

Jürgen Beck, Ralf Schmalzbauer und Thomas Jungbluth, Hohenheim

# Thermische Verwertung tierischer Reststoffe

*Tierische Exkrememente enthalten beträchtliche Energiemengen, die durch die Zugabe von Einstreu weiter steigen. Die thermische Verwertung tierischer Reststoffe erschließt eine ergiebige regenerative Energiequelle. Um die Brennwerte von Kot, Harn, Einstreusubstraten und Festmistern für weitergehende Verwertungsalternativen zu kennen, wurden die Substrate zuerst mit der Adiabatischen Kalorimetrie untersucht. Mit Ausnahme von Harn wiesen sie im Mittel Brennwerte von etwa 20 MJ kg<sup>-1</sup> auf. Dies wurde ergänzt durch die Bewertung der Heizwerte der Pyrolyseprodukte aus einer Laborpyrolyseanlage.*

Dr. Jürgen Beck ist Akademischer Oberrat am Fachgebiet Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme (Leiter: Prof. Dr. T. Jungbluth), Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, D-70599 Stuttgart; e-mail: [jafbeck@uni-hohenheim.de](mailto:jafbeck@uni-hohenheim.de)

Dr. Ralf Schmalzbauer war Studien- und Diplomarbeit am Fachgebiet und ist heute Mitarbeiter der Fa.WS-Reformer GmbH in 71272 Renningen. Die Untersuchungen wurden vom Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg gefördert.

## Schlüsselwörter

Tierische Exkrememente, Mist, Brennwert, Heizwert, Pyrolyse, Verbrennung

## Keywords

Animal manure, litter material, gross calorific value, net calorific value, pyrolysis, incineration

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06320 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

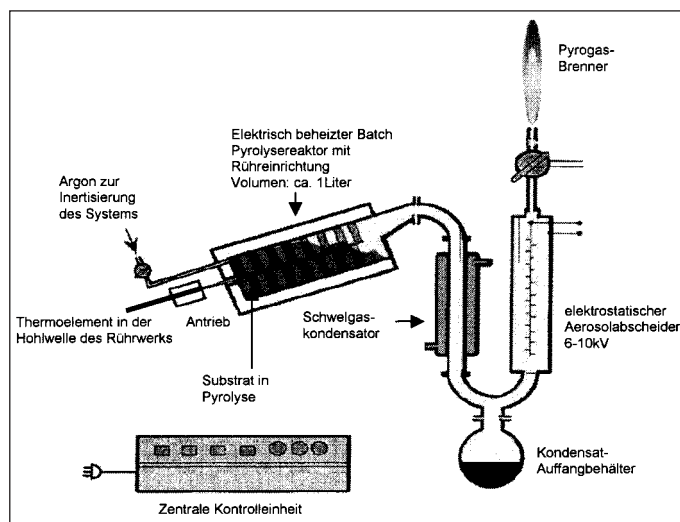
Die Probleme mit Reststoffen der Tierhaltung sind in allen Verdichtungsgebieten hochaktuell. Um ihr Einkommen zu steigern, vergrößerten die Tierhaltungsbetriebe ihren Viehbesatz mit Folgen wie Überdüngung, Emissionen von Schadgasen und Gerüchen, eutrophierte Grund- und Oberflächengewässer und zusätzlichen Risiken durch Krankheitserreger [1]. Doch die Probleme existieren nicht nur bei der Haltung von Rindern, Schweinen und Geflügel, sondern auch von Pferden. In Deutschland reiten etwa 1,6 Mio. Menschen rund 1 Mio. Pferde und Ponies. Ein Großteil der Pferde wird in 7063 Reitvereinen oder von privaten Besitzern gehalten, ohne dass die im Mist enthaltenen Nährstoffe vernünftig genutzt werden. Heutzutage ist dies bei rund 9 t Mist pro Pferd und Jahr ein beachtliches Umweltproblem. Auf Grund des gestiegenen Einstreuverbrauchs pro Pferd ist Pferdemist nun zu trocken und zeichnet sich durch geringe Dichte und niedrige Nährstoffgehalte aus. Zunehmend wird Einstreu auf Holzbasis eingesetzt, die die Akzeptanz dieses Wirtschaftsdüngers im Marktfruchtbau reduziert hat [2]. So müssen Pferdehalter heute bis zu 430 Euro pro Pferd und Jahr für die gewerbliche Entsorgung bezahlen [3].

## Ziele

Um das Problem zu lösen, sollte ein Behandlungsverfahren entwickelt werden, das in der Lage ist, die Abfallmasse signifikant zu reduzieren und im Bedarfsfall wertvolle Nährstoffe zurückzugewinnen,

*Bild 1: Schematische Darstellung der Laborpyrolyseanlage (nach [10])*

*Fig. 1: Schematic illustration of the laboratory pyrolysis unit ([10], modified)*



wie etwa Phosphor. Getrockneter Mist ist ein traditioneller Brennstoff in Ländern mit Mangel an Feuerholz. So ist es folgerichtig, Mist als regenerative Energiequelle zur thermischen Nutzung zu betrachten. Dieses Thema wurde in zwei Laboruntersuchungen bearbeitet. Zuerst wurden als Grundlage die Brennwerte verschiedener Einstreusubstrate, Kot-, Harn- und Mistproben bestimmt [4] und anschließend die Eignung dieser Reststoffe zur thermischen Zersetzung (Pyrolyse) [5].

## Kenntnisstand

Im Gegensatz zur Verbrennung oder Vergasung wird die Pyrolyse unter Sauerstoffabschluss durchgeführt. Die Differenzierung in verschiedene Prozessbereiche und Phasen der Entgasung ist temperaturabhängig. Bei der Pyrolyse fallen folgende Produkte an:

- Brennbare Pyrolysegase (Schwelgase),
- Öle, „Teer“ und wässrige Kondensate
- sowie kohlenstoffhaltige feste Rückstände (Pyrolysekoks).

Bei niedrigen Temperaturen entstehen mehr Pyrolyseöl und -koks, bei höheren Temperaturen ist die Gasproduktion gesteigert [6, 7]. Die für die eigenen Untersuchungen eingesetzte Mitteltemperaturpyrolyse (500 °C bis 800 °C) bildet beim Schwelprozess sowohl aus den flüssigen, organischen Produkten als auch aus dem festen Kohlenstoff überwiegend Permanentgase (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>) [8].

## Material und Methoden

Zur Abschätzung des Energiepotentials in tierischen Reststoffen wurden vorab fünf Einstreusubstrate aus Holz (Hobelspane - A, Sägespäne - A, Hobelspane - R, Weichholzgranulat - R, Holzpellets - R), vier aus Stroh (Strohpellets -B-, Pellets aus aufgeschlossenen Stroh -S-, Strohhacksel mit Cellulose-

schnipseln -P-, Chips aus Stroh und Cellulose - P), zwei aus Hanfschäben (Hanfschäben - W und Hanfschäben - B), ein Substrat aus Flachsschäben - W sowie sechs Pferdekotsubstrate und zwei brikierte Pferdemistproben durch Adiabatische Kalorimetrie auf Brenn- und Heizwerte untersucht. Getrocknete, zerkleinerte Substratproben (je 0,7 g) wurden im Bombenkalorimeter IKA C4000 A [9] des Instituts für Tierernährung der Universität Hohenheim in reiner Sauerstoffatmosphäre verbrannt und die dabei freigesetzte Energie bestimmt.

Die Pyrolyseprodukte wurden bei Reaktortemperaturen von 550 °C an der Laborpyrolyseanlage des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart gewonnen und anhand ihrer Heizwerte beurteilt. Vor jeder Messung wurden Reaktor, Schwelgaskondensator, Kondensatauffangbehälter und elektrostatischer Aerosolabscheider einzeln gereinigt gewogen. Danach wurde der Reaktor (Bild 1) mit vorgetrocknetem Substrat (Kot, Harn oder Einstreu) befüllt.

Nach dem Zusammensetzen der Laborpyrolyseanlage wurde das System zur Inertisierung mit Argon gespült. Durch Aktivierung der elektrischen Heizung (Solltemperatur 650 °C, Heizrate 3 K s<sup>-1</sup>) startete der Versuch, bei dem der Reaktor auf 550 °C erwärmt wurde. Das austretende Pyrolysegas durchströmte den wassergekühlten Kondensator, wobei der kondensierbare Anteil gesammelt wurde. Das Permanentgas durchströmte danach den elektrostatischen Aerosolabscheider (Spannung 6 bis 10 kV), wo es von kleinsten Partikeln gereinigt wurde, bevor es über der Zündflamme verbrannte. Während der Versuche wurden Reaktorin-

nentemperatur und Flammenhöhe an der Gasfackel gemessen. Außerdem wurden das entstandene Kondensat und die Intensität des Kondensatflusses visuell bewertet und der Beginn der H<sub>2</sub>O Kondensation registriert. Mit der Zunahme des Kondensatflusses kondensierten die ersten Pyrolyseprodukte als Teer und Öl. Nach der Abkühlphase über Nacht musste die Anlage zerlegt und in Einzelteilen gewogen werden. Ein Probendurchgang dauerte drei bis vier Stunden. Die Rückstandsmenge an Pyrolysekoks, die kondensierbaren Pyrolysegasanteile (Teere und Öle) und der Permanentgasanteil (H<sub>2</sub>, CO) wurden durch Massendifferenzen bestimmt, die in Massenbilanzen einfließen.

### Ergebnisse

Insgesamt wurden bei den Substratgruppen mit Ausnahme von Harn, Brennwerte um 20 MJ g<sup>-1</sup>TS analysiert. Nach dem Brennwert geordnet ergab sich folgende Rangordnung mit abnehmenden Werten: Holz ⇒ Faserpflanzen ⇒ Stroh.

Wird dem Einstreumaterial Harn zugeführt, sinkt der Brennwert bei Sättigung um knapp 20%. Wird zu Einstreu und Harn der Kot zugefügt, wie bei Mistbriketts, hält sich der Brennwert auf durchschnittlich hohem Niveau. Die Brennwerte (H<sub>o</sub>) der Substrate, die später pyrolysiert wurden, sind in Tabelle 1 eingeflossen.

Während der Pyrolyseuntersuchungen wurden die Brenn- und Heizwerte der einzelnen Pyrolyseprodukte (Koks und Schwelgas) aus Einstreusubstraten, Pferdemistbriketts sowie Kot und Harn von Schwein, Rind und Pferd analysiert. Koksproben hatten dabei je nach Substrat einen Anteil von 26,6 %

bis 66,5 %, während die Schwelgasanteile von 33,5 bis 73,4 % variierten. Im Anschluss daran wurden Inputsubstrate und Pyrolysekoksproben einer Elementaranalyse unterzogen und anhand der C-, H-, N-Gehalte verglichen. Demnach resultierte aus der Pyrolyse ein Energieträger mit einem um bis zu 36,1% gesteigerten Kohlenstoffgehalt gegenüber dem Ursprungssubstrat.

Aus den Daten der Elementaranalyse wurden die Heizwerte (H<sub>u</sub>) der Inputsubstrate und der Pyrolysekoksproben näherungsweise berechnet (Tab. 1). Der Heizwert des Schwelgases konnte aus der Differenz der Heizwerte von Inputsubstrat und Pyrolysekoks berechnet werden.

Die Heizwerte (H<sub>u</sub>) der Pyrolysekoksproben waren höher als die Heizwerte der Inputsubstrate, mit Ausnahme von Schweinekot und der Gruppe der Harnsubstrate. Die Heizwerte der Koksproben aus den Einstreusubstraten lagen mit 60 % bis 80 % über den Heizwerten der Inputsubstrate, während es die Kotsproben lediglich auf + 25 % schafften. Eine Ausnahme bildete der Koks aus Schweinekot. Dieser hatte einen um etwa 10 % geringeren Heizwert als der Input an Schweinekot. Hierfür verantwortlich waren die Asche- und Kohlenstoffgehalte. Da die Aschegehalte in der Gruppe der Harn maximale Werte erreichten (bis zu 64,2% in der TS beim Input an Rinderharn) und die C-Gehalte sehr gering waren, wurde bei allen Harnvarianten ein verringerter Heizwert gegenüber den Inputsubstraten registriert. Bei Rinderharn konnte nur ein fehlerhafter negativer Heizwert bestimmt werden (hohe Aschegehalte, extrem niedrige Gehalte an C, N und S; Fehler bei Probennahme und Weiterverarbeitung).

Die Heizwerte (H<sub>u</sub>) der Pyrolysegase aus Einstreusubstraten und Mistbrikett lagen zwischen 11890 kJ kg<sup>-1</sup> und 14272 kJ kg<sup>-1</sup> (Hanfschäben - B, Flachsschäben - W). In der Gruppe der Kotsproben wurden für Pferde- und Rinderkot Heizwerte von etwa 15000 kJ kg<sup>-1</sup> errechnet. Schweineharn erreichte 11300 kJ kg<sup>-1</sup>, während die Pyrolysegase von Pferdeharn bis zu 15318 kJ kg<sup>-1</sup> erzielten. In der Literatur fanden sich stark abweichende Angaben zum Heizwert von Pyrolysegasen. [11] ermittelten einen Heizwert von 3256 kJ kg<sup>-1</sup> für Reststoffe aus der Schweinehaltung. Diese Daten können nur bedingt als Vergleich herangezogen werden, da die Erzeugung von Gas im Vordergrund stand und somit die Prozessparameter (wie Temperatur und Druck im Reaktor) anders gewählt worden waren.

Festzuhalten bleibt, dass aus einer Tonne Frischmist etwa 83 kg Pyrolysekoks mit einem Heizwert von ungefähr 2 420 000 kJ (~ 674 kWh) zu erzeugen sind, was etwa 58 Liter Heizöl entspricht.

Tab. 1: Brenn- (H<sub>o</sub>) und Heizwerte (H<sub>u</sub>) der Inputmaterialien, Pyrolysekoksproben und -gase (n.b. = nicht bestimmt)

Table 1: Calorific value (H<sub>o</sub>) and heating value (H<sub>u</sub>) of input substrates, pyrolysis cokes and gases (n.b. = not analysed)

Substrat	Inputmaterial			Koks H <sub>u</sub> (kJ kg <sup>-1</sup> )	Gas H <sub>u</sub> (kJ kg <sup>-1</sup> )
	H <sub>o</sub> * (kJ kg <sup>-1</sup> )	H <sub>u</sub> (kJ kg <sup>-1</sup> )	H <sub>o</sub> (kJ kg <sup>-1</sup> )		
Hanfschäben - B	19337	17113	18431	29656	11890
Hanfschäben - W	19672	18113	19453	30541	13423
Flachsschäben - W	20063	18240	19580	29190	14272
Miscanthus	n.b.	16563	17793	24902	12437
Strohpellets - B	18739	16485	17782	26585	12011
Strohpellets - S	19429	17807	19169	27898	13379
Holzgranulat - R	20114	18363	19724	31695	13075
Mistbrikett	19409	17983	19345	29239	12159
Schweinekot	n.b.	18948	20332	17542	19770
Rinderkot	n.b.	17843	19139	21278	15730
Pferdekot (Stute)	19070	18004	19332	23622	14297
Pferdekot (Stute tragend)	19087	17791	19087	22247	14966
Pferdekot (Hengst)	19142	18417	19735	23397	15403
Schweineharn	n.b.	10527	11362	9706	11300
Rinderharn	n.b.	8288	8981	-1820	n.b.
Pferdeharn	9464	8792	9407	4047	15318

\*gemessene Werte aus [4]