

**Zeitschrift:** Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme

**Herausgeber:** Schweizerische Vereinigung für Landesplanung

**Band:** 16 (1959)

**Heft:** 5

**Artikel:** Fortschritte auf dem Gebiete der Müllverwertung

**Autor:** Braun, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-783638>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Fortschritte auf dem Gebiete der Müllverwertung\*

Von Dr. sc. nat. R. Braun und Dr.-Ing. agr. P. Keller, EAWAG, Zürich

Wie dringlich das Problem der hygienisch einwandfreien und wirtschaftlich tragbaren Beseitigung und Verwertung der Siedlungsabfälle, also des Hausmülls (Kehricht) und des Abwasserklärschlammes, in allen Ländern der Erde ist, zeigte sich besonders deutlich an diesem Kongress in Holland, der unter dem Vorsitz von Prof. Dr. O. Jaag, dem Präsidenten der IAM, durchgeführt wurde. Rund 200 Teilnehmer aus 22 europäischen und aussereuropäischen Ländern, sowie Vertreter der Weltgesundheitsorganisation, gewannen in Form von Vorträgen, Diskussionen und Besichtigungen der wichtigsten holländischen Kompostwerke ein gutes Bild über den neuesten Stand der Praxis und der Forschung. Es war das besondere Ziel des Kongresses, die wissenschaftlichen Grundlagen für die biologisch-chemischen Vorgänge bei der Müllkompostierung darzulegen. Auf Grund der neuesten Kenntnisse erweist sich die Kompostierung von Müll und Klärschlamm als ein hygienisch einwandfreies, wirtschaftlich vernünftiges und landwirtschaftlich wertvolles Verfahren zur Beseitigung und Verwertung der Siedlungsabfälle.

Im folgenden soll versucht werden, den an diesem Kongress gebotenen Wissensstoff gewissermassen in Konzentraform wiederzugeben.

## I. Technik der Müllaufbereitung

(Vorträge Nr. 2 und 3 siehe Aufstellung am Schluss dieses Artikels)

Für eine einwandfreie Beseitigung der festen und flüssigen Siedlungsabfälle bestehen heute zwei Möglichkeiten, nämlich die Verbrennung und die Kompostierung.

Bei der Verbrennung werden die hygienischen Anforderungen restlos erfüllt. Durch die neuen technischen Entwicklungen können die Betriebskosten für grosse Verbrennungsanlagen in tragbaren Grenzen gehalten werden. Dies setzt jedoch voraus, dass die anfallende Energie das ganze Jahr hindurch in voller Höhe abgesetzt werden kann. Für kleinere und mittelgrosse Gemeinden kommen jedoch die Bau- und Betriebskosten im allgemeinen sehr hoch zu stehen. Ferner werden sich dabei auch eher Schwierigkeiten im Absatz der anfallenden Wärme ergeben, als in Großstädten. Zudem werden bei der Verbrennung die wertvollen organischen Abfallstoffe nicht in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt.

Die Kompostierung der festen und flüssigen Abfallstoffe in zweckmäßig gebauten Anlagen vermag

ebenfalls die hygienischen Anforderungen zu erfüllen. Kompostwerke bedingen bedeutend niedrigere Bau- und Betriebskosten als Verbrennungswerke. Zudem lassen sich Kompostwerke auch für kleinere Gemeinden erstellen und betreiben. Die Betriebskosten können zu einem grossen Teil durch den Verkauf von Kompost gedeckt werden. Landwirtschaft, Gartenbau, Weinbau und Waldwirtschaft (Forstgärten) erhalten in Form des Kompostes wertvolles organisches Material zur Verbesserung der Bodenstruktur und der Bodenfruchtbarkeit.

Die heute üblichen Verfahren zur Kompostierung von Müll, mit und ohne Zusatz von Klärschlamm, lassen sich in folgende Gruppen teilen:

1. Kompostierung des rohen oder vorsortierten, aber unzerkleinerten Frischmülls in mehrmals umgesetzten Mieten bis zur völligen Reife des Kompostes und anschliessender Aufarbeitung zur Ausscheidung von Fremdstoffen (z. B. Indore-Verfahren, Van-Maanen-Verfahren und Baden-Baden-Verfahren);
2. Vorkompostierung von rohem oder vorsortiertem oder zerkleinertem Müll in geschlossenen Gärzellen mit Belüftung und anschliessender Nachverrottung in Mieten (Verfahren Beccari, Verdier, Ewason-Frazer, Dano-Biostabilisator, Earp-Thomas bzw. Multibacto);
3. mechanische Zerkleinerung des Frischmülls mit Siebraspeln (Dorr-Oliver) oder Hammermühlen (Bühler, Hazemag) mit anschliessender Verrottung in mehrmals umgesetzten Mieten bis zur völligen Reife.

Mit allen diesen Verfahren kann ein hygienisch einwandfreier und auch qualitativ befriedigender Kompost hergestellt werden, sofern ein optimaler Feuchtigkeitsgehalt des Materials und die Behandlung der Mieten eine aerobe Verrottung gewährleisten. Beim Auftreten anaerober Fäulnisprozesse lassen sich Geruch, Ungezieferplagen usw. nicht vermeiden, weshalb auf einen einwandfreien Rotteverlauf geachtet werden muss. Die verschiedenen Arbeitsprozesse bei diesen Verfahren lassen sich heute weitgehend mechanisieren, zum Teil schon automatisieren. Gewisse Detailprobleme, wie z. B. die Auslese der Altstoffe — mit Ausnahme der Eisenmetalle — müssen jedoch technisch noch verbessert werden.

Für die einzelnen Aufbereitungsetappen der drei bereits geschilderten Verfahrensgruppen, wie Speichern des stossweise an kommenden Rohmülls, Beschickung der Aufbereitungsgeräte mit gleichgrossen Mengen von Rohmüll, Absiebung der Asche aus Rohmüll oder der Sperrstoffe aus Rohkompost,

\* Bericht über den I. Internationalen Kongress für Beseitigung und Verwertung von Siedlungsabfällen, in Scheveningen (Holland), vom 27. April bis 1. Mai 1959, unter dem Patronat der Internationalen Arbeitsgemeinschaft für Müllforschung (IAM) in Zürich. (Gilt als Mitteilung Nr. 156 aus der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz [EAWAG] an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, Direktor: Prof. Dr. O. Jaag.)

Zerkleinerung der organischen und mineralischen Stoffe des Rohmülls,  
Enteisenung,  
Mischung der festen und flüssigen Abfallstoffe,  
Fördern der vorbehandelten Massen nach den Mietentplätzen,  
Aufsetzen und Umarbeiten der Mieten,  
Bewegung und Belüftung derrottenden Massen in Gärzellen

werden von der Industrie geeignete und leistungsfähige Geräte entwickelt, mit deren Hilfe die Kompostierung der Siedlungsabfälle weitgehend mechanisiert werden kann.

Wesentlich für die Qualität eines Kompostes ist die weitgehende Abwesenheit von Steinen, Glas- und Keramikscherben und anderer Hartstoffe. Diese Fremdstoffe werden heute entweder pulversisiert (Hammermühle) oder ausgeschieden (Wurfschleuder, Siebtrommel, Sortierkanäle).

Im Gartenbau werden im Frühjahr grosse Mengen von nur leicht verrottetem Kompost als Wärmesender für Frühbeetpackungen benötigt. Dieser Stoffbedarf zu bestimmten Jahreszeiten führte dazu, dass nach Möglichkeiten gesucht wurde, um unreifen Kompost ohne Verlust an organischer Substanz lagern bzw. konservern zu können. Die Lagerung von unreifem Kompost in dichtgepackten Mieten führt bekanntlich zu anaeroben Abbauvorgängen mit allen nachteiligen Begleiterscheinungen. Als eine zweckmässige Konservierungsmöglichkeit des unreifen Kompostes hat sich die Brikettierung mit nachfolgender Lufttrocknung auf 5–10 % Restwassergehalt erwiesen. Die Kompostbriketts lassen sich sehr gut transportieren und stapeln. Da die meisten Rotteorganismen Sporenbildner sind, genügt das Zerkleinern der Briketts in einfachen Hammermühlen und das Befeuchten auf den optimalen Wassergehalt von 40–60 %, um innert kurzer Zeit wieder Rottetemperaturen bis zu 70 °C zu erhalten (siehe Abb. 1).

Für die gemeinsame Verarbeitung von Müll und Klärschlamm in äquivalenten Mengen, d.h. in Mengen, in denen beide Abfallstoffe in einem bestimmten Einzugsgebiet anfallen, muss der Klärschlamm entweder natürlich oder künstlich entwässert werden. Er kann zunächst auf Trockenbeeten gelagert und anschliessend in Gärhaufen unter Ausnutzung der Gärwärmee auf einen Restwassergehalt von 10–20 % getrocknet werden. Eine Beschleunigung des Trocknungsprozesses kann erreicht werden, indem man den Schlamm in den Beeten mehrmals umpflügt und ihn nachher in Gärhaufen aufschichtet. Für die künstliche Entwässerung des Schlammes bestehen folgende Möglichkeiten:

Heisslufttrocknung,  
Filtration (Saugzellenfilter oder Druckfilter),  
Zentrifugierung,  
Vibrationsentwässerung.

Die Heisslufttrocknung und die Filtration verursachen relativ hohe Betriebskosten, dafür ist das abgeschiedene Wasser praktisch frei von Feststoffen. Bei

der Zentrifugierung und der Vibrationsentwässerung entsteht ein Filtrat, das zum Teil kolloid- bis grobdisperse Stoffe enthält, die in einer Nachbehandlung in Trockenbeeten oder Sandfiltern entfernt werden müssen. Dafür sind die Betriebskosten bedeutend niedriger und die Kapazität ist grösser.

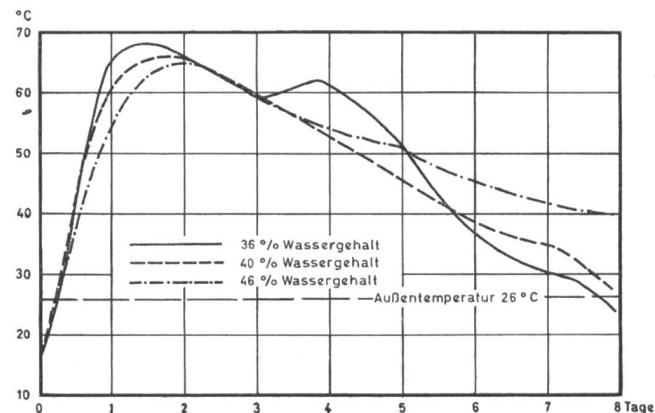


Abb. 1. Der Verlauf der Gärwärme bei der Verrottung von getrocknetem Frischmüll nach seiner Wiederbefeuchtung, nach Pöpel (2).

Die gemeinsame Kompostierung von Müll und Klärschlamm bietet folgende Vorteile:

1. Durch die hohen Rottetemperaturen beim aeroben Abbau wird der Klärschlamm in ein hygienisch einwandfreies Produkt übergeführt. Pathogene Keime, Wurmeier und Unkrautsamen werden vernichtet.
2. Durch Zusatz von Klärschlamm wird die Kompostqualität bedeutend verbessert, was sich vor allem in einer Erhöhung des Gehaltes an Stickstoff, Phosphor und Dauerhumusstoffen bemerkbar macht.
3. Der Zusatz von Klärschlamm bewirkt eine intensive Rotte des Kompostes infolge Impfung mit Mikroorganismen, Herabsetzung des C/N-Verhältnisses und Befeuchtung des an sich zu trockenen Mülls.

Ein sehr schönes Beispiel einer weitgehend automatisierten Müllkompostierungsanlage bietet diejenige von Jersey (England), die kurz beschrieben werden soll. Dort werden täglich 60, zeitweise bis 100 Tonnen Frischmüll mit äquivalenten Mengen von Klärschlamm zu Kompost verarbeitet. Der Frischmüll wird auf einem Rotiersieb von Asche und Schlacke befreit (siehe Abb. 2). Der feine Staub wird dem Müll ebenfalls entzogen und in besonderen Behältern gelagert, um später wieder nach Bedarf dem Kompost zugeführt zu werden. Feiner Staub ist infolge seines Gehaltes an organischer Substanz und Spurenelementen wertvoll. Der Staubgehalt ist in den Wintermonaten jedoch zu hoch, in den Sommermonaten zu niedrig. Ein gewisser Staubgehalt ist erwünscht, namentlich als Bindemittel für den Klärschlamm.

Glas, Nichteisenmetalle und andere zur Kompostierung ungeeignete Stoffe werden hierauf auf einem Förderband von Hand ausgelesen, Eisen elektromagnetisch entfernt, gepresst und mit anderen Metallen als Schrott verkauft. Der verbleibende Müll wird in einer Raspelmaschine (Dorr-Oliver) zerkleinert, worauf mit einem ballistischen Separator die kleinen Glas- und Keramikscherben und andere Hartstoffe entfernt werden. Sperrige Abfälle, wie Stauden, Pappschachteln, Schlachthofabfälle usw. werden in einer einfachen Hammermühle zerkleinert und der Raspelmaschine zugeführt.

Der zerkleinerte Müll wird nun mit Staub und Klärschlamm (oder Wasser) in einer Trommel vermischt. In Vorversuchen zeigte es sich, dass der optimale Feuchtigkeitsgehalt zur Kompostierung bei 65 % lag. Das gewünschte Verhältnis von Staub, Klärschlamm und Müll ist also bekannt. Die Schwierigkeit liegt lediglich im grossen Wechsel der im Laufe eines Tages angeführten Müllmengen. Diese Schwierigkeit wurde behoben durch die Erstellung zweier automatischer Waagen mit Dosierung längs des Förderbandes für den zerkleinerten Müll. Die eine Waage registriert und regelt die Staubzufuhr, die andere die Müllzufuhr. Die Zahlen beider elektrisch gekoppelten Waagen regeln die Geschwindigkeit der Klärschlammmpumpe. Die gewünschten Mischungsverhältnisse, die abhängig sind vom Feuchtigkeitsgehalt des Mülls, werden am Kontrollpult eingestellt und automatisch aufrechterhalten, unabhängig von der Menge des anfallenden Mülls.

Schwierig war eine ausreichende Umschichtung und Belüftung des zu kompostierenden Materials, um eine schnelle und einheitlich aerobe Verrottung zu erzielen. Nach zahlreichen Vorversuchen mit verschiedenen Systemen wurden sechs senkrecht übereinanderliegende Zellen konstruiert, bestehend aus halbkreisförmigen, durchlöcherten Trögen, die umgekippt werden können und so ihren Inhalt in den darunterliegenden Trog entleeren. Der Müll wird in der obersten Zelle etwa 1,2 m hoch aufgeschichtet und nach 24 Stunden in die darunterliegende Zelle gekippt. Die Kapa-

zität beträgt 80 Tonnen pro Tag, der Aufenthalt des Mülls im Zellsystem sechs Tage, so dass total 480 Tonnen Müll in einem Turm mit einer Grundfläche von nur 126 m<sup>2</sup> vorverrottet werden können. Durch die hohen Temperaturen im Turm (70—75 ° C) entsteht ein «Schornsteineffekt», so dass eine künstliche Belüftung nicht notwendig ist.

Dieser vorverrottete Kompost kann bei sofortiger Anwendung Schädigungen bei Pflanzen hervorrufen; daher muss er zum Ausreifen während 8—12 Wochen in Mieten gelagert werden. Die Mieten sind in den ersten sechs Wochen mit einem Dach versehen, um sie vor Regen zu schützen. Die Jahresproduktion an ausgereiftem Kompost beträgt etwa 8 000—10 000 Tonnen.

Die Bau- und Betriebskosten: £

a) Baukosten: Maschinen und Gärzellen . . . . .	111 000.—
Gebäude, Wege, Dienste usw. . . . .	102 000.—
	Total 213 000.—
b) Betriebskosten/Jahr . . . . .	rd. 18 000.—
c) Einnahmen/Jahr . . . . .	rd. 9 500.—

## II. Biologische und hygienische Probleme bei der Kompostierung

(Vorträge Nr. 4 und 5)

Wenn Müll und Klärschlamm verwertet werden sollen, bedürfen sie einer Vorbehandlung, weil sie in ein streufähiges Bodenverbesserungsmittel umgewandelt werden und weitgehend frei von pathogenen Keimen, Wurmeiern und Unkrautsamen sein müssen. Infolge der wechselnden Zusammensetzung der Rohstoffe stellt der Kompostierungsvorgang ein schwer übersehbares Neben- und Ineinanderwirken einer grossen Zahl von Einzelprozessen dar, die von Mikroorganismen ausgelöst und vollzogen werden. Diese Prozesse lassen sich in zwei Hauptgruppen gliedern, nämlich in Vorgänge, die zu einer chemischen, physikalischen und biologischen Veränderung der organischen

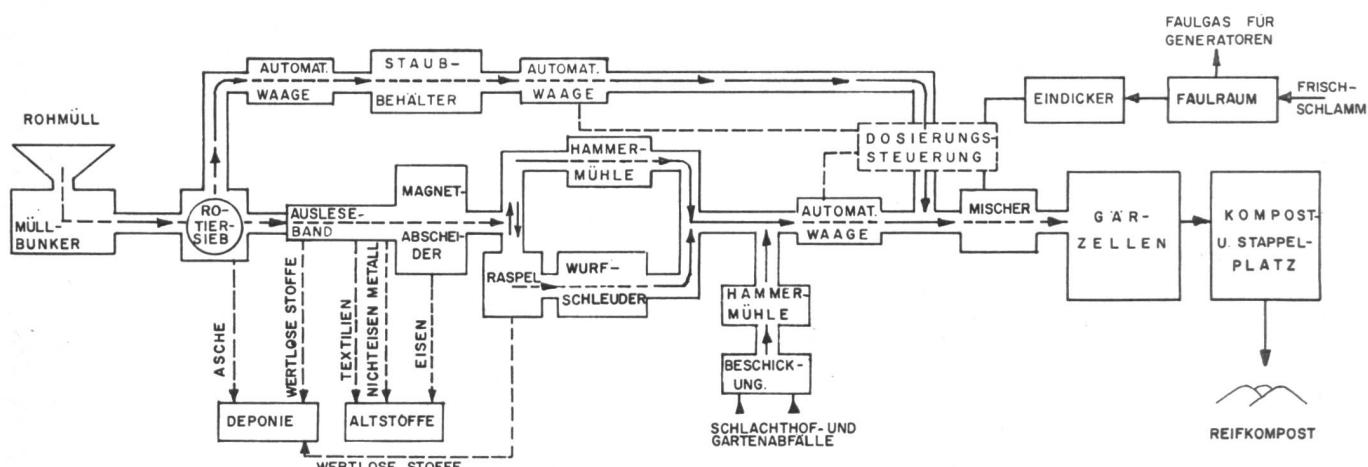


Abb. 2. Schema des Müllkompostwerkes Jersey (England), nach Gothard (3).

Substanz führen und in Vorgänge, die das Schicksal der pathogenen Mikroben beeinflussen.

Es ist naheliegend, dass von den verschiedenen Verfahren der Kompostierung nur diejenigen Anspruch auf eine Verbreitung in der Praxis haben, die zu einem hygienisch einwandfreien Endprodukt führen, denn bei jeder Planung und Durchführung der Müllklärschlamm-Beseitigung müssen die hygienischen Belange an oberster Stelle stehen.

Normaler Stadtmüll stellt seuchenhygienisch keinen besonders schädlichen Stoff dar. Infektionen und berufsspezifische Krankheiten sind bei Müllarbeitern, selbst unter Berücksichtigung der manuellen Müllsortierung, so gut wie unbekannt. Bei der Einsammlung, Lagerung und Verwertung des Mülls müssen jedoch in allgemein hygienischer und ästhetischer Hinsicht gewisse Forderungen erfüllt werden. Insbesondere müssen die Bedenken der Gewässerschutz-Fachleute gegenüber der wilden wie auch der gegebenen Deponie des Mülls wegen der Gefährdung ober- und unterirdischer Gewässer voll und ganz bekräftigt werden.

Beim Klärschlamm hingegen stellen sich diese Probleme wesentlich schwieriger. Eine nicht einwandfreie und unkontrollierte Beseitigung und Verwertung der Abwasserrückstände bietet in seuchenhygienischer Hinsicht grosse Gefahren. Normalerweise werden allerdings hochinfektiöse Abwasserrückstände von Spitätern, Sanatorien und ärztlichen Praxisräumen am Ort des Anfalles selbst unschädlich gemacht. Es sind jedoch die unerkannten, nicht isolierten Dauerausscheider pathogener Mikroben bei Mensch und Tier, die zahlenmäßig nicht erfasst werden können, die aber eine beträchtliche latente Gefahr bedeuten. Es muss also zum vornehmerein im Klärschlamm mit human- und tierpathogenen Keimen gerechnet werden, die im Interesse der Seuchenhygiene vernichtet werden müssen. Mit Hitzebehandlung über  $100^{\circ}\text{C}$  kann der Klärschlamm in einen hygienisch einwandfreien Zustand übergeführt werden. Diese Temperaturen können jedoch nur in teuren, unwirtschaftlichen Trocknungsanlagen erreicht werden. Es müssen also für die Beseitigung der Abwasserrückstände neue Wege beschritten werden, die einerseits eine hygienisch einwandfreie und wirtschaftlich tragbare Abfallbeseitigung garantieren, die aber andererseits auch gleichzeitig den Interessen der Landwirtschaft entgegenkommen.

Die Arbeitsgemeinschaft Baden-Baden, in der verschiedene Institute der Hygiene, der Veterinärmedizin und der Mikrobiologie zusammengeschlossen sind, verfolgte das Ziel, wissenschaftliche und praktische Grundlagen auf dem Gebiete der Kompostierung des Mülls und des Klärschlammes zu schaffen, unter Berücksichtigung landwirtschaftlicher, mikrobiologischer, human- und veterinärhygienischer Gesichtspunkte. Es sollten Erkenntnisse und Bewertungsmaßstäbe gewonnen werden, die es ermöglichen, die bisher gegen das Kompostierungsverfahren vorliegenden Bedenken und Unklarheiten zu beseitigen.

Die Kompostierung ist ein durch Mikroorganismen ausgelöster exothermer Vorgang, wie bereits Miehe 1930 anhand seiner Versuche mit Heu beweisen konnte. Steriles Heu erhitzt sich nicht, unterliegt also keinem Rotteprozess. Dasselbe gilt auch für andere organische Stoffe. In einem frischen Gemisch von Müll und Klärschlamm konnten mit der Kochschen Plattenmethode etwa 6 Milliarden Keime pro Gramm Originalsubstanz festgestellt werden. In Wirklichkeit ist diese Organismenzahl noch weit grösser, da mit dieser Methode nur ein Bruchteil der tatsächlich vorhandenen Keime

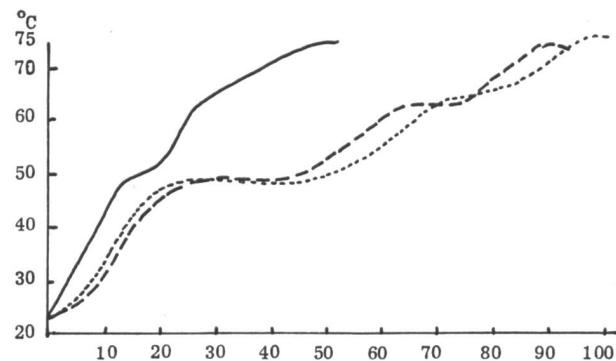


Abb. 3. Selbsterhitzung von Frischmüll und Faulschlamm, nach Glathe (4):

Sofort nach der Zerkleinerung geprüft.  
Geprüft, nachdem das Gemisch 9 Tage Temperaturen von  $-4^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt war.  
Geprüft, nachdem das Gemisch 18 Tage bei  $-4^{\circ}\text{C}$  gelegen hatte.

erfasst werden kann. Die Besiedlungsdichte ist also rund 100- bis 1000mal grösser als diejenige in sehr guten Böden! Ein grosser Teil dieser Bakterien in diesem Gemisch stammt aus dem ausgefualten Klärschlamm, also aus einem anaeroben Milieu. Trotzdem sind sie, wie anhand der Versuche bewiesen werden konnte, nicht ohne Einfluss auf den aeroben Rotteprozess.

Unmittelbar nach dem Aufsetzen auf Mieten tritt in diesem Müll-Klärschlamm-Gemisch eine Selbsterhitzung ein. Zu Beginn derselben sind die mesophilen Bakterien in Tätigkeit. In Abb. 3 ist ersichtlich, dass die Temperaturen (ausgezogene Kurve) in Form einer regelmässigen Kurve bis auf etwa 45 bis  $55^{\circ}\text{C}$  ansteigen. Dann tritt eine Verzögerung im Temperaturanstieg ein, weil die mesophilen Bakterien ihre Tätigkeit einstellen und die thermophilen (wärmeliebenden) Bakterien erst einer grossen Vermehrung bedürfen, bevor die von ihnen erzeugte Wärmemenge messbar ist. Je höher die Organismenzahl, desto rascher ist die Selbsterhitzung. Deshalb hat die Beimischung von Klärschlamm zum Müll einen intensivierenden Einfluss auf den Rotteprozess.

Diese Selbsterhitzung wird stark verzögert, wenn das zu kompostierende Material vorher erhitzt oder unterkühlt wird, wie dies ebenfalls aus Abb. 3 ersichtlich ist. Die Ursache dieser Verzögerung liegt in einer

Schädigung der Mikroorganismen. Sobald die Temperatur in den Mieten zu hoch steigt (über 72 ° C), wird der grösste Teil der Mikroflora abgetötet. Nachdem sich das Material nach dieser thermophilen Phase wieder auf etwa 45 ° C abgekühlt hat, vermehren sich die mesophilen Bakterien wieder stärker. In dieser «abklingenden mesophilen Phase» nach Glathe werden auch zahlreiche Pilzarten gefunden, die sich am Rottevorgang beteiligen.

In allen von der erwähnten Arbeitsgemeinschaft durchgeführten Versuchen kam es deutlich zum Ausdruck, dass eine Impfung des Rohmaterials mit Reinkulturen von Mikroorganismen ergebnislos blieb. Wenn man die im Müll-Klärschlamm-Gemisch vorhandene gewaltige Bakterienflora berücksichtigt, hiesse es Eulen nach Aulen tragen, wenn das Rohmaterial geimpft würde. Bei verschiedenen «Impfpräparaten» werden angeblich auch Reinkulturen von Azotobakter bzw. nitrifizierenden Bakterien verwendet. In den Versuchen Baden-Baden wurde festgestellt, dass Azotobakter, der in grossen Mengen in die Mieten eingeimpft worden war, in keinem Falle nach der thermophilen Phase isoliert werden konnte. Die Impfung mit nitrifizierenden Bakterien ist zwecklos, denn diese Organismen werden bereits im Rohmaterial gefunden, also brauchen sie nicht zugeführt zu werden, abgesehen davon, dass sie die thermophile Phase gar nicht überleben.

Auch die vielerorts noch vertretene Meinung, dass es möglich sei, mit Hilfe von Impfpräparaten die Bildung anaerober Fäulniszonen in den Mieten zu verhindern, ist irrig. Schwarzgefärbte Zonen sind die Folge von Sauerstoffmangel und nicht von Mangel an bestimmten Organismen.

Um die hygienischen Fragen abzuklären, wurden ausgedehnte Labor- und Freilandversuche durchgeführt, bei denen Mischkulturen von aus Abwässern und Vorflutern gezüchteten pathogenen Keimen in Gelatinekapseln mit etwa 100 g Rohmaterial in Perlonbeuteln verpackt und in die Versuchsmieten an verschiedenen Stellen eingesetzt wurden. Es handelte sich dabei um die Salmonellen-Stämme S. typhi-murium (Breslau), S. cairo (sehr widerstandsfähig gegen äussere Einflüsse), S. infantis und S. typhi. Parallel dazu wurden zur Kontrolle Perlonbeutel mit demselben Infektionsmaterial im Kühlschrank und bei Zimmertemperatur aufbewahrt.

Bei der ersten Umarbeitung der Mieten, d. h. nach einer Rottezeit von 50 Tagen, wurden die Kulturen geprüft. In der Kompostmiete waren sämliche pathogenen Keime vernichtet. In der Kontrolle waren sie noch nachweisbar.

Bisher war man der Ansicht, dass nur dann der Kompost hygienisch einwandfrei sei, wenn die Temperatur während der Kompostierung auf 60 bis 70 ° C angestiegen war. Auf Grund der von Golueke, Gotaas u. a. Autoren festgestellten Letaltemperaturen für pathogene Keime wurden mitunter sogar Temperaturen von über 70 ° C gefordert. Es ist aber nicht gleichgültig, ob diese Temperaturen eine Stunde, einen Tag oder einen Monat einwirken. Bei der Bestimmung

der Letaltemperatur wurde jedoch meistens als Zeitfaktor eine Stunde angenommen. Bei der Kompostierung wirken die Temperaturen jedoch viel länger. Ferner ist neben der Temperatur auch die antagonistische Wirkung der Rotteorganismen auf pathogene Keime zu berücksichtigen.

Bei den Versuchen in Baden-Baden zeigte es sich eindeutig, dass die pathogenen Keime auch dann vernichtet waren, wenn sich die Temperatur nicht über 60 ° C erhöhte. Es kann also nicht nur die Temperatur sein, die zu dieser Vernichtung führte. Man erkannte, dass die Resistenz einzelner pathogener Keime im trockenen Milieu viel grösser ist als im feuchten. Ein genügend hoher Wassergehalt des zu kompostierenden Materials ist also Voraussetzung für eine hygienisch einwandfreie Kompostierung.

Bei weiteren Versuchen ergab sich, dass selbst bei einer konstanten Temperatur von nur 50 ° C Paratyphus-B-Kulturen am zweiten Tage und Salmonella cairo am siebenten Tage in den Mieten vernichtet waren. Das beimpfte Material besass einen Feuchtigkeitsgehalt von 50 %. Kontrollkulturen, die bei 37 ° und 50 ° im Brutschrank aufbewahrt wurden, zeigten noch nach acht Tagen lebende Paratyphus-B-Bakterien, nach 17 Tagen noch Salmonella cairo!

Diese Ergebnisse beweisen deutlich genug, dass es nicht allein physikalisch-thermische Prozesse sein können, die zu einer Abtötung pathogener Keime führen, sondern dass auch antagonistische Vorgänge, hervorgerufen durch antibiotische Hemmstoffe, vorliegen, die sich in diesen Prozess einer Art «Selbstreinigung» einschalten.

Um diese antibiotischen Stoffe nachzuweisen, wurden von angerottetem Kompostmaterial wässrige Extrakte hergestellt, sterilisiert und mit Fleischwasser als Nährmedium für die Bakterien gemischt. Diese Extrakte wurden wiederum mit pathogenen Keimen geimpft und bei 50 ° C aufbewahrt. Während in den Kontrollen (Fleischwasser + Bakterien) die Paratyphus-B-Bakterien fast vier Wochen lang lebend waren, konnten sie im Fleischwasser-Kompost-Extrakt nach zehn Tagen nicht mehr nachgewiesen werden. Entsprechende Versuche mit der widerstandsfähigeren Salmonella cairo zeigten ein ähnliches Bild, mit dem Unterschied, dass erst am 14. Tage die Keime abgetötet waren.

Mit den Kompostextrakten wurden dann Empfindlichkeitsversuche durchgeführt, wie diese bei der Resistenzbestimmung pathogener Keime gegen Antibiotika üblich sind. Zu diesem Zweck wurden die Extrakte einer Vakuumgefriertrocknung unterworfen und mit dem Lochtestversuch gegen pathogene Keime auf Elektivnährböden ausgetestet. Daraus ging eindeutig hervor, dass bei der Müll-Klärschlamm-Kompostierung mehrere antibiotische Komponenten bei der Vernichtung der pathogenen Mikroben mitwirken.

Aus den Baden-Badener Versuchen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Forderungen der Hygiene bei der geregelten Kompostierung von Müll mit Klärschlamm weitgehend erfüllt werden, selbst

wenn die Mietentemperatur 60 °C nicht überschreitet. Diese wochenlang anhaltenden Temperaturen, zusammen mit den von den Rotteorganismen ausgeschiedenen antibiotischen Stoffen, gewährleisten eine Vernichtung der pathogenen Keime, Wurmeier und Unkrautsamen. Dies gilt natürlich nur unter der Voraussetzung, dass die Bedingungen für eine einwandfreie Kompostierung (Wassergehalt, Sauerstoffzufuhr, Nährstoffverhältnisse, Umarbeitung der Mieten usw.) genau eingehalten werden.

### III. Die Wirkung des Kompostes auf Pflanze und Boden (Vorträge Nr. 6, 7 und 8)

Um die Wirkung von Müll, aufbereitet nach dem Verfahren Dorr-Oliver, frisch geraspelt und kompostiert, auf die Nährstoffaufnahme der Pflanzen festzustellen, hat Sauerlandt (6) einen dreijährigen Feldversuch mit Zuckerrüben, Hafer und Roggen durchgeführt. Die Nährstoffaufnahme ist bekanntlich mit dem Pflanzenwachstum und dem Ertrag eng verbunden. Dabei spielen als variable Faktoren der Einfluss des Klimas, die physiologischen Eigenschaften der Pflanzen, das Nährstoffangebot im Boden sowie die in ihm verlaufenden Abbauvorgänge der organischen Substanz eine bedeutende Rolle. Da der erwähnte Feldversuch jedoch in gleichen Parzellen mit gleichem Pflanzenmaterial durchgeführt wurde, bleibt als variabler Faktor nur noch der Einfluss des Mülls auf Ertrag und Nährstoffaufnahme. Gemessen wurde die Aufnahme von Stickstoff, Phosphor, Kalzium, Magnesium und Kalium. Da bei Magnesium und Kalium keine wesentlichen Unterschiede festgestellt wurden, soll nur die Aufnahme der drei ersten Nährstoffe näher diskutiert werden.

Über den Gehalt des Müllkompostes an Nährstoffen ist man zur Genüge orientiert. Hingegen weiss man bis heute wenig über die Bindung dieser Nährstoffe und über die bei der Zersetzung der Komposte im Boden entstehenden organischen Verbindungen. Man rechnet damit, dass z. B. pro 100 kg zersetzer Zellulose etwa 0,3 bis 0,5 kg Phosphor von den Mikroorganismen assimiliert werden. Ein beträchtlicher Teil des Phosphors liegt im Müllkompost in organischer Bindung, wahrscheinlich in Form von Nukleinsäuren, vor.

Um den Abbau der dem Boden durch Frischmüll und Müllkompost zugeführten organischen Substanz festzustellen, wurden die verschiedenen Pflanzparzellen mit je 100 t/ha Raspelgut (frisch und kompostiert) behandelt, neben einer einheitlichen Mineraldüngung. Es zeigten sich dabei folgende Veränderungen im Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Boden:

#### Milligramm Kohlenstoff pro 100 g Boden

	Bei Versuchsbeginn	Nach 7 Mt.	Nach 11 Mt.	Nach 16 Mt.	Nach 28 Mt.	
Ohne Müll	.	890	959	937	902	906
+ Müllkompost	1220	1209	1156	1064	1047	
+ Frischmüll	1248	1232	1060	1084	1095	

Die Tabelle zeigt, dass die organische Masse des frischen Raspelgutes unter den Witterungsbedingungen des ersten Versuchsjahres schnell zersetzt wurde. Während in den ersten sechs Monaten nur rund 25 % mineralisiert wurden, belief sich der Abbau der mit dem Raspelgut zugeführten organischen Kohlenstoffverbindungen nach weiteren sechs Monaten auf rund 65 %. Damit dürfte die brauchbare, wirksame organische Masse des frischen Mülls innerhalb Jahresfrist annähernd vollständig zersetzt worden sein.

Die Aufnahme des Kalziums war während des ersten Vegetationsjahres in der Parzelle mit frischem Raspelgut gegenüber den Vergleichsparzellen mit und ohne Müllkompost beträchtlich erhöht. Im zweiten Versuchsjahr wurde eine erhebliche Nachwirkung beobachtet, verbunden mit einer gesteigerten Aufnahme an Stickstoff und Phosphor. Im dritten Versuchsjahr fielen Ertrag und Nährstoffaufnahme gegenüber dem kompostierten Müll ab.

Das frische Raspelgut zeigte somit eine beträchtliche, jedoch zeitlich eng befristete Wirkung. Die Nachwirkung, insbesondere im dritten Versuchsjahr, war auf den Ertrag geringer als auf die Aufnahme von Stickstoff und Phosphor.

Das kompostierte Material wurde im Boden langsamer zersetzt. Die Nährstoffversorgung der Pflanzen wurde über eine längere Zeit gefördert. Die am Ertrag gemessene Nachwirkung war in den zwei Folgejahren annähernd gleich. Hinsichtlich der Aufnahme an Stickstoff und Phosphor war die Nachwirkung des Kompostes geringer als die des frischen Raspelgutes.

Im Gegensatz zum frischen Raspelgut war der Einfluss des Müllkompostes im zweiten Nachwirkungsjahr auf den Ertrag grösser als auf die Aufnahme der Nährstoffe:

#### Wirkung von Frischmüll und Müllkompost auf den Ertrag

	Relative Werte (ohne Müll = 100)			Müllkompost	Frischmüll
Erstwirkung 1956	.	.	.	117	117
1. Nachwirkung 1957	.	.	.	109	114
2. Nachwirkung 1958	.	.	.	111	104

Der Kompost führte also im Vergleich zum Frischmüll zu einer langsam, aber stetig und nachhaltig fliessenden Nährstoffquelle. Die Ertrags- und Nährstoffwerte zeigen aber auch deutlich, dass insbesondere bei der Anwendung von Müllkompost noch weitere Stoffe mitgewirkt haben, welche die Wachstumsbedingungen und den Ertrag förderten.

Die Beeinflussung der Nährstoffaufnahme durch organische Stoffe kann auf zwei verschiedene Ursachen zurückgeführt werden, nämlich

1. auf eine Erhöhung der Zugänglichkeit der Nährstoffe im Boden durch organische Anionen, die durch Komplexsalzbildung bzw. selektive Sorption eingeleitet werden kann;

2. auf die physiologische Wirkung gewisser im Boden gebildeter organischer Stoffe, die das Wachstum fördern. So ist z. B. bekannt, dass Huminsäuren das Wurzelwachstum fördern. Flraig und Mitarbeiter haben bewiesen, dass in den Kaltwasserextrakten von fein vermahlemem Weizenstroh aromatische Säuren als Spaltprodukte des Lignins vorkommen. Diese aromatischen Säuren vermögen Wachstum, Ertrag und Nährstoffaufnahme zu fördern.

Auch die halbstaatliche holländische Kompostierungsgesellschaft V. A. M. führt seit Jahren in ihrer Anlage in Wijster ausgedehnte Pflanzenversuche durch, bei denen die Auswirkungen des Müllkompostes auf Wachstum und Ertrag verschiedener Kulturpflanzen untersucht werden. Daneben werden durch das Institut für Bodenfruchtbarkeit in Groningen, neben chemischen, pflanzenphysiologischen und mikrobiologischen Kompostuntersuchungen, langjährige Feldversuche und Müllkompost in verschiedenen Gegenden Hollands angelegt, mit dem Ziel, die Nachwirkung des Kompostes auf Pflanze und Boden festzustellen. Zudem soll untersucht werden, ob durch die Anwendung von Müllkompost der Gehalt an organischer Substanz in den verschiedenen Böden Hollands und damit deren Fruchtbarkeit erhöht werden kann. Der durchschnittliche Gehalt der holländischen Böden an organischer Substanz beträgt etwa 4 %, der optimale Gehalt für das Pflanzenwachstum liegt jedoch bei 8 %.

Aus diesen Versuchen können vorläufig folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Beim grössten Teil der untersuchten Kulturpflanzen führt die Anwendung von Müllkompost zu einem erhöhten Wachstum und einer Ertragssteigerung. Diese Steigerung ist um so grösser, je niedriger der Gehalt des Bodens an organischer Substanz und je schlechter seine physikalische Struktur ist.
2. Es ist möglich, den Gehalt eines Bodens an organischer Substanz und damit seine Fruchtbarkeit durch die Anwendung von Müllkompost zu erhöhen. Diese Erhöhung nähert sich asymptotisch einem Maximum, bei dem sich Zufuhr und Zersetzung der organischen Substanz die Waage halten, d. h. die Menge Kompost, die nötig ist, um die organische Substanz des Bodens um eine Einheit zu erhöhen, ist um so kleiner, je niedriger der Anfangsgehalt dieses Bodens an organischer Substanz ist.
3. Bei einem Boden, dessen Humusgehalt unter dem Optimum liegt, führt die Erhöhung des Humusgehaltes um eine Einheit durch Müllkompost (unter Einberechnung der Düngerwirkung des Müllkompostes) zu einer Ertragssteigerung von durchschnittlich 5—10 %.
4. Bei Parallelversuchen mit Kompost + Kunstdünger und Kunstdünger allein kann auf den mit Kompost behandelten Parzellen (jährliche Kunstdüngergabe, aber nur einmalige Kompostgabe) eine mehrere Jahre dauernde ertragssteigernde Nachwirkung des Kompostes beobachtet werden.

#### IV. Untersuchung und Beurteilung des Kompostes

(Vorträge Nr. 4 und 11 und Diskussionen)

Vergorene oder sich in Gärung befindliche organische Substanz, wie z. B. Müllkompost, ist in ihrer Qualität nur schwer zu beurteilen, da noch sehr viele der sich beim Abbau beteiligenden Prozesse zu wenig bekannt sind. Anderseits hat jedoch der Abnehmer dieser Produkte ein Recht darauf, über die Qualität aufgeklärt zu werden.

Die chemische Totalanalyse eines Kompostes gibt einen guten Einblick in die Zusammensetzung des Materials in bezug auf seine Hauptkomponenten (Dauer- und Nährhumus, Asche, Wasser, inerte organische Substanz, Nährstoffe usw.). Ein Vergleich der Müllkomposte verschiedener Länder ist jedoch schwierig, da infolge der sehr verschiedenen Methoden zur Bestimmung der einzelnen Komponenten ebenfalls die erhaltenen Werte stark differieren. Eine der Hauptaufgaben der Internationalen Arbeitsgemeinschaft für Müllforschung wird sein, in Zusammenarbeit mit den in den verschiedenen Ländern arbeitenden Instituten und Versuchsanstalten international anerkannte Untersuchungsmethoden zu vereinheitlichen.

Durch die chemische Totalanalyse, die, wie jede Serienanalyse, sehr schematisch ist, werden gewisse für die Praxis wertvolle Bestandteile des Müllkompostes nur ungenügend oder überhaupt nicht erfasst. Es ist daher notwendig, auf dem Gebiete der Kompostierung die Grundlagenforschung auszubauen, einmal, um gewisse Bestandteile des Reifkompostes näher zu untersuchen und ferner, um die chemischen und mikrobiologischen Veränderungen in den einzelnen Stadien der Verrottung abzuklären. Dabei sollten vor allem folgende Fragen abgeklärt werden:

1. Charakterisierung des in den verschiedenen Stadien der Verrottung gebildeten Dauerhumus (Humins- und Fulvosäuren) durch Gesamtanalyse (Elementaranalyse), Molekulargewichtsbestimmungen, Titrationskurven in verschiedenen Medien (Bestimmung der Kationenaustauschkapazität und der Säurestärke), Bestimmung der ionogenen Gruppen und der Kationenselektivität.
2. Charakterisierung der Mikroorganismen in den verschiedenen Stadien der Verrottung sowie der von ihnen ausgeschiedenen Stoffwechselprodukte (Vitamine, Antibiotika usw.), und zwar sowohl in anaeroben wie in aeroben Verhältnissen.
3. Art und Menge der in verschiedenen Komposten vorhandenen Spurenelemente.
4. Verfolgung des Abbaues der organischen Substanz im Frischmüll, vor allem des Zellulose-Abbaues, um die optimale Verrottungsdauer festzustellen. Als optimal ist dasjenige Verrottungsstadium zu betrachten, in dem die ursprünglich vorhandene organische Substanz soweit abgebaut ist, dass keine schädliche Stickstofffestlegung und Sauerstoffverarmung im Boden auftritt, aber anderseits nicht zu weitgehende Mineralisierung eingetreten ist.

Die Lösung dieser Probleme wird durch die Tatsache erleichtert, dass auf dem Gebiete der Bodenchemie und der Bodenmikrobiologie schon eine bedeutende Vorarbeit geleistet worden ist. Es ist daher erfreulich, dass sich heute eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen der Kompostchemie und der Bodenchemie abzuzeichnen beginnt.

So wurde u. a. auch im Institut National Agronomique (Prof. J. Keilling) in Paris versucht, Methoden, wie sie schon seit langem auf anderen Gebieten der Gärungsindustrie zur Anwendung kommen, auch auf die Kompostuntersuchung zu übertragen, so z. B. den Reduktasetest, um den Gärungsverlauf im Kompost zu verfolgen, sowie den Phosphatasetest, um sowohl im Kompost als auch im Boden die enzymatische Aktivität der vorhandenen oder zugeführten Mikroorganismen festzustellen. Diese Versuche sind noch im Gange, aber die bisherigen Resultate sind vielversprechend.

Man hat festgestellt, dass sich in einem verrottenden Kompost in einem Gramm Substanz mehrere hundert Millionen Mikroorganismen befinden, also eine ansehnliche Mikroben-«Masse». Es ist bekannt, dass viele Mikroorganismen Auxine (Pflanzenwuchsstoffe) produzieren. So wurden in einem Versuch wässrige Extrakte aus Frischmüll und aus 24 Stunden verrottetem Müll zu einer Diplokokkenkultur in steriler Milch gegeben. Die Zunahme der Keimzahl betrug beim Extrakt aus rottendem Müll das Sechsfache desjenigen aus Frischmüll, ein Effekt, der auf die positive Wirkung der Auxine im angerotteten Müll auf die Diplokokken zurückgeführt werden kann. Tatsächlich hat Roberts im Jahre 1939 gefunden, dass von 150 aus dem Boden isolierten Mikroorganismen 66 % Auxine produzieren.

Durch diese Auxinproduktion bei der Verrottung von organischem Material stellen sich folgende Fragen, die einer Abklärung bedürfen:

1. Welche Auxine und in welchen Mengen werden im Müllkompost produziert?
2. Werden diese Auxine in erster Linie während der Verrottung oder erst nachher, beim Ausbringen des Kompostes auf den Boden, gebildet?
3. In welchem Entwicklungsstadium der Pflanze besitzen diese Auxine die grösste Wirksamkeit auf das Pflanzenwachstum?
4. Gibt es eine kritische Menge, die, wenn sie überschritten wird, zu Schädigungen führen kann, und ist diese kritische Menge auf eine einfache Art bestimmbar?

Aus den Versuchen des Institut National Agronomique scheint hervorzugehen, dass der Phosphatasetest einen Aufschluss in dieser Richtung geben könnte.

Sehr wichtig für die Praxis ist auch die Bestimmung des Reifegrades des Kompostes. Unreifer Kompost kann in vielen Fällen zu einer unerwünschten Festlegung von Stickstoff und zu Sauerstoffverarmung im Boden führen. Anderseits aber kann in vielen Fällen gerade die Festlegung des leicht löslichen Stick-

stoffes erwünscht sein, so z. B. beim Ausbringen des Kompostes auf Ackerland im Herbst, da dieser Stickstoff dadurch vor Auswaschung geschützt ist. Allgemein konnte beobachtet werden, dass eine Herbstanwendung von zu jungem, also nicht ausgereiftem Kompost bessere Resultate zeigte als die Frühjahrsanwendung von Reifikompost.

In keiner der von den Kongressteilnehmern besuchten holländischen Kompostierungsanlagen wird der Kompost vor dem Verkauf auf seinen Reifegrad geprüft. Er wird einfach 3–6 Monate gelagert und dann abgesetzt. Da die Mieten während der Lagerung ein- oder höchstens zweimal umgearbeitet werden, und da zudem infolge der grossen Mietenhöhe der Mietkern anaerob ist (Schwarzfärbung durch Schwefel-eisen), muss angenommen werden, dass der Kompost beim Verkauf nicht vollständig verrottet ist. Es scheint uns aber doch ratsam zu sein, dem Abnehmer ein in bezug auf den Reifegrad eindeutiges Produkt zu liefern, da in der Praxis, wie bereits erwähnt, die Anforderungen an den Reifegrad stark von der Art der Verwendung abhängig sind.

Als reif gilt der Kompost dann, wenn das Material keine Tendenz zur Selbsterhitzung mehr zeigt. Ferner kann das Auftreten von Nitratstickstoff einen Fingerzeig geben für den Reifegrad. Es fehlen jedoch noch einfache, überall anwendbare Testmethoden, welche eindeutig den Reifegrad bestimmen.

## *V. Anwendung und volkswirtschaftliche Bedeutung des Müllkompostes*

(Vorträge Nr. 1, 9, 10 und Diskussionen)

In Holland werden heute etwa 350 000 Tonnen Rohmüll pro Jahr, d. h. rund 25 % der total anfallenden Menge, zu Kompost verarbeitet und zu einem grossen Teil in der Landwirtschaft verwendet.

Grosse Gebiete, besonders im Nordwesten und im Süden der Niederlande, weisen einen reinen Sandboden auf, der in früheren Zeiten zum grössten Teil mit Heide und kümmerlichem Föhrenwald bedeckt war. Die wenigen Bauern in diesem Gebiet waren arm und von häufigen Missernten heimgesucht; die meisten von ihnen waren gezwungen, als Nebenverdienst der nicht sehr einträglichen Arbeit als Torfstecher in den lokalen Hochmooren nachzugehen.

Der erste grosse Schritt in der Entwicklung der Landwirtschaft in diesen Gebieten geschah mit Hilfe des um die Jahrhundertwende aufkommenden Kunstdüngers. Der Sandboden ist jedoch nicht nur an sich nährstoffarm, sondern er besitzt auch ein ausgesprochen schlechtes Bindungsvermögen für Nährstoffe. Dies führt dazu, dass bei grösseren Niederschlägen die leicht löslichen Nährstoffe, wie Kali und anorganische Stickstoffverbindungen, sofort in den Untergrund ausgeschwemmt werden. Zudem besitzt der Sand eine geringe Wasserkapazität, so dass auch bei guter Nährstoffversorgung im Sommer Ernteausfälle infolge Trockenheit auftreten können (durchschnittliche Niederschlagsmenge in Holland ungefähr 700 mm pro

Jahr). Eine ausreichende Düngung der Sandböden mittels Kunstdünger allein genügte daher nicht, um die Fruchtbarkeit dieser Böden auf das Niveau der übrigen Gebiete Hollands zu heben, sondern es musste zugleich auch noch dafür gesorgt werden, dass das Nährstoff- und Wasserbindungsvermögen dieser Böden erhöht wurde. Dazu war der Müllkompost infolge seines hohen Gehaltes an Dauerhumus (Huminsäuren) hervorragend geeignet. Die Huminsäuren besitzen eine Sorptionskapazität (Kationen-Austausch-Kapazität) zwischen 2 und 5 mäq./g, was in der Grössenordnung ungefähr derjenigen eines handelsüblichen Kationenaustauschers auf Polystyrolsulfonsäurebasis entspricht. Ihr Wasserbindungsvermögen ist ebenfalls sehr gross. Müllkompost weist zudem einen grossen Gehalt an Spurenelementen auf und vermag damit gewisse Mangelerscheinungen der Pflanzen, die gerade auf Sandböden häufig auftreten und sich auch auf Mensch und Tier auswirken können, erfolgreich zu beseitigen. Dazu kommt noch, dass die Zufuhr organischer Substanz zu Mineralböden das gesamte Bodenleben intensiviert, was sich ebenfalls sehr günstig auf das Pflanzenwachstum auswirkt.

Aber auch in anderen Gebieten Hollands gereicht die Anwendung von Müllkompost zu grossem Nutzen der Landwirtschaft. So sind z. B. die meisten der dem Meere abgerungenen Böden schwere Lehm- und Tonböden. Diese neigen dazu, bei Regen einen wasserundurchlässigen Brei zu bilden, so dass sich das Regenwasser auf der Oberfläche in Tümpeln ansammelt. Bei trockener Witterung dagegen trocknen sie zu harten Krusten aus. Trotz guter Nährstoffversorgung mit Kunstdüngern ist die physikalische Struktur dieser Böden sehr schlecht, was den Gasaustausch zwischen Boden und Luft hindert und daher zu Sauerstoffmangel der Wurzeln führt. Durch die Zufuhr organischer Substanz in Form von Müllkompost wird die anzustrebende Krümelstruktur des Bodens gefördert, ein Effekt, der durch den relativ hohen Kalkgehalt des Müllkompostes noch erhöht wird (Koagulation der Tonteilchen durch Kalzium).

Bedeutende Erfolge durch die Verwendung von Müllkompost wurden in Holland auch in der Forstwirtschaft erzielt, vor allem bei der Aufforstung ursprünglicher Heidegebiete mit Sandböden. Einer der Hauptabnehmer des Müllkompostes ist ferner der Gartenbau, der ja in Holland auf einer sehr hohen Stufe steht. Hier wird Müllkompost hauptsächlich für Treibbeete für Frühgemüse, anstelle des immer seltener werdenden Pferdemistes, sowie zur Verbesserung der Bodenstruktur bei den übrigen Kulturen (Tomaten, Blumenzwiebelzucht usw.) verwendet.

In Holland sind aber in neuerer Zeit weitere Anwendungsbereiche für Müllkompost geschaffen worden, die wert sind, kurz diskutiert zu werden:

Gut ausgereifter Kompost kann mit gutem Erfolg im Kuhstall als Einstreu verwendet werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Kompost trocken ist. Er muss u. U. mit Stroh, Holzwolle oder Sägemehl vermischt werden. Infolge der grossen

Wasserkapazität des trockenen Kompostes fällt dabei weniger Jauche an. Zudem wird die Qualität des Stallmistes verbessert, nicht zuletzt weil mehr Harn und Kot auf den Miststock gelangen, was dem Ackerland zugute kommt. Ferner bewirkt der Kompost eine bessere Verrottung des Stallmistes, insbesondere des Strohs, was das Ausführen und das Verteilen des Mistes auf dem Acker bedeutend erleichtert. Dieser Effekt kann auch erreicht werden, indem man den Miststock von Zeit zu Zeit mit einer Schicht Kompost überdeckt.

Auch im Schweinestall kann der Kompost verwendet werden. Kleinere Mengen Reifikompost werden von Schweinen, auch von Jungtieren, mit grosser Begeisterung gefressen. Nach holländischen Erfahrungen fördert der Kompost, wahrscheinlich auch infolge der in ihm enthaltenen Antibiotika und Vitamine, wesentlich das Wohlbefinden und die Gesundheit der Tiere. Besonders die Gesundheit der Ferkel wird bedeutend verbessert und ihre Resistenz gegen Krankheiten erhöht, so dass weniger Ausfälle vorkommen. Zudem kann der Schweinestall mit Hilfe des Kompostes auch ohne das teure Stroh trocken gehalten und die Qualität des Schweinemistes verbessert werden.

Nicht ganz ausgereifter, trockener Müllkompost wird in Holland mit Erfolg auch in Hühnerställen in Form einer 30—50 cm dicken Bodenschicht verwendet. Es muss darauf geachtet werden, dass der Kompost trocken ist, da sonst Fusskrankheiten bei den Hühnern auftreten können. Küken müssen ein Mindestalter von sechs Wochen haben, bevor Kompost als Einstreu gegeben werden darf. Auf Grund jahrelanger Erfahrung hat es sich gezeigt, dass bei dieser Behandlung die Ausfälle bei Küken bis zu 50 % herabgesetzt werden können. Die auf Kompost gehaltenen Tiere sind gesünder und weisen ein besseres Wachstum auf als Tiere, die mit der bisherigen Aufzuchtmethode mit Auslauf ins Freie behandelt wurden. Die Wachstumssteigerung betrug im Durchschnitt etwa 20 %. Bei älteren Tieren konnte die Zahl der Eier ebenfalls um 20 % gesteigert werden. Zudem wurde festgestellt, dass der Kannibalismus unter den Hühnern verschwand.

In Holland, wo der Export landwirtschaftlicher Erzeugnisse etwa 40 % des Gesamtexportes ausmacht, stellt die Kompostierung von Müll und Klärschlamm in vielen Gebieten für die Landwirtschaft eine Lebensnotwendigkeit dar. Es ist daher verständlich, dass Holland auf dem Gebiete der Müllkompostierung führend war und heute noch ist.

Interessante Erfahrungen in der Anwendung von Müllkompost in subtropischen Gebieten liegen vor aus Israel:

In semiariden subtropischen Gebieten hängt die Fruchtbarkeit des Bodens weitgehend von der Bewässerung ab. Da an Wasser stets Mangel herrscht, ist jedes Mittel zu begrüßen, das erlaubt, die jährlich benötigte Wassermenge herabzusetzen. Infolge seiner grossen Wasserkapazität ist der Müllkompost dazu sehr gut geeignet. Man hat festgestellt, dass durch die Anwendung von Kompost etwa 10 % Wasser eingespart

werden können, was eine Ausdehnung des Kulturlandes um 10 % ermöglicht. Dazu kommt, dass in subtropischen Gebieten mit hoher Bodentemperatur und, bei Bewässerung, hoher Bodenfeuchtigkeit die organische Substanz im Boden sehr schnell abgebaut wird; es herrscht also auch Mangel an Humus! Böden mit einem niedrigen Gehalt an organischer Substanz weisen im allgemeinen eine schlechte physikalische Struktur auf, was sich auch bei ausreichender Nährstoffversorgung mit Kunstdüngern ungünstig auf das Pflanzenwachstum auswirkt. Es muss also dem Boden fortlaufend organische Substanz zugeführt werden, was in erster Linie mit Müllkompost geschieht. So konnten in Israel die Ernteerträge durch die Verwendung von Kompost um 5—10 % gesteigert werden.

In den letzten Jahren sind in Israel beträchtliche Mengen von Müllkompost in Zitrusplantagen, Weinrägen, Bananen-, Kartoffel- und Erdbeerkulturen verwendet worden. Der Kompostbedarf nimmt von Jahr zu Jahr zu, und stets ist die Nachfrage grösser als das Angebot. Allein im Jahre 1958 wurden in den Zitrusplantagen 120 000 m<sup>3</sup> Kompost verwendet. Die verarbeitete Menge betrug durchschnittlich 20 m<sup>3</sup>/ha. Dabei wird der Kompost nur auf die Erdoberfläche gebracht. Seine Wirkung zeigte sich in einer Ertragssteigerung von 15—20%, obschon auch in früheren Jahren reichlich mit Mineraldüngern gedüngt wurde. Ferner konnten gewisse Chlorose-Erscheinungen vermieden und Geschmack und Qualität der Früchte verbessert werden. Es war auch möglich, durch die Anwendung von Müllkompost die jährliche Mineraldüngergabe um etwa 25 % zu vermindern. Die Landwirte, die einmal Kompost verwendet haben, ziehen diesen anderen organischen Düngemitteln, z. B. Stallmist, vor. Gegenwärtig werden in Israel Versuche durchgeführt über die Anwendung von Kompost in Vieh- und Hühnerställen sowie als Fischfutter in Karpfenteichen. Namentlich die letzte Anwendungsart scheint vielversprechend zu sein.

Auch in Frankreich nimmt die Verwertung des Mülls ständig zu, vor allem für die Verbesserung der erschöpften Böden, die in verschiedenen Gegenden des Landes entweder naturbedingt oder als Folge der zunehmenden Mechanisierung und des abnehmenden Viehbestandes entstanden sind. Allein in der Region von Paris werden jährlich bis 400 000 Tonnen Frischmüll sortiert, zerkleinert und an die Bauern abgegeben. Dieser ausgesiebte Müll wird als Basisdünger, gleich wie der Stallmist, verwendet, d. h. während der Vorbereitung des Bodens mit der Winterpflügung eingebracht. Die Gemüse-, Garten- und Weinbauern verwenden dieses frische Material ebenfalls wie Stallmist. Die Dosierung ist bedingt durch die betreffende Kul-

tur und die Bodenbeschaffenheit und bewegt sich in folgenden Grenzen:

Zuckerrüben und Kartoffeln . . . . .	50—80 t/ha
Gemüsekulturen . . . . .	100—200 »
Weinbau . . . . .	80—100 »
Obstgärten . . . . .	150—200 »
Baumschulen . . . . .	200—500 »

Die Abfälle aus Paris werden auch von zahlreichen Zuckerrüben- und Gemüsebaubetrieben, Baumschulen, Gartenbau- und Weinbaubetrieben in der Champagne verwendet. Dabei werden relativ grosse Transportstrecken in Kauf genommen. Mehr als 40 % von ihnen betragen über 100 km!

Der reife Müllkompost ist in seiner Qualität mit gutem Stallmist vergleichbar, preislich jedoch günstiger als dieser. In Frankreich liegen die Preise für Stallmist etwas über dem Realwert, während die Preise für Frischmüll und Müllkompost bedeutend darunter liegen. Zudem ist Stallmist in Städtnähe nur schwer erhältlich. Der Kompost kann in vielarmen Gegenden sehr gut abgesetzt werden, vor allem im Süden Frankreichs, wo sich auch die meisten Müllaufbereitungsanlagen befinden.

Die während des Kongresses gehaltenen Vorträge:

- 1 Ir. A. W. van der Plassche, Generaldirektor des Landwirtschaftsministeriums der Niederlande, Den Haag: «Entwicklung und Bedeutung der Müllverwertung in den Niederlanden».
- 2 Prof. Dr. F. Pöpel, Techn. Hochschule, Stuttgart: «Neue Entwicklungen in der Aufbereitungstechnik fester und flüssiger Siedlungsabfälle».
- 3 Ing. S. A. Gothard, Consultant Engineer, Public Health Offices, South Hill, Jersey C. I.: «Besondere technische Probleme bei der Aufarbeitung von Siedlungsabfällen».
- 4 Prof. Dr. H. Glathe, Institut für Landwirtschaftliche Mikrobiologie der Justus-von-Liebig-Universität, Giessen: «Biologische Vorgänge bei der Kompostierung von Müll».
- 5 Dr. K. H. Knoll, Medizinische Fakultät der Justus-von-Liebig-Universität, Giessen: «Die Kompostierung im Blickpunkt der Hygiene».
- 6 Prof. Dr. W. Sauerlandt, Institut für Humuswirtschaft, Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung, Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode: «Einfluss der organischen Düngung auf die Mineralstoffaufnahme der Pflanzen».
- 7 Dr. L. K. Wiersum, Institut für Bodenfruchtbarkeit, Groningen: «Humus und Wurzelaktivität».
- 8 Ing. J. Kortleven, Institut für Bodenfruchtbarkeit, Groningen: «Langfristige Wirkungen des Müllkompostes».
- 9 A. Livshutz, Chemical and Technical Suppl. Ltd., Tel Aviv: «Anwendung und Herstellung von Kompost aus Siedlungsabfällen in subtropischen Ländern».
- 10 Ing. M. Neveux, ingénieur en chef du Génie rural, Paris: «Aufarbeitung und landwirtschaftliche Verwertung von festen Siedlungsabfällen in Frankreich».
- 11 Prof. Dr. J. Keilling, Institut national agronomique, Paris: «Beitrag zur Wertbeurteilung organischer Dünger».

Sämtliche Vorträge und weitere Dokumentationen wurden in einem Sammelband in deutscher, französischer und englischer Sprache vereinigt und können zum Preise von 25 holl. Gulden von folgender Stelle bezogen werden: International Agricultural Centre, Wageningen (Holland), 1 General Foulkesweg.