

Versuche zum Wärmeentzug aus Festmist

FRANK SCHUCHARDT

Institut für Technologie

Gliederung

Einleitung

- 1 Das biogene Wärmepotential
- 2 Wärmetransport im Festmist
- 3 Entzugssysteme
 - 3.1 Technisch einfache Systeme
 - 3.2 Technisch aufwendige Systeme
- 4 Versuche zum Wärmeentzug aus Festmist
 - 4.1 Wärmetauscher auf dem Miststapel
 - 4.2 Wärmetauscher im Boden und in den Seitenwänden des Miststapels
 - 4.3 Wärmeentzug über Wasser
- 5 Bewertung der Versuchsergebnisse und Schlußfolgerungen

Zusammenfassung

Literatur

Einleitung

Zur Deckung von 90% des Energiebedarfs im Haushalt kann Niedertemperaturwärme eingesetzt werden. Das ist Wärme mit Temperaturen zwischen 30 und 80 °C, die für die Heizung und Warmwasserbereitung benötigt wird. Zur Bereitstellung dieser Energie werden fast ausschließlich hochwertige Energieträger wie Öl, Gas, Strom und Kohle verwendet.

Bei der Suche nach Ersatz für diese hochwertigen Energieträger bietet die Landwirtschaft einige Lösungsmöglichkeiten. Neben der Wärme aus der Verbrennung von Stroh und Biogas ist es vor allem die Abwärme der Tierproduktion bei der Milchkühlung, Stalllüftung, Belüftung von Flüssigmist und Verrottung (Kompostierung) von Festmist, die genutzt werden kann.

Der Entzug der bei der Milchkühlung anfallenden Wärme ist bereits Stand der Technik, und auch für den Wärmeentzug bei der Stalllüftung werden von der Industrie Anlagen angeboten. Da die Belüftung von Flüssigmist in erster Linie nur unter dem Aspekt der Geruchsverbesserung sinnvoll ist, wird sie auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben. Dagegen ist die Kompostierung von Festmist auf allen landwirtschaftlichen Betrieben anzutreffen, die Tiere auf Stroh halten.

Unter Kompostierung ist der ungesteuerte mikrobielle Abbau unter Selbsterhitzung zu verstehen, der im Festmisthaufen abläuft und bei dem Temperaturen von etwa 75 °C erreicht werden. Der Festmist mit genügend hohem Strohanteil bietet von seiner Zusammensetzung und Struktur her nahezu optimale Bedingungen für eine spontane Selbsterhitzung. Der Feuchtegehalt liegt bei 75%, die Gasdurchlässigkeit ist bei einem Porenvolumen von etwa 70% hoch, das C/N-Verhältnis mit 15 bis 30 optimal, das Angebot an leicht verfügbaren Nährstoffen ausreichend.

Da die Selbsterhitzung in jedem Misthaufen anzutreffen ist, kann auf die Sicherheit und Stabilität der biologischen Reaktion geschlossen werden. Daraus läßt sich ableiten, daß technische Maßnahmen für den Ablauf des biologischen Prozesses nicht notwendig sind. Das gilt solange die ursprünglichen Milieufaktoren des Misthaufens durch Wärmeentzugssysteme nicht stark verändert werden. Werden diese Milieufaktoren z. B. bei der Kompostierung in Behältern verändert, erhöht sich der notwendige technische Aufwand zur Unterhaltung der bakteriellen Aktivität.

Nutzbar und von Interesse für einen Wärmeentzug aus dem Festmist ist nur die Energie, die in der ersten Phase der Selbsterhitzung freigesetzt wird. Diese erste Phase dauert etwa 2 bis 3 Wochen. Dabei werden insbesondere die relativ leicht abbaubaren Bestandteile im Festmist, wie Stärke, Zucker, Eiweiß, Aminosäuren, Pektin, Zellulose und Hemicellulose angegriffen bzw. abgebaut. Der nachfolgende Abbau verläuft deutlich langsamer und mit verringerter Geschwindigkeit der Wärmeentwicklung. Entzogen werden kann nur die Wärmemenge, die von den Mikroorganismen nachgeliefert wird.

Das Ziel unserer Arbeiten ist es, die bei der Kompostierung von Festmist entstehende Wärme zu quantifizieren und mit möglichst geringem technischem Aufwand zu entziehen.

1 Das biogene Wärmepotential

Aus der Tabelle 1 sind die täglich anfallenden Massen an tierischen Exkrementen und Festmist sowie die darin enthaltene Energie ersichtlich. Die Energiegehalte sind aus den Brennwerten berechnet. Nur ein Teil des Energiepotentials kann kurzfristig biologisch freigesetzt werden.

Eine Möglichkeit, das biogene Wärmepotential zu erfassen, beruht auf der von Cooney, Wang und Matles (1968) nachgewiesenen Beziehung zwischen dem Sauerstoffverbrauch der aeroben Mikroorganismen und der dabei freiwerdenden Wärme. Sie fanden eine Wärmeproduktion von $4,003 \pm 0,364$ Wh je Gramm veratmeten Sauerstoffs.

Tabelle 1: Tägliche, auf eine Großvieheinheit (GV; 500 kg Lebendgewicht) bezogene, Mengen an Exkrementen, Einstreu und Festmist sowie deren Energieinhalte (Strauch, Baader und Tietjen, 1977; Bergner und Ketz, 1969; Roemer und Scheffer, 1959; Nehring, 1972; Baader, 1976; eigene Untersuchungen)

		Tierart			
		Rind	Pferd	Schwein	Huhn
Exkreme	kg	45	30	37	50
Trockenmasse	%	11,0	13,7	8,5	22,0
	kg	4,9	4,1	3,1	11,0
Organ. Masse	%	8,5	10,5	6,8	16,9
	kg	3,8	3,2	2,5	8,5
Energieinhalt der Exkreme	kWh	24,5	20,5	15,5	45,9
Einstreu (Stroh)	kg	5,0	5,0	10,0	3,0
Trockenmasse	%	85,0	85,0	85,0	85,0
	kg	4,3	4,3	8,5	2,6
Organ. Masse	%	79,9	79,9	79,9	79,9
	kg	4,0	4,0	8,0	2,4
Energieinhalt des Strohes	kWh	18,9	18,9	37,4	11,4
Festmist	kg	50,0	35,0	47,0	53,0
Trockenmasse	%	18,4	24,0	24,7	25,7
	kg	9,2	8,4	11,6	13,6
Organ. Masse	%	15,6	20,6	22,3	20,6
	kg	7,8	7,2	10,5	10,9
Energieinhalt des Festmistes	kWh	43,4	39,4	52,9	57,3

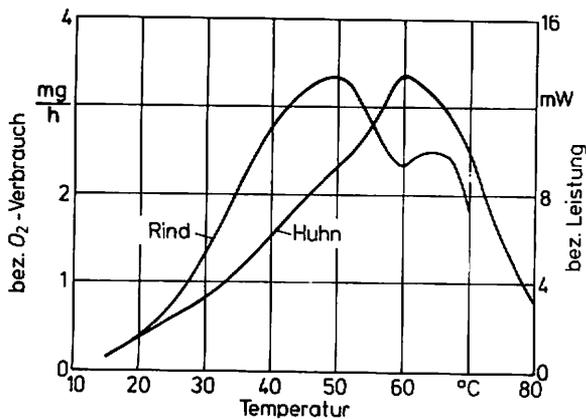


Abb. 1: Der auf die organische Trockenmasse bezogene stündliche Sauerstoffverbrauch und die Leistung bei der Selbsterhitzung von Rinder- bzw. Hühnermist (ohne Einstreu) in Abhängigkeit von der Temperatur

Bei eigenen Versuchen zur Höhe der Atmungsaktivität bei der Selbsterhitzung tierischer Exkreme stellten wir fest, daß die Umsetzungsrate zwischen 50 °C und 60 °C ihr Maximum erreicht (Abb. 1) (Schuchardt, 1977; Schuchardt et al., 1978; Schuchardt und Orth, 1978). Das bedeutet eine maximale Geschwindigkeit der Wärmefreisetzung in diesem Temperaturbereich der thermophilen Mikroorganismen.

Zur Ermittlung der Wärmemengen, die unter optimalen Bedingungen bei der Kompostierung tierischer Exkreme entzogen werden können, diente ein 33 Liter Feststoff-Fermenter in einem adiabatischen System (Schuchardt und Orth, 1978). Als Substrate wurden mit Harnstoff bzw. Melasse aufgewertetes Stroh sowie Gemenge aus inertem Schaumstoff und reinen tierischen Exkrementen untersucht. Die dabei entzogenen Wärmemengen zeigt die Tabelle 2.

Tabelle 2: Wärmeentzug bei der Kompostierung von tierischen Exkrementen bzw. Stroh unter optimalen Bedingungen in einem adiabatischen System

Substrat	Wärmeentzug			Entzugszeit h
	kWh/kg TM	kWh/GV1)	%2)	
Rindermist	0,650	3,185	13,0	76
Schweinemist	1,089	3,376	21,8	245
Hühnermist	1,424	15,664	34,1	118
Stroh + Melasse	1,260	-	24,4	168
Stroh + Harnstoff	0,444	-	9,4	385

1) bezogen auf die Exkreme von einem Tag
2) des Gesamtenergieinhaltes

Danach ist die entzogene Wärmemenge, bezogen auf die Großvieheinheit, bei Rinder- und Schweinemist etwa gleich groß und bei Hühnermist etwa um den Faktor 5 größer. Aus aufgewertetem Stroh kann, bezogen auf die Trockenmasse, mit nahezu dem gleichen Wärmeentzug gerechnet werden wie bei den Exkrementen.

2 Wärmetransport im Festmist

Die bei der Kompostierung von Festmist entstehende Wärme ist für eine Nutzung wertlos, solange sie nicht auf einen anderen, beweglichen Energieträger übertragen ist. Diese Wärmeübertragung und damit der Wärmeentzug ist die größte Schwierigkeit bei der Bereitstellung der Kompostierungswärme.

Der Transport der Wärme im Festmist zum Wärmetauscher erfolgt über Konvektion, d. h. über die durch das Substrat strömende Luft, und Wärmeleitung, d. h. über die festen Stroh- und Mistpartikel sowie die Flüssigkeit (Abb. 2). Wie gering die Bedeutung der Wärmeleitung bei der Wärmeübertragung sein muß, wird allein dadurch deutlich, daß etwa 70 % des Volumens eines üblichen Festmiststapels aus Luftporen bestehen.

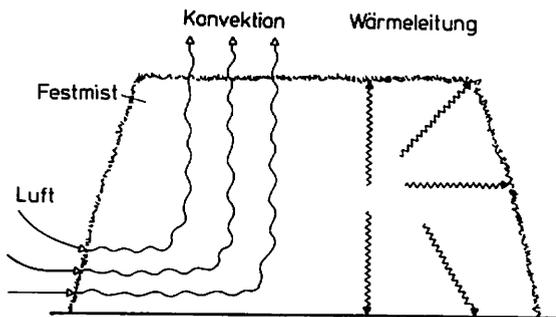


Abb. 2: Wärmetransport in einem Festmiststapel durch Konvektion und Wärmeleitung

Zur Untersuchung der Wärmetransportvorgänge in einem solchen System wurde in einem isolierten Behälter mit einer Grundfläche von 1 m^2 Rinder-Festmist gerottet (Abb. 3). Eine Seitenwand des Behälters bestand aus einem Plattenwärmetauscher. Nach Erreichen einer Selbsterhitzungstemperatur von 50°C wurde durch den Wärmetauscher kaltes Wasser geleitet und die Temperaturen direkt am Wärmetauscher sowie im Abstand von 12,5, 25, 37,5 und 50 cm im Mist gemessen. Es zeigte sich, daß nur in unmittelbarer Nähe des Wärmetauschers und bis zu einem Abstand von 12,5 cm die Temperaturen abfielen (Abb. 4). Das heißt, eine Wärmeübertragung durch Wärmeleitung findet kaum statt.

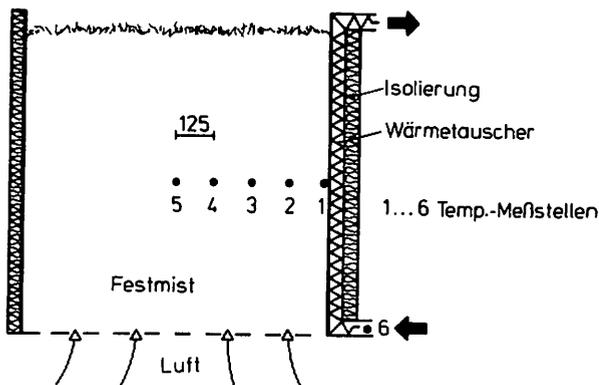


Abb. 3: Versuchsanordnung zur Messung der Temperaturen beim Wärmeentzug bei der Kompostierung von Festmist
1...5 Temperatur-Meßstellen im Mist
6 Temperatur-Meßstelle im Wärmetauscher

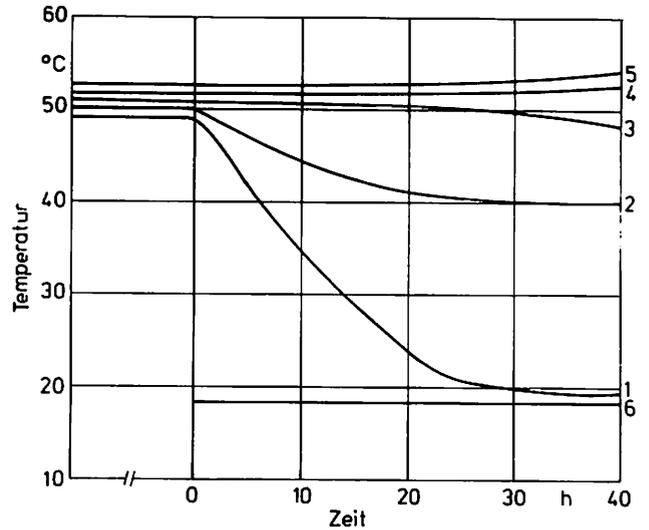


Abb. 4: Temperaturverlauf beim Wärmeentzug aus Rinder-Festmist (Temperaturstellen 1...6 siehe Abbildung 3)

Die Wärmeübertragung durch Konvektion ist in erster Linie aufwärts gerichtet und kann sich daher auf seitlich bzw. unter dem Festmist befindliche Wärmetauscher nur begrenzt auswirken.

3 Entzugssysteme

Unter praktischen Bedingungen sind verschiedene Entzugssysteme möglich. Das sind zum einen technisch einfache Systeme, die die Milieufaktoren im Miststapel kaum beeinflussen, da sie dessen Aufbau wenig oder gar nicht verändern, und zum anderen technisch aufwendige Systeme, die das ursprüngliche Milieu stark verändern.

3.1 Technisch einfache Systeme (Abb. 5)

Je nach Anordnung des Wärmetauschers unterscheidet man 4 Systeme, die größtenteils auch bereits praktisch erprobt sind:

- Wärmetauscher auf dem Stapel (a); Beispiele: Betrieb Koch, Heisebeck (Anonym, 1979; Schirz, 1983; Lindemann-Gehrke, 1982), Reiterhof Walkemeyer / Institut für Technologie, Braunschweig (Schuchardt, 1982a, 1982b); Betrieb Grother, Wolfsbüttel;

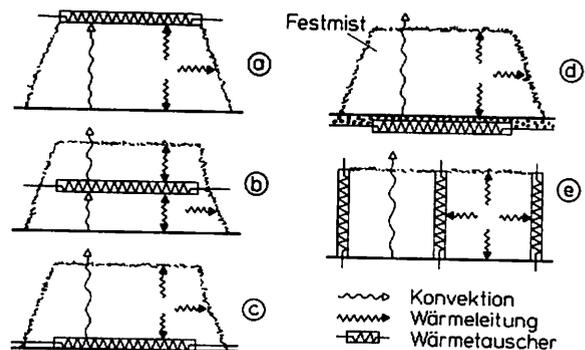


Abb. 5: Technisch einfache Systeme zum Wärmeentzug aus Festmist mit unterschiedlicher Anordnung der Wärmetauscher
(a) auf dem Miststapel
(b) im Miststapel
(c) unter dem Miststapel
(d) in der Betonplatte unter dem Miststapel
(e) in den Seiten- und Zwischenwänden des Miststapels

- im Stapel (b), (c), (e);
Beispiele: Betrieb Erdmeier, Lüdge-Sabbenhausen (Anonym, 1982), Betrieb Schulz, Kleinviecht (Schulz et al., 1982), Reiterhof Vater / Institut für Technologie, Braunschweig;
- in den seitlichen Betonwänden (e);
Beispiel: Reiterhof Vater / Institut für Technologie, Braunschweig;
- unter dem Stapel (d), (d);
Beispiele: Betrieb Pottgießer, Wülfrath-Oberschwarzach (Eickenhorst und Kimpenhaus, 1977; Kessel, 1978), Reiterhof Kölau, Suhlendorf; Reiterhof Vater / Institut für Technologie, Braunschweig.

Die genannten Systeme zeichnen sich durch geringe Investitionskosten und die Möglichkeit des Eigenbaus aus. Bei den Systemen mit Anordnung der Wärmetauscher in den seitlichen Betonwänden bzw. in der Bodenplatte wird der Arbeitsablauf weder beim Entmisten noch beim Mistausfahren verändert.

Liegt der Wärmetauscher auf dem Miststapel bzw. im Mist, ist ein zusätzlicher Arbeitsaufwand für die Handhabung der Wärmetauscher und das Verteilen des Mistes auf dem Stapel notwendig.

Messungen von Schirz (1983) im Betrieb Koch in Heisebeck ergaben einen Wärmeentzug von 2,8 bis 1,4 kWh je Tag und GV-Schwein. Von den anderen genannten Betrieben, mit Ausnahme der vom Institut für Technologie betreuten Anlagen, liegen keine vergleichbaren Messungen vor. In dem Betrieb Pottgießer, der Mastbullen hält, konnte festgestellt werden (Eickenhorst und Kimpenhaus, 1977), daß die Temperaturen in der Beton-Bodenplatte, in der die Wärmetauscherröhren eingegossen waren, auf 5 °C absanken (bei Betrieb mit Wärmepumpe), obwohl die Temperatur im oben aufliegenden Mist noch 32 °C betrug. Daraus wird auf einen schlechten Wärmetransport im Festmist in Richtung Bodenplatte geschlossen.

3.2 Technisch aufwendige Systeme (Abb. 6)

Eine höhere Wärmeausbeute läßt sich nur mit einem größeren Aufwand erreichen. Abbildung 6 zeigt einige Beispiele für prinzipielle Lösungsmöglichkeiten. Bei allen dar-

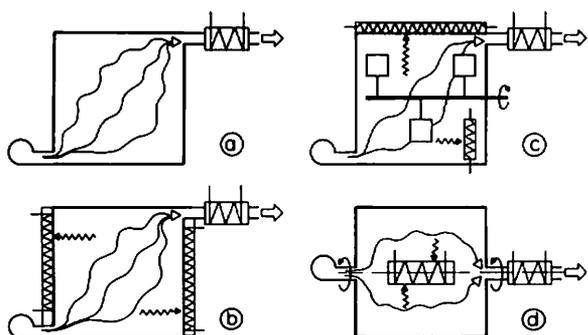


Abb. 6: Technisch aufwendige Systeme zum Wärmeentzug aus Festmist
 (a) Belüfteter Behälter mit Wärmetauschern im Abluftstrom
 (b) Belüfteter Behälter mit Wärmetauschern im Abluftstrom und/oder den Seitenwänden
 (c) Belüfteter Behälter mit Mischwerkzeugen und Wärmetauschern im Abluftstrom und/oder den Seitenwänden und/oder im Substrat
 (d) Belüfteter, rotierender Behälter mit Wärmetauschern im Abluftstrom und/oder im Substrat

gestellten Systemen handelt es sich um wärmeisolierte, geschlossene Behälter, in die mit einem Gebläse Luft eingeblasen wird. Die von der Luft aufgenommene Wärme kann über außenliegende Wärmetauscher teilweise zurückgewonnen und verwertet werden. Daneben können die Behälterwände direkt als Wärmetauscher ausgebildet sein (b), (c), oder die Wärmetauscher befinden sich im Substrat (c), (d). Zur Umschichtung des Substrates werden Umwälz- bzw. Transporteinrichtungen eingebaut (c), oder die Behälter können auch als rotierende Trommeln ausgeführt sein (c), (d). Da mit der Abluft auch Feuchtigkeit abgeführt wird, besteht die Gefahr einer Austrocknung des Substrates.

Die dargestellten Systeme sind unter Praxisbedingungen größtenteils realisiert worden. Von der „Biowärme-Gesellschaft“ (Anonym, 1982) wurden für ein Stroh-Melasse-Gemenge die Systeme (b) und (d) untersucht. Beim System (b) ergaben sich insbesondere Schwierigkeiten durch den schlechten Wärmefluß zu den Wärmetauschern (Flachheizkörper) im Substrat und durch Brückenbildung zwischen den Wärmetauscherplatten, die eine Entleerung des Behälters (über einen Kratzboden) erschwerten. In einer rotierenden Trommel (d) kann dagegen der Grenzflächenkontakt zwischen Substrat und Wärmetauscher ständig erneuert werden.

Die bisher größte und technisch aufwendigste Anlage zum Wärmeentzug aus Festmist wurde vom Landtechnischen Institut in Tastrup (Dänemark) entwickelt (Thstrup, 1982). Diese Anlage steht in einem landwirtschaftlichen Betrieb in Nordjütland, der 200 Mastschweine und 35 Sauen hält. Sie besteht aus einem wärmeisolierten Container, in dem 10 m³ Mist bei täglich neuer Zugabe und einer Verweilzeit von 6 Tagen etwa 1 kW/m³ abgeben. Dabei wird der Mist belüftet und durch rotierende Stachelwalzen kontinuierlich umgewälzt. Die Wärme wird ausschließlich der Abluft entnommen, wobei die Temperaturen im Wärmeträger zwischen 60 und 65 °C liegen (2–4 K unter der Substrattemperatur). Die entzogene Wärmemenge beträgt etwa 6,9 kWh je Tag und GV-Schwein, d.h. 13% der im Mist enthaltenen Energie. Aussagen über das langfristige Betriebsverhalten der Anlage sind derzeit noch nicht möglich.

4 Versuche zum Wärmeentzug aus Festmist

Um den Wärmeentzug aus Festmist unter praktischen Verhältnissen quantitativ erfassen zu können, wurden auf zwei landwirtschaftlichen Betrieben mit Pferdehaltung (jeweils 40 Pferde) Versuche durchgeführt. Dabei konnten zwei unterschiedliche Entzugssysteme untersucht werden:

- Wärmetauscher auf dem Miststapel
- Wärmetauscher im Betonboden, in den Seiten- und Zwischenwänden.

4.1 Wärmetauscher auf dem Miststapel

Die Versuche wurden auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Walkemeyer, Braunschweig, durchgeführt. Dabei wurde der Mist von 10 Pferden für den Wärmeentzug genutzt. Die Absicht des Landwirtes ist die Erwärmung von Brauchwasser für die etwa 20 auf dem Bauernhof lebenden Personen. Dafür werden täglich etwa 1000 Liter Warmwasser mit 50 °C benötigt.

Den Aufbau des Wärmetauschers mit einer Wärmeübertragungsfläche von 7,1 m² zeigt die Abbildung 7. Er besteht aus einem verzinkten Stahlrohrrahmen, der durch einen Bitumenanstrich gegen Rost geschützt ist. In diesem Rah-

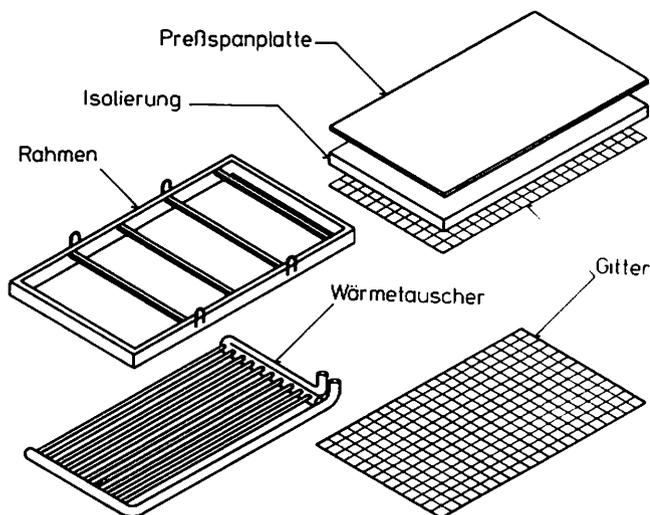


Abb. 7: Aufbau des Wärmetauschers im Betrieb Walkemeyer

men werden die Wärmetauscherrohre befestigt, wobei diese zum Schutz gegen mechanische Belastungen und zur Befestigung zwischen zwei kunststoffummantelten Drahtgittern liegen. Die Tauscherröhren bestehen aus Polyäthylen-Rippenrohr, wie es in einem Selbstbausystem für Sonnenkollektoren angeboten wird (Fa. Drossbach, 8852 Rain am Lech). Von einem Verteilerrohr gehen die einzelnen Rohrleitungen ab. Der Wärmetauscher ist gegen die Außenluft mit 50 mm Polystyrol-Hartschaum isoliert und kann über die aufliegende wasserfeste Preßspanplatte betreten werden.

Für die Versuche wurde der Kollektor mit dem Frontlader auf den Mist gelegt. Unter praktischen Bedingungen würde dafür eine kleine Krananlage verwendet werden. Alle 7 bis 10 Tage wurde auf den vorhandenen Misthaufen eine neue etwa einen halben Meter hohe Schicht mit frischem Mist aufgesetzt.

Den schematischen Aufbau der Versuchsanlage zeigt die Abbildung 8. In einem Kreislauf wird Wasser durch den Kollektor und den Speicher gepumpt. Dafür reicht eine Pumpe (c), wie sie als Umwälzpumpe in Heizanlagen verwendet wird, mit einer Leistung von 70 W aus. Der Wasserdurchsatz ist über ein Verstellventil (b) zu verändern. Aus dem 200 l-Speicher kann warmes Wasser entnommen (a) und durch kaltes (e) ergänzt werden. Gemessen und registriert (g, h) werden die Temperaturen an verschiedenen Punkten im Mist unter dem Kollektor (1 bis 6), im Mist, der nicht vom Kollektor bedeckt ist (7, 8), im Vor- und

Rücklauf (10, 11) sowie in der Umgebungsluft (9). Mit einem Registriergerät (f) kann über einen Volumemesser (a) der Wasserdurchfluß und über die Temperaturmessung im Vor- und Rücklauf die entzogene Wärmemenge erfaßt werden.

Die Ergebnisse des in Abbildung 9 dargestellten Versuchs wurden unter Winterbedingungen mit fast ständigem Frost erzielt. Der Mist erwärmte sich ohne zwangsweise Luftzufuhr innerhalb eines Tages auf über 70 °C. Während die Temperaturen im Mist, der nicht vom Kollektor bedeckt war (8), bis zum 8. Tag nahezu konstant bei 70 °C blieben und dann allmählich abfielen, schwankte die Temperatur unmittelbar unter dem Kollektor in Abhängigkeit von der Warmwasserentnahme, dargestellt im mittleren Teil des Diagramms. Sie folgte den Schwankungen der Wassertemperatur im Kollektorkreislauf. Das entnommene Wasser hatte Temperaturen zwischen 40 und 60 °C.

Innerhalb von 8 Tagen konnten je Pferd etwa 9 kWh oder 3% der im Festmist enthaltenen Gesamtenergie entzogen werden. Das entspricht im Mittel einem Wärmeentzug von täglich 1,1 kWh oder einer mittleren Leistung von 48 W je Pferd. Bezogen auf die Kollektorfläche betrug der Wärmeentzug während der 8 Tage etwa 13 kWh, entsprechend einer Leistung von etwa 70 W/m². Auf 40 Pferde berechnet stehen täglich 46 kWh zur Verfügung, d.h. je Person 2,3 kWh. Damit können etwa 1000 l Wasser von 10 auf etwa 50 °C erwärmt werden. Das bedeutet eine vollständige Warmwasserversorgung für über 20 Personen bei mittlerem Wasserverbrauch (RWE, 1981) und einer Heizöleinsparung von täglich mindestens 6,6 l (Wirkungsgrad 0,7) und im Jahr von 2406 l. Der Bedarf an elektrischer Energie für die Pumpe beträgt 1,7 kWh täglich.

Die Kosten für den Kollektor betragen etwa 100,- DM/m². Hinzu kommen die Kosten für die Umwälzpumpe, für den Kran, die Wasserleitung zwischen Misthaufen und Wohnhaus und einem Speicher mit Wärmetauscher. In dem konkreten Fall errechneten wir eine Amortisationszeit der gesamten Anlage, die zwischen 6 und 8 Jahren liegt. Dabei wird die Arbeitszeit für den Bau des Kollektors ebenso wie der Zeitbedarf zum Aufsetzen des Mistes und der Kollektoren nicht in Rechnung gestellt. Beim Ausfahren des Mistes ist mit erheblicher Zeitersparnis durch ein verringertes Volumen des Mistes zu rechnen, der durch die Auflagekraft des Kollektors verdichtet wird.

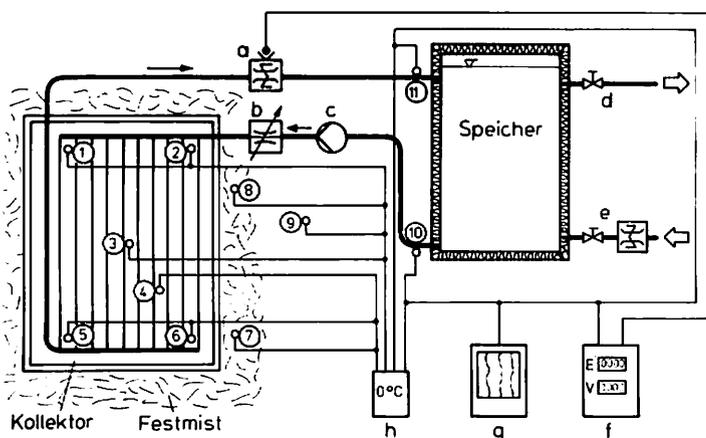


Abb. 8: Versuchsanordnung zum Wärmeentzug aus Pferdemist im Betrieb Walkemeyer

- a Volumendurchflußmesser mit elektrischem Impulsgeber
- b verstellbares Drosselventil
- c Pumpe
- d Ventil zur Warmwasserentnahme
- e Ventil zur Kaltwasserzugabe
- f Registriergerät für die entzogene Wärmemenge und den Wasserdurchfluß
- g Temperaturdrucker
- h Vergleichsmeßstelle mit 0 °C
- 1...11 Temperaturmeßstellen
- 1...6 im Mist unter dem Wärmetauscher
- 7,8 im Mist ohne Wärmetauscher
- 9 Außentemperatur
- 10 im Vorlauf (zum Wärmetauscher)
- 11 im Rücklauf (vom Wärmetauscher)

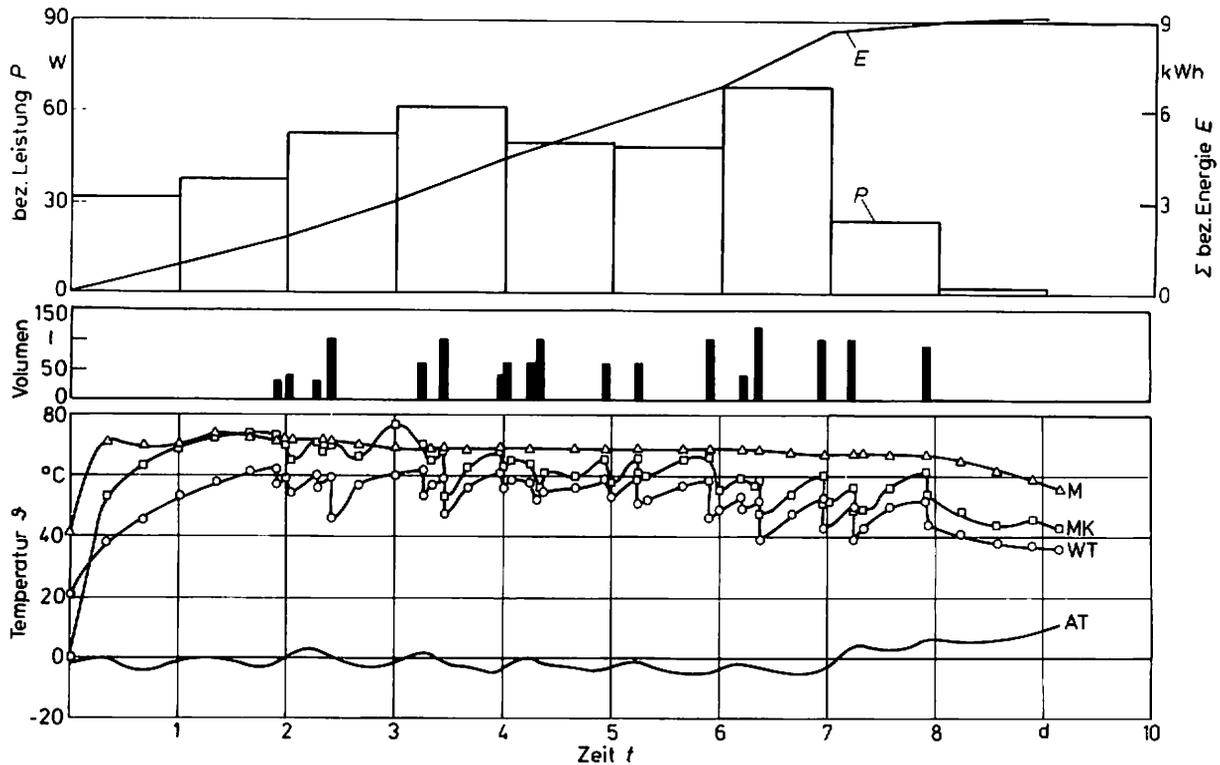


Abb. 9: Ergebnis eines Versuchslaufes zum Wärmeentzug aus Pferdemist mit aufliegendem Wärmetauscher
 oben: Leistung P und Summe der entzogenen Energie E vom dem Mist eines Pferdes in Abhängigkeit von der Zeit
 Mitte: Volumen des aus dem Speicher entnommenen Warmwassers

unten: Temperaturverlauf an verschiedenen Meßpunkten
 M im Mist ohne aufliegenden Wärmetauscher (Meßstelle 8 in Abb. 8)
 MK im Mist unter dem Wärmetauscher (Meßstelle 3)
 W im Rücklauf vom Wärmetauscher (Meßstelle 11)
 AT Außentemperatur (Meßstelle 9)

4.2 Wärmetauscher im Boden und in den Seitenwänden des Miststapels

Die Versuche mit diesem System wurden auf dem Reiterhof Vater, Braunschweig, durchgeführt, wobei der Mist von etwa 40 Pferden zur Verfügung stand. Der Mist wird im Betrieb mit einem Frontlader aufgesetzt und alle 3 bis 4 Wochen insgesamt abgefahren.

Die Anordnung der Wärmetauscherrohre zeigt Abbildung 10. In den Beton der Bodenplatte, der seitlichen Begrenzungs- sowie der Zwischenwände wurden Wärmetauscherrohre aus Polyäthylen (Innendurchmesser: NW 20 mm), wie sie in Fußbodenheizungen verwendet werden, in drei unabhängig voneinander zu- bzw. abschaltbaren Kreisen eingegossen. Der Kreis 1 befindet sich in der Bodenplatte, der Kreis 2 in den Seitenwänden der Kammern I, der Kreis 3 in den Seitenwänden der Kammern II und III. Damit besteht die Möglichkeit, die Wärmetauscherfläche den vorhandenen Mistmengen anzupassen. Die Gesamttauscher-

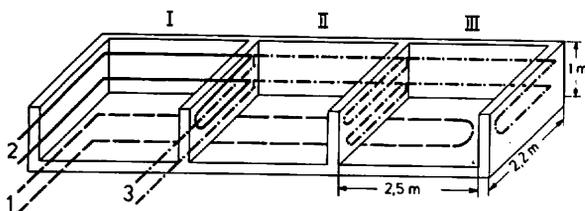


Abb. 10: Anordnung der Wärmetauscherkreise im Betrieb Vater

fläche beträgt etwa 37 m^2 mit 390 m Rohrleitung, d.h. $10,5 \text{ m}$ Rohrleitung je m^2 Tauscherfläche. Den schematischen Wand- bzw. Bodenaufbau zeigt die Abbildung 11. Die Wände haben eine Stärke von 20 cm und sind nach außen mit 24 mm Polystyrol-Hartschaumplatten und 15 cm Holzbohlen wärmeisoliert. In der Bodenplatte befinden sich unter $60 \text{ bis } 80 \text{ mm}$ Beton die Tauscherrohre und 50 mm Isolierung mit Polystyrol-Hartschaumplatten. Nach etwa 1 bis 2 Wochen übersteigt die Höhe des Miststapels die Höhe der Wärmetauscherwände.

Der Aufbau der Versuchsanlage geht aus der Abbildung 12 hervor. Das im Miststapel (a) erwärmte Wasser wird von der Umwälzpumpe (b) über eine im Erdreich verlegte Leitung zum 80 m entfernten Wohnhaus und zurück gepumpt.

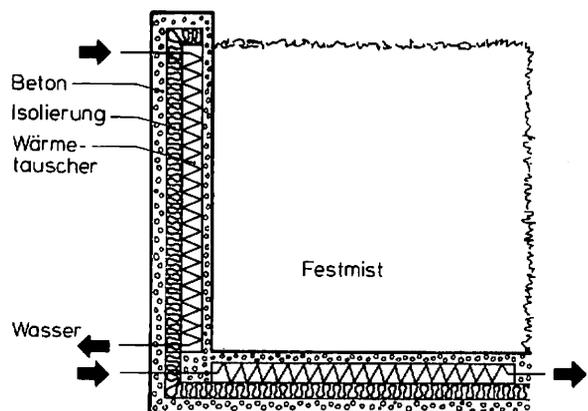


Abb. 11: Vorderansicht der Bodenplatte und der Seitenwand des Mistlagers mit Wärmetauschern im Betrieb Vater

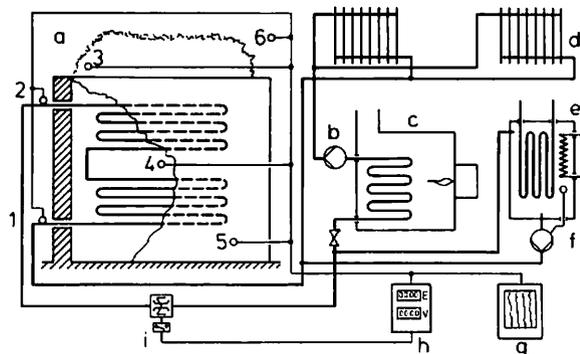


Abb. 12: Versuchsanordnung zum Wärmeentzug aus Pferdemist im Betrieb Vater

- a Wärmetauscher im Festmist
- b Pumpe
- c Heizkessel
- d Heizkörper
- e Warmwasserspeicher
- f Pumpe
- g Temperaturdrucker
- h Registriergerät für die entzogene Wärmemenge und den Wasserdurchfluß
- i Volumendurchflußmesser mit elektrischem Impulsgeber
- 1...6 Temperaturmeßstellen
- 1 im Vorlauf (zum Wärmetauscher)
- 2 im Rücklauf (vom Wärmetauscher)
- 3...5 im Mist
- 6 Außentemperatur

Im Heizkessel (c) wird das vorerwärmte Wasser auf das für die Hausheizung (d) notwendige Temperaturniveau angehoben. In einem zweiten Kreislauf wird mit der Pumpe (f) das erwärmte Wasser aus dem Miststapel in den Warmwasserspeicher (e) gepumpt. Ist das Temperaturniveau für das Brauchwasser zu niedrig, kann elektrisch nachgeheizt werden. Die Umwälzpumpe (f) ist temperaturgesteuert und schaltet sich nur ein, wenn die Temperatur im Speicher

unter einen vorgegebenen Sollwert fällt. Ein Schreiber (g) registriert die Temperaturen an den Meßpunkten 1...6 und ein Zähler (h) die entzogene Wärmemenge E und das Durchflußvolumen V, wobei dieses von einem Durchflußmesser mit Impulsgeber (i) erfaßt wird.

Wie in Abbildung 13 dargestellte Versuchsergebnisse zeigen, lagen die Temperaturen im Mist bei Außentemperaturen zwischen 0 und 15 °C zwischen 30 °C (Meßstelle 5) und 80 °C (Meßstelle 4), wobei die niedrige Temperatur direkt an der Wärmeaustauscherwand und die hohe Temperatur in 50 cm Entfernung im Mist gemessen wurden. Die Temperaturen im Rücklauf (Meßstelle 2) lagen während der gesamten Zeit relativ konstant zwischen 40 und 45 °C. Innerhalb von 20 Tagen konnten je Pferd etwa 27 kWh entsprechend 3,4% des Gesamtenergiegehaltes entzogen werden, je Tag 1,35 kWh. Das entspricht einer mittleren Leistung von 56 W/Pferd. Bezogen auf die Tauscherfläche wurden täglich 1,5 kWh/m² entzogen. In einem zweiten Versuch betrug der Wärmeentzug etwa 4% des Gesamtenergiegehaltes.

Legt man die Gesamtzahl von 40 Pferden im Betrieb zugrunde, können täglich bei einem Energiebedarf für die Umwälzpumpe von etwa 3,5 kWh, 54 kWh in Form von Wärme aus dem Mist gewonnen werden, entsprechend einer Leistung des Miststapels von 2,24 kW. Der jährliche Wärmeentzug von 19 710 kWh bedeutet bei einem Wirkungsgrad von 0,7 bei der Verbrennung von Heizöl eine mögliche Einsparung von 2824 l Heizöl. Als Nachteile müssen unter den betriebsspezifischen Bedingungen angesehen werden, daß die vom Mist angebotene Wärme im Sommer bei ausgeschalteter Heizung und geringem Warmwasserbedarf nicht voll genutzt werden kann sowie das auf Hochtemperatur ausgelegte Heizsystem im Wohnhaus, das die Niedertemperaturwärme von 40 bis 45 °C nicht direkt verwerten kann.

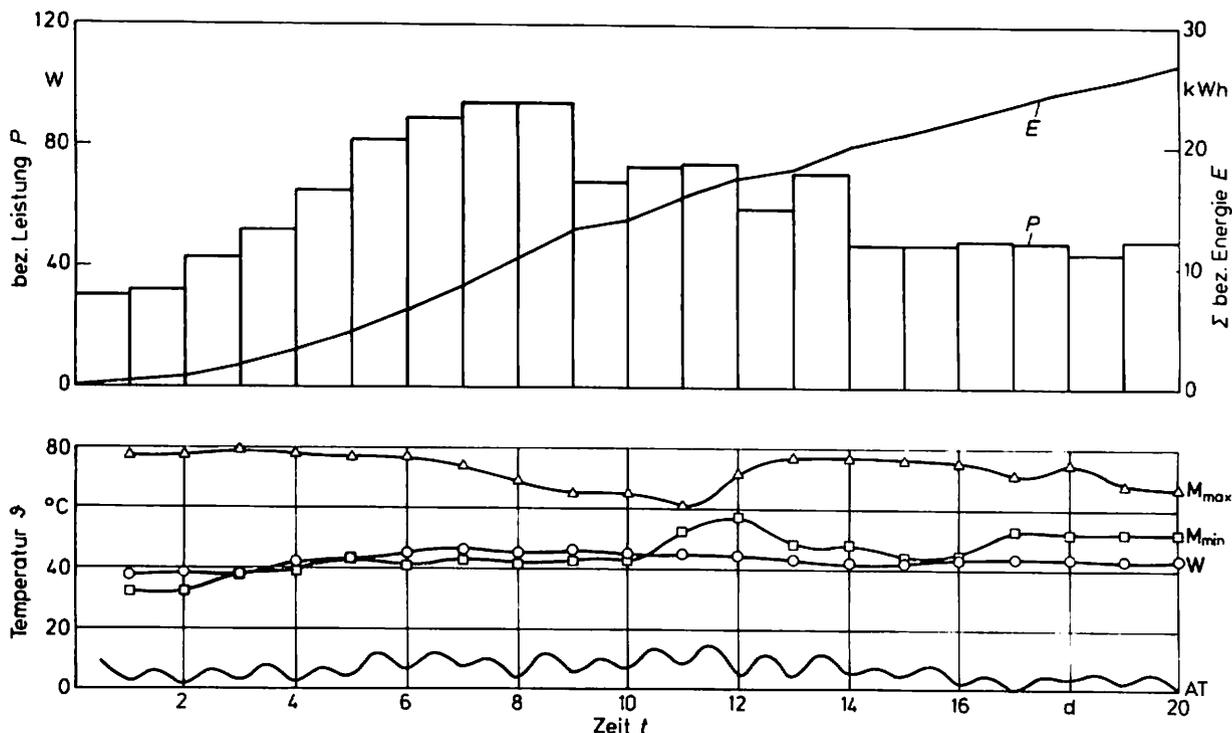


Abb. 13: Ergebnisse eines Versuchslaufes zum Wärmeentzug aus Pferdemist mit Wärmetauschern in der Bodenplatte und den Seitenwänden

oben: Leistung P und Summe der entzogenen Energie E von dem Mist eines Pferdes in Abhängigkeit von der Zeit

- unten: Temperaturverlauf an verschiedenen Meßpunkten
- M_{max} Maximaltemperatur im Mist (Meßstelle 4 in Abb. 12)
- M_{min} Minimaltemperatur im Mist (Meßstelle 5)
- W im Rücklauf vom Wärmetauscher (Meßstelle 2)
- A Außentemperatur (Meßstelle 6)

Auffallend ist ein Rückgang der Leistung des Miststapels nach etwa 9 Tagen. Das ist vermutlich auf ein Ansteigen der Höhe des Miststapels und die schlechte Wärmeleitung im Mist zurückzuführen. Der frisch aufgesetzte Mist mit seiner intensiven Wärmeentwicklung befindet sich dann oberhalb der Wärmetauscherwände.

4.3 Wärmeentzug über Wasser

Anstatt über Luft kann im Prinzip die im Festmist freierwirdende Wärme auch mit Wasser entzogen werden. Zur Überprüfung dieser Alternative wurde in einen wärmeisolierten Behälter (400 l Inhalt) (Abb. 14) Festmist gefüllt. Über eine seitliche Öffnung kann frei Luft einströmen und den Sauerstoffbedarf der aeroben Mikroorganismen decken. Eine Umwälzpumpe versprüht Wasser über den warmen Mist und saugte das erwärmte Wasser durch einen Wärmetauscher.

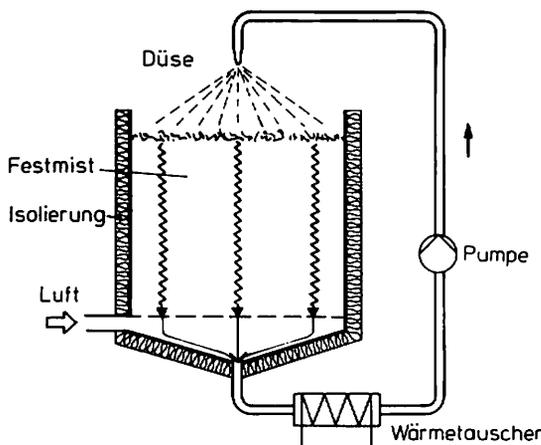


Abb. 14: Versuchsanordnung zum Wärmeentzug aus Festmist über Wasser

Innerhalb von 22 Stunden stiegen die Temperaturen im Mist auf 70 °C. Erst zu diesem Zeitpunkt wurde mit dem Wärmeentzug begonnen. Innerhalb von 7 Tagen konnten aus 90 kg Mist, entsprechend einem täglichen Mistanfall von 2,6 Pferden, 3,8 kWh/Pferd in Form von Wärme entzogen werden, das sind täglich 0,21 kWh/Pferd oder 0,53 % der im Mist enthaltenen Energie. Durch den Wärmeentzug sanken die Temperaturen im Mist auf etwa 50 °C. Im ablaufenden Wasser lagen sie bei 30 °C.

Diese niedrige Temperatur und der im Vergleich zu den vorher beschriebenen Wärmeentzugsverfahren geringeren Wärmeausbeute machen diese Verfahren uninteressant. Als weiterer wesentlicher Nachteil kommt ein großer Wasserbedarf hinzu. Je Masseinheit Mist mußte etwa die gleiche Masse Wasser hinzugefügt werden, um überhaupt Flüssigkeit umwälzen zu können. Der größte Teil des Wassers wurde vom Mist gebunden.

5 Bewertung der Versuchsergebnisse und Schlußfolgerungen

Die unter 4.1 und 4.2 dargestellten Versuchsergebnisse zeigen, daß es grundsätzlich möglich ist, aus Festmist Wärme in solchen Mengen zu entziehen, die für die praktische Anwendung interessant sind. Die erwarteten Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Systemen – Wärmetauscher auf dem Miststapel und Wärmetauscher im Betonboden, den Seiten- und Zwischenwänden – konnten in den bisherigen Versuchen nicht festgestellt werden. Die Erfah-

rungen von Kessel (1978) mit Rinder-Festmist, wonach der Wärmefluß vom warmen Mist auf der Oberfläche des Stapels zum Wärmetauscher in der Bodenplatte nach einiger Zeit aufhörte, konnte nicht bestätigt werden. Dazu können in dem von uns untersuchten Betrieb die zusätzlichen Wärmetauscher in den Seiten- und Zwischenwänden beitragen, aber auch der häufige Austausch des Mistes (alle 3 bis 4 Wochen), durch den immer wieder frisches, heißbrottendes Substrat in die Nähe der Wärmetauscher kommt. Weitere Versuchsergebnisse sollten aber vor einer endgültigen Antwort abgewartet werden.

Unter der Annahme eines Wärmeentzugs von 4 % der gesamten im Festmist enthaltenen Energie, wie sie für die technisch einfachen Systeme erreicht worden sind, bzw. 10 %, wie sie für die technisch aufwendigen Systeme möglich sein können, ergeben sich die in Abbildung 15 dargestellten Leistungen und Wärmemengen. Übertragen auf die Verhältnisse eines 4-Personen-Haushaltes sind die in der Tabelle 3 aufgeführten Großvieheinheiten zur Deckung des Energiebedarfs für Warmwasser bzw. Heizung notwendig. Während für die Deckung der Energie zur Warmwasserbereitung bereits relativ geringe Tierzahlen ausreichen, sind für Heizzwecke doch vergleichsweise große Tierzahlen notwendig. Zudem dürfte ein bivalentes Heizsystem mit einem konventionellen Energieträger notwendig sein, um Spitzenbedarfswerte abzudecken. Das Temperaturniveau des erwärmten Wassers als Energieträger ist für den Brauchwasserbedarf mit 40 bis 45 °C völlig ausreichend. Dagegen ist dieses Temperaturniveau für Heizungsanlagen mit Hochtemperaturbetrieb (70 bis 90 °C) schlecht geeignet.

Das Betreiben einer Niedertemperaturheizung mit Festmistwärme wird als ideal angesehen. Daß andererseits die Möglichkeit besteht, Wärme auf einem höheren Temperaturniveau von 60 bis 65 °C zu erreichen, haben die Versuche in Dänemark gezeigt (Thostrup, 1982).

Welchen Entzugssystemen in Zukunft der Vorrang zu geben ist, den technisch einfachen oder technisch aufwendigen, kann noch nicht beantwortet werden und ist stark von der jeweiligen innerbetrieblichen Situation abhängig. Die technisch einfachen Systeme sind mit geringen Mitteln

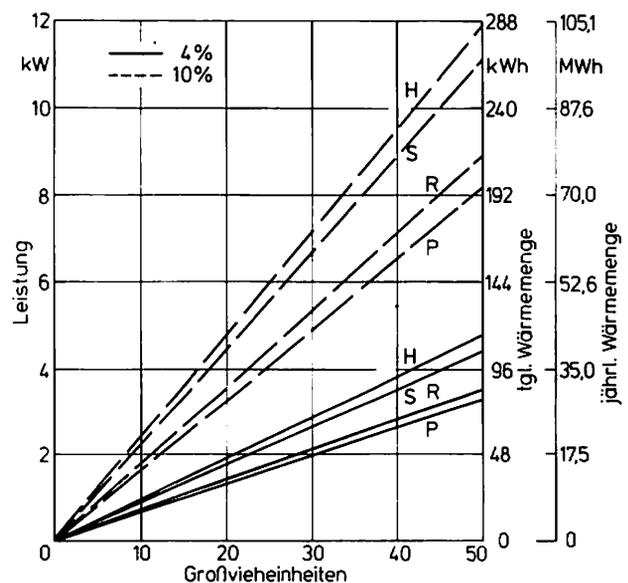


Abb. 15: Leistung und entziehbare Wärmemengen aus Festmist in Abhängigkeit von der Anzahl Großvieheinheiten bei Entzug von 4 % bzw. 10 % der enthaltenen Energie; R Rind, P Pferd, S Schwein, H Huhn.

Tabelle 3: Anzahl der Großvieheinheiten zur Bereitstellung von Energie aus dem Festmist zur Warmwasserbereitung (1) bzw. Heizung (2) in einem 4-Personen-Haushalt bei Entzug von 4 % bzw. 10 % der im Festmist enthaltenen Energie

	Tierart			
	Rind	Pferd	Schwein	Huhn
Warmwasserbereitung bei 4 % Wärmeentzug	5	5	4	4
bei 10 % Wärmeentzug	2	2	2	2
Heizung bei 4 % Wärmeentzug	127	135	103	94
bei 10 % Wärmeentzug	50	55	41	38

(1) 8 kWh/Tag
(2) 215 kWh/Tag; 45 000 kWh/Jahr

in Eigenarbeit zu erstellen, liefern aber auch deutlich weniger Energie als die technisch aufwendigen Systeme, die höhere Investitionen, Fachkräfte für den Bau und höheren Wartungsaufwand erfordern.

Zusammenfassung

Die bei der Verrottung von Festmist freiwerdende Wärmeenergie wird bisher kaum genutzt. Es wird über in der Literatur beschriebene Anlagen und eigene Untersuchungen zum Wärmeentzug aus Pferdemit berichtet.

In zwei landwirtschaftlichen Betrieben wurden Versuche mit unterschiedlichen Entzugssystemen durchgeführt. Während im Betrieb 1 ein Wärmetauscher ($7,1 \text{ m}^2$) auf den Miststapel aufgelegt wurde, waren im Betrieb 2 die Bodenplatte unter dem Miststapel und die Seiten- und Zwischenwände aus Beton als Wärmetauscher gestaltet. Es wurde der Mist von 10 bzw. 40 Pferden genutzt. Im Betrieb 1 konnte eine mittlere Leistung von 48 W je Pferd erzielt werden und ein Wärmeentzug der etwa 3 % der im Mist enthaltenen Energie entsprach. Für den Betrieb 2 betragen die Werte 56 W je Pferd entsprechend 3,4 %.

Versuche, die im Mist freiwerdende Wärme über Spülwasser zu entziehen, brachten keinen Erfolg.

Anhand von Versuchsergebnissen werden für einen 4-Personen-Haushalt die notwendigen Tierzahlen errechnet, um aus der Kompostierungswärme von Festmist die Hausheizung bzw. Warmwasserbereitung zu betreiben.

Heat recovery from litter manure

The heat from the composting of litter manure is nearly unused up to now. It is reported about plants described in literature and own investigations about heat recovery from horse manure.

Trials with different heat exchangers were carried out on two farms. While the heat exchangers ($7,1 \text{ m}^2$) was laid on the manure on farm 1, the ground under the manure heap and the side- and middlewalls from concrete were built as heat exchangers on farm 2. The litter manure was used from 10 resp. 40 horses. On farm 1 a power was reached of 48 W per horse and a heat recovery of about 3 % of the energy in the manure. For farm 2 the results were 56 W per horse corresponding to 3,4 %.

Trials to recover heat by water had no success.

On the basis of results of trials the number of animals was calculated necessary for heating resp. warmwater preparation of a 4 persons household.

Literatur

A n o n y m : 50 Schweine heizen täglich 800 l Brauchwasser auf. – Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung Nr. 46 (1979), S. 22–23.

A n o n y m : Wohl dem, der einen Misthaufen hat. – Landwirtschaftsblatt Westfalen-Lippe Nr. 14 (1982), S. 52–54

B a a d e r, W.: Freisetzung von Wärme aus organischen Reststoffen der landwirtschaftlichen Produktion. – Landbauforschung Völkenrode 26 (1976), H. 3, S. 171–176.

B e r g n e r, H. und K e t z, H.-A.: Verdauung, Resorption, Intermediärstoffwechsel bei landwirtschaftlichen Nutztieren. – Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1969.

C o o n e y, C. L., W a n g, D. I. C. und M a t e l e s, R. I.: Measurement of heat evolution and correlation with oxygen consumption during microbial growth. – Biotechnology and Bioengineering 9 (1968), S. 269–281.

E i c k e n h o r s t, H. und K i m p e n h a u s, W.: Agro-Wärmepumpe nutzt die Wärme von Stallmist – Elektrowärme im technischen Ausbau; elektrowärme international, Edition A, 35 (1977), S. 290–294.

K e s s e l, H. W.: Wärmegewinnung aus Fest- und Flüssigmist. – Landtechnik (1978), H. 2, S. 76–78.

L i n d e m a n n - G e h r k e, H.: Geistesblitz beim Miststapeln. – Land Report Nr. 14 (1982), S. 10.

N e h r i n g, K.: Futtermitteltabellenwerk. – Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1970.

R o e m e r, Th. und S c h e f f e r, F.: Lehrbuch des Ackerbaues. – Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg 1959.

R W E (Hrsg.): Bau-Handbuch Technischer Ausbau 1981/82. – Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG, Essen 1981.

S c h u c h a r d t, F.: Einfluß des ökologischen Faktors „Struktur“ auf die Kompostierung von Flüssigmist-Festmist-Feststoff-Gemengen. – Diss. TU Berlin 1977, Landbauforschung Völkenrode Sh. 38 (1977).

Schuchardt, F. und Orth, H.W.: Entzug von Kompostierungswärme aus landwirtschaftlichen Abfallstoffen. – Landbauforschung Völkenrode 28 (1978), H. 3, S. 179–187.

Schuchardt, F., Baader, W., Orth, H.W. und Thaer, R.: Untersuchungen über die Möglichkeiten der Steuerung der Selbsterhitzung beim mikrobiellen Abbau organischer Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion, mit dem Ziel maximaler Energieausbeute. – Abschlußbericht zur Forschungsarbeit BML: BA 137, Braunschweig 1978.

Schuchardt, F.: Heat production by composting animal wastes. – In: Strub, A. et. al. (Hrsg.): Energy from Biomass. Applied Science Publishers, London und New York 1982, S. 470–474.

Schuchardt, F.: Recovery of heat from composting of horse manure. – Seminar „Composting of Organic Wastes“, Jutland Technological Institute, Aarhus, Dänemark, 8.–9. 11. 1982, S. 91–101.

Schulz, H., Perwanger, A. und Mitterleitner, H.: Einsatzmöglichkeiten verschiedener Energieträger in der Landwirtschaft. – Endbericht des Landtechnischen Vereins in Bayern e. V. und der Landtechnik Weihenstephan über den Forschungsauftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1982), 327 S.

Schirz, St.: Abschlußbericht des KTBL zum Pilotvorhaben Hessen: „Wärmerückgewinnung aus Festmist bei Landwirt Heinz Koch“. – 15.2.1983.

Strauch, D., Baader, W. und Tietjen, C. (Hrsg.): Abfälle aus der Tierhaltung. – Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 1977.

Thostrup, P.: Preliminary paper on continuous thermophilic composting heat plant from solid manure. – Seminar „Composting of Organic Wastes“, Jutland Technological Institute, Aarhus, Dänemark, 8.–9.11.1982, S. 63–86.

Mein besonderer Dank gilt den Herren Walkemeyer und Vater, auf deren Betrieben wir einen Teil der Untersuchungen durchführen konnten und die uns bei der Überwachung und Datenerfassung sehr behilflich waren, sowie Herrn Jürgen Breford (Institut für Technologie) für seine ideenreiche und gewissenhafte Durchführung und Auswertung der Versuche.

Verfasser: Schuchardt, Frank, Wiss. Oberrat, Dr. agr., Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baader