko verringert sich derzeit wegen bleifreiem Benzin) und Cadmium von der Abnutzung der Reifen. Dies alles verlangt nach einer genauen Überprüfung: Wie steht es mit der Aufnahmedynamik von Schwermetallen bei verschiedenen Pflanzen; in welchem Pflanzenorgan reichern sie sich an (junge Vegetation oder altes Holz?) ...

4.2.3. Dreiecksmieten: der Typ TRI

Nach unserer Kenntnis gibt es in der Oberrheinregion nur zwei Kompostwerke, die das Kompostierungsverfahren 'Dreiecksmiete' praktizieren. Dieses in Österreich entwickelte Verfahren nennt sich CMC für Compostage Microbien Contrôlé. Auch wenn das Verfahren bei beiden Kompostwerken im Prinzip dasselbe ist, gibt es im Detail zahlreiche Varianten und Anpassungen seitens der Betreiber.

4.2.3.1. Beschreibung des Kompostierungsprozesses

ANNAHME, KONTROLLE UND ZERKLEINERN DER AUSGANGSMATERIALIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle (Keine unerwünschten Materialien!) • Wiegen auf befahrbarer Waage • Zwischenlager (2 bis 15 Tage) • Mischen von Grasschnitt, Blättern und Ästen im Häcksler (mit Radlader) • Zerfasern im Häcksler (Vergrößerung der Angriffsfläche) • evtl. Justierung der Feuchte beim Austritt aus dem Häcksler
ANLAGE DER MIETE	<ul style="list-style-type: none"> • 1,5 m Höhe und 2,5 - 3 m Breite • besser mit Streuer als mit Kipper aufschichten • Zugabe von 5 - 15% Erde • Zugabe von bis zu 5% altem Kompost • 1 bis 3 Mal Umsetzen zur Form- und Strukturgebung • evtl. Regulierung der Feuchte beim Umsetzen • Bodenplatte aus Beton oder befestigt mit einem leichten Gefälle zum Auffangen der Sickersäfte • Verwendung der Sickersäfte zur Befeuchtung der Mieten (Recycling, Wassereinsparung) • evtl. natürliche Reinigung der Sickersäfte in Lagunen (Schilfbeeten), um Geruchsbelästigungen zu vermeiden.
<u>KOMPOSTIERUNGS-VERLAUF:</u> AKTIVE PHASE	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer: 1,5 - 2 bis 3 - 3,5 Monate • maximale Temperatur: 65 - 77°C; mindestens 2 Wochen lang über 50°C • häufiges Umsetzen am Anfang (1x täglich) • Reduktion der Häufigkeit: alle 1 bis 2 Tage - 1 Mal pro Woche • 20 - 30 -maliges Umsetzen während aktiver Phase • Kontrolle von Temperatur, Feuchte, CO₂ ...Aufzeichnen! • Abdecken mit Polypropylenfolien (Feuchteregulierung)
<u>REIFEPROZESS</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer: 0 - 3 Monate • höchstens ein Mal Umsetzen pro Woche, evtl. auch gar nicht • abgedeckte Mieten • gelegentlich Kontakt mit Boden (Besiedlung durch Makrofauna) • manchmal größere Mieten (3-4 m breit an der Basis, 1,8 m hoch) • evtl. Absieben vor Reifeprozess (besondere Qualität)
LAGERUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Lagerung im unbehandelten Zustand • Sieben und Lagern (Sieb: fein 0-10; mittel 0-20; grob 0-40 mm) • Lagerung der Siebrückstände puffern saisonaler Schwankungen oder zur Vermarktung als Mulch • Lagerung unter Folie oder überdacht

4.2.3.2. Hypothesen zur Umwandlung der organischen Substanz

Die meisten der in diesem Kapitel aufgeführten Schlussfolgerungen sind in Tabelle 19 dargestellt.

Die kleinen Dreiecksmieten, aus Grüngut, haben zwei grössere Nachteile: sie können schnell abkühlen (Verhältnis Oberfläche / Volumen) und sie haben einen hohen Flächenbedarf (Verhältnis Grundfläche / Volumen). Diese beiden Nachteile haben zwei Konsequenzen zur Folge:

- zur Vermeidung von zu grossem Flächenbedarf muss die Verweildauer auf der Platte reduziert und der biologische Umwandlungsprozess beschleunigt werden,

- um den biologische Prozess trotz Wärmeverlusten zu beschleunigen, müssen optimale Kompostierungsbedingungen eingehalten werden: Temperatur und Sauerstoffversorgung.

Diese Bedingungen werden dank intensiven Umsetzens erreicht, die eine Vormischung des Substrats, eine gewisse Reduktion seiner Partikelgröße, die punktuelle Zufuhr einer großen Menge Sauerstoffs ('Peitschenschlag' für die Mikroorganismen) und die Wiederherstellung der Struktur der Miete erlauben, wobei auch der Feuchtegehalt kontrolliert und reguliert wird.

Zu den Auswirkungen dieser Praxis auf die Qualität des Endproduktes stellt sich eine Reihe von Fragen.

Es ist anzunehmen, dass in Anbetracht des starken Abbaus der organischen Substanz, den eine intensive Kompostierung dieses Typs verursacht, die Verluste an organischer Substanz relativ hoch sind.

Wir haben bereits die Diskussion über die Ammonikverluste dargestellt, die beim Umsetzen während der aktiven Phase auftreten können. Wenn diese Verluste nachgewiesen sind (man muss eine Stoffbilanz erstellen, um diese zu ermitteln), müsste man die Praxis überdenken, um den Einfluss auf die Umwelt und die Qualität des Endprodukts in puncto Stickstoff zu minimieren.

Welche können die Wege und der Grad der Kohlenstoff- und Stickstoffstabilisierung in einem auf diese Art erzeugten Kompost unter einem mehr qualitativen Gesichtspunkt sein?

Man kann annehmen, dass die Intensität des Kompostierungsprozesses, der die Temperaturen für mindestens zwei Wochen auf über 50°C hält, was bei optimalen Kompostierungsbedingungen funktionieren sollte, der regelmäßig das Substrat mischt und der gleichzeitig die Angriffsfläche für die Mikroorganismen vergrößert, zu einem starken Abbau der organischen Substanz führt. Man kann vermuten, dass die einfachen Moleküle weitgehend und kompliziertere wie Zellulose und Lignin mehr oder weniger gut zerlegt werden, besonders durch thermophile Aktinomycetenpopulationen. Ein Teil dieser pflanzlichen Strukturverbindungen kann auch konserviert oder weniger durch mikrobielle Aktivitäten beeinflusst werden (man kann keine Größenordnungen angeben).

Aus unserer Sicht scheint es so, dass die Wege der Humifizierung, die im Laufe des Kompostierungsprozesses beschritten werden, eher zur Neubildung führen (mikrobielle Synthese und biochemische Polymerisation) als dem Weg des Rohhumus (Neubildung von minderer Qualität) oder des Auflagehumus zu folgen, auch wenn alle drei gleichzeitig vorkommen können. Es scheint, dass einige mesophile Pilze die effizientesten im Humifizierungsprozess sind. Damit sich diese Pilze entwickeln können, darf das Substrat nicht zu oft bewegt werden. Der Grad der Humifizierung hängt letztendlich von der Dauer des Reifeprozesses ab.

4.2.3.3. Qualitätsmerkmale des Endprodukts

Diese Annahmen können mit den im Projekt gesammelten oder ermittelten Untersuchungsergebnissen über diesen Komposttyp verglichen werden (s. Tabelle 18).

Tabelle 18: Mittelwerte (in % TS) der Analysen von Grüngutkompost aus Dreiecksmieten und Hinweis auf deren statistische Aussagekraft.

UNTERSUCHUNGSPARAMETER	MITTELWERT	PROBENUMFANG	VARIATIONSKOEFFIZIENT
% Trockensubstanz im Ausgangsmaterial	68	6	27%
pH (Wasser)	8,6	2	2%
% organische Substanz	24,1	6	42%
% C organisch	11,5	5	54%
% Gesamt-N	0,86	5	35%
C/N-Verhältnis	12,5	5	30%
ppm NH ₄ ⁺	51	3	67%
ppm NO ₃ ⁻	706	3	91%
Verhältnis NO ₃ ⁻ / NH ₄ ⁺	19,0	3	83%
% Gesamt-P	0,74	5	32%
% Gesamt-K	1,11	5	26%
% Gesamt-Ca	6,24	5	41%
% Gesamt-Mg	1,18	5	37%
ppm Cd	0,3	4	31%
ppm Cr	45	4	51%
ppm Cu	28	4	16%
ppm Hg	0,1	4	35%
ppm Ni	30	4	33%
ppm Pb	110	4	37%
ppm Zn	25	4	17%
Abschätzung K ₁	13,2	3	25%

Die Untersuchung zeigt einen ziemlich niedrigen Gehalt an organischer Substanz, im Bereich von 25% als Folge eines C/N-Verhältnisses, das auf ein ziemlich stabiles Produkt hinweist. Das Verhältnis NO₃⁻ / NH₄⁺ ist relativ hoch, was einem eher reifen Kompost entspricht. Der Gehalt an Gesamtstickstoff ist dagegen eher niedrig.

Schließlich ist der isohumische Koeffizient K₁ für ein Produkt, welches ein organischer Bodenverbesserer sein soll, niedrig, denn nach SOLTNER (1996) haben Klärschlammkomposte einen K₁ von 20%, städtische Komposte von 25% und industrieller Humus von 50%. Im Handel findet man sogar organische Bodenverbesserer mit einem K₁ von 60%.

Nach Aussage des Labors SADEF ist ein organischer Bodenverbesserer ein Produkt, das eine Fraktion Lignin + Zellulose von mindestens 39% der Trockenmasse besitzt (ROBIN, 1997b). Nun ist bei der Untersuchung festzustellen, dass die fragliche Fraktion im Bereich zwischen 19 bis 23% liegt. Das gleiche Labor klassifiziert diese Produkte mit der Kategorie 'reich an mineralischer Substanz', die Produkte mit einem Gehalt von über 40% mineralischer Substanz beinhaltet.

Es ist die Frage nach der gesamten Zusammensetzung eines solchen Produkts erlaubt. Wenn man bei dem Kompost, der im Projekt untersucht wurde, die Summe der Gehalte an organischer Substanz und an Nährstoffen (N, P, K, Ca, Mg) bildet, kommt man auf 34% der Gesamttrockenmasse. Was sind die Eigenschaften und die Zusammensetzung der übrigen 66%? Die Erde, die zum Kompostieren dem Häcksler beigemischt wurde, bleibt offensichtlich während der Kompostierung erhalten. Wenn man eine Menge von 10 und von 20% an mineralischen Zusätzen (z.B. Erde und Steinmehl) und einen Massenertrag bei der Kompostierung von 40% (starker Abbau) annimmt, entsprechen diese Zusätze 25 bis 50% der Endmasse. Wenn der Abbau des Komposts geringer ist (60% des Ertrags), entsprechen die Additive schließlich 17 bzw. 33%. Der hohe Gehalt an mineralischer Substanz im untersuchten Kompost erklärt sich teilweise durch die Zugabe von Erde.

Dadurch ist zu verstehen, dass die Abschätzung des isohumischen Koeffizienten K₁ einen niedrigen Wert ergibt. Alles hängt von der Qualität der zu Beginn beigemischten Erde und dem Grad des Abbaus bei der Kompostierung ab. Der Mittelwert von drei Untersuchungen

lässt vermuten, dass man mit einer Tonne Trockenmasse diesen Komposttyps im Boden ungefähr 130 kg stabilen Humus gewinnt.

Hinsichtlich der Stickstoffdynamik bei Komposten aus Grünschnitt von Dreiecksmieten ist festzustellen, dass ungefähr 5% des im Kompost enthaltenen Gesamtstickstoffs in Nitratform vorliegen, was trotz allem sehr wenig Stickstoff bedeutet: 0,23 kg N pro Tonne Kompost (brutto).

Man kann erkennen, dass 35 Tage¹³ nach dem Einbringen des Produktes in den Boden (s. Abb. 10) die mikrobielle Biomasse abnimmt und der Gehalt an mineralischem Stickstoff mehr oder weniger konstant bleibt. Dann, nach 100 Tagen (circa 3 Monate), steigen die mikrobielle Biomasse und der Nitratgehalt gleichmäßig bis zu 525 Tagen an. Die im Boden mineralisierte Stickstoffmenge beträgt nach 245 Tagen (ca. 8 Monate) 0,6 kg N / Rohmaterial (ca. 13% des im Kompost enthaltenen Gesamtstickstoffs).

Der Stickstoffausnutzungskoeffizient ist nach 49 Tagen 20%, was eine stärkere Stickstofflieferung in Anwesenheit der Pflanze bedeutet. Es kann also mit 0,93 kg Stickstoff pro Tonne Ausgangsprodukt (anstatt 0,6 kg beim Kompost allein) gerechnet werden.

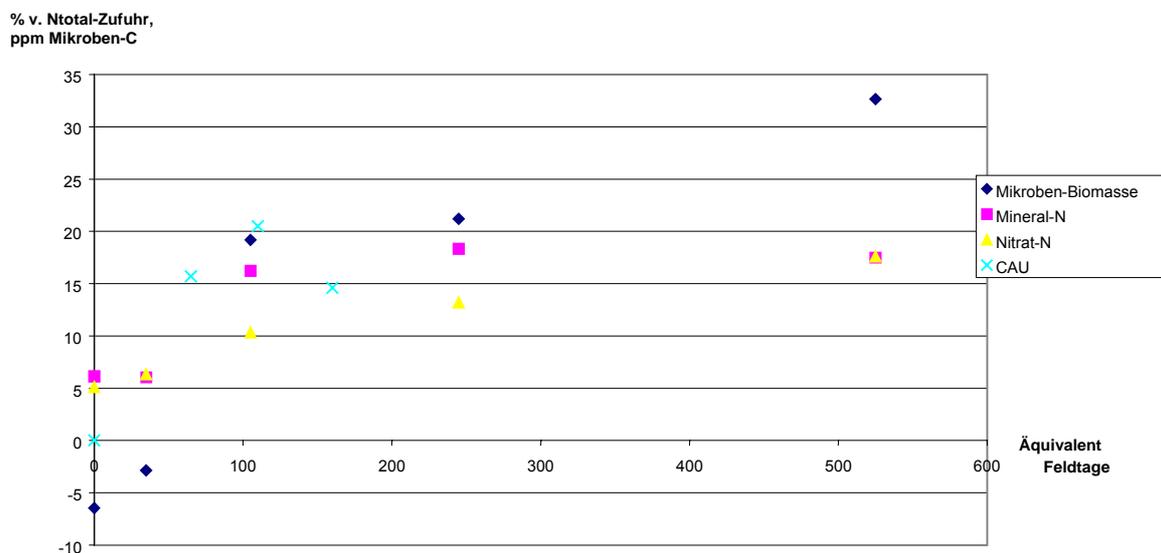


Abb. 10: ICC-N, Mikroorganismen-Biomasse und CAU v. Dreiecksmietengrüngutkompost

Wir fassen die agronomischen Eigenschaften diese Komposttyps in §. 4.2.7. zusammen und vergleichen sie mit denen anderer Komposttypen.

¹³ Der ICC-N wird bei 28°C durchgeführt. Ein Tag bei 28°C entspricht 5 Tagen mit 14°C im Freiland. Die in diesem Bericht angegebenen Daten entsprechen diesem Freilandäquivalent.

4.2.4. Die Tafelmieten: Der Typ TAB

4.2.4.1. Beschreibung des Prozesses

ANNAHME, KONTROLLE UND ZERKLEINERN DER AUSGANGSMATERIALIEN	<ul style="list-style-type: none"> • wie bei Typ TRI • einige Betreiber häckseln feiner als die anderen
ANLAGE DER MIETE	<ul style="list-style-type: none"> • Trapezform, 2,5-3 m hoch, bis zu 30 m breit • aufgeschichtet mit Radlader • monatliche oder dreimonatliche Chargen • Betonplatte oder abgedichtet mit leichtem Gefälle zum Auffangen der Sickersäfte • Verwendung der Sickersäfte zur Befeuchtung der Mieten (Recycling, Wassereinsparung)
<u>KOMPOSTIERUNGSVERLAUF:</u> AKTIVE PHASE	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer: 6 Monate • maximale Temperatur: 75-80°C, z.T. sogar 82-85°C, ziemlich lang anhaltend • Umsetzen alle 3 bis 4 Wochen • durchschnittlich 7x Umsetzen • Kontrolle der Temperatur, Feuchte (wenn nötig regulieren, am besten beim Umsetzen)
LAGERUNG UND REIFUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Lager im Rohzustand • oder Sieben und Lagern (Sieb: fein 0-10; mittel 0-20; grob 0-40 mm) • Lagerung der Siebrückstände zum Puffern saisonaler Schwankungen oder zur Vermarktung als Mulch • Mieten gelegentlich überdacht oder durch Folien geschützt • Dauer: unbestimmt

4.2.4.2. Hypothesen zur Umformung der organischen Substanz

Für eine zusammenfassende und vergleichende Darstellung der Schlussfolgerungen dieses Abschnitts wird auf Tabelle 20 verwiesen.

• Möglichkeiten der Prozesskontrolle

Bei diesem Mietentyp stellt man beim Umsetzen gelegentlich fest, dass einige Bereiche stark ausgetrocknet sind und dass die Umwandlungsvorgänge abgebrochen wurden (Vorhandensein von 'Weißem', hitzeresistente Form der Pilze und Aktinomyceten). Im Laufe der Untersuchung konnten diese Nachteile durch das Projekt untermauert werden. Es hat sich gezeigt, dass sich die Umsetzungshäufigkeit nicht ohne Weiteres erhöhen lässt (dies ist eine Maßnahme die Zeit und Geld für Kraftstoff und Materialverschleiss kostet) und dass die Beregnung von Haufen zum Abkühlen und Befeuchten der Miete sowie zur Förderung der mikrobiellen Aktivität einerseits kostspielig und andererseits unsicher ist: während einige Stellen bereits durchnässt sind und das Kompostieren verhindern, sind andere noch zu trocken.

Die Kontrolle der biologischen Umwandlungsvorgänge ist bei diesem Mietentyp also von sehr geringer Intensität, selbst wenn die geringe Empfindlichkeit dieses Mietentyps gegenüber Witterungsereignissen häufige und unterschiedliche Eingriffe erübrigt.

• Wahrscheinliche biologische Umwandlungsvorgänge in Tafelmieten

In Anbetracht der hohen Temperaturen und der relativen Schwierigkeit (einleuchtend, da es sich um ein grobes Substrat handelt, aber mehr oder weniger abhängig von der Feinheit des Häckselns) der Luftzirkulation in diesem Mietentyp betrachtet, kann man sich über den Grad

und die Art der mikrobiellen Aktivität, die sich dort entwickeln müsste, Gedanken machen. Wir haben bereits hervorgehoben, dass nur einige thermophile Bakterien und Aktinomyzeten in der Lage sind, bei hohen Temperaturen von 70 bis 75°C zu arbeiten. Die einzelnen Autoren nehmen an, dass selbst wenn es oberhalb dieser Temperaturen eine Aktivität gibt, sie weniger effizient sei als eine, die bei niedrigeren Temperaturen stattfindet.

Außerdem würde der geringe Sauerstoffgehalt, der stellenweise beobachtet wurde, die Kompostierung stoppen. Dennoch weiß man, dass zahlreiche anaerobe Bakterien existieren, die Zellulose abbauen können. So kann der Abbau von komplexeren Molekülen der organischen Substanz stattfinden, selbst wenn Sauerstoffmangel herrscht. Man muss jedoch ziemlich vorsichtig sein, was die Effizienz und den Umfang dieser Umwandlungsvorgänge angeht, und man hat einige Gründe zur Vermutung, dass die Substrate vom Typ Lignin während der Kompostierung in Tafelmieten nur geringfügig abgebaut werden.

Dies lässt vermuten, dass die Erzeugung von Huminbestandteilen in diesem Komposttyp vor allem den Weg von Auflagehumus oder von faserigem Rohhumus geht, und in geringem Umfang auch den Weg der Neubildung beschreiten kann (hauptsächlich biochemische Polymerisation).

Als Ergebnis der Kompostierung in einer Tafelmiete hat man ein Produkt mit einem noch relativ weiten C/N-Verhältnis das noch fähig ist, sich zu erhitzen. Dieser Kompost wäre noch nicht stabil, so dass man vorsichtig sein muss, was die Umwandlungsvorgänge angeht, die während der Lagerung auftreten können. Handelt es sich um das Ende der Abkühlungsphase oder hat die Reifephase bereits begonnen? Wenn der Kompost während der Lagerung nicht vor schlechtem Wetter geschützt wird, riskiert man dann nicht einen Reifeprozess beginnen zu lassen, der mehr den Weg der Bildung von Humusbestandteilen unter hydromorphen Bedingungen beschreitet und zu einem Produkt von geringer agronomischer Qualität führt (anmooriger oder Torftyp)?

Wie steht es um die Verflüchtigung von Stickstoff? Bei hohen Temperaturen ist auch die Gefahr der Stickstoffverflüchtigung hoch. Wenn jedoch die biologische Aktivität, wie vermutet, gering ist und selten umgesetzt wird, könnte man annehmen, dass die Stickstoffverluste in Form von NH_4 ziemlich begrenzt sind. Dagegen wagen wir keine Aussage über Bildung von Gasen wie CH_4 und N_2O .

Durch das Sieben erhält man ein einheitliches und von den größten Teilen, was normalerweise die weniger kompostierten Bestandteile sind, befreites Endprodukt. So kann man eine relativ konstante Kompostqualität produzieren.

4.2.4.3. Eigenschaften des Endprodukts

Die Mittelwerte der von Betreibern oder im Projekt ermittelten Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt:

Tabelle 19: Mittelwerte (in % TS) der Analysen von Grüngutkompost aus Tafelmieten und Hinweis auf deren statistische Bedeutung.

UNTERSUCHUNGSPARAMETER	MITTELWERT	PROBENUMFANG	VARIATIONSKOEFFIZIENT
% Trockensubstanz im Ausgangsmaterial	54	14	11%
pH (Wasser)	7,9	11	6%
% organische Substanz	47,3	14	15%
% C organisch	24,1	5	15%
% Gesamt-N	1,44	14	12%
C/N-Verhältnis	18,4	13	17%
ppm NH ₄ ⁺	66	2	120%
ppm NO ₃ ⁻	142	2	125%
Verhältnis NO ₃ ⁻ / NH ₄ ⁺	1,9	2	18%
% Gesamt-P	0,61	14	20%
% Gesamt-K	1,15	14	21%
% Gesamt-Ca	5,52	14	10%
% Gesamt-Mg	0,81	14	19%
ppm Cd	0,3	7	92%
ppm Cr	20	7	41%
ppm Cu	38	7	15%
ppm Hg	0,12	7	44%
ppm Ni	16	7	31%
ppm Pb	50	7	26%
ppm Zn	147	7	11%
Abschätzung K ₁	18,5	2	4%

Das C/N-Verhältnis von diesem Komposttyp ist relativ weit. Der Gehalt an organischer Substanz scheint korrekt zu sein, während das NO₃⁻ / NH₄⁺-Verhältnis etwas enger ist als bei den Dreiecksmieten (2,2 statt 13,8). Diese beiden Parameter weisen auf ein noch ungenügend stabilisiertes Produkt hin.

Der isohumische Koeffizient ist zwar ein bisschen höher als bei dem anderen beschriebenen Komposttyp aus Grüngut, aber er ist mit 18,5% dennoch niedrig.

Die Laboruntersuchung des geprüften Komposts ergeben 28% Zellulose und Lignin (in der Trockenmasse). Das Produkt würde in die Kategorie 'reich an mineralischer Substanz' eingestuft werden.

Die Summe des Gehalts an organischer Substanz und an Nährstoffen (N, P, K, Ca, Mg) beläuft sich auf 58% der Gesamttrockenmasse. Die restlichen 42% dieses Produkts sind folglich von unbekannter Zusammensetzung. Man kann vernünftigerweise annehmen, dass dem behandelten Grüngut ein wenig Erde beigemischt wurde. Eine Menge von 5% Erde zu Kompostierungsbeginn würde 8 (Ertrag nach Abbau von 60%) bis 13% (Ertrag nach Abbau von 40%) von den 42% erklären. Der Rest bleibt unbekannt.

Der mit dem Kompost in den Boden eingearbeitete Nitratstickstoff beträgt mit ungefähr 2,4% weniger als bei Kompost von Dreiecksmieten. Da aber der Stickstoffgehalt in diesem Kompost viel höher war, wird mit 0,19 kg N pro Tonne Kompost eine ähnliche Menge ausgebracht (bezogen auf Brutto; der Wert erreicht 0,23 kg N für den Typ TRI).

Die Mineralisierungskurve des Stickstoffs bei diesem Kompost ist relativ überraschend (s. Abb. 11).

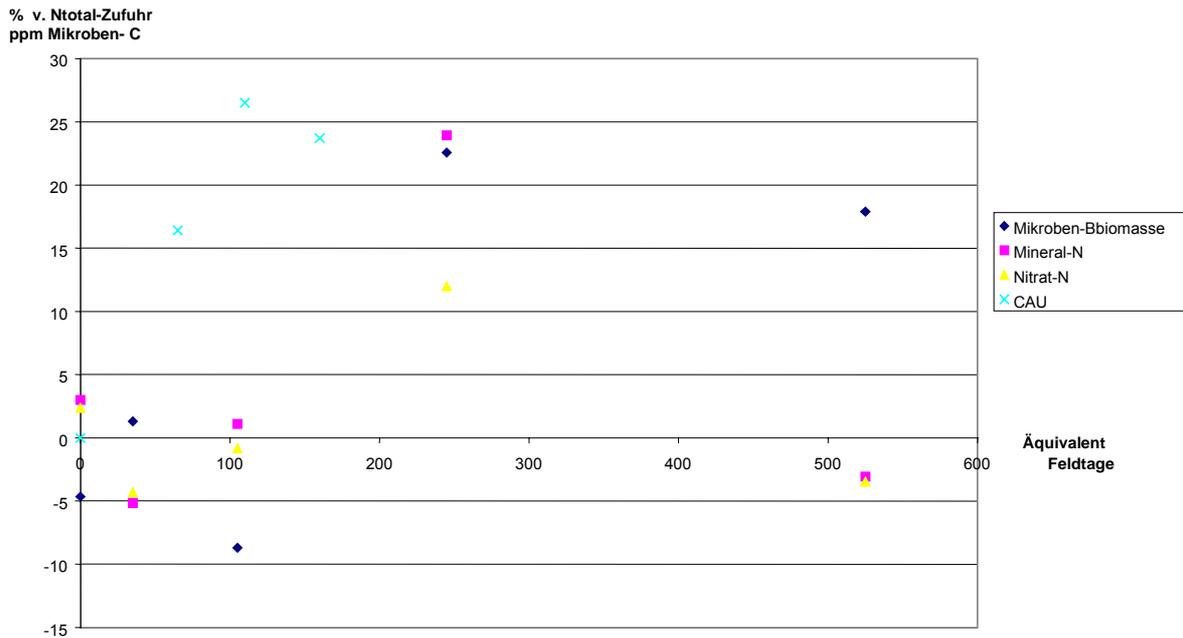


Abb. 11 : ICC-N, Mikroben-Biomasse und CAU von Tafelmieten-Grüngutkompost

Die Einarbeitung von Kompost in den Boden verursacht eine Art von Schock für die Mikroorganismen: ihre Zahl verringert sich im Vergleich zur Kontrolle. Ist dies der Effekt einer Verlagerung des mikrobiellen Gleichgewichts aufgrund der Zufuhr von neuen Populationen/Gesellschaften, die Folge der Mischung des Komposts mit der Erde und von Störungen des Mikrobenlebensraums oder auch der Einfluss des Einbringens eines neuen Substrats, welches die Konkurrenz um Nährstoffe neu organisiert?

Nach 35 Tage ist bei der Boden-Kompost-Mischung eine Festlegung von Stickstoff festzustellen. Diese negative Bilanz wird von einem deutlichen Wachstum der Population der Bodenmikroorganismen begleitet. Es könnte sein, dass die Mikroben den Stickstoff für ihr Wachstum verwenden.

Nach 100 Tagen ist eine Abnahme der mikrobiellen Biomasse gleichzeitig mit einer Erhöhung des Stickstoffgehalts im Boden auf ein Niveau wie vor der Komposteinarbeitung festzustellen. Ist dies mit einem Absterben von Mikroben und der Wiederaufnahme ihres Körperstickstoffs zu erklären? Dies würde eine neue Veränderung bei der Gesellschaft der Mikroben bedeuten.

Nach 245 Tagen hat sich die Mikrobenpopulation entwickelt und die Stickstoffmineralisierung hat wieder begonnen: das Äquivalent von 24% des Stickstoffs im Kompost liegt in mineralischer Form vor (NO_3^- und NH_4^+), was etwa 1 kg N pro Tonne Ausgangsprodukt entspricht. Die Hälfte dieses Stickstoffs liegt in Ammoniumform vor, was anaerobe Bedingungen bestätigt: die nitrifizierenden Bakterien sind streng aerob und die einzigen, die NH_4^+ in NO_2^- und NO_3^- umwandeln können. Das Labor bestätigt, dass die Versuche unter guten aeroben Bedingungen stattgefunden haben. Unserer Meinung nach handelt es sich um einen anaeroben Zustand, der mit einem starken biologischen Sauerstoffbedarf (BSB) verbunden ist, als Folge von intensiv stattfindenden Abbauvorgängen: die Erneuerung des Sauerstoffgehalts ist zu langsam im Vergleich zum Verbrauch durch die Mikroben. Diese Annahme ist dann wahrscheinlich (HÉBERT *et al.*, 1991), wenn die im Labor getesteten Kompostmengen einer Menge von 22 Tonnen Trockenmasse, das sind ungefähr 40 Tonnen Ausgangsmaterial pro Hektar, entsprechen. Eine weitere mögliche Erklärung wäre ein niedriger pH-Wert des Boden-Kompost-Gemischs, was die Entwicklung von Ammonium bildenden Pilzen zum Nachteil von nitrifizierenden Bakterien begünstigte. Diese Erklärung ist weniger wahrscheinlich, nachdem Kompost im Allgemeinen einen basischen bis neutralen pH aufweisen und der verwendete Boden einen solchen von etwa 6,5. Was passieren könnte ist ein Abbau unter anaeroben Bedingungen als Folge eines starken BSB, der zu einem

unvollständigem Abbau der organischen Substanz und der Produktion von organischen Säuren (wie z.B. Pyruvate) führt, die das Milieu versauern. Man befindet sich also in einer Art Teufelskreis bis hin zur Verhinderung einer biologischen Aktivität durch die Schaffung von begrenzenden Bedingungen und/oder als Folge der Erschöpfung des Substrats.

Nach 525 Tagen ist festzustellen, dass die Mikrobenpopulation leicht abgenommen hat und vor allem, dass der mineralische Stickstoff fixiert ist: es gibt weniger Stickstoff in Nitrat- oder Ammoniumform im Boden-Kompost-Gemisch als im reinen Boden. Die starke Abnahme des mineralischen Stickstoffs verläuft nicht proportional zur relativen Abnahme der mikrobiellen Biomasse. Die wahrscheinlichste Hypothese zur Erklärung dieser Tatsache wäre eine Humifizierung, die nach dem Ende der Abbauphase des Komposts beginnen würde: die Mikroben arbeiten mit geringerer Intensität, lagern aber Stickstoff in stabile Humusbestandteile ein. Es ist unwahrscheinlich, dass es sich um Stickstoffhunger im Zusammenhang mit dem Abbau der organischen Substanz handelt: die mikrobielle Biomasse würde zunehmen.

Alle diese Feststellungen zusammen bestärken uns in der Annahme, dass dieser Komposttyp seine aktive Phase nicht beendet hat und dass sein Abbau nur teilweise vollzogen und er noch nicht stabil ist. Nach einer anfänglichen Störung infolge der Einarbeitung in den Boden findet so etwas wie das Ende der aktiven Kompostierungsphase statt und dann so eine Art Reifung: Die Bildung von Huminstoffen.

Nach der Mineralisierungsphase besteht bei diesem Komposttyp die Gefahr der Stickstofffestlegung. Das Ausmaß dieses Risikos läßt sich nicht genau abschätzen. Man muss von vornherein feststellen, dass die Laborbedingungen absichtlich extrem sind, um die wichtigsten Eigenschaften des Produkts zu erfassen: die angewandten Mengen sind hoch, das Produkt ist fein gehäckselt (was die Angriffsfläche vergrößert und enzymatische Verbindungen fördert), die Temperatur ist konstant und die Gehalte an Makronährstoffen (N, P, K, Mg, Ca) sind nicht begrenzend. Man kann das Ausmaß der Stickstofffestlegung unter Feldbedingungen aufgrund unserer Laborergebnisse trotzdem nicht vorhersagen. HADAS et PORTNOY, (1994) stellen fest, dass die ICC das mikrobielle Bodenleben stören. Von daher kann es sein, dass die Laboruntersuchungen überhöhte Werte für die N-Festlegung ergeben. Im Feld kann die Stickstofffreisetzung folglich viel stärker und die Stickstofflieferung der Komposte viel höher sein.

Die Abschätzung des K_1 anhand von zwei Proben ergibt ein Potential von stabilem Humus von ungefähr 185 kg pro Tonne Trockenmasse, was höher ist als es im Fall der Dreiecksmiete war. Man kann dennoch den Wert dieser Zahl bezweifeln, die nichts weiter als eine Abschätzung im Labor ist. Wenn man bedenkt, dass der Abbau der lignozellulosehaltigen Substanzen ziemlich schlecht ist, sind die Umwandlungsprozesse, die man von der Kompostierung erwarten kann, außerhalb des Bodens nicht abgelaufen. Die Humifizierung findet im Boden statt und erfolgt mit einem geringeren Ertrag als bei teilweise kontrollierten Bedingungen.

• Feldversuch mit Tafelmietenkompost

Im Rahmen des Projekts wurde ein Versuch angelegt, um die Stickstofffixierung von unreifem Tafelmieten-Grüngutkompost (weites C/N-Verhältnis von 26:1) zu prüfen und zwei Fragen zu beantworten:

1. Lässt sich die NitratAuswaschung nach Soja durch die Kompostausbringung im Herbst reduzieren?
2. Welchen Einfluss hat dieser Kompost auf Ertrag und Proteingehalt des auf Soja folgenden Winterweizens?

Die drei geprüften Varianten waren:

Kontrolle (ohne Kompost), 18 t TM/ha und 36 t TM/ha Kompost. Ein ergänzende Mineraldüngung wurde in zwei Gaben verabreicht. Über die drei vorgenannten Varianten wurden zwei Düngungsvarianten gelegt: N2 = betriebsüblich und N1 = N2 / 2.

Alle 2 Wochen wurde der Nmin-Gehalt in den Bodenschichten 0-30, 30-60 und 60-90 cm gemessen. Die Einzelheiten der Versuchsanlage, die eingesetzten Materialien und Methoden finden sich in Anhang 9.

Als wichtigste Beobachtungen kann man festhalten:

a) Ab dem 14. März fällt der Nitratgehalt im Bereich 0-90 cm rapide ab (s. Abb. E1, E2 und E3). Nach dem Auswaschungsmodell (Rohman) könnte man vermuten, dass es sich um einen Auswaschungseffekt handelt, nachdem der Boden ab diesem Zeitpunkt wassergesättigt ist. Eine andere Erklärung wäre, dass der Weizen nach Vegetationsbeginn den Nitratstickstoff aufgenommen hat.

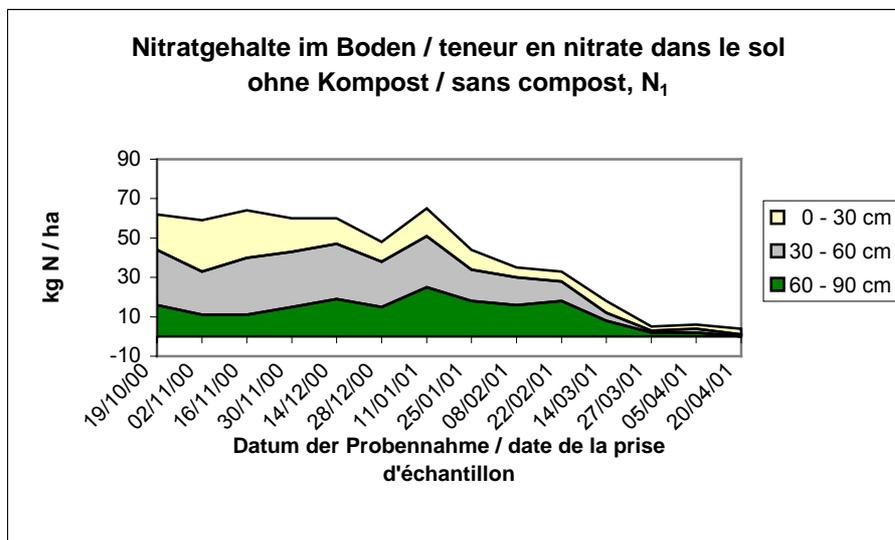


Abb. E1: Nitratgehalt im Boden, Kontroll-Variante ohne Kompost

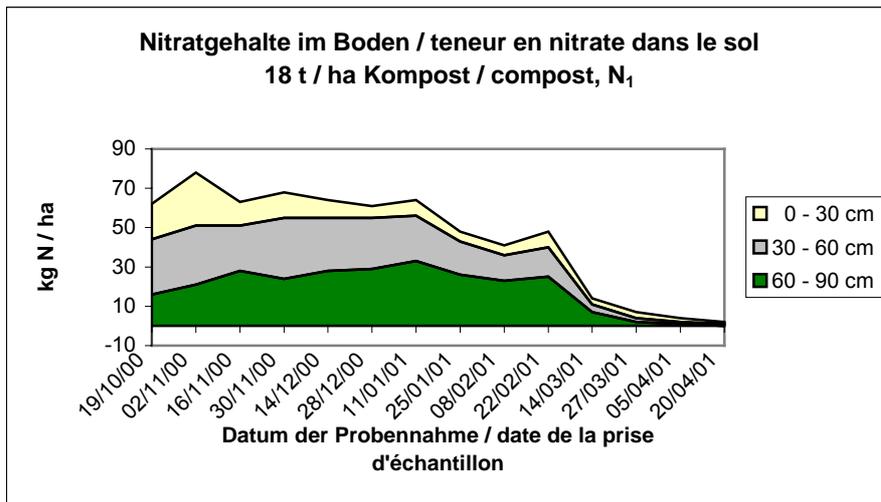


Abb. E2: Nitratgehalt im Boden, Variante 18 t/ha Kompost

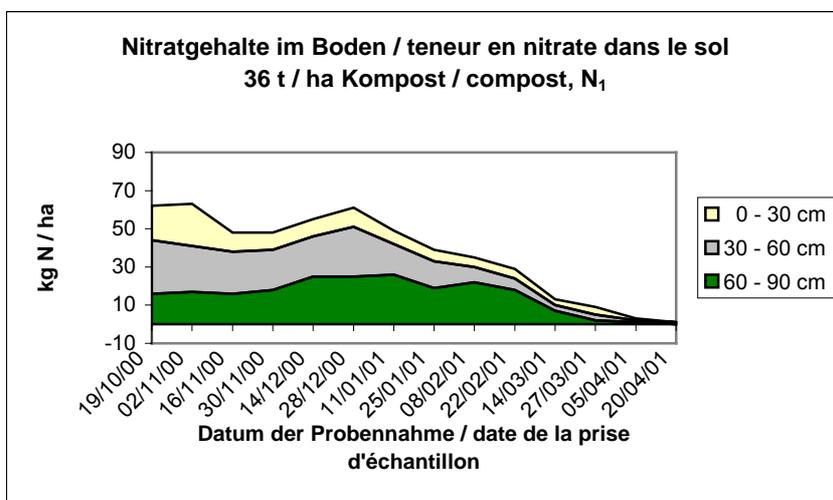


Abb. E3: Nitratgehalt im Boden, Variante 36 t/ha Kompost

b) dass im Oberboden (Horizont 0-30cm) der Nitratgehalt in der Variante ohne Kompost etwas höher liegt, was vermuten lässt, dass der Kompost bei seiner Umsetzung im Boden tatsächlich etwas Stickstoff gebunden hat (s. Abb. E4).

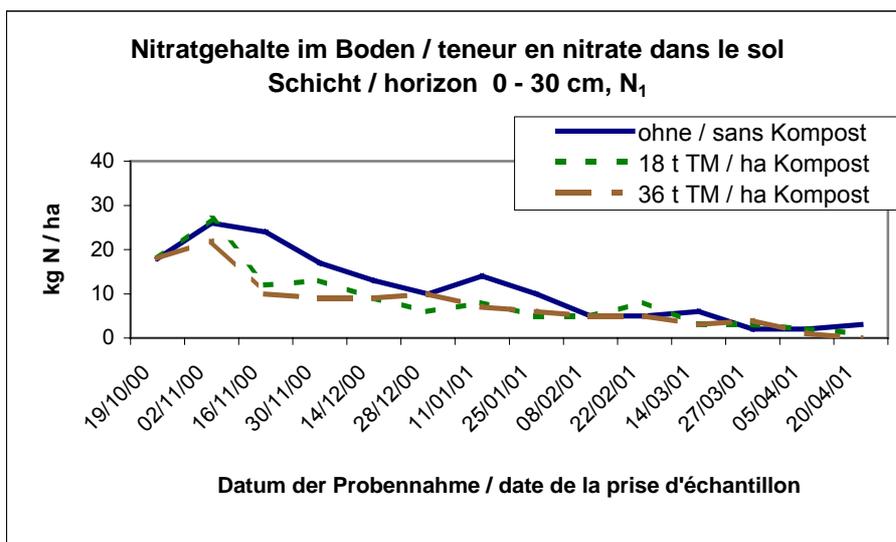


Abb. E4: Nitratgehalt im Boden, Horizont 0-30 cm

c) dass sich im mittleren Horizont (30-60 cm) keine grossen Unterschiede zwischen den drei Varianten feststellen lassen (s. Abb. E5).

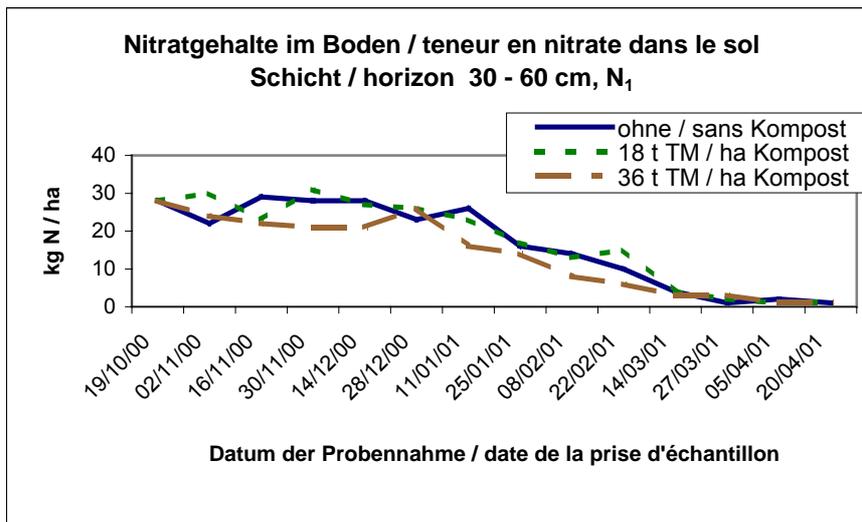


Abb. E5: Nitratgehalt im Boden, Horizont 30-60 cm

d) dass in der unteren Schicht (60-90 cm) ein überraschendes Phänomen auftritt (s. Abb. E6): Die 18 t/ha-Variante weist eine höhere Nitratauswaschung als die Kontrolle ohne Kompost auf, während die 36 t/ha-Variante dazwischen liegt.

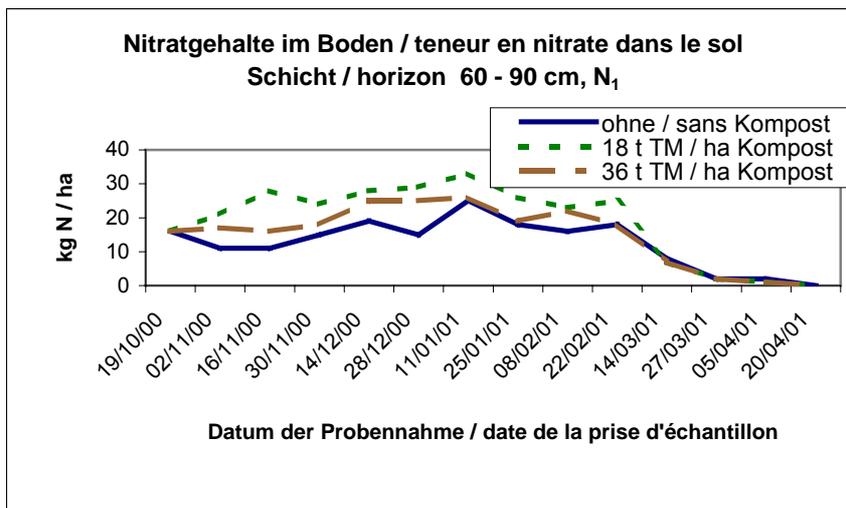


Abb. E6: Nitratgehalt im Boden, Horizont 60-90 cm

e) Bezüglich der Erträge kommt es zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Varianten mit Ausnahme zwischen den Varianten 18 und 36 t/ha Kompost: Bei den hohen Gaben sind die Erträge deutlich geringer (12%), unabhängig von der mineralischen Ergänzungsdüngung (s. Abb. E7).

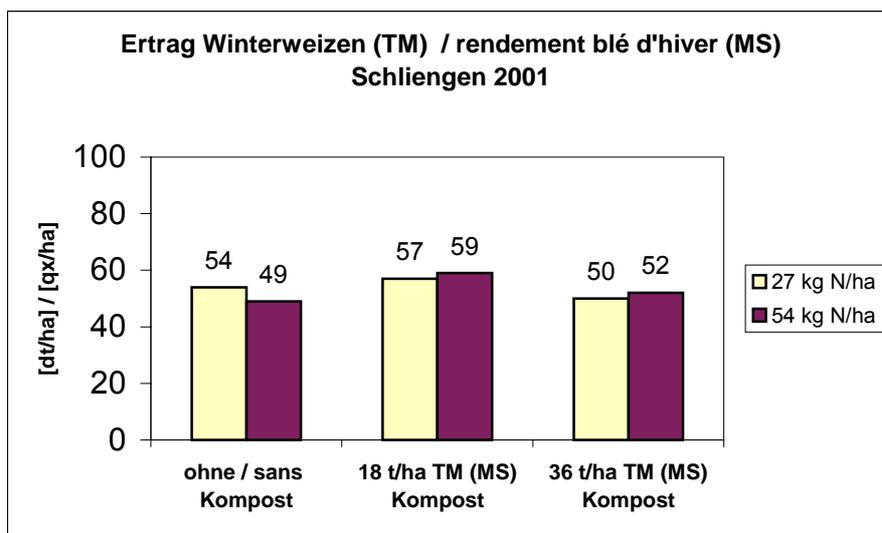


Abb. E7: Erträge von Winterweizen, Schliengen 2001

f) Was die Proteingehalte angeht stellt man in der 18 t/ha-Variante einen gegenüber der Kontrolle um 13% erhöhten Proteingehalt fest, während die 36 t/ha-Variante nur eine Erhöhung um 4% gegenüber der Kontrolle aufweist (s. Abb. E8).

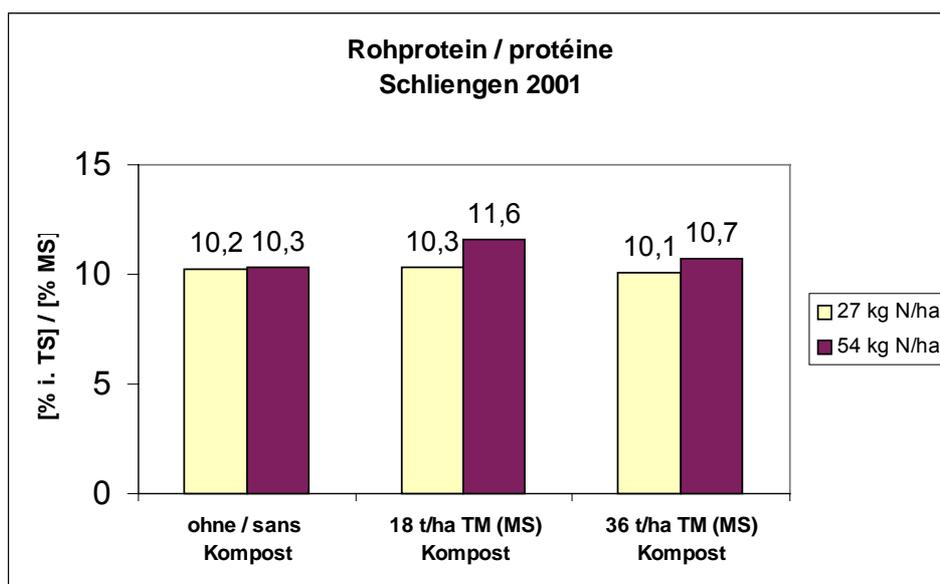


Abb. E8: Proteingehalt von Winterweizen, Schliengen 2001

Die Schlussfolgerungen, die sich daraus ableiten lassen, werfen ein Schlaglicht auf die Projektergebnisse in Punkto Klassifizierung, ohne diese jedoch definitiv zu bestätigen.

Punkt d ist etwas schwieriger zu interpretieren: Wenn die beiden oberen Schichten reagieren, wie es die Ausgangshypothese (Kompost bindet Stickstoff) erwarten lässt, so ist man doch überrascht, dass in der untersten Schicht bei der 18 t/ha-Kompostvariante ein Stickstoffüberschuss auftaucht, und noch mehr erstaunt, dass dieser Trend bei der 36 t/ha-Variante nicht verstärkt, sondern umgekehrt ist.

Unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse eines Kompost derselben Herkunft kann man folgende Erklärung geben:

- Der Kompost weist ein weites C/N-Verhältnis auf, was nach unserer Ansicht nicht bedeutet, dass es sich um einen jungen oder sehr unreifen Kompost handelt, der Stickstoff binden kann, sondern um einen Kompost, dessen Entwicklung und Zersetzung noch nicht

abgeschlossen sind. Er ist noch nicht in die Phase der Reorganisation eingetreten. Es ist also wahrscheinlich, dass dieses Produkt im Boden eine Nettomineralisierung verursachen kann.

- Eine höhere Kompostgabe müsste demnach eine stärkere Stickstofffreisetzung im Boden verursachen. Dem ist jedoch nicht so. Die Laboruntersuchungen zeigen, dass bei einer Gabe von umgerechnet 22 t/ha TM die Hälfte des mineralischen Stickstoffs in Form von NH_4^+ vorliegt, was auf anaerobe Bedingungen hinweist. Eine Gabe von 36 t/ha TM könnte partiell oder temporär zu anaeroben Bedingungen führen, z. B. durch erhöhten BSB. Diese Hypothese würde erklären, dass bei einer höheren Kompostgabe die Nitratauswaschung geringer ist als bei niedrigeren Gaben. Auch die Bodenfunktion ist beeinträchtigt, was den ertrags- und qualitätsmindernden Effekt hoher gegenüber vernünftigen (18 t/ha TM) Kompostgaben erklären könnte.

Auf jeden Fall lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Mit diesem Komposttyp lässt sich offensichtlich kein Nitrat binden, im Gegenteil, es scheint so, als ob er eine Nettomineralisation von Stickstoff induziert. Dieser Kompost sollte deshalb besser im Frühjahr ausgebracht werden. In diesem Punkt kommen wir also wieder auf die ersten Schlussfolgerungen aufgrund der eingehenden Laboruntersuchungen zurück.
- Von diesem Kompost sollte man keine hohen Gaben verabreichen, da er noch aktiv und nur mittelmässig stabilisiert zu sein scheint.

4.2.5. Tafelmieten mit Zwangsbelüftung: Typ TAB-AF

4.2.5.1. Beschreibung des Kompostierungsprozesses

ANNAHME, KONTROLLE UND ZERKLEINERN DER AUSGANGSMATERIALIEN	<ul style="list-style-type: none"> • siehe Typ TAB
ANLAGE DER MIETE	<ul style="list-style-type: none"> • siehe Typ TAB • Aufbau der Miete auf einem Belüftungssystem • Höhe darf 3 m übersteigen • Sonden werden in verschiedenen Tiefen installiert • die Mieten können abgedeckt werden (um Verdunstung zu verhindern)
PHASE DER «VOR-KOMPOSTIERUNG»	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer: 3 bis 4 Wochen • Messen und Aufzeichnen von Temperatur und O_2-Konzentration • computergesteuerte Belüftung • Start des Gebläses in Abhängigkeit der O_2-Konzentration (wenn unter 16%) • Temperatur als Sicherheitsparameter verwendet (konstant 90°C) • maximale Temperatur: 85°C können 15 Tage bleiben
REIFEPHASE	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer: 2,5 bis 3 Monate • Anlage als Tafelmiete • Umsetzen alle 2 Wochen • 6 bis 8x Umsetzen • keine Abdeckung • regelmäßige Messung der Temperatur
LAGERUNG	<ul style="list-style-type: none"> • siehe Typ TAB

Dieser Prozess wird als technische Lösung dargestellt, um schlechte Gerüche zu vermeiden, um eine speckige und stinkende Schicht am Fusse der Tafelmiete zu unterbinden und um den für die Kompostierung benötigten Platzbedarf zu reduzieren (durch Verringerung des Verhältnisses Bodenoberfläche / Volumen und vor allem um den Durchsatz der organischen Materialien in einem Kompostwerk zu beschleunigen).

Was man mit diesem Verfahren vor allem versucht, ist eine gute Sauerstoffversorgung des Komposthaufens. Die Literatur sagt jedoch aus, dass die Kontrolle dieses Systems mit dem einzigen Parameter O₂-Gehalt nicht effizient ist. Man müsste die Temperatur berücksichtigen oder Temperatur und O₂-Gehalt kombinieren. Aus praktischer Sicht und in Kenntnis der thermischen Trägheit von großen Mieten, müsste man viel häufiger das Gebläse zur Senkung der Temperatur verwenden, was nicht ohne Nachteile funktioniert. Diese Option ist energieaufwendig. Sie riskiert, dass kalte Luft eingeleitet wird, die einen Temperaturschock bei den Mikroorganismen im Komposthaufen verursachen kann. Sie kann zum Austrocknen des Haufens führen und den Kompostierungsprozess abbrechen. Beim Befeuchten muss jedoch umgesetzt werden, sonst kann man schlecht mischen; unnötiges Umsetzen ist jedoch teuer. Die Befürworter dieses Prozesstyps stellen sich die Frage über den Zeitgewinn (beschleunigten Abbau des Substrats), den eine Kompostierung mit 70°C bewirken würde. Nach dem Verfahren der Zwangsbelüftung gilt die Sauerstoffzufuhr im Komposthaufen als wichtigster Faktor, der den Abbau der organischen Substanz begrenzt. Da die Mikroorganismen, die den Kompostierungsprozess bewirken, aerob sind, muss ihnen Sauerstoff zur Verfügung stehen.

4.2.5.2. Hypothesen über die Umwandlung der organischen Substanz

Die hohen Temperaturen, die denen im Fall der Tafelmiete ähnlich sind, lassen uns zweifeln, dass die biologische Aktivität in diesem Mientyp relativ gering ist und sich nur auf einige Arten unter den Aktinomyceten und thermophilen Bakterien beschränkt. Bei einem einigermaßen konstanten Sauerstoffgehalt von 16% (anstelle von dem stellenweise beobachteten 1% in den Tafelmieten) neigen wir zu glauben, dass die Aktivität mit dem Belüftungssystem viel besser sei. Ist diese Belüftung gleichmäßig und besteht nicht die Gefahr, dass sich Luftkanäle bilden? In Anbetracht der geringen Belüftungsintensität sollte dies jedoch kein Problem sein.

Das zweimalige Umsetzen der Mieten pro Monat in der Reifephase erlaubt zweifelsohne eine bessere Kontrolle der Kompostierungsbedingungen und würde so die Unwägbarkeiten, die auf die Heterogenität des Substrats zurückzuführen sind, ausgleichen.

Eine Frage zu den möglichen Wegen der Herstellung von Humusprodukten bleibt jedoch: Hat man mit diesem Verfahren mehr Neubildung als mit den klassischen Tafelmieten?

4.2.5.3. Eigenschaften des Endprodukts

Nach Aussage der Anwender dieses Verfahrens hat man ein Endprodukt, das man als '35 bis 40% organische Substanz' (in der Trockenmasse) bezeichnen würde. Das C/N-Verhältnis ist unbekannt, könnte aber noch ziemlich weit sein. Man hätte so ein Produkt, das zwischen den beiden bereits beschriebenen Komposttypen läge, aber näher am Produkt aus der Tafelmiete: es ist ein bißchen stärker abgebaut, aber es ist nicht sicher, ob es stabil ist.

Zusätzliche Untersuchungen würden die Beurteilung verfeinern. Die Anwendung dieses Prozesses ist relativ neu im Projektgebiet. Wir verfügen nicht über ausreichend Referenzwerte, um die Wirkung dieser organischen Substanzen zu beurteilen oder ihre Düngewirkung abzuschätzen.

4.2.6. Grenzen dieser Klassifizierung: Wissensdefizite und Unsicherheiten

Diese Klassifizierung wurde nicht rein wissenschaftlich aufgebaut. Die eigenen und zusammengestellten Untersuchungen stammen nicht von Proben, die nach einem standardisierten Protokoll entnommen wurden mit der Folge, dass die Zusammenstellungen nicht notwendigerweise repräsentativ sind für ähnliche Kompostierungsbedingungen. Die Untersuchungen wurden von verschiedenen Labors durchgeführt (französisch und deutsch), die nicht notwendigerweise die gleichen Untersuchungsmethoden anwenden. Bei den speziellen Untersuchungen (CBM, ICC-N, mikrobielle Biomasse, biologische Verfügbarkeit) haben wir nur wenige Messergebnisse (bestenfalls 1 bis 3, allerdings mit 3 Wiederholungen). Das gewonnene Zahlenmaterial kann deshalb keinerlei statistische Aussagefähigkeit beanspruchen.

Dagegen kann diese Klassifizierung als ein erster Vorschlag zur Strukturierung der Qualifizierung von Komposten betrachtet werden. Wir befinden uns somit am Beginn eines wiederkehrenden Prozesses. Die in diesem Bericht gemachten Vorschläge müssen noch mit den Ansichten der Hersteller und Anwender konfrontiert werden, um kommentiert, hinterfragt, verfeinert und verbessert zu werden. Aber wie? Das Interesse an den in diesem Bericht gestellten Fragen wird es weisen. Die an der Grüngutkompostkette Beteiligten könnten Interesse an der Durchführung von Versuchen und Tests zum Verhalten ihrer Produkte im Rahmen einer Politik zur Verbesserungs und Qualitätszertifizierung haben. Diese Tests könnten einige der in den folgenden Zeilen beschriebenen Elemente berücksichtigen, um unsere Hypothesen zu bestätigen oder zu verwerfen.

Es erschiene uns sinnvoll, die Komposte im Labor zu testen, allerdings mit niedrigeren Aufwandmengen. Nun, da wir eine Vorstellung von der Zusammensetzung haben, möchten wir wissen, ob nicht ein Mengeneffekt existiert, wie wir ihn im Fall des in Tafelmierten hergestellten Komposts vermuten. Außerdem wäre es gut, über die Gefahr der Stickstoffimmobilisierung durch diesen Komposttyp besser Bescheid zu wissen. Diese Frage ließe sich auch mit Feldversuchen klären, die Versuchsanlage wäre jedoch aufwendig, weshalb wir mehr zu Laborversuchen tendieren.

Eine ziemlich ungewöhnliche Frage betrifft die Zusammensetzung der mineralischen Fraktion des Komposts. Ist dies Erde oder sind es andere Substanzen? Im Falle der zweiten These, welches sind die Einflüsse dieser Stoffe auf die Milieubedingungen und die Qualität des Endprodukts? Es wäre gut, von jedem Komposttyp eine umfassende (aber kostspielige) Analyse zu haben, oder wenigstens entsprechende Referenzwerte über die Gesamtzusammensetzung der Komposte in der Literatur zu finden.

Man müsste diese Klassifizierung auch dahingehend vervollständigen, dass man noch genauer die Komposte aus Tafelmierten mit Zwangsbelüftung studiert, indem man beginnt, die Untersuchungsergebnisse zusammenzufassen, um wenigstens den Gehalt an organischer Substanz, das C/N-Verhältnis, den Stickstoffgehalt und das $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ -Verhältnis zu kennen. Ergänzende Untersuchungen zur Charakterisierung der organischen Substanz und ihrer Zusammensetzung (vor allem die Stickstoffmineralisierung) wären willkommen, um die Hypothesen zu verfeinern und die im Rahmen des Feldversuchs zu klärenden Fragen zu beantworten.

Wir haben einige Hypothesen über die Qualität der Humusstoffe und ihre Entstehung vorgebracht, indem wir Analogien zu den Wegen der Humifizierung im Boden gezogen haben. Aus wissenschaftlicher Sicht ist diese Vorgehensweise schlecht abgesichert. Es gibt keinen Anhaltspunkt, dass die Umwandlungsvorgänge in einem Komposthaufen ähnlich sind: man kennt weder mit genügend Genauigkeit die Gesellschaften der tätigen Mikroben, noch die Umweltbedingungen für deren Entwicklung. Die in diesem Bericht gemachten Vorschläge zur Bildung von Humusstoffen sind einzig das Ergebnis von Intuition. Die experimentellen Beweise, die diese Intuition bestätigen oder widerlegen könnten wären die kombinierte Messung eines Humifizierungsindex und der Kationenaustauschkapazität (KAK), in Verbindung mit einer sicheren Bestimmung der Stabilität des Komposts (insbesondere C/N-Verhältnis).

Anschliessend muss noch die Wirkung der Humustypen nach Einarbeitung in den Boden bestimmt werden. Man kann sich wirklich fragen, wie und mit welchem Ertrag sich die Humusstoffe, die in der Kompostmiete den Weg des rohen Auflagehumus eingeschlagen haben und die sich nach Einarbeitung in den Boden auf Wege der Neubildung begeben. Umgekehrt stellt sich die Frage, was passiert mit den in der Kompostmiete entstandenen Neubildungen, wenn sie in einen hydromorphen Boden gelangen?

4.2.7. Schlussfolgerungen: vorläufige Auswertung der agronomischen Qualitäten von Komposten aus Grüngut

Die von uns vorgestellte Klassifizierung basiert auf in der Praxis gebräuchlichen Kompostierungsverfahren. Die Kompostierung von Grüngut unterliegt einigen praktischen und organisatorischen Zwängen und jedes der gebräuchlichen Verfahren hat deswegen seine Vor- und Nachteile in Bezug auf die Rahmenbedingungen.

- Vergleich der Grüngutkompostierungsverfahren

Tabelle 20 fasst diese Vor- und Nachteile zusammen.

Tabelle 20: Vorteile (+) und Nachteile (-) von zwei Grüngutkompostierungsverfahren

	KOMPOSTIERUNG MIT DREIECKSMIETEN	KOMPOSTIERUNG MIT TAFELMIETEN
Mischung der verschiedenen Ausgangsstoffe	++ Einstellung von C/N, Homogenität und Feuchte	++ Einstellung von C/N, Homogenität und Feuchte
extreme Temperaturen: (Form und Grösse der Miete)	++ vernünftige Temperaturen -maximal 70-75°C- korrekte Hygienisierung	-- zu hohe Temperaturen -maximal 80-85°C- sichere Hygienisierung
Belüftung (Form und Grösse der Miete)	++ gut und homogen	-- heterogen, teilweise begrenzend: < 1% O ₂
Witterungsempfindlichkeit: (Verhältnis Austauschoberfläche / Volumen)	-- stärkere Empfindlichkeit (~ 1,95 m ² /m ³)	+ weniger empfindlich (~ 0,42 m ² /m ³)
Raumbedarf: (Verhältnis Bodenfläche / Volumen)	- grösser (~ 1,1 m ² /m ³)	+ kleiner (~ 0,37 m ² /m ³)
Verweildauer auf Platte -aktive Phase-	+ kürzer: ~ 3 Monate	- länger: ~ 6 Monate
Betonbedarf (Verhältnis jährlich behandeltes Volumen / Grundfläche)	?? etwas höher (geschätzt)	?? etwas geringer (geschätzt)
Gleichmässigkeit des Endprodukts (von wirtschaftl. Bedeutung)	-- stärkere Schwankungen (VK oft höher)	+ geringere Schwankungen (VK oft schwächer)
Prozesskontrolle	++ Eingriff und Regulierung jederzeit möglich (hohe Technisierung nötig)	-- Eingriff schwierig und nur sporadisch
Umsetzen	?? schnell aber häufig	?? langsam aber selten

Vernünftige Temperaturen und eine gute Luftzirkulation sind unverzichtbare Bedingungen für ein gutes Gelingen eines Komposts im *engen Sinne*. Das Argument einer guten Hygienisierung reicht nicht aus, um die Qualität eines Produkts wie Kompost zu gewährleisten. Auch wenn es lobenswert ist, diesem Aspekt die größte Aufmerksamkeit zu widmen, so darf man doch nicht aus dem Auge verlieren, dass die Risiken bei diesem Substrattyp gering sind und dass die agronomischen Qualitäten eines Produkts zahlreiche andere Parameter umfassen. Außerdem werden Pflanzenschutzmittelrückstände größtenteils durch die Mikroben abgebaut. Eine gute mikrobielle Aktivität ist auch von Vorteil für die Hygiene.

Der Kompostierungsprozess bei Dreiecksmieten scheint wegen seiner Witterungsempfindlichkeit und seiner starken Aktivität eine größere Technisierung zu verlangen: die Eingriffe sind häufiger und müssen zum richtigen Zeitpunkt gemacht werden.

Die großen Unterschiede bei der Zusammensetzung von Komposten aus Dreiecksmieten können von beigemischten Erdmengen und/oder den punktuellen Problemen der Beherrschung der Technik stammen.

Der geringere Flächenverbrauch wird durch die längere Verweildauer kompensiert, und umgekehrt. Deshalb ist der Betonierungsbedarf für eine Kompostanlage immer in etwa gleich gross (bleibt noch genauer zu prüfen). Die Entscheidung für das eine oder andere Verfahren hängt letztlich von der Finanzplanung ab.

Man müsste die Arbeitszeit messen, um die Vor- und Nachteile von jedem Umsetztyp zu bestimmen. Vorläufig werden die Unterschiede als gering betrachtet.

Das Kompostierungsverfahren in Dreiecksmieten mit Zwangsbelüftung versucht die Nachteile des Raumbedarfs ebenso zu reduzieren wie jene, die mit der Luftzirkulation zusammenhängen. Bedauerlicherweise ist damit das Problem der hohen Temperaturen nicht gelöst. Dies scheint uns jedoch für einen guten Kompostierungsverlauf von erstrangiger Bedeutung zu sein.

• Agronomischer Wert von Grüngutkomposten

Der agronomische Wert eines Komposts ist relativ schwer zu definieren. Üblicherweise fasst man unter diesem Begriff den Wert als Bodenverbesserer (Humuspotential) und den Düngerwert (Gehalt an Stickstoff, Phosphor, Kali, Kalk, Magnesium und Freisetzungsgeschwindigkeit) zusammen, ohne die zusätzlichen Nutzeffekte und anderen Vorteile zu beurteilen.

Wir versuchen hier der Größenordnung nach einige Angaben zum Düngungs- und Bodenverbesserungspotential der in der Klassifizierung behandelten Komposte aus Grüngut zu machen (s. Tab. 21). Die angegebenen Werte sind mit größter Vorsicht zu betrachten. Sie dienen lediglich als Entscheidungshilfe bei der Wahl und Verwendung dieser Komposte. Bei Verwendung dieser Zahlen muss deshalb an den kritischen landwirtschaftlichen Verstand hinsichtlich der mit der Ausbringung dieser Produkte verbundenen Effekte appelliert werden. Man kann nicht genug darauf hinweisen, von den Kompostlieferanten eine Analyse zu verlangen.

Diese Werte sind Mittelwerte von Untersuchungsergebnissen, bezogen auf das Ausgangsprodukt (PB). Die Mittelwerte wurden mit einer beschränkten Zahl von Einzelwerten (2 bis 14) errechnet. In Klammern sind die gemessenen Minimum- und Maximumwerte angegeben.

Tabelle 21: Größenordnung der Bodenverbesserungs- und Düngungswirkung von im Rahmen des Projekts untersuchten Grüngutkomposten (je Tonne Ausgangsprodukt)

	GRÜNGUTKOMPOST DREIECKSMIETEN	GRÜNGUTKOMPOST TAFELMIETEN
WERT ALS BODENVERBESSERER		
BILDUNG VON STABILEM HUMUS	79 kg (35 bis 160)	97 kg (90 bis 100)
GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ	167 kg (100 bis 390)	253 kg (174 bis 288)
STABILISIERUNGSGRAD DER O.S. (STABILHUMUS/ O.S.)	47%	38%
HUMIFIZIERUNGSPFADE (VERMUTUNG)	eher Neubildung? (etwas Faser und Rohhumus?)	eher Faserhumus? eher Rohhumus? (etwas Neubildung?)
WERT ALS STICKSTOFFDÜNGER		
ZUSAMMENSETZUNG ERSTES JAHR	Langsame und offensichtlich gleichmäßige Mineralisation	Starke Mineralisation
NACHWIRKUNG	Praktisch keine?	Stickstofffestlegung (Umfang?)
GEHALT AN GESAMTSTICKSTOFF*	5,85 kg (3,8 bis 6,8)	7,77 kg (6,4 bis 10,3)
VORHANDENER MINERALISCHER STICKSTOFF NACH EINARBEITUNG **	0,51 kg entsprechend ~ 9% N _{total} (0,19 bis 1,12)	0,10 kg entsprechend ~ 1% N _{total} (0,01 bis 0,19)
MINERALISIERUNG IN EINER VEGETATIONSPERIODE (8 MONATE) (IN % VON GESAMTSTICKSTOFF)	18%	24%
VERFÜGBARER STICKSTOFF IN EINER VEGETATIONSPERIODE ~ 8 MONATE*	5,85 kg x 18% = 1,05 kg	7,77 x 24% = 1,86 kg
STICKSTOFFAUSNUTZUNGSKOEFFIZIENT NACH 3,5 MONATEN	20,5%	26,5%
WEITERER DÜNGERWERT*		
P***	~ 5 kg (2 bis 8)	~ 3 kg (2 bis 5)
K*	~ 7 kg (4 bis 14)	~ 6 kg (4 bis 9)
Ca*	~ 40 kg (15 bis 90)	~ 30 kg (22 bis 40)
Mg*	~ 8 kg (4 bis 16)	~ 4 kg (2 bis 7)

* zur besseren Abschätzung dieser Zufuhr sollte besser die einzelne Partie untersucht werden

** der mineralische Stickstoff umfasst Ammonium und Nitrat

*** bei einer ordnungsgemäßen Kompostierung betrachtet man den gesamten Phosphor als leicht verfügbar (besonders bei einer guten Reifephase)

Grüngutkomposte scheinen eine mittelmäßig interessante Quelle für die Stickstoffdüngung zu sein. Zur Düngungsberechnung müssen zwei Faktoren berücksichtigt werden:

- der Gehalt an mineralisiertem Stickstoff bei der Einarbeitung
- die Stickstoffmineralisierungsrate in Abhängigkeit vom Gesamtstickstoffgehalt des Produkts

Für die Komposte aus Dreiecksmieten kann der zu Beginn vorhandene mineralisierte Stickstoff die Hälfte des in einer Saison mineralisierten Stickstoffs ausmachen.

Bei den Komposten aus Tafelmieten ist dieser Anteil dagegen vernachlässigbar (1%). Die Mineralisierungsgeschwindigkeiten der beiden Komposttypen kann folgendermaßen geschätzt werden:

- Dreiecksmieten: ~ 10% in 245 Tagen
- Tafelmieten: 23% in 245 Tagen

Über eine Vegetationsperiode hinaus ist es schwierig, die Mineralisierung abzuschätzen. Bei den Dreiecksmieten scheint die Nachwirkung vernachlässigbar zu sein. Der Kompost mischt

sich mit der organischen Substanz des Bodens und wird langsam mineralisiert. Bei den Tafelmieten könnte eine Stickstofffestlegung stattfinden, aber in welchem Ausmaß?

• Anwendungsempfehlung

Tabelle 22 macht einige Angaben zu Größenordnungen - die mit gleicher Vorsicht zu genießen sind - zu den Zufuhren an organischer Substanz, Humus und Nährstoffen bei einer Aufwandmenge von 20 Tonnen Kompost pro Hektar.

Tabelle 22: Schätzung (Größenordnung) des Werts als Dünger und Bodenverbesserer bei einer Aufwandmenge von 20 Tonnen/ha (Ausgangsprodukt) Grüngutkompost

	GRÜNGUTKOMPOST DREIECKSMIETEN	GRÜNGUTKOMPOST TAFELMIETEN
WERT ALS BODENVERBESSERER	+	++
organische Substanz	3,4 Tonnen (2 bis 7,8)	5 Tonnen (3,5 bis 5,8)
stabiler Humus	1,6 Tonnen (0,7 bis 3,2)	2 Tonnen (1,8 bis 2)
DÜNGERWERT	++	+
Während Vegetationsperiode mineralisierter Stickstoff	21 kg (13 bis 25)	37 kg (30 bis 50)
Phosphorfreisetzung	100 kg (40 bis 160)	60 kg (40 bis 100)
Kaliumfreisetzung	140 kg (80 bis 280)	120 kg (80 bis 180)
Calciumfreisetzung	800 kg! (300 bis 1800)	600 kg ! (440 bis 800)
Magnesiumfreisetzung	160 kg (80 bis 320)	80 kg (40 bis 140)

Der Düngerwert scheint für Komposte aus Dreiecksmieten größer zu sein als für solche aus Tafelmieten, mit Ausnahme des Stickstoffs. Beim Wert als Bodenverbesserer ist es umgekehrt.

Man kann feststellen, dass der Kompost aus Grüngut 2 bis 3 Tonnen organische Substanz liefert, die kein stabiler Humus ist, aber einen positiven Effekt auf die Biologie und die Stabilität der Bodenstruktur haben muss.

Ferner ist der bodenverbessernde Effekt des Kalks bei diesem Komposttyp nicht zu vernachlässigen. Er kann eventuell als Erhaltungskalkung gelten.

In Tabelle 23 sind die möglichen Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen zur Dynamik der Stickstofffreisetzung zusammengefasst.

Tabelle 23: Dynamik der Stickstofffreisetzung von Grüngutkomposten

	GRÜNGUTKOMPOST DREIECKSMIETEN	GRÜNGUTKOMPOST TAFELMIETEN
Menge mineralisierbarer Stickstoff im Anwendungsjahr	~ 18%	10 bis 25%
Menge mineralisierbarer Stickstoff in Folgejahren (angenommene Nachwirkung)	~ 0?	??? (Freisetzung oder Festlegung?)

Abschliessend empfehlen wir, die Komposte aus Dreiecksmieten bevorzugt im Frühjahr und vor der Saatbettbereitung auszubringen, um den in mineralischer Form bereits vorhandenen Stickstoff und den durch die stetige Mineralisierung freigesetzten Stickstoff bestmöglich zu nutzen.

Bei den Komposten aus Tafelmieten empfiehlt es sich, dem Risiko der Stickstofffixierung nach der Vegetationsperiode vorzugreifen. Man könnte versuchen, diese Eigenschaft auszunutzen, um die nach der Ernte der Kulturen im Boden vorhandenen Stickstoffrückstände eine Zeitlang zu binden, wenn kein Stickstoffbedarf bei Pflanzen mehr besteht. Es ist deshalb sinnvoll, diesen Komposttyp spätestens 8 bis 9 Monate vor der Ernte auszubringen (um die Stickstoffrückstände zu binden, ohne mit der Kultur zu konkurrieren) und mindestens 3 bis 4 Monate vor der Aussaat (bis sich die anfänglichen Störungen gelegt haben).

Angesichts der niedrigen Temperaturen sowie der geringen biologischen Aktivität im Winter könnte man diesen Komposttyp am Herbstende (Ende November) ausbringen, aber ohne zu tiefe Einarbeitung, damit er sich umsetzen kann. Auch sollte man keine zu hohen Gaben verabreichen (20 – 30 t/ha Kompost sollten nicht überschritten werden).

Auf jeden Fall darf der Kompost nicht tiefer als 10 cm eingearbeitet werden, um eine ungünstige Umsetzung unter anaeroben Bedingungen, was Probleme wie einen 'untätigen' Boden und die Bildung von organischen Säuren verursachen könnte, zu vermeiden.

Allgemein gilt, dass ein Produkt, dessen Eigenschaften und Verhalten nicht ausreichend bekannt ist, nicht eingearbeitet werden sollte oder in die Nähe von Wurzeln kommen sollte.

4.3. Mistkomposte : Typologie und Stickstofffreisetzungspotential

4.3.1. Versuch des Aufbaus einer Typologie für landwirtschaftlichen Kompost

Wie auch beim Grüngut gehen wir davon aus, dass das Ausgangssubstrat und die Kompostierungsverfahren die Eigenschaften des Komposts determinieren. Die Ausgangsmaterialien sind Miste aus unterschiedlichen Tierzuchten (Spezies, Altersklasse, Fütterung, Art der Ställe und Einstreuhöhe). Nur wenige Literaturbeispiele untersuchen alle diese Faktoren gemeinsam (es finden sich häufiger Stalltypen assoziiert mit Einstreuhöhe).

Die Befragung der Landwirte hat es uns erlaubt, einige Faktoren herauszuarbeiten, welche die Kompostierungsmethode bestimmen:

- Häufigkeit (oder Intensität) des Umsetzens,
- zur Mietenanlage verwendete Ausrüstung,
- Verwendung biodynamischer Präparate.

Diese Faktoren scheinen eher bezeichnend für gewisse Kompostierungsstrategien zu sein.

Der Landwirt legt Mieten in einer gewissen Art und Weise an, er verpflichtet sich, häufig umzusetzen und Präparate einzusetzen oder auch nicht... Diese anfänglich ausgewählten Optionen werden normalerweise im Verlauf der Kompostierung nicht mehr aufgegeben. Die Mietengröße hat sich nicht als bestimmender Faktor herausgestellt, alle Mieten hatten mehr oder weniger die gleichen Abmessungen.

Die Betreuung der Kompostierung verlangt in der Folge gewisse Anpassungen und ein gewisses technisches Know-how; wir sprechen daher von Kompostierungstaktik. Die Möglichkeiten technischer Anpassungen wurden bereits im ersten Teil behandelt (§ 4.1.) und wir werden nicht weiter auf diese Klassifizierung eingehen. Wir befassen uns hier mit einer Kompostierung unter guten Bedingungen, die dem technischen Optimum recht nahe kommt (minimale Verluste, maximale Effizienz).

Tabelle 24 stellt die in diesem Projekt identifizierten unterschiedlichen Komposttypen dar.

Tabelle 24: Komposttypen und Unterscheidungsmerkmale (s.a. Anhang 2)

KEIN UMSETZEN MIETENANLAGE: KIPPER	KEIN UMSETZEN MIETENANLAGE: DUNGSTREUER	SELTENES UMSETZEN	INTENSIVES UMSETZEN
FD	COMP	RET	INT

Die zur Mietenanlage verwendete Ausrüstung beeinflusst Struktur, Porosität und Luftzirkulation der Miete. Dieses Kriterium ist nur bei nicht umgesetztem Kompost von Bedeutung.

4.3.2. Äußerst heterogene Ausgangssubstrate

In unserer Klassifizierung gehen wir davon aus, dass die Praktiker ihre Technik dem Ausgangsmaterial anzupassen wissen (s. § 4.1.5.1. Auswahl des Ausgangssubstrats). Die erste Annahme ist also, dass diese Substrate Auswirkungen auf die endgültige Zusammensetzung des Komposts haben, sowie auf potentielle Verluste im Verlauf der Kompostierung und insbesondere auf die Stickstoffverluste. Tabelle 25 gibt eine Übersicht über die Vielfalt der Ausgangssubstrate.

Tabelle 25: Vergleich der Charakteristika verschiedener Miste (ausgedrückt in kg / Tonne Rohmaterial und Trockenmasse)

	TM	OS	N _{TOTAL}	P ₂ O ₅	K ₂ O	QUELLE
RINDERMIST AUS LAUFSTALLHALTUNG	221	180 814	5,7 26	2,2 10	9,5 43	HACALA (1998)
MILCHVIEHMIST AUS ANBINDEHALTUNG	185	152 822	5,3 29	1,7 9	7,1 38	BODET <i>et al.</i> (2001)
PFERDE	540	410 759	8,2 15	3,2 6	9 17	ZIEGLER und HÉDUIT (1991)
SCHWEINE ANGESAMMELTE EINSTREU	329	246 748	7,2 22	7 21	10,2 31	BODET <i>et al.</i> (2001)
FLEISCHGEFLÜGEL	750	465 620	29 22	25 19	20 15	BODET <i>et al.</i> (2001)
ZIEGEN	450	360 800	6,1 14	5,2 12	7,0 16	BODET <i>et al.</i> (2001)
SCHAFE	300	230 767	6,7 22	4,0 13	12,0 40	BODET <i>et al.</i> (2001)

4.3.3. Ein Unterscheidungsmerkmal innerhalb der verschiedenen Kategorien: der Reifegrad

Wir möchten nochmals daran erinnern, dass das Projekt grundsätzlich unterscheidet zwischen:

- der Stabilität eines Komposts: Kompost ist stabil oder instabil, was heißt, dass er seine aktive Phase abgeschlossen hat oder nicht. Der Begriff der Aktivität kann als Synonym für Stabilität verstanden werden, und
- dem Reifegrad eines Komposts: ein stabiler Kompost kann verschiedene Reifegrade aufweisen; der Reifegrad steigt mit der Zeit an.

Die Stabilität entspricht also einem qualitativen und die Reife einem graduellen Unterschied.

Daraus ergeben sich folgende Feststellungen:

- ein noch aktiver oder instabiler Kompost provoziert eine mehr oder weniger ausgeprägte Festlegung im Boden (BERNAL *et al.*, 1998),
- ein stabiler und kaum gereifter Kompost besitzt ein verhältnismäßig hohes Stickstoff-mineralisierungspotential (GAGNON und SIMARD, 1999; CHÈNEBY *et al.*, 1994),
- ein stabiler und stark gereifter Kompost verfügt über ein verhältnismäßig geringes Stickstoffmineralisierungspotential (GAGNON et SIMARD, 1999).

Landwirte bedienen sich zur Beschreibung ihres Komposts normalerweise dieser Kriterien: ein Endprodukt (stabil, inaktiv) hat eher Düngewirkung (junger Kompost) oder bodenverbessernde Wirkung mit Einfluss auf das Bodenleben (alter, sehr reifer Kompost). Diese Unterschiede werden bei allen Typen mitberücksichtigt und wir werden versuchen, die Schwankungen zu quantifizieren. Es darf allerdings nicht vernachlässigt werden, dass die Kompostierung die Mineralisierungsgeschwindigkeit senkt, welche somit unter dem Rohmist liegt (TYSON und CABRERA, 1993).

Im Falle des Rottemistes verfolgen wir einen leicht abgeänderten Ansatz, da es sich nicht um eine Kompostierung, sondern um eine Fermentation handelt. Die Fermentation ist ein sehr langsamer biochemischer und biologischer Umbauprozess : zur Stabilisierung des Produkts bedarf es einer sehr langen Zeitspanne (ATALLAH *et al.*, 1995): ein ca. ein Jahr alter

Rottemist hat etwa die gleichen Eigenschaften hinsichtlich des Kohlenstoff- und organischen Substanzabbaus wie ein einen Monat alter Kompost der Kategorie INT (7-mal umgesetzt). Im Vergleich zu Frischmist scheint ein 4 ½ Monate alter Rottemist sich kaum weiterentwickelt zu haben (KISLIG, 1989); ein 3 Monate alter Rottemist enthält noch sehr viel leicht abbaubaren Kohlenstoff und provoziert nach der Einarbeitung in den Boden eine Stickstofffestlegung (THOMSEN, 2000).

Für Mist der Kategorie FD lässt sich also festhalten, dass der Einfluss der Fermentationsdauer (in diesem Fall können wir nicht von Reifung sprechen, da keine oder nur sehr wenige Huminstoffe gebildet wurden) sich ganz gegensätzlich bemerkbar macht:

- ist der Rottemist noch aktiv, so wird er den Stickstoff im Boden festlegen,
- ist der Rottemist stabilisiert (keine Aktivität), so enthält er hohe Konzentrationen mineralischen Stickstoffs (bis zu 2/3 des Gesamtstickstoffs: KIRCHMANN & WITTER, 1989).

Das Ende der Fermentationsphase liegt bei einem bis zu anderthalb Jahren nach dem Aufschichten. Resultat ist dann ein schwarzes, speckiges und klebriges Produkt, welches nur verhältnismäßig schwer auszubringen ist. Gibt man ihm noch ein weiteres Jahr, so wird es sich zu einem müttererdeähnlichen Produkt weiterentwickeln, dessen genaue Zusammensetzung wir allerdings nicht kennen. Unseres Erachtens handelt es sich um ein sehr stark abgebautes Produkt, welches durch die Aktivität der Regenwürmer (typische Besiedler alter Mieten) bereits mit Erde vermengt ist.

4.3.4. Kaum umgesetzter Kompost: die Typen RET und RET-BD

Dieses Kompostierungsverfahren ist weiter verbreitet. Es wurde insbesondere in großen Tierzuchtbetrieben zur Bewältigung des Wirtschaftsdüngeranfalls entwickelt. Es soll eine Zeitersparnis bringen, die Düngekalender flexibler machen, den Mist zur Ausbringung auf Weiden keimfrei und unkrautsamenfrei machen und letztendlich größere Flächen zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger bereitstellen, bei gleichzeitiger Verringerung der zu transportierenden Mengen durch die Nährstoffkonzentration.

Nachdem mit Hilfe des Dungstreuers oder des Kippers eine Miete angelegt wurde, wird der Mist bei schlechter Struktur einmal umgesetzt (oder zwei- bis dreimal, wenn er stark gesetzt und kompaktiert ist). Er wird dann 14 Tage bis 3 Wochen später ein zweites Mal umgesetzt. Dies wirkt homogenisierend, strukturverbessernd und kurbelt die Kompostierung jenes Substrats wieder an, welches sich in den Außenbereichen der Miete befand und sich weniger erhitzt hat. Ist man der Ansicht, der Kompost sei nicht ausreichend homogen, nicht ausreichend stabilisiert oder die Miete habe sich zu stark gesetzt, ist ein drittes Umsetzen möglich. Somit erreichen wir maximal 5-maliges Umsetzen in zwei Monaten aktiver Phase. Wird anderthalb bis zwei Monate nach der Anlage der Miete umgesetzt, so hat das kaum noch tatsächliche Auswirkungen auf die biologische Aktivität, es dient eher der Homogenisierung einer Miete, die sich teilweise in anaeroben Bedingungen entwickelt. Ein Umsetzen unter diesen Bedingungen erlaubt zudem kein Wiederankurbeln der thermophilen Phase, da die Aktivität der Mikroorganismen bereits stark zurückgegangen und die Miete abgekühlt ist.

Der Kompost wird dann abhängig von Bedarf und Zeitplan einer mehr oder weniger langen Reifung überlassen. Er sollte jetzt allerdings abgedeckt werden, was leider in den seltensten Fällen geschieht.

Im Rahmen des Projekts praktizierten 4 Landwirte diese Form der Kompostierung und 5 weitere bedienten sich der Variante mit Zuschlag biodynamischer Präparate entweder bereits im Stall, oder bei Anlage der Miete, bzw. nach den ersten 15 bis 20 Tagen der aktiven Phase.

Das Projekt hat einen Mistkompost aus Pferdemist der Kategorie RET und einen Mistkompost aus Rinderhaltung im Laufstall der Kategorie RET-BD¹⁴ analysiert. Tabelle 26 enthält die wichtigsten Charakteristika dieser Komposte.

Tabelle 26: Vergleich der Charakteristika verschiedener Mistarten der Typen RET und RET-BD

	PFERDEMIST* RET²	MILCHVIEHMIST LAUFSTALLHALTUNG* RET-BD	REFERENZ: RINDERMIST AUS LAUFSTALLHALTUNG TYP RET**
Kompostierungsdauer	7 Monate	4 Monate	2 Monate
Anzahl Umsetzungsdurchgänge	5	3	2
TM	215	520	330
OS	115	187	210
	533	359	636
C _{org}	64,1	90,4	-
	298	174	
N _{gesamt}	5,07	5,25	8
	23,6	10,1	24
C/N-Verhältnis	12,7	17,3	-
NO ₃ ⁻	0,082	0,004	-
	0,38	0,007	
NH ₄ ⁺	0,077	0,01	-
	0,36	0,02	
Verhältnis NO ₃ ⁻ / NH ₄ ⁺	1,06	0,38	-
P ₂ O ₅	2,6	2,27	5
	12,1	4,37	15
K ₂ O	6,47	4,05	14
	30,1	7,8	42
CaO	9,59	20,3	-
	44,6	39	
MgO	1,7	3,1	-
	7,89	5,97	
typisches organisches Produkt (laut Laborreferenz)	mineralstoffreich	mineralstoffreich	-
Schätzung des K ₁	25%	13%	50%***
% N _{gesamt} während der Anbauphase mineralisierbar (8 Monate)	22%	- 3%	20%
Gesamtmenge mineralisierter Stickstoff im ganzen Jahr (geschätzt, von der FM)	1,13 kg/Tonne	-0,17 kg/Tonne	1,6 kg/Tonne
CAU**** nach 23 Wochen	17%	3%	-

* Ergebnisse der Analysenkampagne im Rahmen des Projekts

** Durchschnitt von 18 zwei Monate alten Komposten nach BODET et al. (2001)

*** nach SOLTNER (1996)

**** Koeffizient der durchschnittlichen Stickstoffnutzung

Die Herstellungsbedingungen der im Rahmen des Projekts untersuchten Komposte sind nicht optimal. Der Pferdemist wurde sukzessive zur Miete aufgesetzt (alle zwei Wochen aufgekippt). Nachdem die Miete eine gewisse Länge erreichte, wurde sie umgesetzt. Da das Substrat sehr trocken ist, wurde die Miete nicht gegen Regen geschützt. Das Substrat ist also sehr heterogen und die Kompostierungsbedingungen unterliegen starken Schwankungen. Der Milchviehmist (Typ RET-BD) scheint nicht gut stabilisiert zu sein (C/N-Verhältnis > 15, Stickstofffestlegung: -3% des N_{gesamt}) nach vier Monaten Kompostierung.

¹⁴ Zu genaueren Ergebnissen dieser Analysen verweisen wir auf die graphischen Darstellungen von N-Mineralisierung im Brutversuch, mikrobieller Biomasse und durchschnittlicher Stickstoffnutzung in Anhang 10 und 11

Das scheint auf ungünstige Kompostierungsbedingungen hinzudeuten (Gründe ?). Die zwei Komposte, für die uns hier Ergebnisse vorlagen, sind also für die im Rahmen des Projekts definierte Kategorie RET nicht repräsentativ. Zur Einschätzung der agronomischen Qualitäten dieser Komposte verweisen wir also auf die Literatur.

Die Kategorie RET scheint einen vorteilhaften isohumischen Koeffizienten aufzuweisen, selbst wenn die angegebenen 50% uns ein wenig zu hoch angesetzt scheinen. Im Jahr der Gabe ist eine Verfügbarkeit zwischen 15 und 20% des Stickstoffs (BERNER *et al.*, 1997; BODET *et al.*, 2001) dieser Kompostkategorie zu erwarten, vorausgesetzt, dass optimale Kompostierungsbedingungen vorherrschen. Ein Kompost, der seine aktive Phase noch nicht beendet hat, oder der in einen anaeroben Prozess umgeschlagen ist, riskiert eine Stickstofffestlegung.

Der Reifegrad seinerseits wird sich dann auf die Stickstoffverfügbarkeit auswirken: höhere Verfügbarkeit bei einem stabilen, aber jungen Kompost, niedrigere Verfügbarkeit für einen stabilen, jedoch reifen Kompost. Eine Analyse der Kompostzusammensetzung ist zur Bestimmung der exakten vorhandenen Nährstoffmengen und zur Berechnung der im Aufbringungsjahr verfügbaren Stickstoffmenge unabdingbar. Eine kombinierte KAK- und Humifizierungsindexmessung erlaubt die Identifikation der Humuskomponenten und somit zumindest eine qualitative Einschätzung ihrer Mineralisierungsgeschwindigkeit und ihres Stickstoffgehalts.

4.3.5. Kompostierung mit häufigem Umsetzen: die Typen INT und INT-BD

Der Typ INT wurde von 3 Landwirten hergestellt und Typ INT-BD von einem einzigen der insgesamt 14 besuchten Höfe.

Bei diesem Verfahren werden im allgemeinen Umsetzgeräte eingesetzt. Eine der Herstellerfirmen dieser Landmaschinen war in der Entwicklung von Kompostierungsverfahren äußerst aktiv und hat auf dieser Grundlage technische Empfehlungen für häufige Umsetzdurchgänge, Einsatz von Folien, Temperaturmessungen, CO₂-Gehalt und Zusatz von Bakterienfermenten ausgesprochen. In der Praxis nehmen die Landwirte keine Messungen vor und halten den Einsatz von Bakterienfermenten für wenig effizient.

Der Nutzen häufigen Umsetzens (einmal täglich zum Beginn und einmal wöchentlich nach anderthalb bis zwei Monaten) liegt in der Beschleunigung der Mistzersetzung und seiner raschen Stabilisierung, um ihn dann schneller einlagern (ohne dass er jedoch zu viele seiner durch den Umbau gewonnen Eigenschaften verlöre) und jederzeit anwenden zu können.

Wir gehen davon aus, dass die Mineralisierungsgeschwindigkeit dieser Produkte stark von der Reifungsdauer abhängen wird (zumeist kurz) und dass mittels dieses Verfahrens Endprodukte erzielt werden, deren Stickstofffreisetzungspotential wesentlich höher als das der Kategorie RET ist. Diese Hypothese wird durch die Analyseergebnisse in Tabelle 27 bestätigt¹⁵.

¹⁵ Zu genaueren Ergebnissen dieser Analysen verweisen wir auf die graphischen Darstellungen von N-Mineralisierung im Brutversuch, mikrobieller Biomasse und durchschnittlicher Stickstoffnutzung in Anhang 11 & 12

Tabelle 27: Vergleich der Charakteristika verschiedener Komposte der Kategorien INT und INT-BD

	MISCHUNG AUS MILCHVIEHMIST AUS LAUFSTALLHALTUNG (67%), SCHWEINEMIST (17%), PFERDEMIST (17%) INT	MISCHUNG AUS PFERDEMIST, GEMÜSEABFÄLLEN UND RINDERMIST INT-BD	DURCHSCHNITT DES MILCHVIEHMISTKOMPOSTS AUS LAUFSTALLHALTUNG, VERMUTLICH DER KATEGORIE INT*
TM	342 (eher feucht)	701 (eher trocken)	451 (korrekt)
OS	187 546	295 421	437
C _{org}	93,8 274	162 231	256
N _{gesamt}	6,37 18,6	12 17,1	19,2
C/N-Verhältnis	14,8	13,5	12,7
NO ₃ ⁻	0,002 0,006	0,31 0,44	0,727
NH ₄ ⁺	0,086 0,25	0,031 0,044	2,141
Verhältnis NO ₃ ⁻ / NH ₄ ⁺	0,02	10,00	
P ₂ O ₅	5,2 15,2	5,62 8,01	17,8
K ₂ O	12,7 37,2	12,8 18,2	40,3
CaO	18,5 54	22,7 32,4	36,5
MgO	3,53 10,3	4,96 7,08	8,8
Kompostierungsdauer	1,5 Monate	5 Monate	1 - 2 Monate
Anzahl Umsetzdurchgänge	9	~ 30	zahlreich
Reifegrad	jung	im Reifen	eher jung
Humifizierungsweg	insbesondere Abbau; geochemisch (Blockade)	insbesondere Abbau; Neubildung	
typisches organisches Produkt (laut Laborreferenz)	mineralstoffreich	mineralstoffreich	-
Schätzung des K ₁ (Labor)	18%	11%	(50%) ZZ
% N _{gesamt} während der Anbauphase mineralisierbar (8 Monate)	4,6%	23%	
Gesamtmenge mineralisierter Stickstoff im ganzen Jahr (geschätzt, der FM)	0,29 kg/Tonne	2,75 kg/Tonne	
CAU nach 23 Wochen	39%	33%	

* Daten entstammen einer Kompostanalysenkampagne der OPABA im Jahr 1992/1993.

Der Kompost ist fast stabilisiert (durchschnittliches C/N-Verhältnis für ein kompostiertes Substrat) und der Reifegrad (NO₃⁻/NH₄⁺-Verhältnis) schwankt abhängig von der Reifungsdauer. Dieser Kompost gehört in die Kategorie der mineralstoffreichen Substrate und weist einen verhältnismäßig schwachen isohumischen Koeffizient mit 10 bis 20% bei den analysierten Proben auf, bleibt allerdings für ein stark abgebautes Produkt annehmbar.

Wir stellen fest, dass die im Brutversuch mineralisierten Stickstoffmengen (ICC-N) bei Kompost der Kategorie INT gering bleiben, dass allerdings der Koeffizient der offensichtlichen Stickstoffausnutzung (CAU) einen sehr hohen Wert erreicht (39%, dieses Ergebnis liegt dem Vergleichssubstrat mit Ammoniumnitrat am nächsten, d.h. einem Stickstoffdüngeräquivalenzkoeffizienten (CEE) von 60%). Das Labor legt nahe, dass in der Größenordnung von 0,6% der Mistmasse unter die Einstreu gemischtes Lithotham (kalkhaltiger Bodenverbesserer) für die organische Substanz einen physikalisch-chemischen Schutz darstellt und dass die Kalkhülle durch die wurzelbedingte Bodenversauerung herausgelöst wird. Ein Erklärungsansatz wäre also, dass die Humifizierung hier eher der Entstehung der Humuskomponenten unter Bedingungen des Typs calciumhaltigen Mulls entspricht. Die geochemische Blockade verschwindet unter der Voraussetzung, dass der pH-Wert des Bodens 8 nicht übersteigt, sobald das Substrat in die Erde eingearbeitet wird.

Wir gehen ebenfalls davon aus, dass wir es hier mit kleinen Humuskomponenten zu tun haben, die über zahlreiche schnell mineralisierbare Seitenketten verfügen (dies muss noch durch eine kombinierte Messung des Humifizierungsindex und der KAK untermauert werden).

Dieser Kompost hätte also den Vorteil, bei einer gleichzeitigen starken Stickstoffwirkung den Kohlenstoffvorrat des Bodens zu erhalten. Er wäre insbesondere für Böden geeignet, welche aufgrund hoher Anteile stabiler organischer Substanz, hemmender Temperaturen oder eines späten Beginns der Vegetationsperiode nur eine langsame Mineralisierungskapazität haben.

Laut klassischer wirtschaftlicher Schätzungen ist eine intensive Kompostierung dieser Art im Vergleich zur Ausbringung von Frischmist unrentabel. Dem kann man entgegenhalten, dass das Produkt spezifischen Zielsetzungen entspricht, denen ein nicht behandelter und nicht stabilisierter Mist keineswegs gerecht werden kann. Außerdem versichern die Praktiker, die sich dieser Methode bedienen, dass bei guter Organisation der Kompostierung der Zeitverlust minimal ist und der Kraftstoffverbrauch nicht ins Gewicht fällt, da die Miete jederzeit eine gute Struktur beibehält, was die Maschinendurchgänge erleichtert.

4.3.6. Kompostierung ohne Umsetzen: die Typen COMP und COMP-BD

Diese Kompostierungsmethode ist mit Abstand die diffizilste und wir konnten im Rahmen des Projekts keine Praxisbeobachtungen machen, mit der Ausnahme von einem oder zwei Landwirten, welche ihrem Kompost besondere Sorgfalt angedeihen ließen, aber trotzdem keine konstanten Qualitäten erzielten. Es handelt sich hierbei um eine Kompostierung in einer Dreiecksmiete, die alle typischen Merkmale der Kompostierung aufweist, allerdings ohne jegliches Umsetzen. Wenn ein solcher Kompost gelingen soll, bedarf es eines hervorragenden Ausgangssubstrats, einer guten Ausgangsstruktur und insbesondere der Fähigkeit, diese Struktur durch eine guten Mischung von Kohlenstoff und Stickstoff bei optimaler Feuchtigkeit zu erhalten. Es muss die Möglichkeit bestehen, den Feuchtegehalt eines solchen Komposts ohne Umsetzen zu steuern, was häufiges Auf- und Abdecken der Miete erfordert (eine sehr mühselige und anstrengende Arbeit). Einer der befragten Landwirte stellt Kompost der Kategorie COMP-BD her, wenn er über ein qualitativ hochwertiges Ausgangssubstrat verfügt, aber er zögert auch nicht umzusetzen, sobald die Kompostierung schlecht abläuft. Die Kompostierungsdauer ist bei diesem Verfahren länger, sie liegt zwischen 4 und 9 Monaten.

Für diesen eher seltenen Komposttyp, welcher einen hohen technischen Standard und konstante Aufmerksamkeit erfordert, hat das Projekt keine Analysen vornehmen können. Wir nehmen an, dass dieser Kompost sich im Großen und Ganzen wie ein Kompost der Kategorie RET verhält, dass aber vergleichbare Qualitäten nur nach längerer Kompostierungsdauer erzielt werden können. Wir möchten ebenfalls darauf hinweisen, dass die Grenze zwischen der Kategorie COMP und der im nächsten Abschnitt behandelten Kategorie (FD) äußerst subtil ist und dass die erste schnell in die zweite umschlagen kann.

Wir erinnern daran, dass abwechselnd aerobe und anaerobe Bedingungen die größten beobachteten Kohlenstoffverluste nach sich ziehen.

Trotz alledem können wir eine Unterscheidung zwischen den Kategorien COMP und RET vorschlagen. Wenn die Kompostierung im Verfahren COMP erfolgreich verläuft, so kann man davon ausgehen, dass sich die Temperaturentwicklung beider Methoden unterscheidet: bei COMP tritt eine einzige Temperaturspitze auf, während es bei RET mehrere sind (entsprechend der Anzahl der Umsetzungsvorgänge während der aktiven Phase). Dies wirkt sich auf die Flora und die biochemischen Umbauvorgänge aus. Letztere unterscheiden sich also bei diesen beiden Komposttypen beträchtlich, ohne dass wir jedoch eingrenzen könnten in welchem Maße, oder nach welchen Kriterien.

In der Praxis ist diese Art des Komposts äußerst selten und die Landwirte greifen eher zum Mietenumsetzer um nicht Gefahr zu laufen, Rottemist zu fabrizieren.

4.3.7. Rottemist: die Typen FD und FD-BD

Im Verlauf unserer Befragungen haben wir dreimal nicht umgesetzte Mieten angetroffen, die die Landwirte als Kompost bezeichneten, obwohl sie, unter Umständen mit Ausnahme des unangenehmen Geruchs, alle Merkmale der Fermentation aufwiesen (schwarzes speckiges Aussehen). Tatsächlich scheint die Verwendung biodynamischer Präparate die Ammoniakemissionen zu bremsen (weniger Geruch). Aus diesen Beobachtungen entsteht vielleicht der Eindruck, dass durch den einfachen Zusatz dieser Präparate ein Rottemist in einen Kompost verwandelt werden kann.

Wir verfechten eine klare Unterscheidung zwischen Rottemist und Kompost. Das Haupthindernis für diese Unterscheidung besteht darin, dass Kompost als einer der Standpfeiler des Biolandbaus betrachtet wird und somit zwangsläufig der biodynamischen Methode. Bezeichnet man also eine Miete als Rottemist, so fällt sie aus den klassischen Denkstrukturen der biologischen Methode heraus. Rottemist ist allerdings im ländlichen Raum überall anzutreffen und zahlreiche Landwirte erklären mit der gleichen Verve die Sorgfalt, die sie seiner Herstellung angedeihen lassen. Dieser Rottemist hat gewisse Vor- und Nachteile und seine Anwendung kann unter gewissen Umständen durchaus angemessen sein. Das Projekt unternimmt einen Vergleich mit den agronomischen Eigenschaften dieses Rottemistes, um die aktuelle Praxis zu hinterfragen und sie entweder weiterzuentwickeln oder zu bestätigen.

Rottemist wird ganz unterschiedlich zur Miete aufgesetzt: es reicht vom einfachen Abkippen, was zur Ausbildung einer unregelmäßigen Zickzack-Miete führt, bis hin zur Anlage einer ganz regelmäßigen Miete. Biodynamische Präparate können unmittelbar nach dem Aufsetzen der Miete zugegeben werden. Die Mieten werden unter Umständen mit Stroh abgedeckt und für mehr oder weniger lange Zeiträume (9 Monate bis zu zweieinhalb Jahren) der Fermentation überlassen (im eigentlichen Sinne). Unter anaeroben Bedingungen sind die Kohlenstoff- und Stickstoffverluste geringer als bei der Kompostierung. Die Kohlenstofffestlegung ist aber trotzdem schlechter (keine oder kaum Bildung von Humuskomponenten unter anaeroben Bedingungen) und nach langen Zeiträumen liegt ein Großteil des Stickstoffs in mineralischer Form vor (bis zu 65% des Gesamtstickstoffs als Ammonium). Wird der Mist lange gelagert (anderthalb Jahre bis über zwei Jahre), so sind die Kohlenstoffverluste mit denen einer Kompostierung der Kategorien RET oder INT in einem Zeitraum von 2 bis 4 Monaten vergleichbar. Hat sich ein Substrat unter anaeroben Bedingungen entwickelt, so enthält es laut GOLUEKE (1992) einen Anteil phytotoxischer Verbindungen (insbesondere organische Säuren aus dem Celluloseabbau unter anaeroben Bedingungen, sowie Ammoniak, der bei Kontakt das Wurzelwerk schädigt). Wir empfehlen, diese Verbindungen eine gewisse Zeit lang der Luft auszusetzen (mindestens 14 Tage) um Probleme zu vermeiden. Außerdem werden zwischen Aufbringen und Einarbeiten starke Verflüchtungsverluste beobachtet, die mit steigendem Ammoniumgehalt stärker ausfallen.

Wir können also feststellen, dass Stickstoff- und Kohlenstoffbilanz dieser Substrate wesentlich uninteressanter ausfallen als bei Kompost und sogar bei Frischmist. Auch sind die Temperaturspitzen unter anaeroben Bedingungen niedriger (40-45°C) als bei der Kompostierung. Das Substrat wird also nicht in der gleichen Art und Weise hygienisiert (gewisse Parasiten wie Würmer können abgetötet werden, sofern eine Temperatur von 40°C sechs Wochen lang erhalten bleibt, Viren und andere Krankheitskeime werden jedoch nicht vernichtet).

Stickstoffverlusten kann allerdings durch flachgründiges Einarbeiten (5 bis max. 10 cm) dieses fermentierten Mistes vorgebeugt werden, wenn auf der Fläche nichts angebaut ist. Es muss dringen davon abgeraten werden, dieses Substrat im Herbst auszubringen: angesichts der hohen Ammoniumgehalte, die unter aeroben Bedingungen in Nitrat umgewandelt werden, ist die Auswaschungs- und Stickstoffverlustgefahr enorm. Wir empfehlen daher eine Ausbringung im Frühjahr, mindestens 3 bis 4 Wochen vor der Einsaat.

Diese Erkenntnisse gelten für Rindermist. Wir haben bereits den Nutzen dieser Praxis für die Stickstoffkonservierung stickstoffreichen Mistes (Schweine und Geflügel) angesprochen. Die Stickstoffverluste dieses Mistes können zwar durch Kompostierung ansteigen, letztere kann aber im Gegenzug die Kohlenstoffverluste begrenzen. Die geeignete Praxis muss daher in Anbetracht der verfolgten Ziele ausgewählt werden.

Zusammengefasst heißt das also, dass Rottemist vorbehaltlich einer sorgfältigen Anwendung eine bessere Düngewirkung hat als Kompost oder gar Frischmist. Seine bodenverbessernde Wirkung ist hingegen zu vernachlässigen. Substrate dieser Art können auf Böden mit schwacher biologischer Aktivität eingesetzt werden (d.h. Böden mit hohen Anteilen stabiler organischer Substanz und/oder kurzer Vegetationsperiode). Diese Bedingungen können zum Beispiel auf Almweiden vorliegen. Wegen der schlechten Hygienisierung ist allerdings zur Vermeidung von Problemen in der Tierzucht Vorsicht geboten.

Bezüglich der Umweltbelastungen ist noch festzustellen, dass die Stickstoffverluste durch Versickern unter Rottemist wesentlich geringer ausfallen (8 bis 10-mal) als die bei Frischmist geschätzten oder gemessenen (LE HOUEROU DECLERCQ, 1992). Diese beeindruckenden Misthaufen sind keine Schadstoffquelle. Die einzige mögliche Belastung sind die Ammoniakemission zwischen Ausbringen und Einarbeiten, welche für den Landwirt selber einen Verlust darstellen. Es sind noch Versuche nötig, um eine phytotoxische Wirkung bei Ausbringung kurz vor der Einsaat auszuschließen.

4.3.8. Einflussgrößen auf die Kompostmineralisierung

Diese Parameter können in zwei Ebenen unterteilt werden:

- eine erste Ebene, auf die der Landwirt durch die Auswahl seiner Praxis Einfluss hat,
- eine zweite Ebene, die der Landwirt nicht mehr beeinflussen kann, aber einbeziehen muss: Wetter und Bodentyp.

• Wetter und Boden: der Einfluss der Natur

Laut Rémy CHAUSSOD (persönliche Mitteilung) wirken Wetter und Bodentyp mit einem Faktor von 100 auf die mikrobielle Aktivität des Bodens. CHÈNEBY *et al.* (1994), sowie HELLER (1999) halten diese Einflussgrößen für das Kompostverhalten für determinierend.

Allgemein ist anzunehmen, dass die mineralisierende biologische Aktivität umso intensiver ist (INSAM, 1990), je höher die Temperaturen liegen (das Optimum liegt bei 30°C, SOLTNER, 1996). Vorausgesetzt jedoch, dass die Feuchtigkeit des Bodens mitspielt (weder zu trocken, noch zu feucht). In unserer Klimazone ist ohne Beregnung die intensivste mikrobielle

Aktivität im Frühjahr und Herbst festzustellen (sofern diese Jahreszeit nicht zu verregnet ist; MOREL, 1989; SOLTNER 1996).

Hinsichtlich der Bodenaktivität (MOREL, 1989; SIEBERT, 19??; WALTHER, 2001) sind sandige Böden im allgemeinen gut durchlüftet und bedingen eine höhere Mineralisierung (25%, CHÈNEBY *et al.*, 1994) als tonige Böden (8%, *ibid.*, 1994).

• Anbaumethoden: der Einfluss des Landwirts

Wiederum laut Rémy CHAUSSOD, beeinflussen die Anbaumethoden mit dem Faktor 2 bis 10 die mikrobiologische Aktivität des Bodens.

Bei den Anbaumethoden, welche sich auf die Kompostmineralisierung¹⁶ auswirken, unterscheiden wir ackerbauliche Maßnahmen (Bodenbearbeitung, Einarbeitungstiefe) und Management organischen Materials (Pflanzung von Gründünger, Fruchtfolge, Kompostherstellung – Materialien, Verfahren und Reife).

Die oberflächliche Bodenbearbeitung¹⁷ zerkleinert physisch die Bodenaggregate (welche organische Substanz, Mineralstoffe und Mikroorganismen enthalten), durchlüftet den Boden und setzt interessante Mengen nicht humifizierter organischer Substanz frei, was sich positiv auf die Mineralisierung auswirkt.

Pflügen verdünnt die organische Substanz, die sich im allgemeinen an der Bodenoberfläche befindet, reichert die durchlüfteten oberflächlichen Bodenschichten verhältnismäßig ab, was sich negativ auf Mineralisierung und Mineralisierungsmengen auswirkt.

Unbedeckte Böden verlieren organische Substanz, die sich an der Oberfläche sehr schnell abbaut (unter Einwirkung von Niederschlägen, Austrocknen und heftiger Wiederbefeuchtung) ohne den tieferen Wurzeln nutzen zu können. Eine Beschränkung der Bodenbearbeitung, sowie die Dauerdeckung wären eine zum Schutz der organischen Substanz des Bodens angebrachte Strategie.

Frische, stickstoffreiche organische Substanz (Pflanzenrückstände, junger gehäckselter und untergepflügter Gründünger, Gülle,...) stimuliert die Mineralisierung, während stabilisierte organische Substanz (wie Mist, Kompost, alter faseriger Gründünger) weniger geeignet ist, die mikrobielle Aktivität zu fördern. Wird also vor dem Einarbeiten von Gründünger Kompost ausgebracht, so kann die Kompostmineralisierung stimuliert werden.

Tabelle 28 rekapituliert die wichtigsten Einflussgrößen für die Kompostmineralisierung

Tabelle 28: Positive (+) und negative (-) Auswirkungen von Boden- und Klimafaktoren auf die Kompostmineralisierung

EINFLUSSGRÖSSE	AUSWIRKUNG AUF DIE MINERALISIERUNG
<i>KAUM ODER WENIG STEUERBARE PARAMETER</i>	
heißes, feuchtes Klima	++
leichter, sandiger, steiniger, heißer Boden	++
kaltes, trockenes Klima	--
schwerer, toniger, kalter Boden	--
<i>VOM LANDWIRT STEUERBARE PARAMETER</i>	
oberflächliche Bodenbearbeitung	+
Verbindung Kompost / junger Gründünger	+
junger Kompost, geringer Reifegrad	+
Pflügen	-
alter Kompost, gut gereift	-
alter Gründünger	-

¹⁶ nach HÉBERT *et al.* (1991), zur Auswertung der Untersuchungsergebnisse siehe das Funktionsmodell einer Parzelle mit Kompostgabe in Anhang 6

¹⁷ diese Angaben zur oberflächlichen Bodenbearbeitung, zum Pflügen und zur Bodendeckung entstammen der Arbeit von CHENU *et al.* (2000)

4.3.9. Vorrangig zu behandelnde Fragen und Unklarheiten

Das Projekt konnte anhand der Beschreibung ihrer grundlegenden Verhaltenscharakteristika einige Kompostierungs- und Mistaufbereitungsverfahren eingrenzen, die im Oberrhein beobachtet wurden. Es wird interessant sein, diesen Ansatz mit dem Verhältnispaar [Kompostierungsstrategie / erwartete Wirkung] wie es von den Landwirten verstanden wird, zu konfrontieren.

Das Projekt wäre in der detaillierten Beschreibung der Verhaltensunterschiede innerhalb einer gleichen Kategorie und abhängig von technischen Anpassungen während der Kompostierung gerne noch einen Schritt weiter gegangen, stieß aber an die Grenzen der wissenschaftlichen und technischen Quellen, die sich mit diesen Fragen überhaupt nicht befassten. Die im Rahmen des Projekts analysierten Proben wurden entnommen, bevor die Typologie entworfen war. Die Typologie stützt sich außerdem auf Kriterien des Reifegrades und der Qualität der Humuskomponenten, die bei der Laborstudie nicht berücksichtigt wurden.

Wir halten es daher für sehr wichtig, die Humifizierungsprozesse während der Kompostierung besser zu beschreiben. Sie stellen die Grundlage für die Kohlenstoff- und Stickstoffmineralisierung dar, sobald der Kompost ausgebracht wird. In der Schlussbemerkung des vorliegenden Berichts (s. § 6.) rekapitulieren wir die herausgearbeiteten Wechselwirkungen zwischen Kompoststabilität (=Inaktivität), Reifegrad, Art der Humuskomponenten und Stickstoffmineralisierungsrate im Gabejahr. Wir geben außerdem einige Literaturquellen und Laborstudien an, fordern aber ausdrücklich deren Überprüfung, Nachbesserung und Verfeinerung ein, um insbesondere die praktische Beratung der Landwirte zu verbessern. Der Nutzen dieser Quellen wird dann darin bestehen, agronomische Werteverluste eines Komposts abhängig von seiner Abweichung vom technischen Optimum quantifizieren zu können. Das Projekt war leider nicht in der Lage, dies zweifelsfrei und präzise zu beziffern.

Die angenommenen Wirkungen biodynamischer Präparate scheinen einige interessante Überlegungen bezüglich des Ablaufs der Kompostierung zu eröffnen (Temperaturregulierung, Selektion mikrobieller Populationen, eventuell Begrenzung der Stickstoffverluste, Steuerung der Humifizierungswege). Zum Nachweis der Auswirkungen dieser Präparate, und insbesondere auf die Humifizierungswege, werden noch Versuche benötigt.

Die Langzeitwirkung von Kompost konnte lediglich grob geschätzt werden, da die Literatur sich ausschweigt und die Nachweistechiken für diese Problematik sich als schwerfällig erwiesen. Eine erste Antwort wäre, dass wir die Langzeitwirkung bei allen beschriebenen Kompost- und Misttypen für vergleichbar halten. Jedoch ist uns jegliche neue Information zur Überprüfung dieser ersten Einschätzung mehr als willkommen.

4.3.10. Schlussfolgerung: Vergleich der wichtigsten Charakteristika von Kompost und Mist

Tabelle 29 vergleicht verschiedene Kompost- und Misttypen

Tabelle 29: Vergleich der verschiedenen Kompost- und Misttypen

	FD UND FD-BD	COMP UND COMP-BD	RET UND RET-BD	INT UND INT-BD
HERSTELLUNGS-BEDINGUNGEN	erfordert keine besondere Sorgfalt	aufwändige Technik & Überwachung; gelingt selten	aufwändige Technik & Überwachung; verlangt Ausrüstung + Organisation	aufwändige Technik & Überwachung; verlangt Ausrüstung + gute Organisation
KOHLENSTOFF-STABILISIERUNG	schlechter als Mist	besser als Mist	besser als Mist	besser als Mist
STICKSTOFFERTRAG	größere Verluste als Mist	geringere Verluste als Mist *	geringere Verluste als Mist *	geringere Verluste als Mist *
GEHALT MINERALISCHEN STICKSTOFFS**	~ 60% N _{gesamt} (hoher Gehalt)	~ 3% N _{gesamt}	~ 3% N _{gesamt}	~ 3% N _{gesamt}
GESAMTSTICKSTOFF-GEHALT**	-	~ 24 kg/t TM	~ 24 kg/t TM	~ 24 kg/t TM
JÄHRLICHE MINERALISIERUNGSRATE** *	65% und mehr, sehr hoch	~ 15-20% mittel	~ 15-20% mittel	~ 25-35% hoch
P**	-	5 kg/t FM	5 kg/t FM	5 kg/t FM
K**	-	14 kg/t FM	14 kg/t FM	12 kg/t FM
Mg**	-	2 kg/t FM	2 kg/t FM	4 kg/t FM
Ca**	-	10 kg/t FM	10 kg/t FM	20 kg/t FM
ANWENDUNGS-EMPFEHLUNG	Frühjahr, nicht auf Kulturen	jederzeit	jederzeit	jederzeit
KRANKHEITSKEIME	schlechte Hygienisierung	mittlere Hygienisierung	gute Hygienisierung	sehr gute Hygienisierung
UNKRAUTSAMEN	schlechte Hygienisierung	teilweise Hygienisierung	gute Hygienisierung	gute Hygienisierung

* Voraussetzung ist ein günstiges C/N-Verhältnis; bei sehr stickstoffreichem Mist (Schweine, Geflügel), sollte das Substrat mit Stroh, oder noch besser mit Sägemehl angereichert werden (ohne jedoch die Miete zu ersticken).

** schwankt abhängig von der Zusammensetzung des Ausgangssubstrats und den Verlusten während der Kompostierung, die Durchführung einer Analyse empfiehlt sich in jedem Fall

*** schwankt abhängig vom Reifegrad

Wir unterstreichen ausdrücklich den determinierenden Einfluss zweier Faktoren, die dieser Klassifizierung übergeordnet sind:

- Reifegrad des Komposts
- Zusammensetzung des Ausgangssubstrats

5. Kommunikation der Projektergebnisse

5.1. Welche Möglichkeiten gibt es, um eine Umsetzung der Ergebnisse in der Praxis zu erreichen?

Die vorliegende Arbeit soll existierende Praktiken hinterfragen, um Entscheidungshilfen zu geben. Es war nicht Zielsetzung des Projekts, technische Änderungen vorzuschlagen, sondern die existierenden Praktiken zu untersuchen.

Die im vorliegenden Bericht enthaltenen Informationen sollen den technischen Leitfaden für Landwirte, die bereits kompostieren und all jene, die kompostieren möchten, stützen bzw. bereichern. Die besagten Informationen sollten sich in zwei Überlegungen, oder vielmehr auf zwei Entscheidungsebenen niederschlagen:

- auf der strategischen Ebene sollen die Typologie und der Vergleich der verschiedenen Typen jedermann die Möglichkeit geben, objektiv die Auswirkungen seiner Praxis in Bezug auf ein erwünschtes oder erhofftes Resultat einzuschätzen. Dies kann unter Umständen zu einer Neubewertung der beobachteten Wirkung und somit einer strategischen Anpassung führen,
- auf der technischen Ebene sollen die vom Projekt gesammelten wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse jedermann eine Einschätzung ermöglichen, inwieweit ein größeres Augenmerk auf die technischen Aspekte (mehr Überwachung, bessere Kenntnis, mehr Beobachtungen) die Qualität oder die Wirkung verbessern könnte.

Anders ausgedrückt, sollen Landwirte mit den Informationen dieses Berichts dazu in die Lage versetzt werden:

- zu bestimmen, welchen Komposttyp sie herstellen,
- den Erfolg ihrer Kompostierung im Vergleich mit den erhofften Auswirkungen zu bewerten (nähert man sich dem technischen Optimum mehr oder weniger an, kann man mit der produzierten Qualität zufrieden sein?).

Die Kommunikation der Information muss also dem vorrangigen Ziel der Entscheidungshilfe angepasst werden.

5.2. Kommunikationsstrategie

Die anfangs des Projekts definierte Kommunikationsstrategie sah neben der Publikation des vorliegenden Abschlussberichts die Redaktion eines an die Landwirte gerichteten technischen Leitfadens vor. Die Ergebnisse des Projekts versetzen uns nicht in die Lage, Patentrezepte zur optimalen Kompostanwendung zu formulieren, das Projekt würde aber des praktischen Nutzens entbehren, wenn wir den Landwirten, die Handlungsanleitungen einfordern, lediglich Überlegungen oder Diskussionsgrundlagen liefern könnten. Wir müssen daher einen annehmbaren Kompromiss zwischen wissenschaftlichen und technischen Interessen finden.

Der besagte Leitfaden sollte aus mehreren Teilen bestehen:

- einer Einleitung, die sich mit dem Stellenwert des Komposts hinsichtlich des Managements organischer Substanz im Biolandbau auseinandersetzt (Fruchtfolge, Leguminosen, Gründünger, Mist, Gülle,...),
- ein erster Teil sollte die Prinzipien der Kompostierung und jene Parameter zusammenfassend darlegen, welche eine konkrete Überwachung des Prozesses erlauben (Temperatur und Feuchtegehalt). Technische Faktoren, die zum Erfolg der Kompostierung beitragen, werden in diesem Teil ausführlich behandelt.

- ein zweiter Teil wird sodann die Hierarchie der im Projekt erarbeiteten Mistkomposttypologie vorstellen: durch ein System von Schlüsseln und Verweisen soll der Leitfaden dem Landwirt die Bestimmung des von ihm hergestellten Komposts ermöglichen:
 - im ersten Schritt wird die Kompostierungsstrategie festgestellt,
 - im zweiten Schritt der Reifegrad des Komposts,
 nach diesen beiden Schritten kann der Stickstoffmineralisierungsgrad im Gabejahr geschätzt werden. Wir werden weiterhin Angaben zur Durchführung weiterführender Analysen machen. Außerdem werden wir auf ähnliche Komposttypen verweisen, da die Grenzen zwischen einigen Typen abhängig von den Herstellungsbedingungen verschwimmen können.
 - im dritten Schritt wird dann der Versuch unternommen, die Zusammensetzung des Ausgangssubstrats (Misttyp) und ihren Einfluss auf das Endprodukt zu typisieren. Gelingt dies nicht, so werden wir Größenordnungen angeben und eine weiterführende Analyse empfehlen,
 - im vierten Schritt nehmen wir eine Synthese der ersten drei Etappen vor und geben Bandbreiten zur Stickstoffverfügbarkeit an, allerdings immer mit der Empfehlung, diese Werte durch Analysen zu überprüfen (die alleinige Tatsache, dass diese Bandbreiten sehr weit ausfallen können, sollte Analysen nahe legen)
- der dritte Teil ist dem Bestimmungsschlüssel für Grüngutkompost vorbehalten; er ist wie Teil zwei aufgebaut,
- der vierte Teil macht auf jene Parameter aufmerksam, die die Kompostmineralisierung auf dem Feld beeinflussen können. Des weiteren werden wir für verschiedene typische Produktionssysteme oder konkrete Fallbeispiele einige Beispiele zur Anpassung der Kompostanwendung auf den Bedarf der Kulturen geben.

Dieser Leitfaden wird auf beidseitig bedruckten Seiten im Taschenformat komprimierte Informationen enthalten, soll benutzerfreundlich sein und höchstens 50 Seiten umfassen.

Die Verwendung eines Bestimmungsschlüssels kann zwei Gefahren bergen:

- es ist möglich, dass einige Landwirte sich in den beschriebenen Typen nicht wiederfinden,
- gewisse Typen könnten zu allgemein gehalten sein, um in der Praxis beobachteten Problemen Rechnung zu tragen.

Zur Lösung dieses Problems schlagen wir folgendes vor:

- fließende Übergänge zwischen den Typen und insbesondere den Hinweis auf benachbarte Typen, um den Landwirten die Eingrenzung zu erleichtern,
- praktischer Vergleich der Anwendung dieser Typologie mit gängigen Praktiken auf Höfen, die nicht an der Studie teilgenommen haben (Validierung und Anpassung unserer Typologie).

Es verbleibt eine letzte Fragestellung: Wird dieser Leitfaden gelesen werden? *oder* Wie können wir seine Verbreitung sicherstellen und Interesse für seinen Inhalt wecken?

Das Projekt hat zur Beantwortung dieser Frage einige Zusatzaktivitäten geplant.

5.3. Weiterführung des Projekts

Die Schlüssel zu einer erfolgreichen Bekanntmachung der vom Projekt gesammelten Informationen sind unseres Erachtens:

- inhaltlich: weitere Veranstaltungen zur «Kompostproblematik» (Anlässe organisieren, die das Interesse von Landwirten wecken - insbesondere der effizienzbewussten),
- formal: Kommunikationsmittel auswählen, die den Erwartungen der Landwirte gerecht werden (Überlegung, Diskussion, Entscheidungsfindung).

Wir schlagen daher vor, ab diesem Herbst in kleinen, entweder fest konstituierten oder wechselnd besetzten, Gruppen die Diskussion mittels Weiterbildungen, Anleitungen, Treffen, technischen Besuchen, sowie dem Austausch zwischen Praktikern aufrecht zu erhalten. Dies gibt uns die Möglichkeit, ein Höchstmaß an technischen Informationen zur Kompostherstellung weiterzugeben, mit unmittelbarem Feedback der Landwirte, was uns wiederum eine inhaltliche Anpassung des Leitfadens erlaubt (herausragende Punkte, Validierung der Typologie). Wir unterstreichen, dass diese Treffen im Sinne eines bestmöglichen Informationsflusses einen formlosen und sehr persönlichen Charakter haben werden .

Diese Aktivitäten vor Ort dienen ebenfalls der Vorbereitung eines Kolloquiums, das die OPABA in Zusammenarbeit mit dem IfuL für Ende November geplant hat. Thema des Kolloquiums werden die „Herstellung und Anwendung von Mist- und Grüngutkompost“ sein. Es wird Fachleute aus verschiedenen Ländern an einen Tisch bringen (Deutschland, Belgien, Frankreich, Schweiz), einen Tag dauern und allen Landwirten, sowie Technikern und Beratern, Projektpartnern und Vertretern der Gebietskörperschaften offen stehen.

Letzen Endes wäre eine weitere Analysenkampagne zur Verfeinerung der Typologie (s. § 4.3.9) vorstellbar, die eine noch gezieltere Beratung jener Landwirte ermöglicht, die sich für die Kompost- und Stickstoffthematik interessieren.

6. Ausblick und Schlussbemerkung

Vorschlag eines Bestimmungsschlüssels zur Vorhersage des Stickstoffmineralisierungspotentials von Kompost

Die vorliegende Arbeit konnte zahlreiche Informationen zum Thema Kompostherstellung und –anwendung sammeln.

Es lag uns sehr an einer Verbindung all dieser Informationen im Sinne eines globalen qualitativen Ansatzes.

Auf der Grundlage verhältnismäßig einfacher und vor allem objektiver Erkenntnisse können wir nun einen Schlüssel zur Bestimmung des Mineralisierungspotentials dieser Komposte vorschlagen.

Dieser Schlüssel sollte durch mehr Referenzen untermauert werden, als dies im Rahmen des Projekts möglich war.

Er sollte ergänzend zur Typologie verwendet werden, die ihrerseits auch auf einfachen, aber wesentlich subjektiveren Kriterien beruht, die große Unterschiede in der Kompostherstellung nach sich ziehen können. Diese Unterschiede sind in der Diskussion zuweilen schlecht einzugrenzen.

Das Prinzip des Bestimmungsschlüssels besteht darin, zunächst eine eventuelle Aktivität des Produkts festzustellen. Somit soll ausgehend von einem Indikator wie dem C/N-Verhältnis (oder Temperatur oder Atmung) die Stabilität festgestellt werden. Dies ist der erste Schritt.

1. Schritt: Bestimmung der Substratstabilität

C/N-VERHÄLTNIS ODER ANDERER STABILITÄTSINDIKATOR	STABILITÄT
< 15	<i>STABIL</i>
12-15	<i>IN DER ÜBERGANGSPHASE</i>
> 15	<i>AKTIV</i>

Ein instabiles Produkt sollte noch weiterkompostiert werden. Ein stabiles Produkt kann unterschiedliche Reifegrade aufweisen.

Dieser Reifegrad wird in einem zweiten Schritt anhand von geeigneten Indikatoren untersucht ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ -Verhältnis, was jedoch durch Auswaschung am Ende der Kompostierung verfälscht werden kann, besser wäre die Verwendung eines im Labor leicht messbaren Humifizierungsindex).

2. Schritt: Bestimmung des Reifegrades

$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ -VERHÄLTNIS	HUMIFIZIERUNGSINDEX	REIFEGRAD
sehr hoch	sehr hoch	<i>SEHR REIF</i>
hoch	hoch	<i>MITTLERER REIFEGRAD</i>
mittel	mittel	<i>BEGINN DER REIFUNG</i>
schwach	schwach	<i>UNREIF</i>
sehr schwach	sehr schwach	<i>SEHR UNREIF</i>

Verbindet man nun die beiden ersten Parameter mit einem dritten, wie z.B. der KAK, so verfügt man über eine ganz Reihe von Kriterien zur Einschätzung des biochemischen Umbaus während der Kompostierung und insbesondere in der Reifungsphase, sofern sie denn stattfand. Damit wären wir beim dritten Schritt, der Beurteilung der im Verlauf der Kompostierung gebildeten Humuskomponenten.

3. Schritt: Eigenschaften der Humuskomponenten sowie Kohlenstoff- und Stickstoffmineralisierungsgeschwindigkeit

STABILITÄT	REIFEGRAD	KAK ^a (meq/kg)	VERHALTEN UND GESCHWINDIGKEIT	KOMPOSTTYP	% N VERFÜGBAR IM JAHR
<i>STABIL</i>	<i>SEHR REIF</i>	200-600	langsame Mineralisierung	COMP oder alte und abgedeckte RET	10-15%
<i>STABIL</i>	<i>SEHR REIF</i>	100-200, bzw. mehr	sehr schleppende Mineralisierung	COMP oder alte und feuchte RET	5-10%
ÜBERGANGSPHASE BZW. STABIL	MITTLERER REIFEGRAD	200-600	sehr schnelle Mineralisierung	INT	25-35%
<i>STABIL</i>	<i>MITTLERER REIFEGRAD</i>	100-200, bzw. mehr	schnelle Mineralisierung	COMP oder mittelalte RET	~ 15-20%
<i>STABIL</i>	BEGINN DER REIFUNG	< 100	viel mineralischer Stickstoff	FD	bis zu 65% und mehr
AKTIV ODER IN DER ÜBERGANGSPHASE	BEGINN DER REIFUNG	100-200	Festlegung oder Mineralisierung	junger COMP oder sehr junger RET	~ 0%
<i>AKTIV</i>	<i>UNREIF</i>	< 100	Festlegung	junger FD	< 0%
<i>AKTIV</i>	<i>SEHR UNREIF</i>	< 100	Festlegung	sehr junger FD	<< 0%

a: diese Angaben entstammen den Kommentaren zu den Ergebnissen der Analysen, die der LAMS-21 für die OPABA durchführte (Kompostanalysekampagne 1992/1993) und dem Werk von LEVI-MINZI *et al.* (1986)

b: s. Tabelle 24 zur Bedeutung der Typen

NB: die im Rahmen des Projekts am häufigsten angetroffenen Komposte finden sich in der Mitte der Tabelle und sind fett eingerahmt

NB: die Grünabfalltypologie in § 4.2. ist ein annehmbarer Bestimmungsschlüssel, sofern sie durch Analysedaten ergänzt wird

Ist man sich einmal über die Art des Komposts im Klaren, so verfügt man über Informationen, die sein Mineralisierungsverhalten voraussagbar machen.

Diese Schlussfolgerungen bedürfen der Bestätigung. Die Wechselbeziehungen all dieser Faktoren untereinander (Stabilität → Reifegrad → Humifizierungsweg → Verhalten) wurden in dieser Arbeit nicht durchgängig herausgearbeitet. Ein gemeinsames Vorgehen sollte diese Hypothesen bestätigen können.

7. Zusammenfassung

KURZFASSUNG DES ABSCHLUSSBERICHTS

ITADA-PROJEKT 1.2.1

Stickstoffverfügbarkeit von kompostierten 'Abfällen' im Ökolandbau

1. Projektstruktur

1.1 Projektpartner (Institutionen):

Projektleitung: OPABA
(Organisation Professionnelle de l'Agriculture Biologique en Alsace)
2, rue de Rome
F-67309 Schiltigheim

Projektpartner: IfuL
(Institut für umweltgerechte Landwirtschaft Müllheim)
Auf der Breite 7
D-79379 Müllheim

Mitbeteiligte: FiBL
(Forschungsinstitut für biologischen Landbau)

Koordination: ITADA-Sekretariat
(Grenzüberschr. Inst. z. rentabl. umweltger. Landbewirtsch.)

1.2 Projektbearbeitung und Abschlussbericht

Joseph Weissbart (OPABA): Projektbeschreibung, -beginn und -begleitung; Durchsicht Abschlussb.;
Benjamin Lammert (OPABA): Projektleitung und -bearbeitung; Erstellung Abschlussbericht;
Christine Groschupp (IfuL): Projektbearbeitung, Versuchsdurchführung, Mitarbeit am Abschlussbericht

1.3 **Projektlaufzeit:** 01.09.1999 – 31.12.2001

2. Problemstellung und Zielsetzung

Die Kompostierung von Mist und Grüngut führt zu einer Restrukturierung des organischen Stickstoffs. Über die Freisetzungsdynamik des Stickstoffs nach Einarbeitung von Kompost in den Boden ist wenig bekannt. Dieser Mangel an Kenntnissen kann zu Überdüngung oder einem Ungleichgewicht zwischen im Boden verfügbarem Stickstoff und Bedarf der Pflanzen führen. Die Gefahr der Nitratauswaschung, auch wenn sie gering ist, besteht und wird bisher nur schlecht bewertet.

Das Projekt hat zum Ziel:

- Die Stickstoff-Freisetzungsdynamik der wichtigsten, im biologischen Landbau am Oberrhein verfügbaren Komposte aus Wirtschaftsdüngern und Grüngut besser kennenzulernen und
- eine Beziehung zwischen den Ergebnissen von Laboruntersuchungen bzw. -tests und der Verfügbarkeit der Nährstoffe im Feld herzustellen.

Folgende Projektergebnisse werden erwartet:

1. eine Verbesserung der Düngungsberatung sowohl was die Herstellung als auch den Gebrauch der Wirtschaftsdüngerkomposte angeht,
2. eine verbesserte Abstimmung der Nährstoffzufuhr auf den Pflanzenbedarf, um die Gefahr der Auswaschung zu vermeiden,

3. die Bezifferung der Kosten von aktuell gebräuchlichen Verfahren sowie die Ermittlung von Lösungen für die Herstellung und Ausbringung von organischen Düngern/Kompost, die unter den jeweiligen Bedingungen am wirtschaftlichsten sind.

3. Material und Methoden

Informationsquellen

Das Projekt verfügt über vier Arten von Informationsquellen:

- die wissenschaftliche und technische Literatur
- die vertieften Laboruntersuchungen von 6 Komposten
- die Erhebungen bei Herstellern und Anwendern von Komposten (Mist- und Grüngut-)
- einen Feldversuch mit Grüngutkompost.

Methodischer Ansatz und Konzept

Um die Stickstoffverfügbarkeit bei Komposten charakterisieren zu können, hat sich das Projekt auf folgende Hypothesen gestützt:

- Bei organischen Produkten wie Kompost hängt die Stickstofffreisetzung stark von der Kohlenstoffmineralisierung ab.
- Die Kompostierung ist ein Prozess, der die Stabilisierung von Stickstoff in Huminverbindungen unterschiedlicher Stabilität zum Ziel hat.
- Um die Komposte nach dem Kriterium der Stickstoffverfügbarkeit unterscheiden zu können, muss man die Huminverbindungen und deren Entstehungsbedingungen beschreiben.
- Die Kompostqualität (Gesamtzusammensetzung, Arten von Huminverbindungen, Mineralisierungsverhalten) wird bestimmt von den Ausgangsprodukten und dem Herstellungsprozess.

Die vom Projekt beschlossene Methodik bestand darin, eine Typologie zu erstellen, um verschiedene Typen von Komposten nach ihrem Verhalten zu unterscheiden. Bei dieser Vorgehensweise traten folgende methodische Probleme auf:

- Die Diskontinuität in der Literatur: Die beiden Aspekte der Fragestellung – Herstellung und Mineralisierung von Kompost – werden nicht von denselben Autoren behandelt. Die Verbindung zwischen Herstellungsverfahren von Huminverbindungen und Stickstofffreisetzungsdynamik ebendieser Verbindungen konnte also nicht auf der Basis von experimentellen Nachweisen hergestellt werden.
- Ursprünglich war im Projekt keine Versuchsanstellung vorgesehen, um diesem Mangel abzuwehren (wir konnten aber dennoch einen Versuch mit einem Kompost, der im Labor untersucht worden war, durchführen).
- Der Rückgriff auf Befragungen, um von den Erfahrungen der Praktiker profitieren zu können, die einen Zusammenhang zwischen Herstellung und Anwendung beobachten konnten, war insofern heikel, als die Informationen subjektiv gefärbt sein können und/oder die Interpretation durch die befragende Person die Ergebnisse beeinflussen können.

Um grössere interpretationsbedingte Abweichungen zu vermeiden, musste die Erhebung so weit wie möglich strukturiert werden. Nach einer ersten Sichtung der Literatur wurde ein Modell der Erkenntnisse über den Ablauf der Kompostierung vorgeschlagen. Der erste Teil des Ergebniskapitels (4.1) enthält alle Erkenntnisse aus der Literatur über die Kompostherstellung nach diesem Ansatz. Das zweite und dritte Ergebniskapitel (4.2 und 4.3) schlagen, ausgehend von wissenschaftlich-technischen Grundlagen, eine Klassifizierung der im Oberrheingebiet bei den Herstellern (Grüngutkompostieranlagen, Landwirte) angetroffenen Komposte vor. Die Literaturangaben zur Mineralisierung von Komposten unterstützen die Entwicklung der Typologien. Es werden Erklärungen gegeben, um eine Beziehung herzustellen zwischen der Herstellung von Kompost (und der

Huminverbindungen) und der potentiellen Mineralisationsgeschwindigkeit von Kompost. Schließlich wurde, auf der Grundlage von Aussagen kompost-anwendender Landwirte, ein Erkenntnismodell für die Reaktion eines Schlages entwickelt, der Kompost erhält. Dieses mit wissenschaftlichen Daten angereicherte Modell erlaubt es, das von der Typologie angegebene Mineralisationspotential weiter zu nuancieren.

Der wichtigste methodische Einwand gegenüber der vorliegenden Arbeit ist wohl das Fehlen experimenteller Beweise (wegen der Diskontinuität der Literatur) und der teilweise subjektive Charakter gewisser Quellen (Befragung). Die Interpretation der Autoren hat die Schlussfolgerungen sicherlich beeinflusst. Bleibt also das Fehlerrisiko und die Schwere von Irrtümern dieser Interpretationen einzuschätzen.

Im letzten Abschnitt (6) werden Vorschläge zur Entwicklung objektiverer Analyseinstrumente zur Beschreibung von Komposten gemacht.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Die Kompostierung: Ablauf und Ziele des Prozesses

4.1.1 Definition des Kompostierungsvorgangs und allgemeine Kennzeichnung der Umwandlungen der organischen Substanz im Verlauf der Kompostierung

„Die Kompostierung ist ein Prozess des „kontrollierten“ Abbaus und Umbaus von organischen, biologisch abbaubaren Abfällen pflanzlicher und/oder tierischer Herkunft durch das Wirken verschiedener Arten von Mikroorganismen unter aeroben Bedingungen. Sie ist gekennzeichnet durch:

- Eine Erwärmung zu Beginn des Prozesses auf Temperaturen zwischen in der Regel 40 und 70 °C, die auf die starken mikrobiellen Abbauprozesse unter aeroben Bedingungen zurückzuführen ist.
- Ein Masse- und Volumenverlust, der auf den Verlust an CO₂ und Wasser (Verdampfung unter dem Einfluss der Wärme), die aus den Bestandteilen der organischen Stoffe hergestellt werden, sowie auf eine Setzung infolge Strukturverlustes zurückzuführen ist.
- Eine Umwandlung der organischen Ausgangssubstanz auf chemischen, biochemischen (mikrobiellen) und physikalischem (Veränderung von Farbe, Aussehen, Körnung) Weg, insbesondere mit der Bildung stabiler Humuskomponenten.

Der Kompost, Endprodukt der Kompostierung, unterscheidet sich von den Ausgangssubstanzen in erster Linie durch:

- Eine homogene Struktur (beispielsweise findet man im Stallmistkompost keine leicht abbaubaren pflanzlichen oder tierischen Reste mehr),
- die Stabilität der organischen Substanz, die umso größer ist, je reifer der Kompost ist (Gehalt an Huminverbindungen),
- eine teilweise Hygienisierung durch Zerstörung von Krankheitskeimen, Tierparasiten, Samen und Vermehrungsorganen von Pflanzen,
- das Fehlen unangenehmer Gerüche.

4.1.2 Parameter für die Begleitung und das Verständnis des Kompostierungsprozesses

Von den physikalischen, chemischen und biologischen Parametern, die sich im Verlaufe der Kompostierung verändern, beschreiben wir diejenigen, die den größten Einfluss auf den Prozessverlauf haben:

- Die Belüftung des Komposthaufens: Die für die Kompostierung unbedingt erforderlichen aeroben Bedingungen werden erreicht durch Beachtung der Struktur der Ausgangsmaterialien, die Größe und Form der Miete, die Ausrichtung derselben gegenüber der Hauptwindrichtung sowie den Feuchtigkeitsgehalt. Diese Parameter (insbesondere Struktur und Feuchtigkeit) können sich im Verlauf der Zeit ändern, so dass

es zu anaeroben Bedingungen kommt. In diesem Fall ist ein Eingriff (z. B. ein Umsetzen der Miete) erforderlich, um wieder aerobe Bedingungen herzustellen;

- Die Feuchtigkeit: Die optimale Feuchtigkeit hängt vom Substrat ab. In der Literatur findet man Angaben von 45 – 70 Gewichts-Prozent. Einige Autoren schlagen allgemein 55 – 65 Gewichts-Prozent an Feuchte vor.
- Die Temperatur: Dies ist eine in Bezug auf die Umsetzungen und die Mikroorganismenaktivität mit Vorsicht zu handhabende Größe, weil sie die Mikroorganismenaktivität mit thermischen Eigenschaften (Diffusion, Konvektion) vermischt. Sie ist jedoch der wichtigste Hinweis für einen guten Start der biologischen Aktivität.
- Die Struktur der Kompostmiete: Sie verändert sich je nach Art des Ausgangsmaterials und der Abbaugeschwindigkeit des organischen Materials. Das Zusammensacken und die Verdichtung der Kompostmiete gehen also mehr oder weniger schnell. Dadurch verringert sich das Porenvolumen und folglich auch die Luftzirkulation, was den Kompostierungsprozess zu blockieren droht. Für die Wiederherstellung aerober Verhältnisse kann ein Eingriff erforderlich werden (Umsetzen).
- Das C/N-Verhältnis: Im Rahmen eines sehr praxisorientierten Ansatzes wird ein C/N-Verhältnis von 25 – 35 empfohlen, sofern das Angebot an leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen mit dem an leicht verfügbaren Stickstoffmengen zusammenpasst. In der Praxis lassen sich die kompostierbaren Materialien von den nicht kompostierbaren unterscheiden, wobei das C/N-Verhältnis nur ein Kriterium unter anderen ist.
- Entwicklung der Mikroorganismenflora und –fauna: Um die Kompostierung verstehen und beeinflussen zu können, muss man sich immer vor Augen halten, dass die meisten der im Verlauf dieses Prozesses ablaufenden Umwandlungsvorgänge das Ergebnis von Mikrobenaktivität sind. Gemeinhin unterscheidet man vier verschiedene mikrobielle Phasen im Verlauf der Kompostierung. In der **ersten Phase** finden **mesophile** Mikroorganismen günstige Entwicklungsbedingungen vor (Porosität, Feuchtigkeit, C/N, ...) und bauen die einfachen Verbindungen ab (Einfachzucker, Alkohole, Lipide, Aminosäuren) sowie einen Teil der Polymere. Die Temperatur steigt innerhalb weniger Stunden oder Tage auf 30-40°C. Die **zweite Phase** beginnt, wenn die Temperaturen steigen und sich eine **thermophile** Flora (hauptsächlich Bakterien und Aktinomyzeten) entwickelt. In dieser Phase (manchmal Temperaturgipfel genannt) wird der Kompost hygienisiert. Im Kern der Miete werden 60-70°C erreicht. Nur wenige Mikroorganismen ertragen derartige Temperaturen, die meisten sterben und einige sporulieren. Die **dritte Phase**, die **Abkühlung**, beginnt, wenn das Mikrobensubstrat zur Neige geht und die Mikroorganismen absterben. Die Temperatur stabilisiert sich auf einem niedrigeren Niveau (35-40°C) und spezielle Mikroorganismen kümmern sich um die Humifizierung sowie den Einbau von Stickstoff in Huminverbindungen. Dies ist die **vierte Phase**, die **Reifung**.

Zusammenfassend lassen sich allgemeine Empfehlungen für einen guten Verlauf der Kompostierung geben. Diese erstrecken sich auf das Ausgangssubstrat, den Temperaturverlauf und die Erhaltung aerober Verhältnisse. Das Ausgangssubstrat muss ausgeglichen (C/N von 25 – 35) und ausreichend feucht sein, aber nicht zu nass (Faustprobe). Es muss eine gute Struktur aufweisen und in der Lage sein, diese zu erhalten. Im Verlauf der Kompostierung ist zu überprüfen, ob der Temperaturanstieg eintritt. Möglichst objektiv messen (Thermometer).

4.1.3 Was ist Humus?

- **Die verschiedenen Humusbestandteile**

Die Humusverbindungen bestehen aus Kohlenstoff-Ringen (aromatischen und organischen) und Seitenketten. Biochemisch lassen sie sich in drei große Familien einteilen (in

Abhängigkeit von ihrem Molekulargewicht, der relativen Bedeutung der verschiedenen chemischen funktionellen Gruppen und ihrer Löslichkeit in verschiedenen Lösungsmitteln):

- die Fulvosäuren sind klein und besitzen einen wenig entwickelten aromatischen Kern mit zahlreichen Seitenketten,
- die Huminsäuren sind mittelgroß und besitzen geschichtete aromatische Kerne mit weniger gewichtigen Seitenketten als bei den Fulvosäuren,
- die Humine, von gleicher Struktur wie die Huminsäuren, aber größer.

• **Humus und Stickstoffstabilisierung**

Fast der gesamte Bodenstickstoff ist organisch gebunden. 50-80 % dieses organischen Stickstoffs stammen aus Huminverbindungen. Dieser Stickstoff befindet sich zunächst in den aminierten Seitenketten und gelangt im Verlaufe der Humifizierung in den aromatischen Kern in Form einer Aminogruppe oder in hetrozyklischer Form, wobei er aus der erstgenannten leichter freigesetzt werden kann. In der Tat erweist sich der in die widerstandsfähigen Humine (aromatische Gruppen) eingebaute Stickstoff als stabil und somit wenig pflanzenverfügbar. Der in den Polypeptiden der Seitenketten gebundene Stickstoff ist dagegen labiler mit einer kurzen mittleren Umsatzzeit von 25 Jahren. Diese Seitenketten haben ein enges C/N-Verhältnis (um 5) und können 10% des Boden-Kohlenstoffs enthalten. Sie alleine liefern rund 80% des jährlich mineralisierten Stickstoffs. Es erscheint uns wichtig, zu verstehen, wie diese Huminverbindungen entstehen, da die potentielle Stickstoffmineralisierung von der biochemischen Natur seiner Bestandteile abhängt.

• **Die Pfade der Humifizierung in natürlichen Böden: Grundlagen für eine Analogie**

Die Humifizierungsprozesse in Kompostmieten sind wenig bekannt. Die Humifizierungspfade in nicht bebauten Böden wurden besser untersucht. Obwohl sich die Umwelt- und Gleichgewichtsverhältnisse dieser beiden Biotope klar unterscheiden, ließen wir uns von der Annahme leiten, dass die dabei ablaufenden biologischen und biochemischen Prozesse nicht grundsätzlich verschieden sind und eine vernünftige Analogie in Betracht gezogen werden könnte.

Die Pfade der Humifizierung im Boden liefern folgende Ergebnisse:

- Rohhumus: Phenolische Verbindungen von unzersetzten Pflanzenrückständen (ungünstige Umweltbedingungen) reichern sich. Dabei entstehen Humusformen vom Typ Moder oder Moor, mit ziemlich langsamer bzw. schwieriger Mineralisierung. Man findet sie auf alten (archaischen) Böden (Sande, Heideböden, Podsol);
- geochemischer Humus: Eine geochemisch bedingte Festlegung (Kalk, Eisenoxide oder -hydroxide, Ton, Aluminium, Silizium) verhindert die Bildung von größeren Kernen und Verbindungen mit hohem Molekulargewicht. Bei den Humusformen handelt es sich um relativ instabilen Kalk-, Ton- (vertique), Anden- (Aluminium-Vulkan-) oder Eisenmull, der eine hohes Mineralisierungspotential während der Vegetationszeit aufweist;
- entwickelter oder neugebildeter Humus: Mikroorganismen bauen Huminverbindungen aus Molekülen, die sie zuvor hydrolysiert haben oder vorfinden. Diese Huminverbindungen sind dann eine Speicherform des Kohlenstoffs und Stickstoffs. Im Prinzip handelt es sich dabei um gut mineralisierbaren Humus. Ungleichgewichte in der Bodenfunktion (Kälte, exzessive Anhäufung von organischer Substanz) können dieses Potential jedoch reduzieren. Zu diesem Humus zählen der Waldmull (forestier), der typisch für fruchtbare landwirtschaftliche Böden ist, sowie weitere Humustypen etwas geringerer Qualität (Mikrobenhumus, schwach aktiver Humus, faseriger Humus);
- hydromorpher Humus: In Anwesenheit von Wasser entwickelt sich eine zellulolytische anaerobe Flora, die keinen Humus produziert. Das Lignin wird zum Teil hydrolysiert und es entsteht Humus vom Typ Anmoor oder Torf, der langsam oder nur sehr schlecht mineralisiert.

- **Hypothesen zur Entstehung von Humusverbindungen im Komposthaufen**

Während der Kompostierung dürfte man eigentlich nicht von Humifizierung sprechen. Bei den dabei entstehenden Huminverbindungen handelt es sich eigentlich nur um eine Vorstufe. Nichtsdestotrotz treibt uns der Ehrgeiz zu einer Klassifizierung des in Komposthaufen produzierten Humus, in Abhängigkeit von den Kompostierungsbedingungen. Wegen der günstigen Bedingungen für die biologische Aktivität kann man annehmen, dass hauptsächlich Humusverbindungen vom Typ 'Neubildungshumus' entstehen. Bei Wasserüberschuss würde wohl mehr Faserhumus entstehen.

Für zersetzungsresistentere Verbindungen (Zellulose, Lignin) könnte sich der Weg zum Rohhumus (Dauerhumus?) (d'héritage) eröffnen, insbesondere, wenn hohe Temperaturen die biologische Aktivität behindern.

Wenn es zu stark anaeroben Bedingungen kommt, könnten hydromorphe Verbindungen von geringem Nutzen für die Landwirtschaft entstehen.

Schliesslich könnte es bei Zugabe von größeren Mengen Erde oder Kalk (Lithothamne) zu einer leichten geochemischen Blockade kommen.

Von daher kann man annehmen, dass sich die Qualität der Humusverbindungen und damit des Potential für die Freisetzung von Kohlen- und Stickstoff durch die Kompostierungsbedingungen beeinflussen lassen. Diese Überlegungen dienen zur Unterscheidung von Komposten und um Erklärungsfaktoren in der Typologie vorzuschlagen.

4.1.4 Vor- und Nachteile des Kompostierens

- **Kohlenstoffbilanz**

Verglichen werden drei Strategien des Wirtschaftsdünger-Managements: Frischmistausbringung, Mistkompostausbringung und Stapelmistausbringung.

Unter dem Aspekt der Kohlenstoffbilanz bleibt bei der Kompostierung trotz hoher Verluste (45% der Masse gehen dabei verloren) wegen der damit verbundenen Stabilisierung des Kohlenstoffs immer noch mehr übrig als bei der Ausbringung von Frischmist. Der Stapelmist konserviert den Kohlenstoff noch schlechter als der Frischmist, weil der anaerobe Abbau die Zellulose in Einfachzucker umwandelt.

- **Stickstoffbilanz**

Vergleicht man die drei vorgenannten Verfahren hinsichtlich ihrer Stickstoffkonservierung, so erhält man folgende Reihenfolge (Vergleich mit Einarbeitung nach der Ausbringung):

Rindermist	Mistkompost ~	Frischmist >	Stapelmist
Schweinemist	Frischmist ~	Stapelmist >	Mistkompost
Geflügelmist	Frischmist ~	Stapelmist >	Mistkompost

Die Stickstoffverluste durch Ammoniakabgasung sind während der Kompostierung sehr hoch (Hohe Temperaturen und hoher pH-Wert). Diese Verluste sind umso höher, umso reicher das Substrat an Stickstoff ist und umso unausgeglichener das Verhältnis von leicht verfügbarem Kohlenstoff zu schnell verfügbarem Stickstoff ist. In der Praxis gibt es aber Möglichkeiten, die Stickstoffverluste zu begrenzen (sorgfältige Auswahl des Ausgangssubstrats, Vermeidung übertriebenen Umsetzens, Kontrolle der Temperatur, pH-Wert,...)

- **Nährstoffverluste**

Kali ist sehr leicht löslich und sehr leicht auswaschbar. Bei der Kompostierung können bis zu 60% oder mehr davon verloren gehen. Bei guter Feuchte und Mischung (genügend Stroh) zu Beginn sowie einem Schutz gegen Regen lassen sich diese Verluste vernachlässigen. Die

Verluste an anderen Nährstoffen sind gering: Um 2% bei Phosphor sowie um 6% für Kalzium und Magnesium.

- **Weitere Vorteile für die Landwirtschaft**

- Verminderung des Ausbringvolumens und bessere zeitliche Verteilung (kann das ganze Jahr ausgebracht werden);
- dank homogener, krümeliger Struktur lässt er sich besser verteilen (keine Klumpen)
- weniger Unkrautsamen;
- Hygenisierung bezüglich pathogener Keime und Tierparasiten;
- vollkommener oder teilweiser Abbau von Pflanzenschutzmittelrückständen;
- keine unangenehmen Gerüche sowohl während der Kompostierung als auch beim Ausbringen;
- Bekämpfung von Bodenpathogenen und Pflanzenkrankheiten durch Kompostanwendung

- **Nachteile und Grenzen für den Landwirt**

- es werden nicht alle Parasiten zerstört;
- metallische Spurenelemente reichern sich durch Kompostierung an;
- die Anlage eines Kompostierungsplatzes bringt einige Anforderungen mit sich (Platz, Zeitaufwand, Begleitung, Ausstattung);
- Stickstoff ist im Kompost stabilisiert; seine Verfügbarkeit hängt stärker von den Bodenprozessen unter den Bedingungen des Standorts ab.

- **Umweltbilanz**

Vergleicht man die drei Verfahren: Frischmistausbringung, Mistkompostausbringung und Stapelmistausbringung hinsichtlich der Belastungen für Luft, Wasser und Boden, ergibt sich folgendes Bild:

	Mistkompost	Frischmist	Stapelmist
Belastung der Luft			
CH4-Emission	+		-
CO2-Emission	+		-
NH3-Emission	~	~	-
N2O-Emission	+	~	-
Belastung der Gewässer			
Nitratauswaschung *	+		-
Belastung des Bodens			
Erosionsschutz	+	~	-

* Unterschiedliche Gefährdung in Abhängigkeit von Bodentyp, Klima und Ausbringungszeitpunkt
 + = positiver Effekt (Reduzierung der Belastung) - = negativer Effekt (Erhöhung der Belastung)

Klassifizierung nach Umweltverträglichkeit: Mistkompost > Frischmist > Stapelmist

4.1.5 Wie lassen sich die Umsetzungsvorgänge während der Kompostierung steuern?

In diesem Kapitel werden Techniken und Praktiken zur Lenkung oder zumindest Beeinflussung der Umsetzungsvorgänge bei der Kompostierung vorgestellt.

- **Wahl des Ausgangssubstrats**

Für jede Art von Tierhaltungsbetrieb werden die am besten zur Kompostierung geeigneten Substanzen genannt, mit einigen Hinweisen für mögliche Anpassungen.

Beispiel 1: Rindermist vom Freilaufstall (Tiefstreustall) lässt sich am besten kompostieren. Beim Anbindestall muss noch Stroh dazugegeben werden, um die Feuchte zu reduzieren und dem Mist eine gute Struktur zu geben, bevor man ihn kompostiert.

Beispiel 2: Pferdemit, der viel P und N enthält, ist trockener und strohiger. Ihn sollte man gut anfeuchten, ihn mit Schweine- bzw. Geflügelmist mischen oder mit Gülle besprengen. Dabei ist darauf zu achten, dass nicht zu viel Stickstoff dazugegeben wird.

- **Lagerung vor der Kompostierung**

Durch eine Lagerung im abgegrenzten Raum (Tiefstreu) oder unter anaeroben Verhältnissen (Haufen mit möglichst kleiner Oberfläche) lässt sich die biologische Aktivität vor der Kompostierung beschränken. Dadurch kann der Kompost besser starten (die einfachen, leicht abbaubaren Verbindungen, die für den Start notwendig sind, sind noch vorhanden) und während der Lagerung geht weniger Stickstoff verloren.

- **Größe und Form der Mieten**

Obwohl die Größe und Form der Miete gemeinhin vom eingesetzten Gerät bestimmt wird, ist dies doch ein sehr wichtiger Parameter, der sowohl die Oberfläche für den Gasaustausch (und damit die Aufrechterhaltung aerober Bedingungen in der Miete) als auch die Wärmeverluste (und somit die im Inneren erreichbaren Temperaturen) bestimmt. Im Prinzip sollte der Querschnitt dreieckig sein. Die Größe hängt vom zu kompostierenden Material ab: Je gröber die einzelnen Partikel sind, desto größer kann der Haufen werden. Bei Mist wird im allgemeinen eine Miete von 1,5 bis 2 m Höhe bei einer Breite an der Basis von 2-3 m empfohlen.

- **Umsetzen und Belüftung**

Durch das Umsetzen wird der Kompostierungsprozess wieder angestoßen, indem das Substrat neu gemischt, viel Sauerstoff in die Miete eingebracht und die Miete wieder strukturiert wird, so dass die Luft durch Konvektion gut zirkulieren kann: Dadurch dass sich die Miete erwärmt kommt es zu einem Kamineffekt, der die Versorgung der Mikroorganismen mit Sauerstoff bzw. die Entsorgung des produzierten Kohlendioxids gewährleistet. Manche Mieten werden nicht umgesetzt. Sie brauchen eine stabile gute Struktur, damit die Kompostierung ordnungsgemäß ablaufen kann.

- **Schutz und Abdeckung der Miete**

Ungünstige klimatische Bedingungen (hohe Niederschläge) können den Verlauf der Kompostierung stören. In diesem Fall ist die Kompostmiete durch Abdeckung so zu schützen, dass sie sich nicht mit Wasser vollsaugt und in Gärung übergeht. Sind die Verhältnisse nicht gar so ungünstig (z.B. 200 mm Niederschlag während 2 Monaten Kompostierung) ist es besser, die Miete nicht abzudecken, damit der von den Mikroorganismen produzierte Wasserdampf entweichen kann. Bildet sich Kondenswasser, kann das auch bestimmte Nährstoffe (Nitrat und v.a. Kalium) auswaschen und die Miete zu feucht werden lassen.

- **Reife**

Die Literaturangaben zur Reifung sind manchmal recht vage. Um für Klarheit zu sorgen unterscheiden wir:

- stabilen Kompost: Er befindet sich in der Abkühlungsphase und ist nicht mehr aktiv;
- reifen Kompost: Ein stabiler Kompost kann verschiedene Reifegrade aufweisen.

Die gängigste Art, den Reifegrad eines Kompostes einzustellen, geht über die Kompostierungsdauer: Je älter ein Kompost ist, desto reifer ist er im Prinzip. Während der Reifung sollte man den Kompost vor Witterungsunbilden (durch eine Abdeckung mit einer Plane) schützen.

Die Reife kann über einen Index der Komposthumifizierung (z.B. das Verhältnis von Humin- zu Fulvosäuren). Der Humifizierungsindex ist quantitativ und erlaubt keine Einschätzung der entstandenen Humusverbindungen (welche Humifizierungspfade wogen vor?). Andererseits könnte diese Angabe in Verbindung mit der Angabe der Kationenaustauschkapazität eine bessere Beschreibung der Kompostqualität (s. Vorschläge hierzu in Kapitel 6) erlauben.

- **Zusatzstoffe**

Hierunter versteht man die Wirkung verschiedener Zusatzstoffe wie Tonmineralien, Gesteinsmehl, Algenkalk, biodynamische Präparate, Rohphosphat, ... Die Wirkung dieser Zusatzstoffe ist nicht ausschlaggebend, erlaubt jedoch eine Einflussnahme auf den Verlauf des Kompostierungsprozesses.

4.2 Grüngutkompost: Typen und Stickstofffreisetzungspotential

- **Hypothesen für die Erstellung einer Typologie**

Für die Erstellung einer Typologie gehen wir, unter Verweis auf die Literatur, davon aus, dass das Ausgangssubstrat einen direkten Einfluss auf die Zusammensetzung des Endproduktes hat und der Kompostierungsprozess insbesondere das Verhalten des Komposts bestimmt. Daneben können schlecht ausgewählte Ausgangssubstrate auch den Kompostierungsprozess stören und somit ebenfalls das Verhalten des Endproduktes beeinflussen. Umgekehrt kann ein ungünstiger Verlauf der Kompostierung auch zu erhöhten Verlusten führen und damit die Zusammensetzung des Kompostes beeinflussen.

Unsere Typologie baut auf der ersten Betrachtungsebene auf. Sie ist deshalb gültig für Komposthersteller, die die Technik der Kompostierung beherrschen und sich dem Optimum annähern.

- **Grüngutabfall: Eine homogene Quelle organischer Substanz**

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse von Grüngutkomposten aus dem Oberrheingebiet hat ergeben, dass die dort produzierten kompostierten Grüngutabfälle im Grunde recht ähnlich sind, so dass sich keine grossen Unterschiede hinsichtlich des Kompostierungsverlaufs und der Zusammensetzung des Endproduktes ergaben.

- **Verschiedene Verfahren beeinflussen die Umsetzungsvorgänge der organischen Substanz**

Die Befragung der Betreiber von Kompostierungsanlagen hat 3 Verfahren der Grüngutkompostierung ermittelt, von denen 2 näher untersucht werden konnten. Die Verfahren lassen sich durch die Größe der Mieten sowie durch die Häufigkeit der Umsetzung derselben klar unterscheiden. Zu den Umsetzungsprozessen der organischen Substanz im Verlauf der Kompostierung konnten Hypothesen aufgestellt werden. Je nach Kompostierungsverfahren müssten sich Komposte von sehr unterschiedlicher Qualität ergeben. Die Laboruntersuchungsergebnisse haben jedoch gezeigt, dass das Herstellungsverfahren keinen großen Einfluss auf die oberflächlichen landbaulichen Qualitäten eines Komposts haben. Eine genauere biochemische Untersuchung der Komposte lässt jedoch Unterschiede erkennen. Die nachstehende Tabelle stellt die landbaulichen Qualitäten von 2 Grüngutkomposten, die mit 20 t FM/ha angewandt werden gegenüber:

	DREIECKSMIETEN	TAFELMIETEN
DÜNGEWERT (ORGAN.)	+	++
Organ. Substanz	3,4 t (2 - 7,8)	5 t (3,5 - 5,8)
Dauerhumus	1,6 t (0,7 - 3,2)	2 t (1,8 - 2)
STICKSTOFFWERT	+	++
In der Vegetationszeit mineralisierter Stickstoff	21 kg (13 - 25)	37 kg (30 - 50)
DÜNGEWERT (AND. NÄHRST.)	++	+
Phosphat, verfügb.	100 kg (40 - 160)	60 kg (40 - 100)
Kalium, verfügb.	140 kg (80 - 280)	120 kg (80 - 180)
Kalk, verfügb.	800 kg (300 - 1800)	600 kg (440 - 800)
Magnesium, verfügb.	160 kg (80 - 320)	80 kg (40 - 140)
Im Ausbringungsjahr mineralisierbarer Stickstoff	~ 18%	10 - 25%
In den Folgejahren mineralisierbarer Stickstoff (Nachwirkung)	~ 0 ?	(Freisetzung oder Festlegung ???)

Die im Rahmen des Projekts durchgeführten Analysen erlauben keine Aussage über die Nachwirkung der Komposte.

Diese Ergebnisse werden ergänzt um einige Anwendungshinweise für die zwei wichtigsten im Untersuchungsgebiet verfügbaren Typen von Grüngutkompost.

4.3 Mistkompost: Typologie und Stickstofffreisetzungskapazität

- **erstes Unterscheidungskriterium: Die Umsetzungshäufigkeit**

Nach den Ergebnissen zu Grüngutkomposten wenden wir nun dieselbe Vorgehensweise auf die Mistkomposte an. Die Zusammensetzung von Mist ist sehr stark schwankend, je nach Tierart und Aufstallungssystem, Alter der Tiere, Fütterung, Leistungsniveau, ... Unter Beiseitlassung dieser hauptsächlich die Zusammensetzung des Endprodukts betreffenden Aspekte haben wir versucht, verschiedene Typen von Mistkompost im Untersuchungsgebiet zu identifizieren. Das wichtigste Unterscheidungskriterium war hierbei die Häufigkeit des Umsetzens. Diese wirkt sich aus auf die Struktur der Miete, ihre Durchlüftung und damit die biologische Aktivität und folglich auch die bei der Kompostierung ablaufenden biochemischen Umwandlungsprozesse. Dabei entstehen unterschiedliche Bedingungen für die Produktion von Humusverbindungen, was unterschiedliche Mineralisierungsgeschwindigkeiten zur Folge hat.

- **zweites Unterscheidungskriterium: Der Reifegrad**

Bei einem gegebenen Kompost kann die potentielle Geschwindigkeit der Stickstoffmineralisierung in Abhängigkeit vom Reifegrad (und damit dem Alter des Komposts) variieren. Dieser Parameter erscheint uns sehr wichtig, weil es einer von denen ist, die der Landwirt am leichtesten beeinflussen kann und wo er einen Effekt bei der Kompostanwendung feststellen kann. (Die Auswertung der Befragung hat ergeben, dass die ökologisch wirtschaftenden Landwirte alten Kompost als organischen Dünger mit einem vernachlässigbaren Nährstoffwert betrachten während jüngere Komposte als Nährstoffdünger eingeschätzt werden.)

- **Vergleich der Qualitäten verschiedener Typen von Mistkompost**

	Stapelmist	NICHT UMGESETZTER MISTKOMPOST	WENIG UMGESETZTER MISTKOMPOST	INTENSIF UMGESETZTER MISTKOMPOST
HERSTELLUNGSBEDINGUNGEN	keine besondere Pflege	sehr technisch + aufwendige Pflege; gelingt selten	aufwendige Technik und Pflege ; benötigt Maschinen und Organisation	aufwendige Technik und Pflege ; benötigt Maschinen und gute Organisation
KOHLENSTOFF-STABILISIERUNG	schlechter als bei Mist	besser als bei Mist	besser als bei Mist	besser als bei Mist
STICKSTOFFWIRKUNG	höhere Verluste als bei Mist	geringere Verluste als bei Mist	geringere Verluste als bei Mist	geringere Verluste als bei Mist
GEHALT AN MINERLISCHEM STICKSTOFF	~ 60% N _{total} (sehr hoch)	~ 3% N _{total}	~ 3% N _{total}	~ 3% N _{total}
GEHALT AN GESAMTSTICKSTOFF	-	~ 24 kg/t TM	~ 24 kg/t TM	~ 24 kg/t TM
JÄHRLICHE MINERALISIERUNGSRATE	65% und mehr sehr hoch	~ 15-20% mittel	~ 15-20% mittel	~ 25-35% hoch
VERFÜGBARER STICKSTOFF IM ANWENDUNGSJAHR	-	~ 4-6 kg/t TM	~ 4-6 kg/t TM	~ 7-9 kg/t TM
P**	-	5 kg/t FM	5 kg/t FM	5 kg/t FM
K**	-	14 kg/t FM	14 kg/t FM	12 kg/t FM
Mg**	-	2 kg/t FM	2 kg/t FM	4 kg/t FM
Ca**	-	10 kg/t FM	10 kg/t FM	20 kg/t FM
BEMERKUNGEN ZUR ANWENDUNG	Frühjahr, aber nicht auf Pflanzenbestände	jederzeit	jederzeit	jederzeit
KRANKHEITSERREGER	schlechte Hygienisierung	mittlere Hygienisierung	gute Hygienisierung	sehr gute Hygienisierung
UNKRAUT	schlechte Reinigung	teilweise Reinigung	gute Reinigung	gut Reinigung

* bei günstigem C/N-Verhältnis; bei stickstoffreichem Mist (Schweine, Geflügel) das Substrat mit Stroh, oder noch besser Sägemehl anreichern (ohne die Miete damit zu ersticken).

** variabel in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien und der Kompostierungsverluste; besser untersuchen lassen!

*** variabel in Abhängigkeit vom Reifegrad

Bei Stapelmist kommt es zu anaerober Gärung. Der Typ 'nicht umgesetzter Mistkompost' ist äußerst selten. Meist entwickelt er sich wegen Strukturverlusts in Richtung des Stapelmists. Um dieses Problem zu vermeiden, haben sich einige Landwirte Maschinen zum Umsetzen der Mieten angeschafft, um die Miete wieder in eine gute Struktur zu bringen und aerobe Verhältnisse zu gewährleisten. Einige wenige Landwirte setzen diese Maschine sehr intensiv ein, um schneller einen gut umgesetzten Kompost zu erhalten, der dabei noch mehr Merkmale von Frischmist aufweist (höhere Stickstoffverfügbarkeit als bei Kompost)

- **Faktoren, die die Mineralisierungsgeschwindigkeit von Kompost beeinflussen**

Natürliche Faktoren wie die Jahreswitterung und die Bodenaktivität können einen sehr großen Einfluss auf die Mineralisierungsgeschwindigkeit von Kompost haben. Umgekehrt haben die vom Landwirt kontrollierbaren Faktoren (Bodenbearbeitung, organische Düngung) einen geringeren Einfluss auf die Mineralisierungsgeschwindigkeit von Kompost. In dieser Situation sind die Möglichkeiten des Landwirts auf die Bestimmung des Mineralisierungspotentials des Komposts beschränkt. Dieses Potential ist einschätzbar aufgrund der Ausgangsmaterialien (Nährstoffgehalt) und des Kompostierungsverfahrens (Mineralisierungsrate dieser Nährstoffe).

5. Verbreitung der Projektergebnisse

- **Bedeutung der Ergebnisse für die Landwirte**

Diese Ergebnisse sollten zu einer Verfeinerung der Kenntnisse von Landwirten über den Einfluss der Kompostierungsprozesse auf die Qualität des Endproduktes beitragen. Damit sollen aktuelle Praktiken in Frage gestellt werden, um besser zu verstehen, was damit produziert wird. Wenn sich bei einem Landwirt herausstellen sollte, dass die Qualität des von ihm mit seinem aktuellen Verfahren produzierten Komposts seinen Bedürfnissen nicht genügt, muss er die für ihn geeignetste Kompostierungsmethode herausfinden können. Anschließend muss er den für die Erreichung seines Zieles erforderlichen Investitionsbedarf (Zeit, Material, Organisationsveränderung) bestimmen und entscheiden, ob diese Investition rentabel ist (wieviel Qualitätsverbesserung für wie viel Investition?). Nachdem der landbauliche Wert von Kompost vor allem ein Gebrauchs/Nutz/Nützlichkeitswert ist, erscheint es sehr gewagt, eine ökonomische Bewertung auf der Grundlage des N-P-K-Nährstoffwerts oder der Tonne Dauerhumus vorzunehmen. Das Projekt gibt Entscheidungshilfen. Die wirtschaftliche Entscheidung ist nach einer vertieften Betrachtung mit Unterstützung durch einen Berater oder im Gefolge eines Informationsaustausches mit Berufskollegen zu treffen.

- **Kommunikationsstrategie**

Ein für den Spätherbst geplantes Kolloquium soll die Aufmerksamkeit auf die Fragen der Herstellung und Anwendung von Kompost lenken. Eine technische Anleitung soll eine Bewertung der eigenen Praxis ermöglichen sowie neue Verfahren vermitteln. Ergänzend werden Gruppen von biologisch-dynamischen Landwirten (insbesondere Maschinenringe) betreut.

6. Ausblick und Schlussfolgerungen

Die vom Projekt vorgeschlagene Einteilung von Komposten beruht auf relativ subjektiven Kriterien (hat sich der Kompost erhitzt? ist er zu trocken oder zu feucht? ...), die nur selten gemessen oder bonitiert werden. Um die Qualität von Komposten mit größerer Sicherheit unterscheiden zu können, schlagen wir ein 3-stufiges Analysenverfahren vor (s. Tabelle):

1. sich vergewissern, dass der Kompost nicht mehr aktiv ist (Stabilität)
2. den Reifegrad des Komposts messen (Schätzung der produzierten Menge an Humusverbindungen)
3. Bewertung der Qualität der produzierten Humusverbindungen (Kationenaustauschkapazität)

1. SCHRITT	2. SCHRITT	3. SCHRITT			
STABILITÄT	REIFEGRAD	KAK ^a (meq/kg)	VERHALTEN UND GESCHWINDIGKEIT	KOMPOSTTYP	% N –VERFÜGBARKEIT IM ANWENDUNGSJAHR
STABIL	SEHR REIF	200-600	langsame Mineralisierung	intensiv oder extensiv umgesetzter Kompost - alt und abgedeckt	10-15%
STABIL	SEHR REIF	100-200, oder mehr	sehr langsame Mineralisierung	intensiv oder extensiv umgesetzter Kompost - alt und feucht	5-10%
IM ÜBERGANG ODER STABIL	MITTLERE REIFE	200-600	sehr schnelle Mineralisierung	intensiv umgesetzter Kompost	25-35%
STABIL	MITTLERE REIFE	100-200, oder mehr	schnelle Mineralisierung	nicht od. wenig umgesetzter Kompost mittleren Alters	~ 15-20%
STABIL	BEGINN DER REIFE	< 100	viel Mineral-N	Stapelmist	bis zu 65% u. mehr
AKTIV ODER IM ÜBERGANG	BEGINN DER REIFE	100-200	Festlegung oder Mineralisierung	nicht oder wenig umgesetzter Kompost – jung bzw. sehr jung	~ 0%
AKTIV	UNREIF	< 100	Festlegung	junger Stapelmist	< 0%
AKTIV	SEHR UNREIF	< 100	Festlegung	s. junger Stapelmist	<< 0%

a : die Werte entstammen Kommentaren und Ergebnissen von LAMS-21 für die OPABA (Kompostuntersuchungen 1992/1993) und von LEVI-MINZI et al. (1986)

b : Bedeutung der Typen siehe Tabelle 23

PS : die im Rahmen des Projekts am häufigsten angetroffenen Komposte sind in der Mitte der Tabelle fett umrandet

PS' Die in 4.2 vorgestellte Typologie von Grüngutabfällen wäre ein relativ akzeptabler Bestimmungsschlüssel, sofern sie um einige Analysenwerte ergänzt würde.

Mit diesem quantifizierten qualitativen Ansatz sollte für jeden Kompost ein Mineralisierungspotential angegeben werden können. Um zu einer brauchbaren und objektiven Klassifizierung des Mineralisierungspotentials von Komposten zu kommen müssen:

- leicht im Rahmen von Labor-Routineuntersuchungen messbare Indikatoren für die Stabilität, den Reifegrad und die Qualität der Humusverbindungen von Komposten bestimmt werden,
- die Datenbasis und Schwellenwerte im obigen Entwurf des Bestimmungsschlüssels erweitert bzw. ergänzt werden.

Diese Ergänzungen könnten im Rahmen eines weiteren ITADA-Projekts erarbeitet werden.

8. Literaturverzeichnis

- ATALLAH T., 1993. Conditions de valorisation du fumier et risques de lixiviation de l'azote. Cahiers Agricoles. 2, 26-35
- ATALLAH T., ANDREUX F., CHONÉ T., GRAS F., 1995. Effect of storage and composting on the properties and degradability of cattle manure. Agriculture, Ecosystems and Environment. 54, 203-213
- AUBERT C., 1998. Le compostage des fumiers de volailles. *In* Le compostage à la ferme des effluents d'élevage. Faisabilité technique et valorisation agronomique. Recueil des interventions du 15 décembre 1998. Paris. ACTA / ADEME / Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 45-55.
- BALESDENT J., CHENU C., LECLERC B., 2000. Quelques avancées récentes sur la dynamique des matières organiques dans les sols. Echo-MO. 25, 3-4
- BERNAL M.P., KIRCHMANN H., 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. Biol Fertil Soil. 13, 135-141
- BERNAL M.P., SANCHEZ-MONEDERO M.A., PAREDES C., ROIG A., 1998. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. Agriculture, Ecosystems and Environment. 69, 175-189
- BERNER A., SCHERRER D., ALFÖLDI T., 1997. Stickstoffeffizienz von unterschiedlicher aufbereiteten Misten in einer Ackerfruchtfolge auf Lösslehm. Posterbeitrag zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. 3. und 4. März 1997. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn
- BODET J.M., HACALA S., AUBERT C., TEXIER C., 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme. INSTITUT DE L'ELEVAGE, ITAVI, ITCF, ITP, 104 p.
- BRUN G., 1997. Matières organiques des sols. Session de formation : Valeur Agronomique des Composts. 17 au 21 mars 1997. Trie-Château. APCA/ADEME.
- BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E. V., 1998. Methodenbuch zur Analyse von Kompost. 4. Auflage. Verlag Abfall Now e. V., Stuttgart, 1998
- CARPENTER-BOGGS L., RENAGOLD J.P., KENNEDY A.C., 2000. Effects of biodynamics preparations on compost development. Biological Agriculture and Horticulture. 17, 313-328
- CASTELLANOS J.Z., PRATT P.F., 1981. Mineralization of manure nitrogen. Correlation with laboratory indexes. Soil Sci. Soc. Amer. J. 45, 354-357
- CHÈNEBY D., NICOLARDOT B., GODDEN B., PENNINGCKX M., 1994. Mineralization of composted 15N-labelled farmyard manure during soil incubations. Biological Agriculture and Horticulture. 10, 255-264.
- CHENU C., BALESDENT J., LECLERC B., 2000. La protection physique et l'autoprotection des matières organiques du sol. Echo-MO. 24, 3-4
- CITTERIO B., CIVILINI M., RUTILI A., PERA A., DE BERTOLDI M., 1987. Control of a composting process in bioreactor by monitoring chemical and microbial parameters. *In* : DE BERTOLDI M., FERRANTI M.P., L'HERMITE P. and ZUCCONI F. (Eds), Compost : Production, Quality and Use. Elsevier Applied Science, London, pp. 633-642
- COOPERBAND L.R., 2000. Composting : art and science of organic waste conversion to a valuable soil resource. Laboratory Medicine. 31-5, 283-289

- CREPAZ C., AMOR K., RENNER M., INSAM H., 1997. Kompostierung von Stallmist. Ergebnisse aus mehrjährigen Praxisversuchen. Der Förderungsdienst. 45: 4, 25-30
- DAS K., KEENER H.M., 1997. Moisture effect on compaction and permeability in composts. Journal of Environmental Engineering. March 1997, 275-281
- DEWES T., 1995. Nitrogen losses from manure heaps. Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture. 309-317
- DEWES T., AHRENS E., WILLING O., 1991. Sickersaft-Austrag und Stickstoff-Fracht aus Mistmieten. Journal of Agronomy & Crop Science. 166, 145-151
- Dictionnaire encyclopédique Larousse, 1979. Paris, 1515 p.
- DRIEUX T., 1993. Le compostage à la ferme : approche technique et économique. ABCDE, Cuma Ouest, Rennes
- DUNST G., 1991. Kompostierung. Anleitung für die Kompostierung am Bauernhof, im Garten und im kommunalen Bereich. Leopold Stocker Verlag. Graz, Stuttgart.
- EGHBALL B., POWER J.F., GILLEY J.E., DORAN J.W., 1997. Nutrient, carbon and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. J. Environ. Qual. 26, 189-193
- FINSTEIN M.S., STROM P.F., HOGAN J.A., COWAN R.M., 1999. Composting on mars or the moon : I. comparative evaluation of process design alternatives. Life Support & Biosphere Science. 6, 169-179
- GAGNON B., SIMARD R.R., 1999. Nitrogen and phosphorus release from on-farm and industrial composts. Canadian Journal of Soil Science. 79, 481-489
- GERKE H.H., ARNING M., STÖPPLER-ZIMMER H., 1999. Modeling long-term compost application effects on nitrate leaching. Plant and Soil. 213, 75-92
- GOBAT J.M., ARAGNO M., MATTHEY W., 1998. Les sol vivant. Bases de la Pédologie. Presse polytechniques Universitaires Romandes. Collection Gérer l'environnement N° 14. Lausanne, Suisse. 519 p.
- GODDEN B., 19???. Résultats des expérimentations sur le compostage des fumiers. Unité de physiologie et écologie microbienne, Section Interfacultaire d'Agronomie. Université libre de Bruxelles. 32 p.
- GODDEN B., 1995a. La gestion des effluents d'élevage. N.S.T. 13-1, 131-134
- GODDEN B., 1995b. Le compostage : processus, production et utilisation. In : Compostage des déchets organiques, UGET 15, RED/ATEAR-Nord, rue des Potiers, 2, 6717 Attert – juin 1995, Belgique, 6-12
- GODDEN B., PENNINCKX M., 1987. Biochemistry of manure composting : lignin biotransformation and humification. In: de BERTOLDI M., FERRANTI M.P., L'HERTMITE P. and ZUCCONI F. (Eds), Compost : Production, Quality and Use. Elsevier Applied Science, London, pp. 238-244
- GODDEN B., PENNINCKX M., PIÉRARD A., LANNOYE R., 1983. Evolution of enzyme activities and microbial populations during composting of cattle manure. Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 17, 306-310
- GOLUEKE C.G., 1992. Bacteriology of composting. BioCycle. January 1992, 55-57

- GRUNDMANN J., 1990. Zusätze zur Kompostierung. Der Einfluss auf die Veränderung der organischen Substanzen bei der Kompostierung von Biomüll. *Deutscher Gartenbau*. 35, 2204-2207
- HABIB Z., GRÉGOIRE J.L., 1998. Chantiers de compostage et d'épandage. Organisation collective efficace en CUMA pour des coûts individuels réduits. *In* Le compostage à la ferme des effluents d'élevage. Faisabilité technique et valorisation agronomique. Recueil des interventions du 15 décembre 1998. Paris. ACTA / ADEME / Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 96-102.
- HACALA S., 1998. Le compostage du fumier en exploitations d'élevage. *In* Le compostage à la ferme des effluents d'élevage. Faisabilité technique et valorisation agronomique. Recueil des interventions du 15 décembre 1998. Paris. ACTA / ADEME / Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 28-44.
- HACALA S., FARRUGGIA A., LE GALL A., PFIMLIN A., 1999. Le compost, mieux q'un engrais de ferme. Technipel éditions, 12 pp.
- HADAS A., PORTNOY R., 1994. Nitrogen and carbon mineralization rate of composted manures incubated in soil. *J. Environ. Qual.* 23, 1184-1189
- HAMMOUDA G.H.H., ADAMS W.A., 1987. The decomposition, humification and fate of nitrogen during the composting of some plant residues. *In* : DE BERTOLDI M., FERRANTI M.P., L'HERMITE P. and ZUCCONI F. (Eds), *Compost : Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, pp. 245-253
- HARTZ T.K., MITCHELL J.P., GIANNINI C., 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *Horticultural Science*. 35(2), 209-212
- HÉBERT M., KARAM A., PARENT L.E., 1991. Mineralization of nitrogen and carbon in soils amended with composted manure. *Biological Agriculture and Horticulture*. 7, 349-361
- HELLER W.E., 1999. Stickstoff-Mineralisierung aus Komposten im Brutversuch. *Agrarforschung* 6(2), 75-77
- HELLMANN B., ZELLES L., PALOJÄRVI A., BAI Q., 1997. Emission of climate-relevant trace gases and succession of microbial communities during open-windrow composting. *Applied and Environmental Microbiology*. 63-3, 1011-1018
- HÉRODY Y., 1992. Guide BRDA des engrais et fumures. Fascicule 2 : les engrais organiques. BRDA – Charency.
- HLBS (Hauptverband der Landwirtschaftlichen Buchstellen und Sachverständigen e. V.), 1991. Betriebswirtschaftliche Nachrichten für die Landwirtschaft, März 1991, Verlag Pflug und Feder.
- HONG, J.H., MATSUDA, J., IKEUCHI, Y., 1984. Aerobic windrow composting of mixed dairy manure with rice straw. *J. Fac. Agr. Hokkaido Univ.* 62, pt.1.
- INSAM H., 1990. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime. *Soil Biology & Biochemistry*. 22: 4, 525-532
- INSAM H., AMOR K., RENNER M., CREPAZ C., 1996. Changes in functional abilities of the microbial community during composting of manure. *Microbial Ecology*. 31: 1, 77-87
- KAISER J., 1996. Modelling composting as a microbial ecosystem : a simulation approach. *Ecological Modelling*. 91, 25-37

- KIRCHMANN H., BERNAL M.P., 1997. Organic waste treatment and C stabilization efficiency. *Soil Biol. Biochem.* 29(11/12), 1747-1753.
- KIRCHMANN H., LUNDEVALL A., 1998. Treatment of solid animal manures : identification of low NH₃ emission practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 51, 65-71
- KIRCHMANN H., WITTER E., 1989. Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. *Plant and Soil.* 115, 35-41
- KISLIG K., 1989. Un premier jugement agronomique sur la pratique des dépôts de fumiers en plaine. Mémoire de stage de 2^{ème} année d'ingénieur. Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois, IAAL, INRA-SAD Mirecourt.
- KÖRNER I., BRILSKY H., JENSEN U., RITZKOWSKI M., STEGMANN R., 1997. Possibilities of the regulation of the composting process to optimize the nutrient composition of compost. *Organic Recovery & Biological Treatment (ORBIT) into the next millenium.* International conference. 3-5 september 1997. Harrogate, UK. 1-18
- KÖRNER I, STEGMANN R., 1997. Influence of biowaste composition and composting parameters on the nitrogen dynamics during composting and on nitrogen contents in composts. *International symposium on composting and use of composted materials for horticulture.* 5-11 April 1997. Ayr, Scotland UK. 97-110
- LARNEY F.J., OLSON A.F., CARCAMO A.A., CHANG C., 2000. Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and in summer. *Bioresource Technology.* 75, 139-148
- LECLERC B., 1995. Guide des matières organiques, Fertilité des sols - Ressources - Gestion - Fiches techniques. ITAB - Paris
- LECLERC B., 2001. Guide des matières organiques. Deuxième édition, Tome I. ITAB – Paris.
- LE HOUEROU DECLERCQ B., 1992. Les dépôts de fumier au champ : pertes en azote par percolation des jus sous les tas. UGET 13 La gestion des effluents d'élevage R.E.D. Journée transfrontalière de l'environnement, 18 novembre 1992. Luxembourg. 199-211
- LEVI-MINZI R., RIFFALDI R., SAVIOZZI A., 1986. Organic matter and nutrients in fresh manure and mature farmyard manure. *Agricultural Wastes.* 16, 225-236
- LOPEZ-REAL J., BAPTISTA M., 1996. A preliminary comparative study of three manure composting systems and their influence on process parameters and methane emissions. *Compost Science and Utilization.* 4(3), 71-82
- LYNCH J.M., 1987. Lignocellulolysis in composts. In : DE BERTOLDI M., FERRANTI M.P., L'HERMITE P. and ZUCCONI F. (Eds), *Compost : Production, Quality and Use.* Elsevier Applied Science, London, pp. 178-189
- MAHIMAIRAJA S., BOLAN N.S., HEDLEY M.J., 1995. Denitrification losses of N from fresh and composted manures. *Soil. Biol. Biochem.* 27(9), 1223-1225
- MARTINS O., DEWES T., 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresource Technology.* 42, 103-111
- MASSON, P., 2001. Guide pratique de la bio-dynamie à l'usage des agriculteurs. Les dossiers techniques du mouvement du culture bio-dynamique. Colmar, 36 pp.

- MICHEL F., 1999. Managing compost piles to maximize natural aeration. *BioCycle*. March 1999, 56-58
- MICHEL Jr F.C., FORNEY L. J., HUANG A. J.-F., DREW S., CZUPRENSKI M., LINDEBERG J. D., ADYNARAYANA REDDY C., 1996. Effects of turning frequency, leaves to grass mix ratio and windrows vs. pile configuration on the composting of yard trimmings. *Compost Science & Utilization*. 4-1, 26-43
- MOREL C., 1989. *Les sols cultivés*. Tec & Doc Lavoisier, Paris. 373 p.
- MORVAN T., DACH J., 1998. Estimating ammonia losses during the composting of farmyard manure, using closed dynamic chambers. Ramiran 98 posters presentations. 8th International Conference on Management Strategies for Organic Waste Use in Agriculture. 26-29 mai 1998. Rennes, France. 261-265
- MUSTIN M., 1987. *Le compost / Gestion de la matière organique*. Editions Francois DUBUSC - Paris
- OTT P., 1991. The composting of farmyard manure with mineral additives and under forced aeration. *Ecology and Farming*. 3, 10-14
- PARÉ T., DINEL H., SCHNITZER M., DUMONTET S., 1998. Transformations of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper. *Biol. Fertil. Soils*. 26, 173-178
- ROBIN D., 1997a. Intérêt de la caractérisation biochimique pour l'évaluation de la proportion de matière organique stable après décomposition dans le sol et classification des produits organominéraux. *Agronomie*. 17, 157-171
- ROBIN D., 1997b. Intérêt de la caractérisation biochimique de la matière organique pour l'évaluation et la classification des fertilisants organiques. *Echo MO*. 6, 3-4
- SCHLICHTING E., BLUME H.-P., STAHR K., 1995. *Bodenkundliches Praktikum*. 2. Auflage. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, 1995
- SHAW K., DAY M., KRZYMIEN M., MOHMAD R. et SHEEHAN S., 1999. The role of feed composition on the composting process. I. Effect on composting activity. *J. Environ. Sci. Health*. A34(6), 1341-1367.
- SHEPHERD M., PHILIPPS L., BHOGAL A., 2000. Manure management on organic farms : to compost or not to compost ? Proceedings of the 13th international IFOAM scientific conference. 28-31 August 2000. Alföldi T., Lockeretz W. and Niggli U. Eds. 50-53
- SIEBERT S., 19???. Forschungsprojekt Stickstoffnachlieferung aus Komposten. 6-7.
- SOLTNER D., 1996. *Les bases de la production végétale*. Tome I : le sol et son amélioration. Editions Sciences et Techniques Agricoles. 21^{ème} édition. S^{te}-Gemmes-sur-Loire. 466 pp.
- SOMMER S.G., DAHL P., 1999. Nutrient and carbon balance during the composting of deep litter. *J. agric. Engng Res*. 74, 145-153
- SOMMER S.G., DAHL P., ROM H.B., MOLLER H.B., 19???. Emission of ammonia, nitrous oxide, methane and carbon dioxide during composting of deep litter. 157-169
- STROM P.F., 1985a. Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. *Applied and Environmental Microbiology*. 50-4, 899-905

- SVENSSON K., 1994. Kompostering av fast stallgödsel med och utan biodynamiska preparat 502-507. Examensarbete 1994:9. Institutionen för mikrobiologi. Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala
- TAMURA T., KATAYAMA T., HAGA K., 1999. Emission patterns of malodorous compounds and greenhouse gases from the pile-type composting of cattle manure. *Animal Science Journal*. 70(4), 235-239
- TEXIER C., 1998. Le compostage des litières et des fumiers de porcheries. Recueil des interventions du 15 décembre 1998. Paris. ACTA/ADEME/Ministère de l'Agriculture et la Pêche: 56-71.
- TEXIER C., LEVASSEUR P., VAUDELET J.C., 2000. Remplacement de la paille par de la sciure ou des copeaux de bois, en porcherie d'engraissement : influence sur le compostage des litières. *Journées Rech. Porcine en France*. 32, 77-82.
- THAKUR S.K., SHARMA C.R., 1998. Effect of rock phosphate enrichment and *Azotobacter* inoculation on the transformation of nitrogen and phosphorus during composting. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 46-2, 228-231
- THOMSEN I.K., 2000. C and N transformation in ¹⁵N cross-labelled solid ruminant manure during aerobic and anaerobic storage. *Bioresource Technology*. 72, 267-274
- TIMMERMANN F., KLUGE R., 1999. Projekt Wasser Abfall Boden (PWAB), LUFA Augustenberg
- TUOMELA M., VIKMAN M., HATAKKA A., ITÄVAARA M., 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment : a review. *Bioresource Technology*. 72, 169-183
- TYSON S.C., CABRERA M.L., 1993. Nitrogen mineralization in soils amended with composted and uncomposted poultry litter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24(17&18), 2361-2374
- VEEKEN A., NIEROP K., DE WILDE V., HAMELERS B., 2000. Characterisation of NaOH-extracted humic acids during composting of a biowaste. *Bioresource Technology*. 72, 33-41
- VETTER R., MIERSCH M., 1999. Stickstoffversorgung und -dynamik in Fruchtfolgen vieharter Betriebe des ökologischen Landbaus, Abschlussbericht zum Projekt A1.5
- VUORINEN A.H., SAHARINEN M.H., 1998. Effect of process conditions on composting efficiency and nitrogen immobilization during composting of manure in a drum composting system. *Proc. IS Composting and use Composted Materials*. Ed. R.A.K. Szmidt. *Acta Hort.* 469, ISHS. 89-95
- WALTHER U., 2001. Stickstoffeffizienz von Stallmist in langjährigen Versuchen. In *Neue Erkenntnisse zu Stickstoffflüssen im Ackerbau*. FAL-Tagung vom Freitag 6. April 2001. Zürich-Reckenholz.
- WIART J., 1997. Qualité, maturité et efficacité agronomique des composts de déchets verts : synthèse de références. Session de formation : Valeur Agronomique des Composts. 17 au 21 mars 1997. Trie-Château. APCA/ADEME.
- WILLSON G.B., HUMMEL J.W., 19???. Conservation of nitrogen in dairy manure during composting. *Managing livestock wastes*. 490-491, 496
- WITTER E., KIRCHMANN H., 1989. Effects of addition of calcium and magnesium salts on ammonia volatilization during manure decomposition. *Plant and Soil*. 115, 53-58.
- ZIEGLER D., HÉDUIT M., 1991. Engrais de fermes. Valeur fertilisante, gestion, environnement. ITP, ITCF, ITEB, France. 35 pp.

9. Anhang

ANHANG 1	Präsentationsfaltblatt des Projekts	133
ANHANG 2	Analyseresultate der im Rahmen des Projekts entnommenen Kompostproben	135
ANHANG 3	Fragebogen an Grüngutkompostwerke	136
ANHANG 4	Fragebogen zur Kompostierung auf landwirtschaftlichen Betrieben	140
ANHANG 5	Funktionsmodell der Kompostierung	147
ANHANG 6	Funktionsmodell einer bebauten Parzelle mit Kompostgabe	148
ANHANG 7	Technische Anleitung zum Bau eines Kompostmienthermometers	149
ANHANG 8	Beziehung zwischen prozentualen Kaliumverlusten während der Kompostierung und C/N-Verhältnis des Ausgangssubstrats	150
ANHANG 9	Versuchsplan, Material und Methoden des Feldversuchs mit Grüngutkompost aus einer Tafelmiere	151
ANHANG 10	Graphische Darstellung der Analyseresultate der im Rahmen des Projekts analysierten Komposte des Typs RET	159
ANHANG 11	Graphische Darstellung der Analyseresultate der im Rahmen des Projekts analysierten Komposte des Typs RET-BD	160
ANHANG 12	Graphische Darstellung der Analyseresultate der im Rahmen des Projekts analysierten Komposte des Typs INT	161
ANHANG 13	Graphische Darstellung der Analyseresultate der im Rahmen des Projekts analysierten Komposte des Typs INT-BD	162
ANHANG 14	Projektposter	163

Anhang 1: Präsentationsfaltblatt des Projekts

Fragestellung des Projekts

was wird gesucht und warum?

Im ökologischen Landbau beruht die Düngung auf der Ausbringung von organischer Substanz, welche kompostiert sein kann.

Komposte haben eine Doppelwirkung:

- sie dienen vor allem der **Bodenverbesserung**,
- liefern aber als **organische Dünger** auch eine bedeutende Menge an **Nährstoffen**, die für die Pflanzen mehr oder weniger schnell verfügbar sind.

Die verfügbaren **Stickstoffmengen und deren Freisetzungsdynamik** sind noch wenig bekannt und können:

- zu einem **Ungleichgewicht** zwischen Stickstoffangebot und Bedarf der Kultur
- und infolgedessen unter Umständen zur **Nitratauswaschung** ins Grundwasser führen

Das Projekt zielt darauf ab, die **Stickstoff-Freisetzungsdynamik** der im ökologischen Landbau gebräuchlichsten Komposte besser abzuschätzen. Das Projekt ist in zwei Bereiche unterteilt:

- einerseits die **Produktion**
- andererseits die **Anwendung**

von Komposten.

Kontakt

ITADA-Sekretariat 2, allée de Herrlisheim
F-68000 COLMAR
Tel: 00333 89 22 95 50
Fax: 00333 89 22 95 59
itada@wanadoo.fr

IfuL Auf der Breite 7
Christine GROSCHUPP D-79379 MÜLLHEIM
Tel: 0049 7631 3684-61
Fax: 0049 7631 3684-30
christine.groschupp@iful.bwl.de

OPABA 5, place de la Gare
Benjamin LAMMERT F-68000 COLMAR
Tel/Fax : 00333 89 24 45 35
compost.opaba@wanadoo.fr

Projektlaufzeit

01.09.1999 - 31.12.2001

sonstige Informationen

die Beteiligten und ihre Rolle

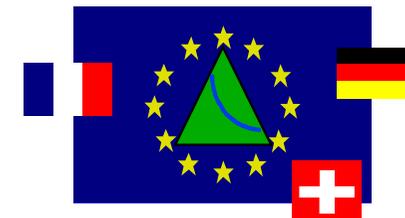
Projektleiter:	J. Weissbart	(OPABA Schiltigheim)	F
Bearbeiter:	B. Lammert	(OPABA Colmar)	F
	C. Groschupp	(IfuL Müllheim)	D
Projektpartner		(FiBL Frick)	CH
Mitbeteiligte:	C. Schaub	(Landwirtschaftskammer Unterels.) SUAD-67 Schiltigheim	F
	L. Metzger	Centre de recherche SCPA F-Aspach-le-Bas	F

© ITADA 12/2000

Institut Transfrontalier
d'Application et de Développement Agronomique

ITADA

Grenzüberschreitendes Institut
zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft



Projektpräsentation
des ITADA-Projekts 1.2.1

**Stickstoffverfügbarkeit von
Komposten im ökologischen
Landbau**

Projekt gefördert durch die EU-Gemeinschaftsinitiative
INTERREG II 'Oberrhein Mitte-Süd'

Conseil Régional d'Alsace
Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg
Kantone Aargau, Basel Landschaft und Basel Stadt

ITADA-Sekretariat:
2, allée de Herrlisheim, F-68000 COLMAR
Tel.: 00333 892295-50 Fax: -59 eMail: itada@wanadoo.fr

Anhang 1: Präsentationsfaltblatt des Projekts

1. Kompostierung

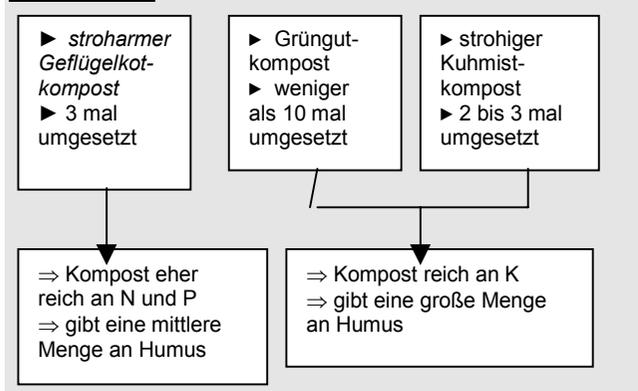
Die Herstellung von Komposten

Komposte können auf mindestens zwei Arten beschrieben werden :

- AUSGEHEND VON DER **ZUSAMMENSETZUNG** chemisch, biochemisch und durch das **agronomische Potenzial** (Dünge- und Bodenverbesserungswert)
- AUSGEHEND VOM **PRODUKTIONSVERFAHREN**, das in Abhängigkeit von **Ausgangsmaterial** und **Kompostierungsverfahren** verschieden sein kann

☛ Das Projekt versucht, einige **Beziehungen** zwischen *agronomischem Potenzial* (insbesondere **Stickstoff-Verfügbarkeit**) und *Kompostierungsverfahren* zu ermitteln.

Beispiele :



Es wird versucht, den landbaulichen Wert von Komposten anhand von einfachen Kriterien zu kennzeichnen.

2. Kompostanwendung

Komposteinsatz im Ackerbau

Die Landwirte können sich in zwei unterschiedlichen Situationen befinden :

- AUF DEM HOF IST **ORGANISCHE SUBSTANZ** VERFÜGBAR:
angestrebt wird dann die **bestmögliche Verwertung** in Bezug auf den Bedarf von Böden und Kulturen.
- AUF DEM HOF GIBT ES **KEINE ODER NICHT GENÜGENDE ORGANISCHE SUBSTANZ**:
man wird versuchen, die dem Bedarf von Böden und Kulturen am **besten entsprechenden Substanzen** zu beschaffen.

☛ Das Projekt möchte zur Klärung von Fragen der Landwirte beitragen, welche folgende Aspekte betreffen:

- **technisch** (Einfluss von Bodentyp, Klima, Ausbringungstermin und -verfahren sowie Abstimmung mit dem Nährstoffbedarf der Pflanzen)
- **wirtschaftlich** (Kosten der Düngung bzw. Bodenverbesserung)
- **organisatorisch** (zeitliche und räumliche Organisation; Zweckmäßigkeit der Kompostierung im Vergleich zur Anwendung von Frischmist; strategische Entscheidungen...)

3. erwartete Ergebnisse

was bringt das Projekt?

Ziel des Projekts:

Verbesserte Beratung hinsichtlich:

- Kompostbereitung und
- Kompostanwendung

Es werden erwartet:

- EIN **KOLLOQUIUM** für Landwirte über Kompost und Kompostierung im Herbst 2001
 - EIN **HANDBUCH** über Herstellung und Anwendung von Komposten im Oberrheingebiet
- ☛ bis dahin und zur Vorbereitung dieser Ergebnisse sind verschiedene Maßnahmen zur Aus- und Fortbildung sowie zum allgemeinen Erfahrungsaustausch geplant.

Anhang 2:

Analyseresultate der im Rahmen des Projekts entnommenen Kompostproben

ANALYSE	INHALT
agronomische Analyse	% TM, % OS, % C _{org} , % N _{total} , C/N-Verhältnis, % NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁻ und Harnstoff-N, % P ₂ O ₅ , K ₂ O, CaO, MgO
CBM	Biochemische Beschreibung der organischen Substanz (bzw. deren verschiedener Fraktionen an organischer Substanz)
ICC-N	Inkubation unter kontrollierten Bedingungen zwecks Verfolgung der Stickstoff-Nettomineralisation
Mikroben-Biomasse	Verfolgung der Entwicklung der Mikroben-Biomasse (begleitend zum ICC-N)
Biologische Verfügbarkeit	Messung des CAU (offensichtlicher N-Ausnutzungskoeffizient)

BEZEICHNUNG DES KOMPOSTS	ART DES KOMPOSTS
TRI	Grüngutkompost aus Dreiecksmieten
TAB	Grüngutkompost aus Tafelmieten
INT	Milchviehmistkompost (Laufstall), 9 x umgesetzt in 1½ Monaten
INT-BD	Mischkompost (Pferdeist, Gemüseabfälle, Rindermist, 30 x umgesetzt in 5 Monaten; mit biodynamischen Präparaten)
RET	Pferdemistkompost, 5 x umgesetzt in 7 Monaten
RET-BD	Milchviehmistkompost (Laufstall), 3 x umgesetzt in 4 Monaten

Anhang 3:

FRAGEBOGEN FÜR KOMPOSTWERKE

0. Unternehmer

NAME DES KOMPOSTWERKS	
PROZESS KONZEPTION	
SAMMELUNG VON AUSANGSMATERIAL	
AUSANGSMATERIAL VORBEREITUNG	
MIETENBAU	
KOMPOSTIERUNG : LAUFENDE ÜBERWACHUNG	
KOMPOSTIERUNG : INTERVENTIONEN (UMSETZEN, ZUSÄTZE)	
REIFUNG – VERTIGSTELLUNG : LAUFENDE ÜBERWACHUNG	
REIFUNG – VERTIGSTELLUNG : INTERVENTIONEN	
VERKAUF	

1. Ausgangsmaterial

a. Komposttypen

Anzahl von verschiedene Produkten aus Kompostierung, Vergärung, Co-Vergärung:

BENENNUNG DEN VERSCHIEDENEN PRODUKTE:

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	

Anhang 3:

b. Ausgangsmaterial: Typen, Menge und Änderungen im Lauf der Jahreszeiten

		MATERIAL	VERSCHIEDENE PRODUKTE U/O ÄNDERUNGEN IN DER ZEIT							
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
			%	%	%	%	%	%	%	%
KODE		LAUBBÄUME								
A.	<input type="radio"/>	Rinde								
B.	<input type="radio"/>	Späne								
C.	<input type="radio"/>	Geäst								
D.	<input type="radio"/>	Schnitt								
E.	<input type="radio"/>	Laub								
		NADELBÄUME								
F.	<input type="radio"/>	Rinde								
G.	<input type="radio"/>	Späne								
H.	<input type="radio"/>	Geäst								
I.	<input type="radio"/>	Schnitt								
J.	<input type="radio"/>	Dornen								
		GRAS								
K.	<input type="radio"/>	frisches Gras								
L.	<input type="radio"/>	vergorenes Gras								
		SONSTIGES								
M.	<input type="radio"/>	Siebreste								
N.	<input type="radio"/>	Bio-Abfälle aus Haushalten								
O.	<input type="radio"/>	Klärschlamme								
P.	<input type="radio"/>	Landwirtschaftliche Abfälle								
Q.	<input type="radio"/>	Industrie (Lebensmittel-)								
R.	<input type="radio"/>	Papierproduktion...								
S.	<input type="radio"/>									
T.	<input type="radio"/>									
U.	<input type="radio"/>									
V.	<input type="radio"/>									
W.	<input type="radio"/>									

c. Anlagegrösse

Angeschlossene Einwohner :

Jahresproduktion :

Anhang 3:

d. Ausgangsmaterial: Charakterisierung, und Frequenz

CODE	PHYSIKALISCH	CHEMISCH	BIOCHEMISCH	BIOLOGISCH
A.				
...				
M.				

2. Vorbereitung des Materials

a. Vor-Lagerung, Häckseln und Aussieben

	BESCHREIBUNG DES VORBEREITUNGSPROZESS ¹⁸
1.	
...	
6.	

3. Kompostierung des Ausgangsmaterials

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
MIETEBAU								
Form ¹⁹								
Messungen								
Masse (am Anf.)								
Belüftungssystem								
ÜBERWACHTETE PARMETER	FREQ. + MESSG.							
Temperatur								
Feuchtigkeit								
pH-Wert								
CO ₂								
O ₂								
biolog. Aktivität								
...								
UMSETZEN								
Anzahl								
Kriterien								
...								
ZUSÄTZE								
Art								
Menge								
Kriterien								
Wiederverwend. v. Sickerwasser								
...								
SONSTIGES								
Dauer								
Abdeckung								
Staub und Geruch								
...								

¹⁸ VL(12) = Vor-Lagerung (Tage) / H = Häckseln / A(0.2) = Aussieben (Korngröße)

¹⁹ De = Dreieck; Tz = Trapez; Tk = konkaves Trapez

Anhang 3:

4. Endfertigung von Kompost

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
REIFUNG								
Kriterien für Anfang								
Dauer								
Kriterien für Ende								
Abdeckung								
Masse								
Änderungen								
...								
AUSSIEBEN								
Wann in dem Prozess?								
Korngrösse								
Masse								
...								
LAGERUNG								
Dauer								
Masse								
Änderungen								
Abdeckung								
...								
SONSTIGES								
Dauer des ganzes Prozess								
Analysentypen (verfügbare?)								
...								

5. Verkauf

a. Allgemeine Qualitäten der Produkte

b. Abschätzung der agronomischen Qualitäten der Endprodukte

1.	
2.	
...	
8.	

Anhang 4:

FRAGEBOGEN 'LANDWIRTSCHAFTLICHE BETRIEBE'

LANDWIRT : _____

DATUM : _____

1. Betriebsstruktur

1.1. Allgemeine Merkmale

Merkmale der Bewirtschaftung:

Biologisch-dynamisch

Biologisch

Konventionell

Andere:.....

Landw. Nutzfläche:.....ha

Dauergrünland:.....ha

Wald:.....ha

Brachland:.....ha

Ausrichtung des Betriebs:

Hauptausrichtung:

.....
.....

Hauptkultur

Gemüse

Weinbau

Obstbau

Verarbeitung

.....
.....

Viehzucht

Gemischtbetrieb

Arzneipflanzen

Andere:.....

.....
.....

1.2. Merkmale der Viehhaltung: Herdengröße und Aufstallung

bitte füllen Sie die **ANLAGEN FÜR DIE ENTSPRECHENDEN TIERARTEN AUS (RINDER, SCHWEINE, ZIEGEN, SCHAFE, GEFLÜGEL UND ANDERE)**

1.3. Welche Bodenarten werden bewirtschaftet?

Skizzieren Sie Ihre Parzellen:

- Form und Lage

- Nummer

- geschätzte Fläche

Bitte füllen Sie die **'ANLAGE 1 'PARZELLEN'** aus

Anhang 4:

2. Warum stellen Sie Kompost her oder kaufen Sie Kompost?

2.1. allgemein:

- Bedarf an organischer Substanz
- Nutzen des Kompostes

auf den Parzellen?

Bedarf an organischer Substanz:

Nutzen des Kompostes:

2.2. Beschreiben Sie die Fruchtfolgen, in denen der Kompost für Sie die größte Bedeutung hat?

Frage vorab → Wo liegt die größte Bedeutung des Kompostes innerhalb der Fruchtfolge?

Bitte füllen Sie die **'ANLAGE 2 'FRUCHTFOLGE'** aus

2.3. Was sind nach Ihren Beobachtungen, nach dem Ausbringen von Kompost, die Größen, welche Boden und Pflanzen am stärksten beeinflussen?

Ohne Vorschläge

[Reihenfolge der Bedeutung]

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Art des Kompostes | <input type="checkbox"/> Bodenart |
| <input type="checkbox"/> Datum des Ausbringens | <input type="checkbox"/> Bodenbearbeitung |
| <input type="checkbox"/> Jahresklima | <input type="checkbox"/> Ausbringen weiterer organischer Substanz |
| <input type="checkbox"/> Kulturart | <input type="checkbox"/> Mikroorganismen im Kompost |
| <input type="checkbox"/> vorherige Kultur | <input type="checkbox"/> Ausbringungszeitpunkt in der Fruchtfolge |
| <input type="checkbox"/> andere | <input type="checkbox"/> andere... |

Mit Vorschlägen

[nehmen Sie Anlage 3 und ordnen Sie in der Reihenfolge der Bedeutung)]

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Art des Kompostes | <input type="checkbox"/> Bodenart |
| <input type="checkbox"/> Datum des Ausbringens | <input type="checkbox"/> Bodenbearbeitung |
| <input type="checkbox"/> Jahresklima | <input type="checkbox"/> Ausbringen weiterer organischer Substanz |
| <input type="checkbox"/> Kulturart | <input type="checkbox"/> Mikroorganismen im Kompost |
| <input type="checkbox"/> vorherige Kultur | <input type="checkbox"/> Ausbringungszeitpunkt in der Fruchtfolge |
| <input type="checkbox"/> andere | <input type="checkbox"/> andere... |

Konstruieren Sie an Hand eines Fruchtfolge-Beispiels der ANLAGE 2 EIN FUNKTIONSMODELL

Anhang 4:

2.4. Wie sind Sie darauf gekommen?

2.5. Welche Fragen stellen Sie sich bezüglich der Kompostnutzung und der Kompostwirkung?

[→ nehmen Sie wenn nötig Stichpunkte aus 2.3 zu Hilfe)

Erstellen Sie eine Liste (verwendete Begriffe bitte gut erklären!)

3 Wie stellen Sie Ihren Kompost / Ihre Komposte her?

3.1. Welches sind die Ausgangsstoffe und ihre Eigenschaften?

Siehe **ANLAGE ‚KOMPOSTIERUNG‘** und machen Sie Ergänzungen

3.2. Welche verschiedenen Schritte der Kompostierung setzen Sie um? Welche Werkzeuge und Hilfsmittel verwenden Sie?

Siehe **ANLAGE „KOMPOSTIERUNG“** und machen sie Ergänzungen

3.3. Nach welchen Kriterien beeinflussen Sie den Kompostierungsprozess?

[→ die zentrale Frage für den Prozess: Entscheidungen zu treffen über die Behandlung der Miete.

→ regelmäßig kontrollierte Einflußgrößen

→ Intensität der Betreuung (überschneidet sich mit Kompostplatz und Rahmenbedingungen)

→ ziehen Sie einen Vergleich in Theorie und Praxis: wie machen es die anderen, warum ... ?]

Beziehen Sie sich auf das Kompostierungsmodell

3.4. Wie haben Sie sich die Kompostierungspraxis angeeignet?

Wie ist Kompostieren am besten zu erlernen?

3.5. Beschreiben Sie die verschiedenen Komposte, die Sie produzieren?

[Ziele: →stellen Sie einen Bezug zum Herstellungsprozess her

→ suchen Sie eine Beziehung zwischen Herstellungsverfahren und Anwendung um die Antworten besser einordnen zu können...]

Anhang 4:

3.6. Weitergehende Frage: Welches sind nach Ihren Erfahrungen und Beobachtungen die Einflussgrößen für einen guten Kompostierungsverlauf und für die Qualität des fertigen Produktes.

Ziele : → ziehen eines Vergleichs zur Betreuung der Miete
→ möglichst genaue Beschreibung der Umsetzungsprozesse im Kompost
→ Beurteilung der Nützlichkeit der Kompostierung: Wieso wird kompostiert?
→ Diskussion des Kompostierungsmodells]

Auflistung...

3.7. Welche Fragen stellen Sie sich zur Herstellung Ihres Kompostes?

[→ gibt es Zusammenhänge zwischen Herstellung und agronomischem Wert

Auflistung

4. Welchen Zwängen sind Sie bei der Kompostierung ausgesetzt (Herstellung, Verteilung...)?

(Auflistung nach Bedeutung)

[Hier werden einige Themen des bisherigen Gesprächs noch einmal aufgegriffen)

Ziele: → Bestätigung der bisher gefundenen Anhaltspunkte
→ Aufzeigen von möglichen Widersprüchen und Hinweisen)

4.1. Technische Zwänge

Abdecken
Lagerung des Mistes (Qualität und Verlust)
Mitglied im Maschinenring
zuviel Regen
...

4.2. Zwänge des Platzes

Lagerung des Mistes
Platz für die Miete
...

4.3. Zwänge aus Zeitgründen

...

4.4. Zwänge aus rechtlichen Bestimmungen

Anpassung an die Vorschriften
...

4.5. Andere

Anhang 4:

BATIMENTS

Catégories	Nombre animaux par case	Taille des cases	Litières (quantité et nature) et/ou caillebotis	Quantité de déjections et nature
Truies maternité				
Truies gestantes				
Porcelets				
Porcs à l'engraissement				

STOCKAGE

Type de fumier et/ou lisiers	Fosse	Tas / aire bétonnée	Tas / terre battue	Tas au champs

FICHE ÉLEVAGE DE VOLAILLES (source : Joséphine PEIGNÉ)

Espèces n° :

Race n° :

Catégories	Nombre moyen sur l'année	Séjour en bâtiment	
		Partiel	Permanent

BATIMENTS

Catégories (Espèce, race)	Nombre animaux par cage / surface	Taille des cases / surface	Litières (quantité et nature) et/ou caillebotis	Quantité de déjections et nature

STOCKAGE

Type de fumier et/ou lisiers	Fosse	Tas / aire bétonnée	Tas / terre battue	Tas au champs

FICHE ÉLEVAGE CAPRIN (source : Joséphine PEIGNÉ)

Race n°1 & Race n°2 :

Catégories	Nombre moyen sur l'année	Séjour en bâtiment	
		Partiel	Permanent

BATIMENTS

Catégories	Nombre animaux par case / surface	Taille des cases / surface des bat	Litières (quantité et nature) et/ou caillebotis	Quantité de déjections et nature

STOCKAGE

Type de fumier et/ou lisiers	Fosse	Tas / aire bétonnée	Tas / terre battue	Tas au champs

FICHE ÉLEVAGE OVIN (source : Joséphine PEIGNÉ)

Race n°1 & Race n°2 :

Catégories	Nombre moyen sur l'année	Séjour en bâtiment	
		Partiel	Permanent

BATIMENTS

Catégories	Nombre animaux par case / surface	Taille des cases / surface des bat	Litières (quantité et nature) et/ou caillebotis	Quantité de déjections et nature

STOCKAGE

Type de fumier et/ou lisiers	Fosse	Tas / aire bétonnée	Tas / terre battue	Tas au champs

FICHE AUTRE ÉLEVAGE (source : Joséphine PEIGNÉ)

Race n°1 & Race n°2 :

Catégories	Nombre moyen sur l'année	Séjour en bâtiment	
		Partiel	Permanent

BATIMENTS

Catégories	Nombre animaux par case / surface	Taille des cases / surface des bat	Litières (quantité et nature) et/ou caillebotis	Quantité de déjections et nature

Anhang 4:

STOCKAGE

Type de fumier et/ou lisiers et quantité	Fosse	Tas / aire bétonnée	Tas / terre battue	Tas au champs

FICHE COMPOSTAGE (source : Joséphine PEIGNÉ)

Date de mise en tas :

Chantier n° ____

Durée de compostage actif :

Durée totale (jusqu'à épandage) :

1. Caractéristiques du matériel de départ

Tonnage de produit brut composté :

Matériel produit sur l'exploitation

Matière végétale (nature et préparation si il y a)	Proportion / quantité

Matière animale : Nature (Cf. partie élevage) et âge	Proportion / quantité

Matériel provenant de l'extérieur

Matière végétale (nature et préparation si il y a)	Proportion / quantité

Matière animale (Nature la plus précise)	Proportion / quantité

Matière minérale (Facultatif)	Quantité

Récupérer Analyse de produit brut si possible

2. Aire de compostage

Aménagement de la plate-forme	
Aire bétonnée / récupération des jus	O/N
Tas au champs (localisation de la parcelle)	O/N
Type de sol et sous-sol	
Environnement	
Changement de place / an	O/N

3. Mise en place du tas

Matériel utilisé

Type de matériel	Hauteur et forme du tas

Ajouts

Nom	Quantité	Date d'apport

z

Couverture

Type de couverture (et épaisseur)	Date de mise en place

4. Management du compostage

Retournement

Durée des phases de retournement (si changement de fréquences etc.)	Nombres de retournements	Fréquences

Ajouts

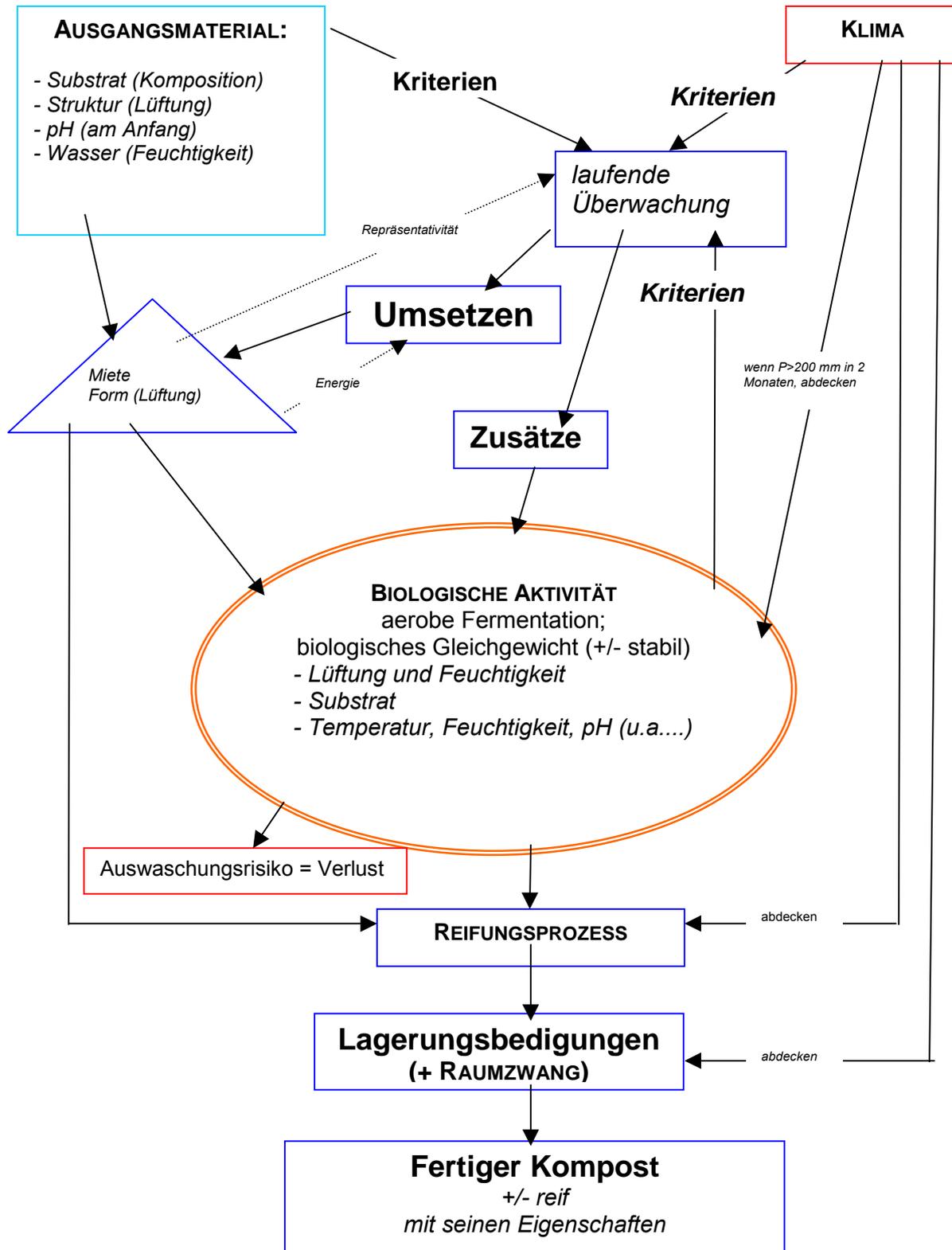
Nom	Quantité	Date d'apport

Couverture

Type de couverture (et épaisseur)	Date de mise en place

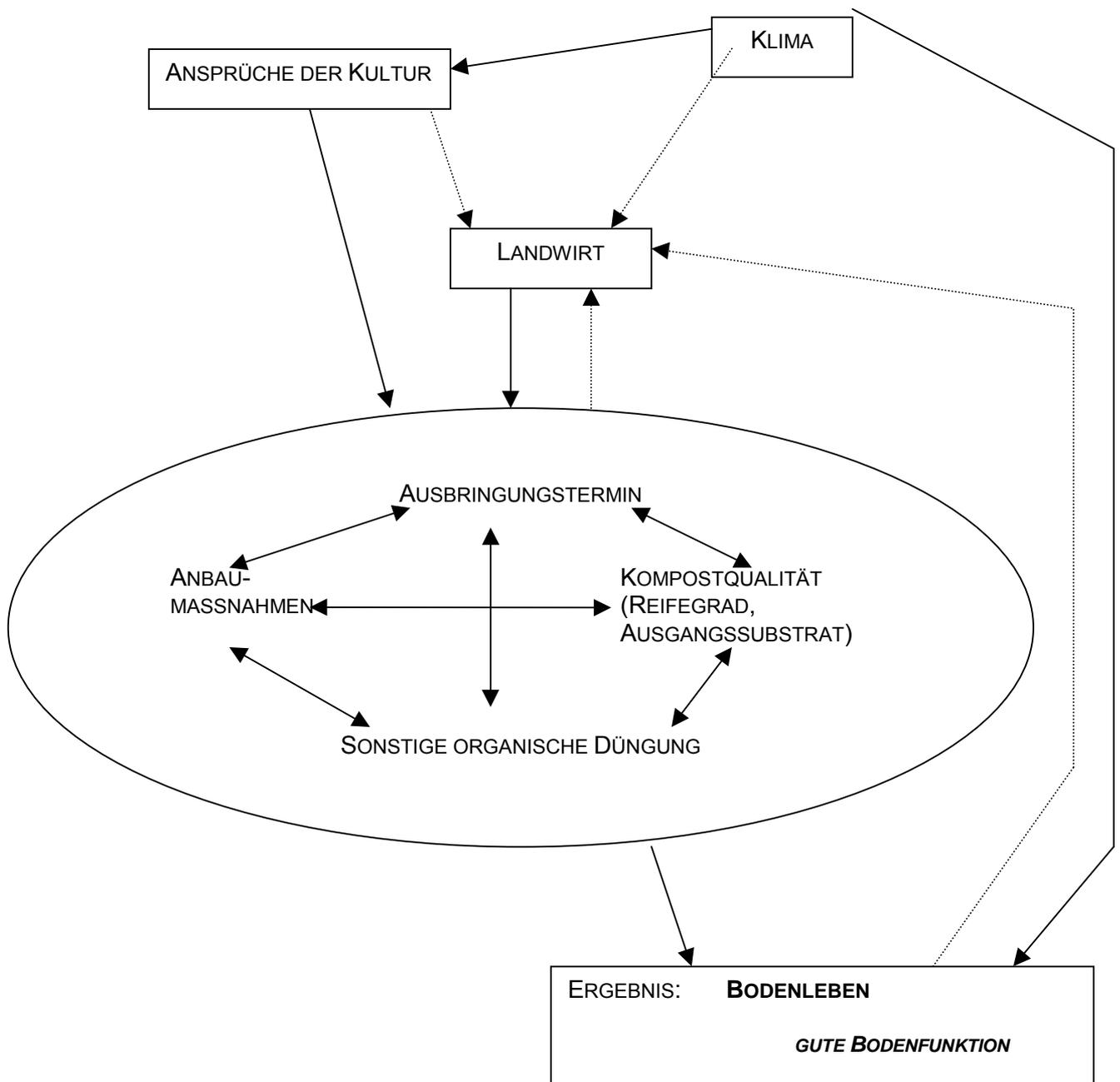
Anhang 5:

Funktionsmodell der Kompostierung



Anhang 6:

Funktionsmodell eines mit Kompost gedüngten Betriebsschlages



Erläuterungen zum Funktionsschema

Die punktierten Pfeile entsprechen der Erfahrung des Landwirts: Es handelt sich um die kombinierten Auswirkungen von Klima, Pflanzenphysiologie und seinen Anbaumaßnahmen auf das Bodenleben und dessen gutes Funktionieren, was die Grundlage des biologischen Landbaus ist.

Dieses System erlaubt die Nutzung des Anpassungsverhaltens des Landwirts und nennt die Parameter, die er normalerweise beeinflussen kann. Dieses System erlaubt es auch, die dem Landwirt aufzuzeigenden technischen Aspekte herauszustellen und bleibt dabei kohärent mit einem operationellen System.

Anhang 7:

Bauanleitung für einen Kompostmienthermometer

Thermomètre sonde pour compost.

Fiche de fabrication proposée par Pierre MASSON

Cet ustensile est très utile, sinon indispensable, pour suivre l'évolution de la température dans les composts. Une sonde métallique professionnelle est très coûteuse.

Il est cependant possible de bricoler un tel outil à peu de frais, à partir d'un simple thermomètre à alcool allant de -20° à 100° . On le fixe, avec de la petite ficelle en nylon ou du chatterton résistant à l'humidité, sur une baguette de bois en demi ou trois quart de rond de 14 mm de diamètre. On introduit le tout dans un tube rigide en PVC pour canalisations électriques, de diamètre extérieur 20 mm. et intérieur 16,5 mm. On ferme l'extrémité extérieure avec un bouchon ; ceci est utile pour empêcher l'eau de pluie de faire gonfler la baguette en bois.

Matériaux :

Thermomètre (pharmacies, quincailleries, magasins pour les industries alimentaires).

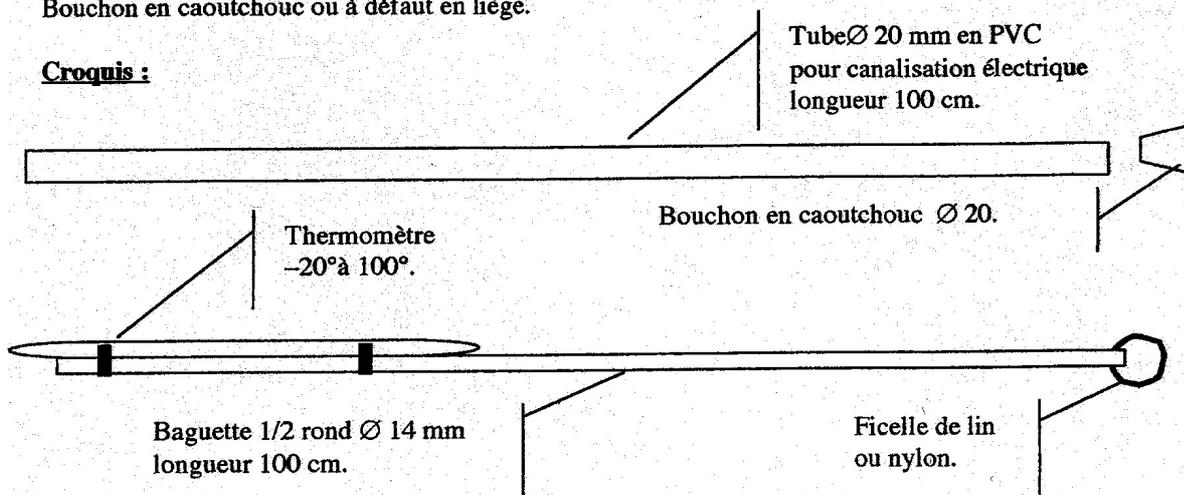
Tube PVC pour canalisations électriques de diamètre 20 : un mètre.

Baguette de bois demi rond de 14 mm : 1 mètre.

Chatterton ou petite ficelle de lin ou de nylon.

Bouchon en caoutchouc ou à défaut en liège.

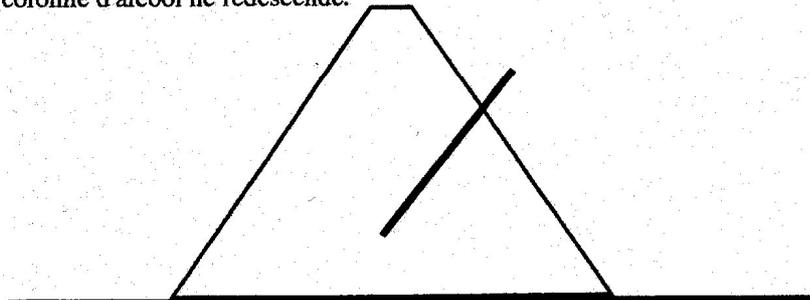
Croquis :



Mode d'emploi :

Pour prendre la température, On insère l'ensemble constitué par le tube et sa baguette à laquelle est fixée le thermomètre, au cœur du tas de compost. Le tube reste à demeure.

Pour la lecture, on retire la tige de bois avec le thermomètre. Il faut procéder très rapidement avant que la colonne d'alcool ne redescende.



Anhang 8:

Beziehung zwischen prozentualen Kaliverlusten während der Kompostierung und dem C/N-Verhältnis des Ausgangssubstrats

C/N-VERHÄLTNIS DES AUSGANGSSUBSTRATS	% K-VERLUSTE ⁺
14	60
15	57,5
16	55
17	52,5
18	50
19	47,5
20	45
21	42,5
22	40
23	37,5
24	35
25	32,5
26	30
27	27,5
28	25
29	22,5
30	20
31	17,5
32	15
33	12,5
34	10
35	7,5
36	5

Die Beziehung wurde mittels folgender Gleichung berechnet:

$$\text{K}^+\text{-Verlustrate bei der Kompostierung (\%)} = - 2,5 \times \text{C/N} + 95$$

Anhang 9:

Versuchsplan, Material und Methoden des Feldversuchs mit Grüngutkompost aus einer Tafelmiete

VERSUCHSFRAGEN:

1. Kann die Auswaschung von Nitrat nach Soja reduziert werden, wenn im Herbst Kompost mit weitem C/N-Verhältnis ausgebracht wird?

2. Welchen Einfluss hat der Kompost auf den Ertrag und den Proteingehalt von Winterweizen als Folgefrucht?

Am 19.10.2000 wurde auf dem Schlag eines konventionell wirtschaftenden Landwirts ein Tastversuch mit Kompost aus Grüngut angelegt. Auf einem Feld mit Sojabohnen als Vorfrucht, die in der Lage sind mit ihren Knöllchenbakterien Luftstickstoff zu binden und damit pflanzenverfügbar zu machen, besteht ohne Bodenbedeckung die Gefahr der Nitrat Auswaschung über Winter ins Grundwasser. Der verwendete Kompost hat ein weites C/N-Verhältnis von 26:1, d. h. viel Kohlenstoff in Bezug zu Stickstoff. Wird nun vor der Aussaat des Winterweizens im Herbst Kompost eingearbeitet, kann dieser möglicherweise durch den Überschuss an Kohlenstoff bei Umbauprozessen Stickstoff aus dem Boden binden, diesen konservieren und im Frühjahr an die Kultur wieder abgeben. Der Versuch beinhaltet 3 verschiedene Kompostgaben (0 t TM/ha als Kontrolle, 18 t TM/ha und 36 t TM/ha) sowie je 2 Düngungsstufen Stickstoff-Mineraldünger. Neben den Analyseergebnissen des N_{\min} -Gehaltes (mineralisierter Stickstoff) aus den Bodenproben in 14-tägigen Abständen bis Ende April 2001 und nach der Ernte werden Ertrag und Qualität (Proteingehalt) des Winterweizens ermittelt.

MATERIAL UND METHODEN

Da der Bioland-Verband keine eindeutige Genehmigung erteilte, wurde auf dem Betrieb eines konventionell wirtschaftenden Landwirts ein optisch möglichst homogener Schlag ausgewählt, auf dem im Jahr 2000 Sojabohnen als Hauptfrucht angebaut wurden.

Entsprechend dem Versuchsplan (siehe Anhang), haben wir eine Versuchsparzelle von 18 x 28 m ausgemessen.

Auf je 3 x 28 m wurden 6 Varianten angelegt:

Kompostgabe [t TM/ha]	Düngungsstufe Mineraldünger
0 (Kontrolle)	N ₁ (27 kg N / ha)
0 (Kontrolle)	N ₂ (54 kg N / ha)
18	N ₁ (27 kg N / ha)
18	N ₂ (54 kg N / ha)
36	N ₁ (27 kg N / ha)
36	N ₂ (54 kg N / ha)

Die Höhe der Kompostgabe orientiert sich an der Bioabfallverordnung, die maximal 30 t TM/ha innerhalb von 3 Jahren zulässt. Dazu wurde die benötigte Menge an Trockenmasse berechnet, aus Analyseergebnissen vergleichbarer Kompostchargen ein Wassergehalt von 40% zugrundegelegt und daraus auf die Frischmasse bzw. über die gemessene Dichte auf das benötigte Volumen geschlossen. Da beim Kauf des Kompostes das Volumen nur

abgeschätzt werden kann und es deshalb ein wenig mehr war, ergibt die Rückrechnung 18 t TM/ha (statt 15) bzw. 36 t TM/ha (statt 30). Über gleichmäßig befüllte Schubkarren wurde der Kompost auf den Flächen verteilt (11 Schubkarren für die Fläche mit 18 t TM/ha, 22 Schubkarren für die Fläche mit 36 t TM/ha).

Der verwendete Kompost ist Grüngut-Kompost und stammt aus einem Kompostwerk in Müllheim, dessen untersuchte Chargen dem RAL-Gütezeichen-Kompost und der Bioabfallverordnung entsprechen. Er hat ein weites C/N-Verhältnis von 26:1 und ist daher zur Klärung unserer Versuchsfrage geeignet.

Die Berechnung des C/N-Verhältnisses erfolgte nach dem Methodenbuch zur Analyse von Kompost: C-Gehalt = Glühverlust * 0,58.
 $C/N = 49 \% * 0,58 / 1,1 \% = 25,8$

Der Bodentyp ist Braunerde-Kolluvium. Die Bodenart ist als schluffiger Lehm anzusprechen mit einem pH-Wert von 7,3 und einem Humusgehalt von 2,1 % (Probennahme am 19.10.00, Schicht 0 - 30 cm, Untersuchung durch die LUFA Augustenberg). Die Schwermetallgehalte liegen unter den Grenzwerten der Bioabfallverordnung (Probennahme am 8.2.01, Schicht 0 - 30 cm, Untersuchung durch die LUFA Augustenberg).

Der Kompost wurde am 19.10.00 nach dem Pflügen ausgebracht und 8 - 10 cm tief mit der Egge eingearbeitet. Danach erfolgte die Aussaat des Winterweizens (Sorte Soissons).

Um den Arbeitsablauf des Landwirts nicht zu sehr zu stören, wurden nach Ausbringen des Kompostes außerhalb der beprobten Parzelle an deren östlichen und südlichen Rand von Hand mit einem Pürckhauer-Bohrstock 15 Bodenproben zur N_{\min} -Bestimmung gezogen (Ausgangswert). Alle weiteren Probennahmen erfolgten durch einen Lohnunternehmer mit der Nitratraupe (Pürckhauer Bohrstock) mit je 6 Einstichen pro Versuchsparzelle. Dabei wurden die Schichten 0 - 30 cm, 30 - 60 cm und 60 - 90 cm jeweils zu einer Mischprobe vereint und bei -18 °C tiefgefroren. Die Bestimmung des Nitrat- und Wassergehaltes erfolgte durch die LUFA Augustenberg.

Die Proben wurden je nach Witterungsbedingungen im Abstand von etwa 14 Tagen gezogen. Die Termine sind: 19.10.00, 2.11.00, 16.11.00, 30.11.00, 14.12.00, 28.12.00, 11.1.01, 25.1.01, 8.2.01, 22.2.01, 14.3.01, 27.3.01, 5.4.01, 20.4.01. Nach der Ernte am 24.07.01.

In die 3 Kompostvarianten wurden ab dem 5.4.01 noch je 2 Stickstoff - Düngevarianten gelegt (siehe Versuchsplan im Anhang). Dabei entspricht N_2 der Düngung, die vom Landwirt ausgebracht wird (54 kg N/ha), N_1 der Hälfte davon (27 kg N/ha). Am 27.3.01 wurden die Versuchspartellen erstmalig geteilt beprobt, um einen Ausgangswert für die Düngevarianten zu haben. Die Düngung des Schlags erfolgte am 3.4.01 durch den Landwirt mit 200 kg/ha (= 20 g/m²) Kalkammonsalpeter (Erfahrungswert). Dabei wurde versehentlich die Hälfte unserer Kontrollparzelle ohne Kompost mitgedüngt. Demzufolge ist die Stickstoffgabe in der Düngeungsstufe N_2 der Kontrolle durch den Landwirt erfolgt. Alle anderen Parzellen wurden von Hand am 5.4.01 gedüngt. Für N_2 wurden 3 m x 28 m x 20 g/m² = 1680 g Kalkammonsalpeter eingewogen, für N_1 entsprechend die Hälfte. Eine weitere Stickstoffdüngung ist witterungsbedingt entfallen.

Am 4.4.01 erfolgte die Grunddüngung mit Thomaskali 10/15/3 (8,3 dt/ha) durch den Landwirt. Am 12.4.01 führte der Landwirt eine Herbizidbehandlung mit Duplosan und IPU durch (je 2,5 l/ha).

Die Ernte erfolgte am 23.07.01 mit einem Parzellenmähdrescher von 1,6 m Schnittbreite. Es wurden die Ertragsdaten (Frischmasse) und die Trockensubstanzgehalte von den 6 Varianten mit je 3 unechten Wiederholungen (a, b, c) ermittelt und pro Variante eine Bestimmung des Tausendkorngewichtes durchgeführt. Eine Probe pro Variante wurde an die LUFA zur Proteinbestimmung gesendet.

Standort	
Ort	Schliengen
Höhe	350 m ü. NN
Ø Jahrestemperatur	9,5 °C
Ø Niederschläge (Müllheim)	650 mm/a
Boden	
Bodentyp	Braunerde-Kolluvium
Bodenart	uL (schluffiger Lehm)
pH	7,3
Humusgehalt	2,1 %
P ₂ O ₅	11 mg/100 g
K ₂ O	9 mg/100 g
Mg	10 mg/100 g
Gesamt-N	0,15 %
Schwermetalle	unter den Grenzwerten der Bioabfallverordnung
Kompost	
Trockensubstanzgehalt	65 % FM
Glühverlust (Organische Substanz)	49 % TM
N	1,1 % TM
P ₂ O ₅	0,46 % TM
K ₂ O	0,94 % TM
MgO	0,68 % TM
CaO	4,3 % TM
C/N	26 : 1
Feldbearbeitung	
Ernte der Sojabohnen	15.09.00 (Landwirt)
Pflügen	19.10.00 (Landwirt)
Kompostgabe (0, 18, 36 t TM/ha)	19.10.00
Eggen 8 - 10 cm	19.10.00 (Landwirt)
Aussaat Winterweizen der Sorte Soissons	19.10.00 (Landwirt)
Termine für die Entnahme der Bodenproben (N _{min} - und Wassergehalt)	19.10.00, 02.11.00, 16.11.00, 30.11.00, 14.12.00, 28.12.00, 11.01.01, 25.01.01, 08.02.01, 22.02.01, 14.03.01, 27.03.01, 05.04.01, 20.04.01, 24.07.01
Grunddüngung mit Thomaskali (10 % P ₂ O ₅ , 15 % K ₂ O, 3 % MgO) 8,3 dt/ha	04.04.01 (Landwirt)
1. Stickstoffdüngung Versuchspartellen mit Kalkammonsalpeter (27 % N) N ₁ : 100 kg/ha (27 kg N/ha) N ₂ : 200 kg/ha (54 kg N/ha)	05.04.01
2. Stickstoffdüngung mit Harnstoff (47 % N) 80 kg/ha (38 kg N/ha)	Witterungsbedingt entfallen
Pflanzenschutz (Herbizid) Duplosan 2,5 l/ha IPU 2,5 l/ha	12.04.01 (Landwirt)
Ernte	23.07.01

Berechnung der Nitratverlagerung im Boden nach Rohmann

Ziel ist die Berechnung der Nitratauswaschung aus der untersten betrachteten Bodenschicht (60 - 90 cm) in Abhängigkeit von den Niederschlägen zwischen den einzelnen Probenentnahmetagen zur Bestimmung des N_{\min} - und Wassergehalts des Bodens. Eine detaillierte Beschreibung der Berechnungsmethode findet sich im Abschlussbericht zum ITADA-Projekt A1.5 „Stickstoffversorgung und -dynamik in Fruchtfolgen vieharter Betriebe des ökologischen Landbaus“.

Da die Auswaschung von der Feldkapazität (FK) des Bodens abhängig ist, muss diese ermittelt werden.

Bestimmung der Feldkapazität mittels Stechzylinderproben

(in Anlehnung an Schlichting, Blume, Stahr „Bodenkundliches Praktikum“)

Die Probennahme erfolgte am 23.4.01 auf dem Versuchsfeld neben den Versuchspartellen.

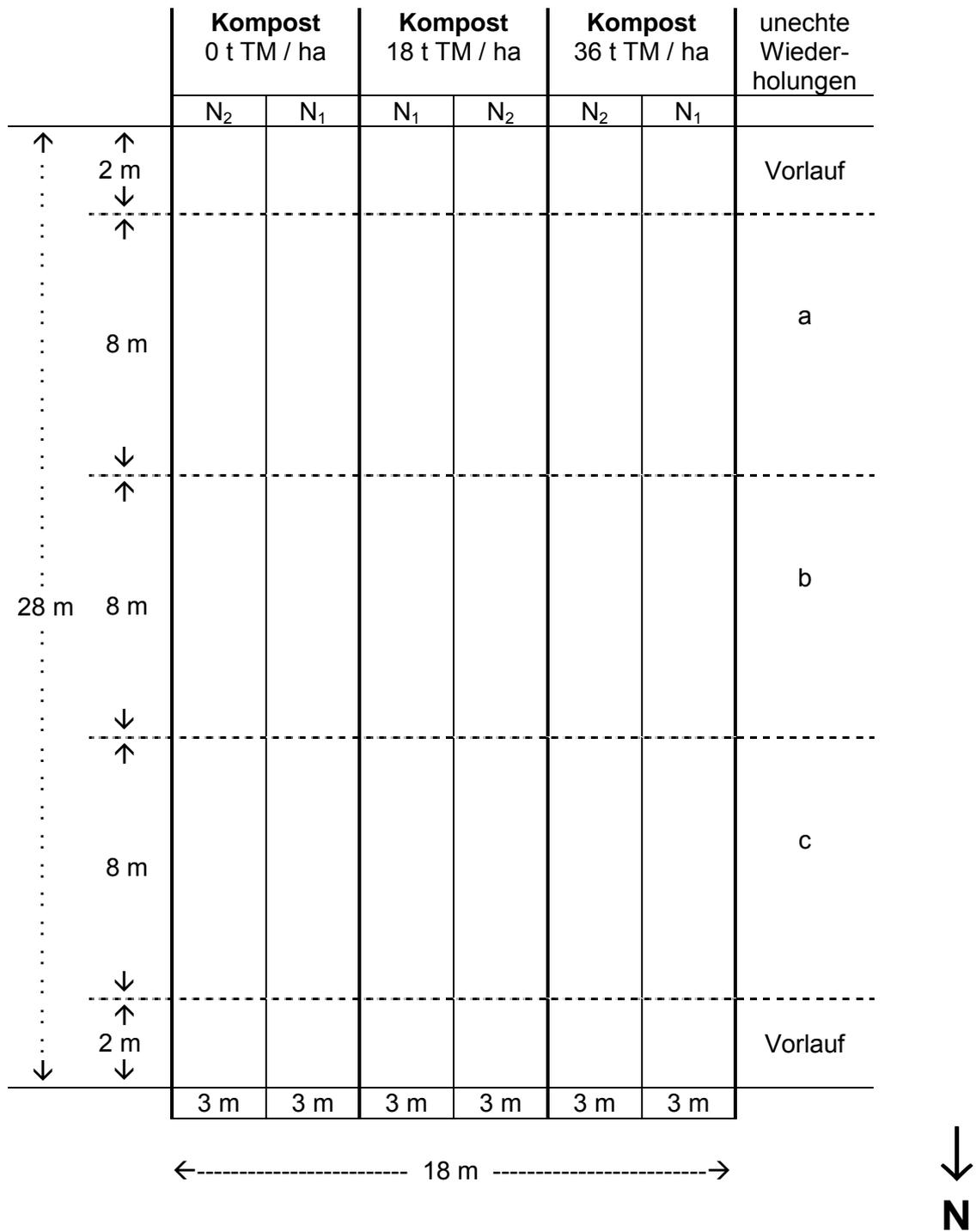
Die nummerierten Stechzylinder haben ein definiertes Volumen von 100 cm^3 bei einer Höhe von 4 cm. Eine Seite ist scharfkantig. Sie wurden freundlicherweise von der LUFA Augustenberg zur Verfügung gestellt.

Bei der Probennahme wurde der Boden bis zur gewünschten Tiefe so abgetragen, dass eine ebene Fläche entstand. Die Stechzylinder wurden vorsichtig mit Aufsatzseisen und Gummihammer in den Boden getrieben, mit einer kleinen Schaufel ausgegraben und der überstehende Boden mit einem Küchenmesser entfernt ohne die Struktur zu verändern. Da der Boden feucht war, verlief die Probennahme unproblematisch.

Pro Schichttiefe wurden 4 Parallelproben entnommen.
Schichttiefen: 5 - 10 cm, 15 - 20 cm, 25 - 30 cm.

Auf einem Brett, das in einer Kunststoffwanne waagrecht ausgerichtet wurde, wurden die Proben über Nacht auf Papierfiltern in ein Wasserbad gestellt, wobei sich der Wasserspiegel knapp unterhalb der Oberkante der Stechzylinder befand. Damit füllen sich die Poren von unten her mit Wasser und die Luft wird verdrängt. Am nächsten Tag wurde das Wasser abgelassen, die Proben zum Schutz gegen Verdunstung mit einem Deckel versehen und die Kunststoffwanne noch einmal mit einer Plastikfolie abgedeckt um eine gesättigte Atmosphäre zu erhalten. Als Blindproben wurden 3 leere Stechzylinder oben und unten mit einem durchnässten Filter versehen. Da wir nicht über die technische Ausstattung verfügen, einen Unterdruck anzulegen, wurden die Proben über Nacht stehen gelassen, damit das Wasser ablaufen kann. Die Menge an Wasser, die entgegen der Schwerkraft festgehalten wird, entspricht der Feldkapazität. Sie kann gemessen werden über die Gewichtsänderung der so erhaltenen noch nassen Proben und der über Nacht im Trockenschrank bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ getrockneten Proben ohne Filter. Da die 3 nassen Filter der Blindproben verhältnismäßig große Schwankungen aufwiesen (6,27 - 6,85 g), wurde auch das Gewicht der getrockneten Filter bestimmt.

Versuchsplan:



Wetterdaten D-Müllheim:

Datum	Tages- durchschnitts- temperatur	Niederschlag	Niederschläge zwischen zwei Bodenprobenahmen
	°C	mm	mm
19.10.00	11,5	0,25	
20.10.00	12	0	
21.10.00	10,9	0	
22.10.00	10,8	0	
23.10.00	12,1	0	
24.10.00	13,6	0,5	
25.10.00	14,8	0	
26.10.00	12	1,5	
27.10.00	10,6	0	
28.10.00	11,9	0	
29.10.00	12,1	0	
30.10.00	15,4	0,5	
31.10.00	9,9	6,25	
01.11.00	11,1	0	9
02.11.00	12	0,25	
03.11.00	9,5	8	
04.11.00	7,7	3,75	
05.11.00	6,6	0	
06.11.00	7,5	9	
07.11.00	10,7	0	
08.11.00	9,7	0,25	
09.11.00	8,3	0	
10.11.00	5,9	0,25	
11.11.00	6,5	0	
12.11.00	9	0	
13.11.00	9,9	8,25	
14.11.00	6,3	18,25	
15.11.00	6,5	0	48
16.11.00	4,4	0	
17.11.00	4,2	8,5	
18.11.00	4,3	0	
19.11.00	6,2	1,75	
20.11.00	6,4	0	
21.11.00	6,7	1,25	
22.11.00	10,2	2,75	
23.11.00	7,5	9,25	
24.11.00	5,6	2	
25.11.00	2,9	3,5	
26.11.00	7	5	
27.11.00	6,5	0,5	
28.11.00	9,2	1,5	
29.11.00	6,1	0	36
30.11.00	7,5	0	
01.12.00	4,9	0,5	
02.12.00	7,1	0	
03.12.00	8,7	0	
04.12.00	7,3	1	
05.12.00	5,5	0,25	
06.12.00	7,1	3,25	
07.12.00	6,4	2,5	
08.12.00	9,9	11,25	
09.12.00	9,5	0	
10.12.00	9,8	0,5	
11.12.00	10,9	0	
12.12.00	9,6	0	
13.12.00	10,8	0	19,25
14.12.00	9,5	2,5	
15.12.00	5,3	1,25	
16.12.00	4,1	0,75	
17.12.00	4,6	0	
18.12.00	4,1	0	

19.12.00	7	0	
20.12.00	3,9	0,25	
21.12.00	2,3	0	
22.12.00	0,4	0	
23.12.00	-0,2	0	
24.12.00	-1,1	0,25	
25.12.00	3,4	3,75	
26.12.00	6,1	1,75	
27.12.00	6,1	0	10,5
28.12.00	3,3	0	
29.12.00	0,7	0,25	
30.12.00	1,2	0,75	
31.12.00	-0,1	0	
01.01.01	0,3	0,5	
02.01.01	9	10,5	
03.01.01	7,2	0,25	
04.01.01	7,1	2,75	
05.01.01	9,9	8,25	
06.01.01	7,9	3,25	
07.01.01	4,9	0,5	
08.01.01	3,5	0	
09.01.01	2,4	0	
10.01.01	5,1	1,75	28,75
11.01.01	5,4	0,25	
12.01.01	1,1	0,25	
13.01.01	-1,1	0	
14.01.01	-3,2	0	
15.01.01	-3,9	0	
16.01.01	-3,1	0	
17.01.01	-1,4	0	
18.01.01	-0,2	0,25	
19.01.01	-0,2	0,75	
20.01.01	0,7	4	
21.01.01	0,3	0	
22.01.01	6	0	
23.01.01	9,4	3,75	
24.01.01	9,9	9,75	19
25.01.01	5,8	4,25	
26.01.01	5,9	0	
27.01.01	4,6	6,25	
28.01.01	2,4	0	
29.01.01	0,9	0	
30.01.01	1,5	0,5	
31.01.01	-0,5	0	
01.02.01	-0,2	0	
02.02.01	-0,3	0	
03.02.01	4,6	0	
04.02.01	10,1	0	
05.02.01	10,3	0	
06.02.01	12,8	0	
07.02.01	10,8	0	11
08.02.01	9,3	1,5	
09.02.01	6,4	0,25	
10.02.01	2,4	0	
11.02.01	4,7	0	
12.02.01	7,5	0	
13.02.01	7,6	6,75	
14.02.01	3,3	0	
15.02.01	2,7	0	
16.02.01	4,8	0	
17.02.01	3	1,25	
18.02.01	2,6	0	
19.02.01	1,6	0	
20.02.01	2,2	0	
21.02.01	3,6	0	9,75
22.02.01	5,5	0,25	
23.02.01	4,8	4,5	
24.02.01	0,4	0	
25.02.01	-1,3	0,25	
26.02.01	-1,6	0	

27.02.01	0	0	
28.02.01	1,6	0	
01.03.01	2,4	1,25	
02.03.01	3,4	4	
03.03.01	0,6	25,75	
04.03.01	6,2	18	
05.03.01	5,2	2	
06.03.01	2,2	0	
07.03.01	5,1	3	
08.03.01	7,2	8,75	
09.03.01	8,8	0,25	
10.03.01	9,5	3,75	
11.03.01	11,3	6	
12.03.01	10,2	26,5	
13.03.01	7	6,25	110,5
14.03.01	6,1	1,25	
15.03.01	8,7	1,75	
16.03.01	9,5	0	
17.03.01	9	8,25	
18.03.01	9,6	1,5	
19.03.01	6,1	0,5	
20.03.01	3,4	12,75	
21.03.01	11,6	8,25	
22.03.01	10,8	5,25	
23.03.01	12,8	0,5	
24.03.01	13,4	7,5	
25.03.01	11,8	2,25	
26.03.01	6,3	3,5	53,25
27.03.01	5,5	0	
28.03.01	9	4,75	
29.03.01	9,6	2,5	
30.03.01	7,3	2,25	
31.03.01	8	0	
01.04.01	10,6	0	
02.04.01	13,5	0	
03.04.01	11,9	0	
04.04.01	9,2	9,75	19,25
05.04.01	7,9	0	
06.04.01	11,1	3,25	
07.04.01	9,7	4,75	
08.04.01	8,3	2,5	
09.04.01	7,5	12	
10.04.01	8,7	3	
11.04.01	7,3	7	
12.04.01	8,1	0	
13.04.01	5,3	0	
14.04.01	3,7	0	
15.04.01	4,5	1,5	
16.04.01	6,2	8	
17.04.01	6,6	3,25	
18.04.01	6,3	4,75	
19.04.01	4,5	2,25	52,25
20.04.01	3,5	0,75	

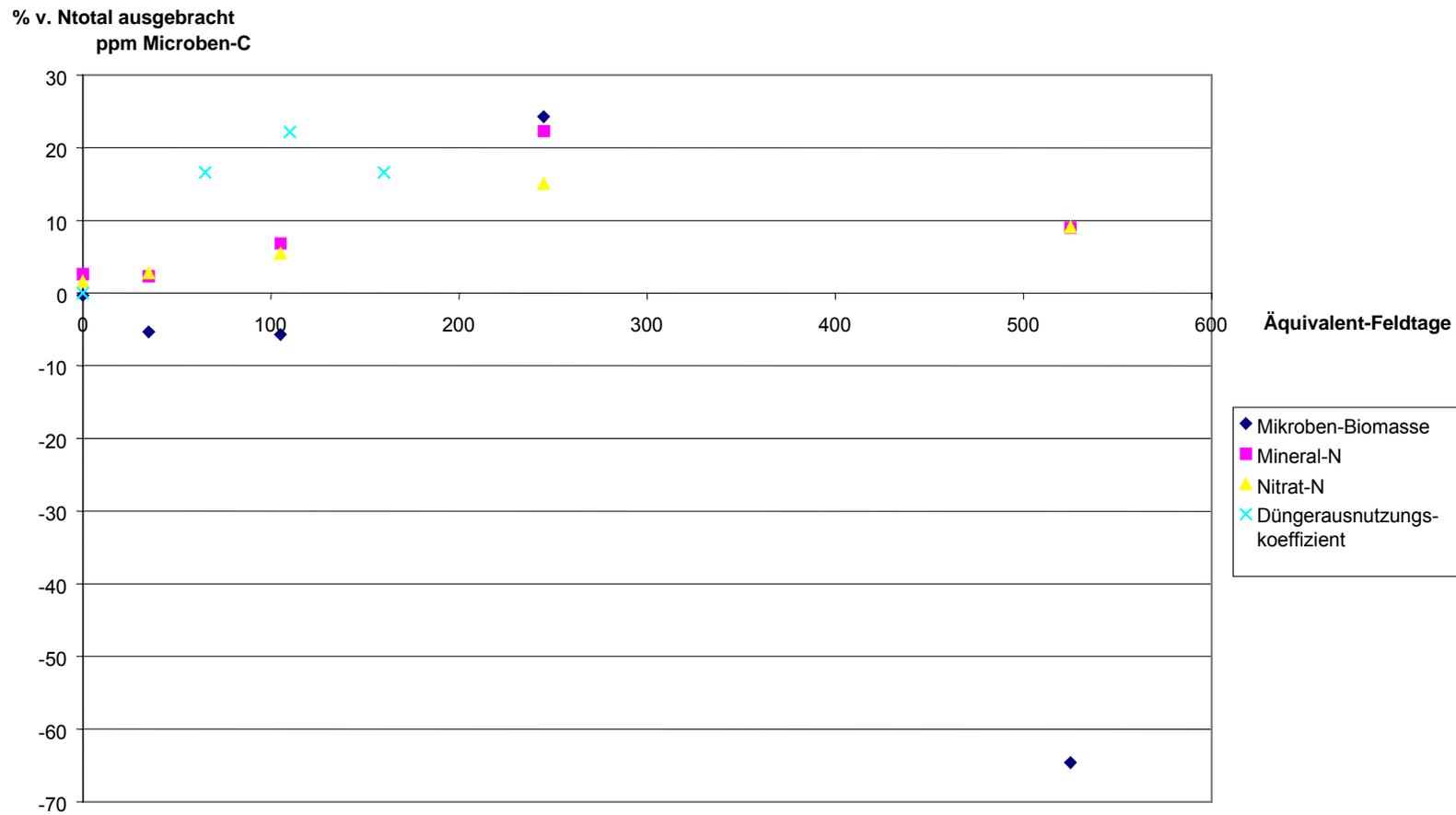
Bibliographie

BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E. V., 1998. Methodenbuch zur Analyse von Kompost. 4. Auflage. Verlag Abfall Now e. V., Stuttgart, 1998

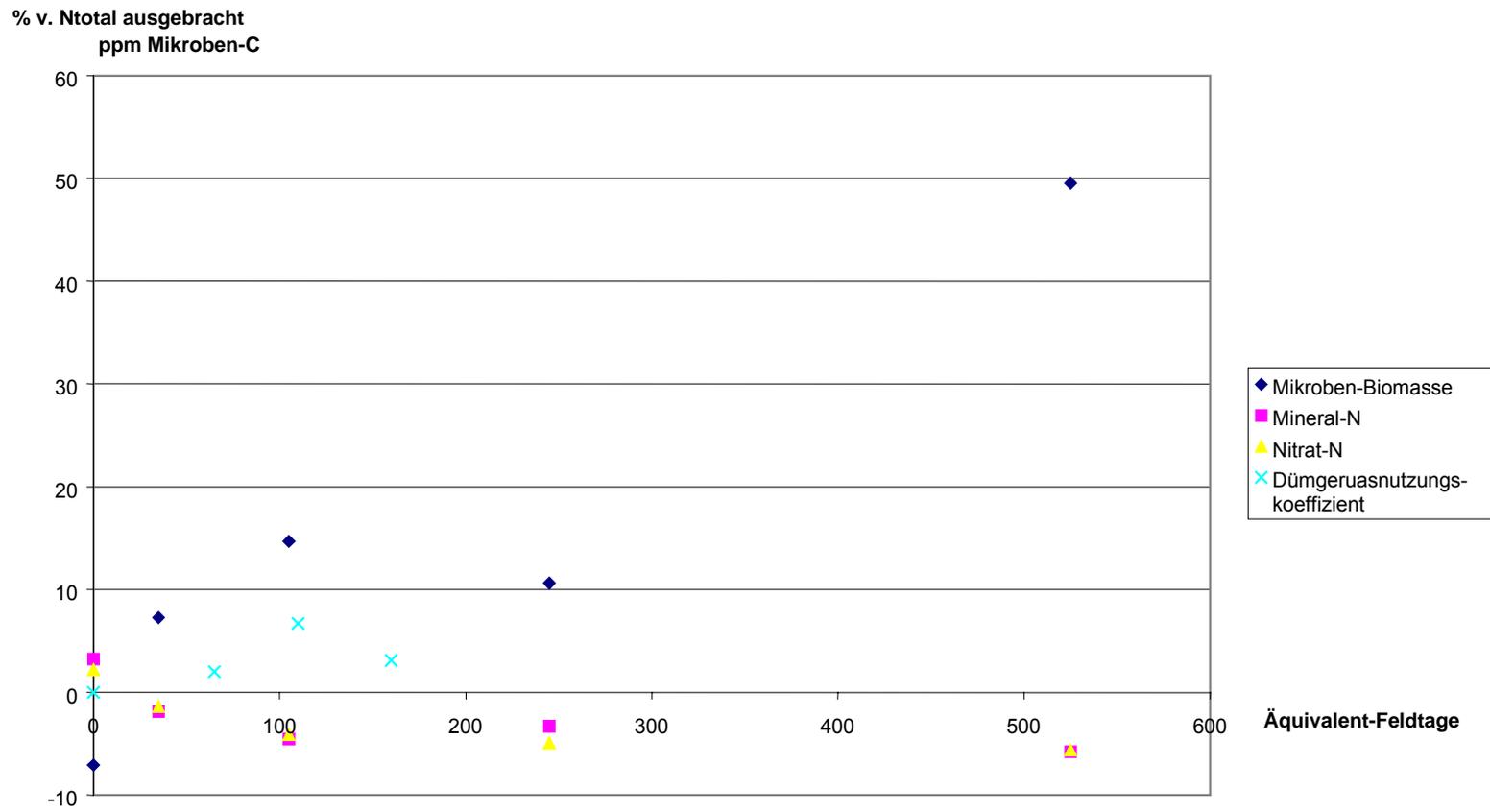
SCHLICHTING E., BLUME H.-P., STAHR K., 1995. Bodenkundliches Praktikum. 2. Auflage. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, 1995

VETTER R., MIERSCH M., 1999. Stickstoffversorgung und -dynamik in Fruchtfolgen vieharmen Betriebe des ökologischen Landbaus, Abschlussbericht zum Projekt A1.5

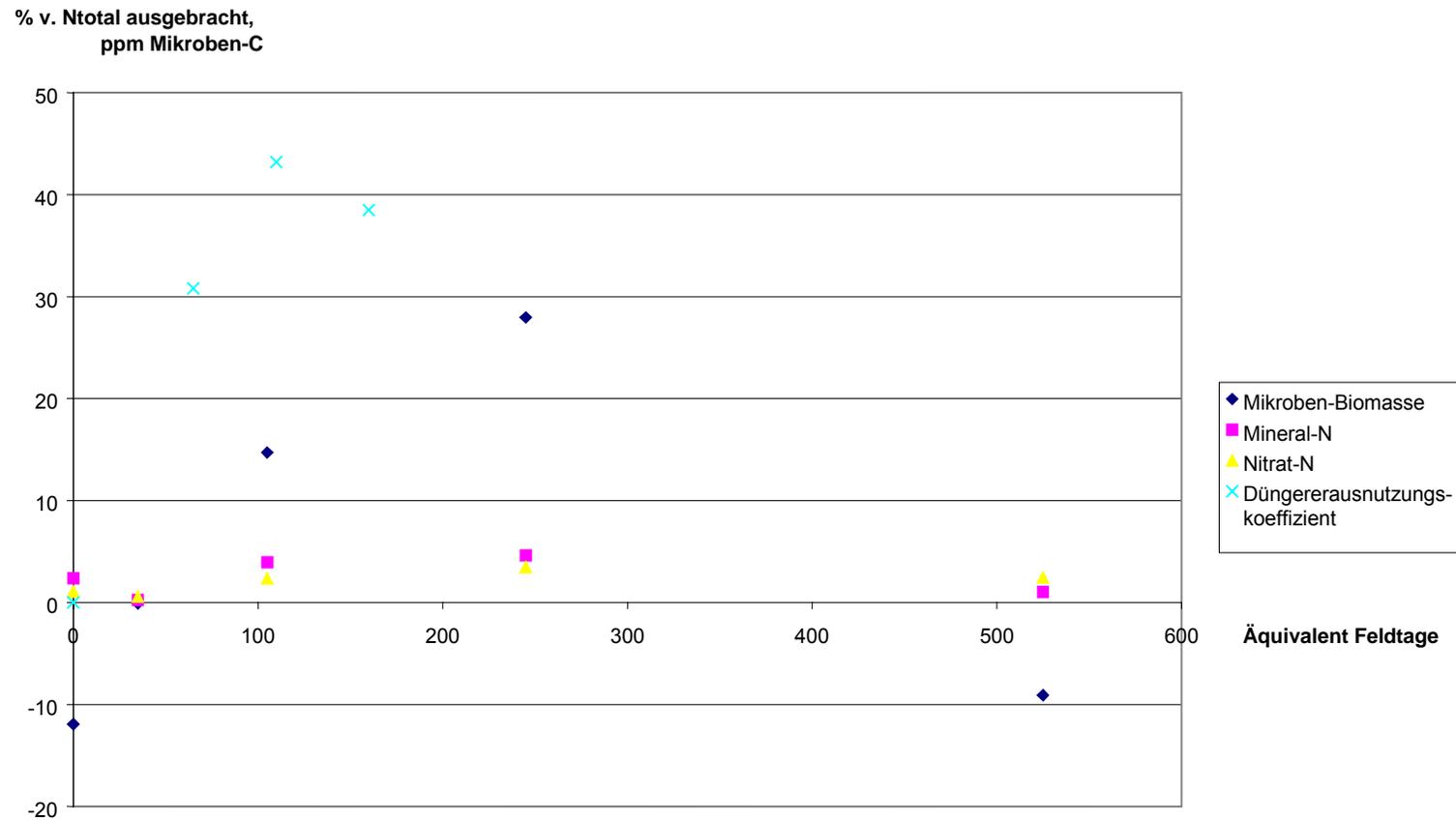
ANHANG 10: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ANALYSENERGEBNISSE VON IM RAHMEN DES PROJEKTS UNTERSUCHTEN KOMPOSTEN DES TYPUS RET (SELTEN UMGESETZTER STALLMISTKOMPOST)



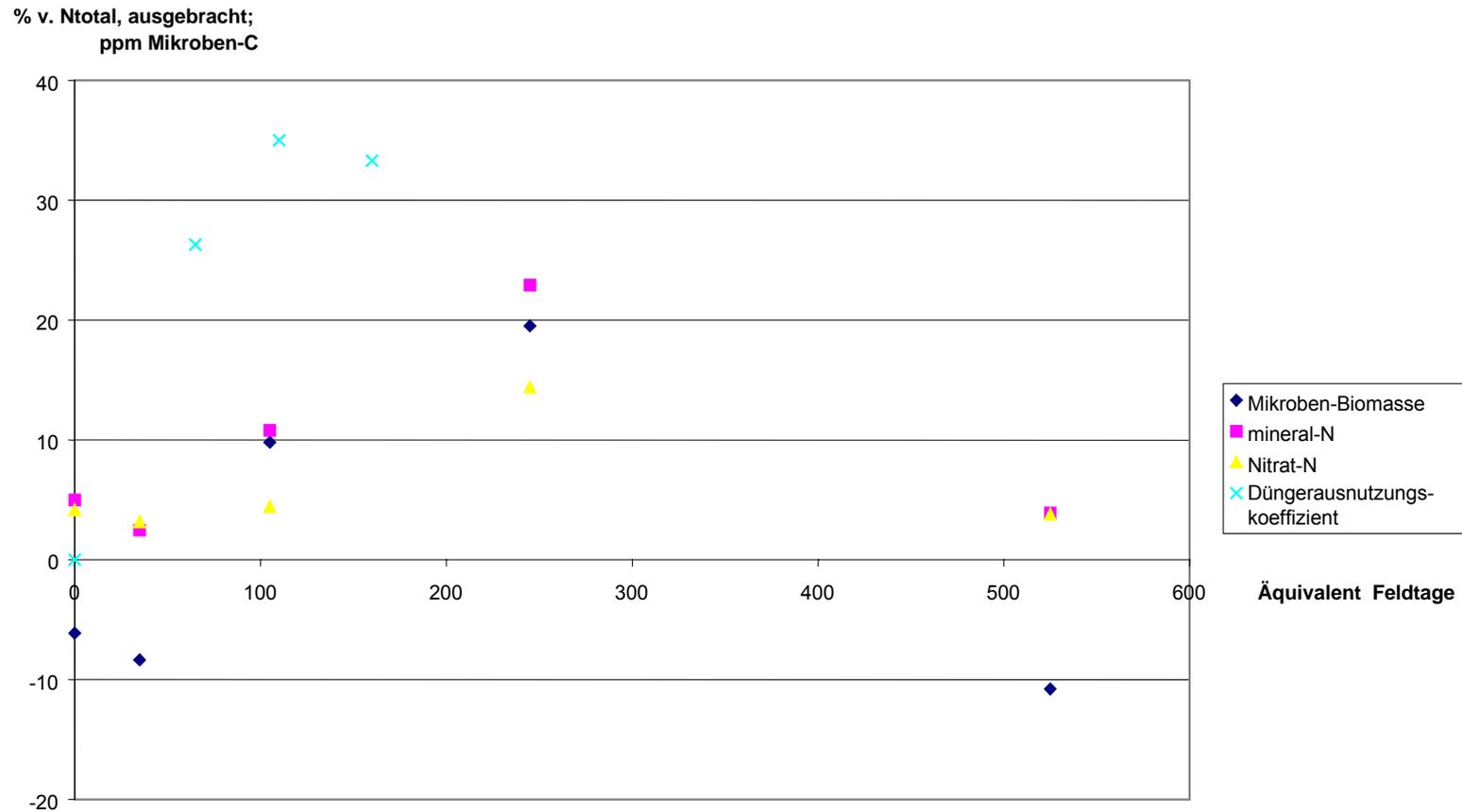
**ANHANG 11:
 GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ANALYSENERGEBNISSE VON IM RAHMEN DES PROJEKTS UNTERSUCHTEN KOMPOSTEN DES TYPUS RET-BD (SELTEN UMGESETZTER STALLMISTKOMPOST-BIO-DYN.)**



ANHANG 12: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ANALYSENERGEBNISSE VON IM RAHMEN DES PROJEKTS UNTERSUCHTEN KOMPOSTEN DES TYPUS INT (INTENSIV UMGESETZTER STALLMISTKOMPOST)



ANHANG 13: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ANALYSENERGEBNISSE VON IM RAHMEN DES PROJEKTS UNTERSUCHTEN KOMPOSTEN DES TYPUS INT-BD (SELTEN UMGESETZTER STALLMISTKOMPOST – BIO-DYN.)



Anhang 14: Projektposter

- 1 Stickstoffverfügbarkeit von kompostierten 'Abfällen' im Ökolandbau**
- 2 Kompostierung**
- 3 Kompostqualität**
- 4 Bioabfälle auf den Acker? Für und Wider (Idealer Kompostkreislauf)**
- 5 Bioabfälle auf den Acker? Für und Wider (gestörter Kompostkreislauf)**