

gen) kein Austauen stattfindet, also die o. g. Verdampfungswärme \dot{Q}_V (etwa das 15- bis 25fache der tatsächlich rückgewinnbaren Wärme) objektiv nicht rückgewinnbar ist.

Die Ursache ist das (im Untersuchungsfall unumgängliche) Wärmerückgewinnungskonzept der primären Sekundärenergienutzung, d. h. der Verlustnutzung im Verursachungsprozeß, indem infolge der Luft-Luft-Wärmeübertragung sowohl die Kalt- und Warmluftmengen als auch die beiderseitigen α -Zahlen von gleicher Größenordnung sind und daher für ein Austauen zu hohe Wandtemperaturen nach sich ziehen.

Dieser Umstand wäre veränderbar, wenn z. B. größere Kaltwassermengen ($\alpha_{\text{Wasser}} > \alpha_{\text{Luft}}$, $\dot{Q}_{\text{Wand}} \approx \dot{Q}_{\text{Wasser}}$) zu erwärmen wären, die aber im Verursachungsprozeß nicht benötigt werden. Es wäre sekundäre Sekundärenergienutzung anzustreben.

Ähnlich den Erfahrungen mit Luftvorwärmern bei Industrieöfen sind dem Wärmerückgewinn bei primärer Sekundärenergienutzung Grenzen gesetzt. Stärkere Sekundärenergienutzung ist an die Form der se-

kundären Sekundärenergienutzung gebunden und erfordert damit das Vorhandensein koppelbarer, technologisch voneinander unabhängiger Prozesse.

Das sollte bereits bei der Vorbereitung von Investitionsvorhaben, etwa bei der Standortwahl, berücksichtigt werden.

5. Schlußbemerkungen

Die Ausführungen zeigen, daß trotz der begrenzten jährlichen Betriebsstundenanzahl von Trocknungsanlagen selbst bei abschließlicher primärer Sekundärenergienutzung mit Hilfe von WÜ beim Einsatz von Plattenwärmeübertragern ökonomisch günstige Werte erzielt werden können, die sich bei Kombination mit direktem Wärmerückgewinn durch Abgaszirkulation noch verbessern lassen. Die weiteren Anstrengungen sind deshalb auf eine hinreichende Restfeststoffabtrennung aus dem Abgas zu richten, eine nicht einfache Aufgabe, die zu lösen aber erforderlich ist, wenn der-z. Z. noch unbefriedigende Stand der Sekundärenergienutzung in der Volkswirtschaft der DDR [9] überwunden werden soll.

Literatur

- [1] Kretschmer, W.: Ingenieur-Taschenbuch Wärmetechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1961.
- [2] Arbeitsmaterial Anfallenergie. IfE/ZRE, Bereich Dresden, 1979 und Nachtrag 1982.
- [3] Riesner, W.: Rationelle Energieanwendung. Leipzig: VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1982.
- [4] Kreuzstrom-Platten-Wärmeübertrager, VEB Anlagenbau Hohenstein-Ernstthal, Informationsmaterial 1981.
- [5] Plattenwärmeübertrager. VEB Lüftungs- und Entstaubungsanlagen Bösdorf, Informationsmaterial 1982.
- [6] Einsatz von Wärmerohren zur Wärmerückgewinnung in Stallanlagen. Forschungsinstitut SVUSS Prag-Bechovice, Anschauungsmaterial und mündliche Informationen 1982.
- [7] Woitowitz, I.: Anfallenergienutzung in einem Trockenwerk. IH Wismar, Diplomarbeit 1982.
- [8] Michejew, M. A.: Grundlagen der Wärmeübertragung. Berlin: VEB Verlag Technik 1964.
- [9] Schubert, M.: Höhere Energieökonomie – ein Schwerpunkt der KDT-Arbeit in den 80er Jahren. Technische Gemeinschaft, Berlin 30 (1982) 11, S. 5–7.

A 3649

Meßverfahren für die Bestimmung der Harnstoffverteilung in großen Preßkörpern aus Stroh

Dipl.-Ing. F. Marten, KDT/Phys. M. Walljahn
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

A_0, A	Aktivität zur Zeit $t = 0$, zur Zeit t in s^{-1}
I_0, I	Impulsrate zur Zeit $t = 0$, zur Zeit t in min^{-1}
\bar{I}_0	Mittelwert der Nulleffektimpulsrate in min^{-1}
I_{01}, I_{02}	Nulleffektimpulsrate vor, nach der Meßreihe in min^{-1}
\bar{I}_v	Mittelwert der Vergleichsquellenimpulsrate in min^{-1}
I_{v1}, I_{v2}	Vergleichsquellenimpulsrate vor, nach der Meßreihe in min^{-1}
t	Zeit in s, min, h, d
$t_{\text{HAU-198}}$	Halbwertszeit für ^{198}Au
X	relative Harnstoffkonzentration
λ	Zerfallskonstante in $s^{-1}, \text{min}^{-1}, h^{-1}, d^{-1}$

1. Aufgabenstellung

Die volkswirtschaftlich notwendige Erhöhung der Verfahrenseffektivität von der Bergung über den Transport bis zur Lagerung des Strohs sowie die garantierte Sicherung der Futterstrohqualität erfordern neue technische und technologische Lösungen. Einen wesentlichen Schritt in diese Richtung stellt z. B. das Großballenverfahren dar. Hier werden hochverdichtete Einheiten mit echtem Stückgutcharakter produziert, deren Um Schlag eine vollmechanisierte Arbeitskette ermöglicht. Bei einer Dichte der Originalsubstanz (OS) von $\rho = 150 \dots 180 \text{ kg/m}^3$ können Großballen je nach ihren Abmessungen eine Masse $m = 500 \text{ kg}$ erreichen. Stromeyer [1] wies nach, daß Stroh bei diesen Dichten mit einem Trockensubstanzgehalt von $\leq 84 \%$ nur schadlos überlagert werden kann, wenn entsprechende Konservierungsmittel zugegeben werden. Als geeignetes und verfügbares Mittel ist Harnstoff bekannt. Durch die Harnstoffzusätze kann neben ihrer konservierenden Wirkung der energetische Futter-

wert des feuchten Strohs mindestens erhalten werden. Für bestimmte Bedingungen wurde ein Aufschlußeffekt nachgewiesen, durch den die Energiekonzentration erhöht wird [2, 3].

Im Interesse eines sicheren Konservierungserfolgs bei minimalem Aufwand ist eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Konservierungsmittels im Preßkörper notwendig. Zum Nachweis der Eignung verschiedener Varianten von Applikationseinrichtungen und des Einflusses von Parameteränderungen auf die Verteilungsverhältnisse mußte ein Meßverfahren gefunden werden, mit dem eine schnelle Bestimmung der Harnstoffverteilung über das Preßkörpervolumen möglich ist.

2. Angewandtes Meßverfahren

Unter Beachtung vorgenannter Forderungen schied eine chemische Analyse wegen des hohen Zeit- und Kostenaufwands aus. Geeignet erschien dagegen die Verwendung radioaktiv markierten Harnstoffs, dessen Verteilung in den einzelnen Schichten der Ballen mit Hilfe eines Strahlungsdetektors nachweisbar ist. Somit wurde es möglich, kurzfristig über die Verteilungsverhältnisse des Harnstoffs in dem aus einzelnen Schichten bestehenden Ballen Kenntnis zu erhalten und im Bedarfsfall Änderungen an den Einstellparametern der Applikationseinrichtung vorzunehmen. Bei den Untersuchungen im Forschungszentrum für Mechanisierung Schlieben/Bornim wurde für die Markierung des Harnstoffs das radioaktive Nuklid ^{198}Au verwendet. Die geringe Halbwertszeit dieses Isotops von 2,69 Tagen entsprach den Strahlenschutzbestimmungen. Die Applikation er-

folgte während des mobilen Feldeinsatzes. Außerdem ist das Isotop ^{198}Au für die Markierung organischer Stoffe besonders geeignet, da es in der Form von Goldchlorwasserstoffsäure (HAuCl_4) an die freien Valenzen chemisch angelagert wird. Der Vertrieb des Isotops erfolgt durch die Isocommerz GmbH – Binnen- und Außenhandel für radioaktive und stabile Isotope – 1115 Berlin-Buch.

3. Gestaltung der Meßanlage

Der Meßplatz (Bild 1) bestand aus einer Szintillationsmeßsonde VA-S-968.1, einem Strahlungsmeßgerät 20026, einem Impulsdichtemesser VA-D-440, einem Schreiber VA-G-140 und einem Ergebnisdrukker 23144 (Hersteller bzw. Lieferer: VEB Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden). Die Szintillationsmeßsonde dient als Strahlungsdetektor und ist mit einem γ -Strahlungs-Szintillator aus NaI(Tl) ausgerüstet.

Ein tischähnlicher Rahmen mit einem Führungssystem für den Sonden träger bildet die Konsole für den abnehmbaren Sperrholbehälter (Bild 2). Dieser Behälter ist so bemessen, daß er eine vollständige Schicht des Preßkörpers aufnimmt. Unmittelbar unter dem Boden des Behälters befindet sich der Sonden träger, der mit Hilfe von Führungsrollen an jede beliebige Stelle des Kastenbodens gefahren werden kann. Die Koordinaten in x- und y-Richtung sind an Markierungen ablesbar. Im Sonden träger (Bild 3) wird die Szintillationsmeßsonde fest positioniert, wobei die Lage in z-Richtung in Grenzen stufenlos verstellbar ist. Durch eine ringförmige Bleibschirmung um den Szintillator (Bild 4) wird erreicht, daß die Aktivität nur in einem definierten Volumen gemessen wird.

4. Vorbereitung der Messung

4.1. Ermittlung der Einstellwerte des Strahlungsmeßgeräts 20026

Um brauchbare Meßergebnisse beim Zählbetrieb des Strahlungsmeßgeräts zu erzielen, ist es notwendig, die Einstellwerte entsprechend dem verwendeten Isotop zu optimieren. Dazu wurde eine Probe mit $^{198}_{79}\text{Au}$ markierten Harnstoffs benutzt. Bei unterschiedlicher Verstärkung wurde die Impulsrate der Probe in Abhängigkeit von der Arbeitsspannung gemessen und in einem Diagramm dargestellt (Bild 5). Aus den Kurven wurde die mit dem längsten Plateau ausgewählt (Verstärkungsfaktor 16 dB). Die nach [4] festgelegte Betriebsspannung betrug 1 150 V. Da zur Markierung nur ein Isotop verwendet wurde, von dem aufgrund der Distanz und der Abschirmwirkung des Sperrholzbodens nur die γ -Strahlung, nicht aber die β -Strahlung zum Detektor gelangt, kann im Interesse einer hohen Impulsrate ausbeute das Meßgerät als Diskriminator betrieben werden. Die Diskriminatorschwelle betrug 1 V.

4.2. Wahl der Meßdauer

Der Zerfall radioaktiver Nuklide unterliegt statistischen Gesetzmäßigkeiten. Je größer die Anzahl der registrierten Impulse ist, desto genauer wird das Meßergebnis. Da die Impulsrate I , die die Meßgröße darstellt, nicht mehr beeinflusst werden konnte, mußte die Meßdauer möglichst hoch gewählt werden. Im Interesse eines rationellen Meßablaufs war jedoch ein Optimum anzustreben, das wie folgt ermittelt wurde. Unter Meßbedingungen wurde die Meßdauer schrittweise erhöht, und dabei wurden jeweils 10 Messungen durchgeführt. Anschließend wurde die Standardabweichung berechnet und in Abhängigkeit von der Meßdauer grafisch dargestellt (Bild 6).

Die Meßdauer wurde dann so festgelegt, daß die Standardabweichung 1 % nicht überstieg. Je nach Aktivität und applizierter Menge des Harnstoffs war die Meßdauer neu zu bestimmen.

4.3. Mathematische Betrachtungen

Die Aktivität radioaktiver Isotope klingt nach dem Zerfallsgesetz ab:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Die Halbwertszeit ist der Zeitraum, in dem die Aktivität auf die Hälfte abgeklungen ist. Sie beträgt für das verwendete Isotop $^{198}_{79}\text{Au}$ $t_{\text{HAu-198}} = 2,69 \text{ d}$ [5].

In das Zerfallsgesetz eingesetzt, ergibt sich die Zerfallskonstante für $^{198}_{79}\text{Au}$:

$$\lambda_{\text{Au-198}} = 0,2577 \text{ d}^{-1}$$

Die Impulsrate ist unter gleichen Meßbedingungen proportional der Aktivität. Bei dem verwendeten Goldisotop nimmt die Impulsrate nach folgender Funktion ab:

$$I = I_0 \cdot e^{-0,2577 \text{ d}^{-1} t} \quad (2)$$

Der durch das Abklingen hervorgerufene Fehler sollte 1 % nicht übersteigen. Daraus ergibt sich nach Gl. (2) eine maximal zulässige Gesamtmeßdauer für eine Meßreihe von 56 min. Praktisch dauerte eine Meßreihe mit 144 Meßorten etwa 45 min. Damit auch die Meßwerte der einzelnen Meßreihen untereinander verglichen werden können, wurde unmittelbar vor und nach jeder Meßreihe eine Vergleichsmessung durchgeführt.

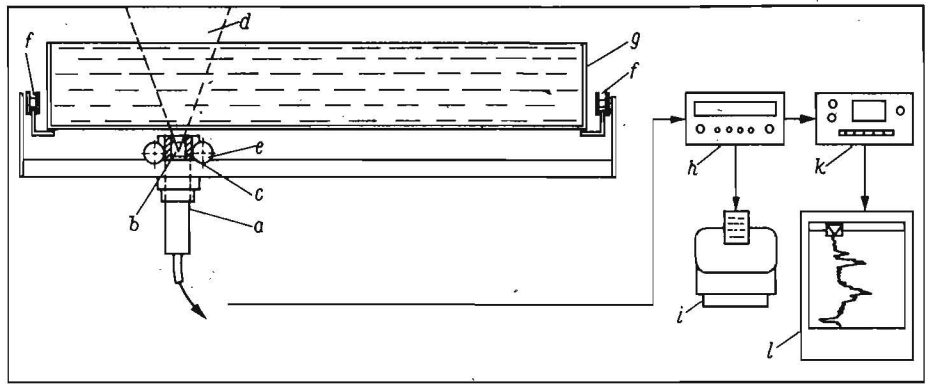


Bild 1. Prinzipdarstellung der Meßanlage; a Szintillationsmeßsonde VA-S-968.1, b NaJ(TL)-Kristall, c Bleiabschirmung, d von der Sonde erfaßtes Volumen, e Führungsrollen für Lageveränderung in x-Richtung, Führungsrollen für Lageveränderung in y-Richtung, g Behälter mit eingelegter Strohschicht, h Strahlungsmeßgerät 20026, i Ergebnisdrucker, k Impulsdichtemesser VA-D-440, l Schreiber VA-G-140

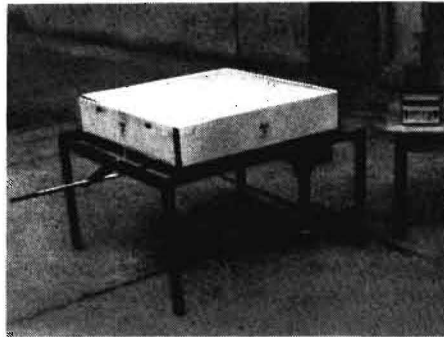


Bild 2. Meßapparatur

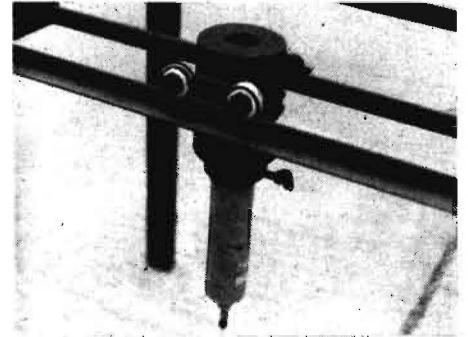


Bild 3. Sondenträger mit Szintillationsmeßsonde VA-S-968.1

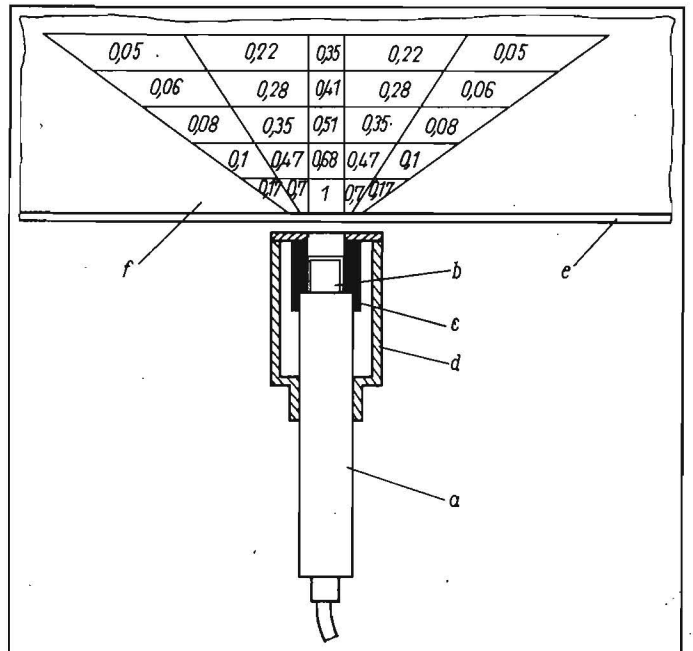


Bild 4. Anordnung der Szintillationsmeßsonde; a Szintillationsmeßsonde, b NaJ(TL)-Szintillator, c ringförmige Bleiabschirmung, d Sondenhalter, e Boden des Sperrholzbehälters, f Strohschicht

Anmerkung: Das von der Sonde erfaßte Volumen hat die Gestalt eines Kegelstumpfes. Die Zahlenwerte geben an, welchen Anteil der entsprechende Volumenabschnitt zum Meßwert beiträgt.

Als Vergleichsquelle diente eine Harnstoffprobe, die der Gesamtmenge vor dem Einfüllen in den Behälter der Applikationseinrichtung entnommen und zum Schutz gegen Verlust in Harz eingegossen wurde. Die einzelnen Nutzpulsraten werden nach der folgenden Beziehung normiert:

$$X = \frac{I - I_0}{I_v - I_0} \quad (3)$$

$$\bar{I}_0 = \frac{I_{01} + I_{02}}{2}$$

$$\bar{I}_v = \frac{I_{v1} + I_{v2}}{2} \quad (4)$$

Aufgrund der räumlichen Ausdehnung des markierten Harnstoffs innerhalb der Schicht und der damit verbundenen unterschiedlichen Wertigkeit der Volumenabschnitte (Bild 4) ist es nicht möglich, aus der relativen Harnstoffkonzentration die absolute Größe zu ermitteln. Näherungsweise läßt sie sich jedoch unter Berücksichtigung der Gesamtmenge Harnstoff abschätzen, die in den Ballen appliziert wurde.

5. Durchführung der Messungen

Die jeweils zu messende Schicht wurde vorsichtig vom Preßkörper abgetrennt und in

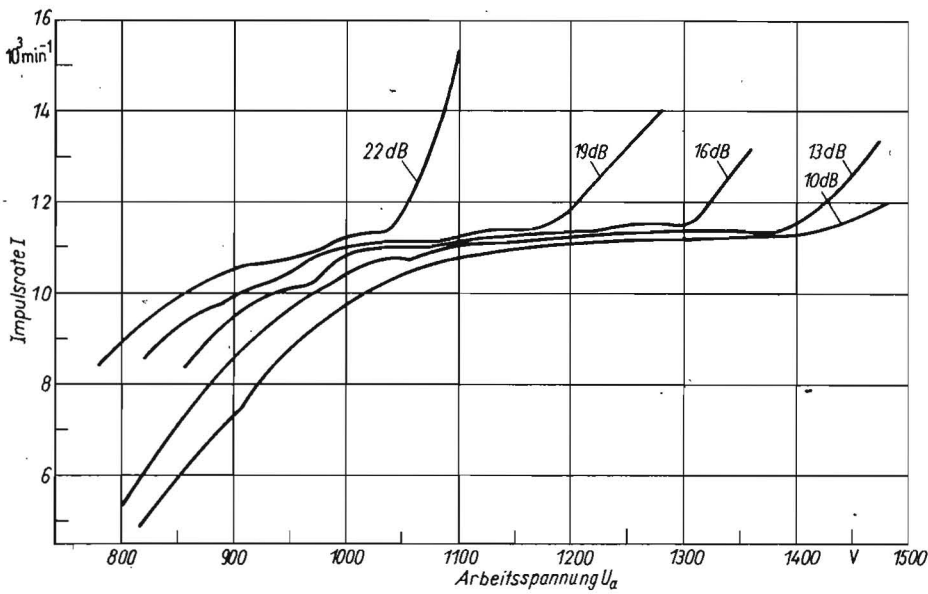


Bild 5. Diagramm zur Ermittlung der Verstärkung

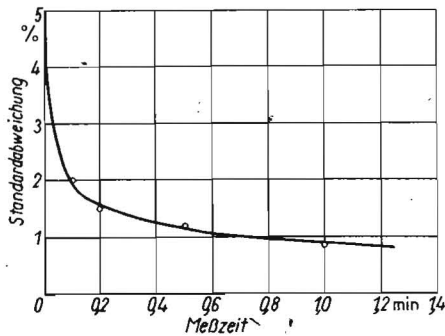
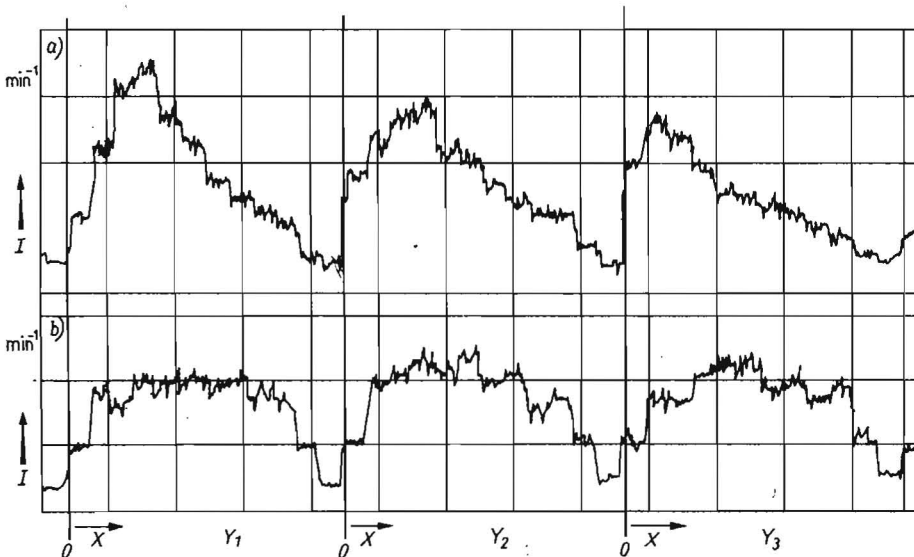


Bild 6. Standardabweichung in Abhängigkeit von der Meßzeit



Bild 7. Aufgelöster Großballen und Sperrholzbehälter

Bild 8. Meßdiagramm der Harnstoffverteilung in verschiedenen Ebenen einer Ballenschicht;
 ▼ a) ungleichmäßige Verteilung
 b) Verteilung nach Korrektur der Applikationseinrichtung



den bereitstehenden Behälter eingelegt (Bild 7). Sowohl durch die Dichte der Strohschicht selbst als auch durch die vorhandene Feuchte wurden die Harnstoffprills relativ fest gehalten, so daß Fehler durch Verrieseln des Harnstoffs bei diesem Arbeitsgang nicht zu beobachten waren. Nach der Bestimmung der Schichtmasse auf einer Tafelwaage wurde der Behälter mit der eingelegten Ballenschicht auf den Konsolen des Tischrahmens in definierter Position abgesetzt. Nun wurde die Meßsonde schrittweise entlang den Koordinaten geführt und an den definierten Orten die Impulsrate gemessen. Der Koordinatenabstand war zuvor nach einer Abschätzung des vom Szintillator erfaßten Volumens (Bild 4) festgelegt worden. Die gemessene Impulsdichte wurde für die qualitative Auswertung durch den Meßwertschreiber aufgezeichnet, so daß sofort Rückschlüsse bezüglich der Funktion der Applikationseinrichtung gezogen werden konnten (Bild 8).

Für die rechnergestützte Auswertung wurde etwa die Hälfte der Schichten eines Preßkörpers, meist jede zweite Schicht, vermessen und vom Drucker registriert. Somit war eine gesicherte Aussage zur Verteilung des Harnstoffs über das Volumen möglich.

6. Zusammenfassung

Im Beitrag wird über die erfolgreiche Anwendung eines Meßverfahrens auf der Basis radioaktiver Isotope zur qualitativen Bestimmung der Verteilungsverhältnisse von Harnstoff in großen Preßkörpern aus Stroh hoher Dichte berichtet. Die vorgestellte Meßmethode gestattet es bei relativ geringem Zeit- und Kostenaufwand, schnell Rückschlüsse auf die Arbeitsqualität einer Applikationseinrichtung zu ziehen und notwendige Korrekturen der Einstellparameter vorzunehmen.

Literatur

- [1] Stromeyer, H.: Zum Einfluß der Verdichtung auf die Strohqualität während der Lagerung. *agrartechnik*, Berlin 32 (1982) 3, S. 112–115.
- [2] Schmidt, L.; Weißbach, F.: Lagerung von feuchtem Futterstroh mit Harnstoffzusatz. *Feldwirtschaft*, Berlin 20 (1979) 2, S. 92–94.
- [3] Weißbach, F.; Schmidt, L.; Block, H. J.: Biowissenschaftliche Grundlagen zur Weiterentwicklung des chemischen Strohaufschlusses. *Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock, Forschungsbericht 1980* (unveröffentlicht).
- [4] Szintillationsmeßsonde VA-S-968, Betriebsanleitung. VEB Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden (1973) S. 14.
- [5] Stolz, W.: Radioaktivität, Teil II: Messung und Anwendung. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1978.