

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. Landwirtschaft.)

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;
- Hygienisierung 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 größer 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 Tonminerale, 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 Stickstoffreisetzungs-kapazität

- **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 Stickstoff-mineralisierung 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.