

Röntgenstrahlenschanke „Produktanalysator 25112“ – ein wichtiges Rationalisierungsmittel für die landwirtschaftliche Produktion

Ing. W.-D. Seefried, KDT/Ing. G. Rank, VEB RFT Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden

1. Einleitung

In vielen landwirtschaftlichen Produktionsprozessen stören Fremdkörperbeimengungen in einem Verarbeitungsgut den reibungslosen Produktionsablauf (z. B. Steine oder Metallteile im Häckselgut) oder beeinträchtigen die Qualität der Produkte (z. B. Steine oder Lehmkluten in der Kartoffelrohware). Mit Hilfe der beim VEB RFT Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden neuentwickelten und nach modernsten Technologien gefertigten Röntgenstrahlenschanke „Produktanalysator 25112“ kann man mit hoher Durchsatzgeschwindigkeit störende Beimengungen schnell erkennen oder Teile unterschiedlicher Stoffe in einem Teilegemenge voneinander trennen. Nachfolgend wird die prinzipielle Wirkungsweise und Funktion dieser neuartigen Einrichtung beschrieben, mit der einige bisher nur unökonomisch lösbare landwirtschaftliche Produktionsprobleme effektiv bewältigt werden können.

2. Prinzipielle Betrachtungen zur Wirkungsweise

Die Röntgenstrahlenschanke dient zur

- berührungslosen Erkennung von Teilen unterschiedlicher Stoffe in einem Teilegemenge, um z. B. vorzugsweise Stoffe aus dem Gemenge auszusortieren
- Identifizierung von unerwünschten Festkörpern in Stoffgemengen
- Füllstandskontrolle in Behältern und Transportgefäßen.

Die Wirkungsweise der Röntgenstrahlenschanke „Produktanalysator 25112“ ist im Bild 1 am Beispiel eines Sortierverfahrens prinzipiell veranschaulicht.

In einem Teilegemenge (Meßgut) sollen Teile zweier verschiedener Stoffe unterschiedlicher Zusammensetzung oder Dichte vorhanden sein, die im Meßgutbehälter gespeichert sind. Diese Teile werden einzeln und aufgereiht aus dem Behälter oder über eine Transportvorrichtung der Röntgenstrahlenschanke so zugeführt, daß sie mit hoher Geschwindigkeit, z. B. im freien Fall, die Strahlungs- oder Kontrollzone der Strahlenschanke passieren. Während des „Durchgangs“ der Teile durch den Kontrollstrahl zwischen Strahlungsquelle F und Strahlungsdetektor wird die „Freiraumstrahlung“ zwischen Quelle und Empfänger (Strahlungsdetektor) um einen bestimmten Betrag vermindert. Das Maß dieser Verminderung der Strahlungsintensität wird im Strahlungsdetektorbaustein (s. Stufe „Signalgewinnung“ im Bild 2) bewertet, wonach aufgrund des stoffspezifischen Schwächungskoeffizienten auf die Art des vorliegenden Stoffes geschlossen werden kann. Aufgrund dieser elektronischen Entscheidung wird festgelegt, ob es sich um ein Teil vom Stoff I oder vom Stoff II handelt. Daraufhin wird die spezielle Sortierweiche durch einen von der Endstufe der Stufe „Signalverarbeitung“ abgegebenen Steuerimpuls in die entsprechende Position gelenkt und so eine Sortierung ausgeführt. Aus diesen Darlegungen ist ersichtlich, daß die Wirkungsweise der Strahlenschanke im we-

sentlichen in der einwandfreien Erkennungsfähigkeit (Unterscheidungsfähigkeit) von verschiedenen Stoffen besteht. Begrenzt wird die Erkennungsfähigkeit der Strahlenschanke durch physikalische Bedingungen, die die Anwendungsbreite von Durchstrahlungsdichtemessungen einschränken [1][2].

Ein Beispiel soll zur Erläuterung dienen: Beim Fall der Teile durch den Kontrollstrahl wird die ursprüngliche Strahlungsintensität I_0 am Strahlungsdetektor auf einen Betrag I_n als Folge der Abmessung und der Dichte der Teile reduziert. Diese Erscheinung wird durch das Schwächungs- oder Absorptionsgesetz recht einfach beschrieben:

$$I_n = I_0 e^{-\mu_n d_n}$$

Da die Größen μ_n (materienspezifischer Schwächungskoeffizient) und d_n (durchstrahlte Dicke des Teils) als gleichwertige Faktoren im Exponenten auftreten, muß gefolgert werden, daß die Erkennung von unterschiedlichen Stoffen mit hinreichend

unterschiedlichen Schwächungskoeffizienten μ_1 und μ_2 durch den Faktor der durchstrahlten Dicken d_1 und d_2 gefährdet werden kann. Um dieser Unsicherheit vorzubeugen, muß die Stoffdiagnose mit Hilfe von vorzugsweise ionisierender Durchstrahlung der Teile durch Vorgabe maximaler und minimaler Teileabmessungen, d. h. durch einen „Größenfaktor“ gesichert werden.

Beispielsweise kann man annehmen, daß die Beziehung $\mu_1 = n \mu_2$ gilt. In diesem Fall darf das Dickenverhältnis d_2/d_1 der Teile im Interesse optimaler Erkennungssicherheit nur den Größenfaktor $n - c$ aufweisen, wobei der Subtrahend c den Grad der Erkennungssicherheit garantiert.

Im Zusammenhang mit der ionisierenden Durchstrahlung von Teilen, die u. U. Nahrungsmittel sein können, taucht bei näherer Betrachtung die Frage nach der Kontamination der Stoffe auf. Diese radioaktive Verunreinigung der Teile, die von der Verweilzeit der Teile unter einer bestimmten Strahlungsleistung herrührt, trägt die Gefahr einer Inkorporation im menschlichen Körper in sich. Die Röntgenstrahlenschanke „Produktanalysator 25112“ arbeitet in der Kontrollzone mit einer mittleren Dosisleistung von 200 mR/min. Nimmt man näherungsweise an, daß der Kontrollstrahl nicht einen Durchmesser von 20 mm hat, sondern einen quadratischen Querschnitt von 21 mm aufweist, dann erhält jedes mit der Fallgeschwindigkeit $v \approx 3$ m/s durch den Kontrollstrahl fallende Teil im Durchstrahlungstreifen eine Maximaldosis von nur rd. 23,3 μ R. Diese geringe Dosis ist auch für Nahrungsmittel völlig ungefährlich [3].

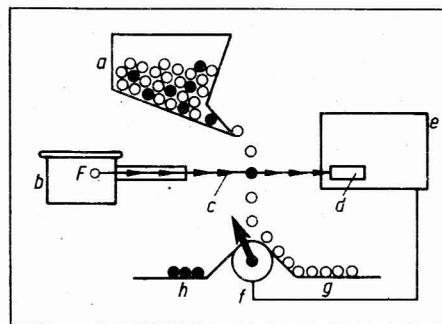
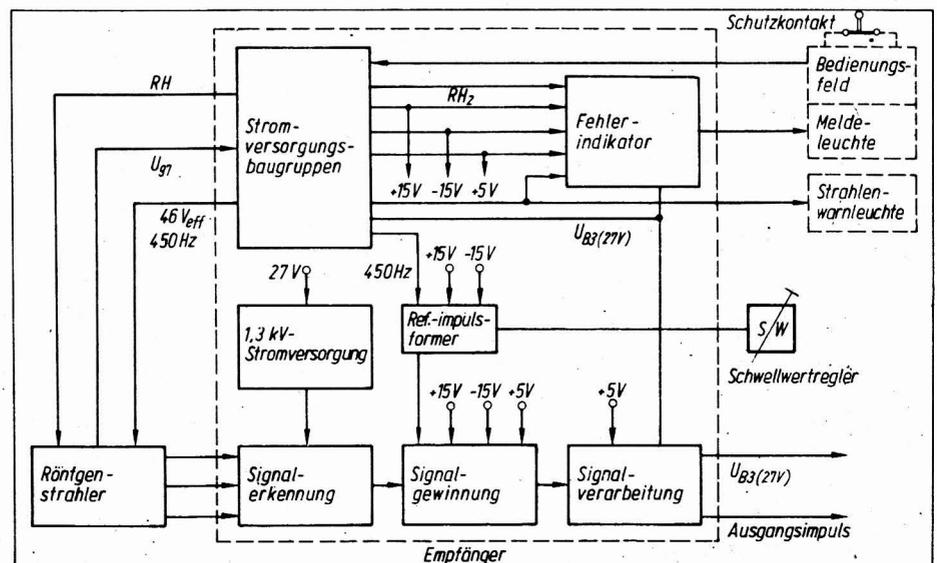


Bild 1. Funktionsprinzip der Teilesortierung: a Meßgut (Stoff I u. II), b Röntgenstrahlungsquelle, c Kontrollstrahl, d Strahlungsdetektor, e Empfänger- und Stromversorgungseinheit, f Sortierweiche, g Stoff I, h Stoff II

3. Beschreibung der Anlage „Produktanalysator 25112“

Der elektrische Aufbau der Anlage ist in Form eines Blockschaltbilds im Bild 2 dargestellt. Die

Bild 2. Blockschaltbild des Produktanalysators 25112



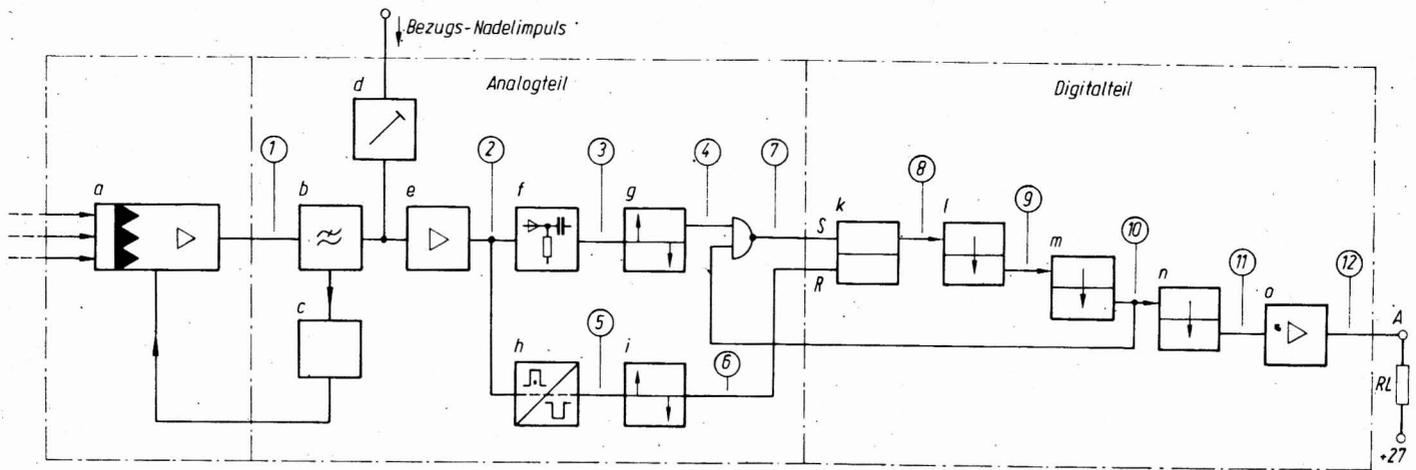


Bild 3. Blockschaltbild des Strahlungsdetektorbausteins;

a Strahlendetektor, b Integrator, c FVF-Regelschaltung, d Schwellwertregler, e Verstärker, f Diskriminator (Auslöseimpuls), g Trigger 1. (Auslösung), h Inverter, i Trigger 2 (Rückstellung), k Flipflop (S—R), l Monoflop 1 (Laufzeit 5 ms konstant), m Monoflop 2 (Laufzeit einstellbar), n Monoflop 3 (Ansteuerzeit einstellbar), o Schaltendstufe

Anlage besteht im Lieferumfang aus den Teilen:

- Empfänger mit Strahlungsdetektorbaustein(en) und Anlagenstromversorgung
- Röntgenstrahler mit Strahlungstubus
- Schwellwertregler.

Darüber hinaus werden außerhalb des Lieferumfangs zum Betrieb der Anlage entsprechende Mechanismen oder Zähler zur Abtrennung bzw. Registrierung von Bestandteilen des Stoffs II sowie Schalteinrichtungen für den Anlagenbetrieb und Strahlungsabschirmeinrichtungen gemäß der Strahlungsschutzverordnung mit 1. Durchführungsbestimmung vom 26. Nov. 1969 benötigt.

Schalteinrichtungen und Lösungen für Strahlungsabschirmmaßnahmen können vom VEB RFT MeBelektronik Dresden auf Anforderung des jeweiligen Betreibers projektiert werden [4].

Wie erwähnt, wird zum Erkennen der Teile mit unterschiedlicher spezifischer Dichte im Meßgut das Prinzip der Röntgendurchstrahlung angewendet. Die benötigte Strahlungsenergie wird im Röntgenstrahler TuR M 41 erzeugt. Bei einer Röhrenbetriebsspannung von 42 kV und einem Röhrenbetriebsstrom (Strahlstrom) von 1 mA wird bei einem Abstand von rd. 1,25 m eine mittlere Dosisleistung von 200 mR/min erzeugt. Die Speisung des Röntgenstrahlers erfolgt mit sinusförmiger Wechselspannung von 65 V_s bei einer Frequenz von 450 Hz aus der Leistungsstufe des Sinusoszillators in der Anlagenstromversorgung. Diese Wechselspannung wird mit dem Regelkriterium des Strahlstroms von 1 mA auf hohe Konstanz eingeregelt und vom Hochspannungstransformator im Ölkessel des Röntgenstrahlers auf den genannten Röhrenbetriebsspannungswert überetzt.

Wegen der Ventil- oder Diodencharakteristik der Röntgenröhre kann nur in der positiven Halbwelle der Röhrenbetriebsspannung ein Röhrenstrom fließen. Der in dieser positiven Lasthalbwellen fließende Strom erzeugt einen der Nennfrequenz von 450 Hz entsprechend gepulsten Dosisleistungsverlauf der Röntgenstrahlung, die in einem oder in mehreren Strahlenbündeln durch die Strahlaustrittsfenster in der Stirnseite des am Ölkessel angeflanschten Strahlungstubus in die Kontrollzone der Strahlenschanke austritt. Die in jedem Strahlenbündel (Kontrollstrahl) vorhandene Strahlungsenergie gelangt zu einem kor-

respondierenden Strahleneintrittsfenster im Gehäuse des Empfängers. Hinter dem Strahleneintrittsfenster ist der erwähnte Strahlungsdetektorbaustein angeordnet, der die elektronischen Schaltungen der „Signalerkennung“, der „Signalverarbeitung“ und der „Signalgewinnung“ enthält. In der „Signalgewinnung“ des Bausteins befindet sich als Strahlungsdetektor ein 10stufiger Fotovervielfacher M 10 FS 300 mit Kalziumwolframat-Szintillatorfolie (Bild 3) [5].

Am Ausgang des Fotovervielfachers erzeugt die mit 450 Hz gepulste Strahlung dosisleistungsproportionale negative Sinus-Halbwellenimpulse. Die Spitzenwerte dieser Impulse (bzw. deren Reste) dienen als Maß zur Beurteilung der stoff- und abmessungsabhängigen Dämpfung (oder Strahlungsabsorption) eines durchstrahlten Teils: Somit stellen die erwähnten Spitzenwerte ein Kriterium für das Erkennen der Stoffart eines Teils dar, wenn der Parameter der durchstrahlten Dicke innerhalb des vorherbestimmten Bereichs für den Größenfaktor liegt.

Messungen an der Röntgenstrahlenschanke „Produktanalysator 25112“ ergaben bei einer Röhrenbetriebsspannung von 42 kV und einem Strahlstrom von 1 mA die in Tafel 1 zusammengestellten Intensitätsschwächungswerte an der Anode bzw. am Außenwiderstand R_a des Strahlungsdetektors gegenüber der Freiraumstrahlungsintensität (Teile statisch in der Kontrollzone, etwa 900 mm vom Strahlungsquelle entfernt).

Die Beurteilung der erwähnten negativen Halbwellenimpulse erfolgt durch einen Vergleich mit dem einstellbaren Spitzenwert eines gleichphasigen, aber positiven Bezugs-Nadelimpulses. Die Einstellung des Spitzenwertes (Schwellwert) erfolgt stufenweise am Schwell-

wertregler. Der Amplitudenvergleich wird in der Stufe „Signalgewinnung“ im Strahlungsdetektorbaustein (Bilder 2 und 3) vorgenommen und resultiert in zwei unterschiedlichen elektrischen Informationen:

- Pegel „O“: Stoff I — keine Betätigung der Sortierweiche
- Pegel „L“: Stoff II — Ansteuerung der Sortierweiche.

(Sind in einem Teilgemenge mehr als 2 Stoffarten enthalten, d. h. Stoff I bis Stoff n mit μ_1 bis μ_n , die voneinander zu trennen sind, muß das Teilgemenge den Sortiervorgang mehrfach durchlaufen!)

Der elektronische Ablauf innerhalb des Strahlungsdetektorbausteins erfolgt entsprechend Bild 4. Ist die Amplitude der Sinus-Halbwellenimpulse beim Teiledurchgang durch den Kontrollstrahl noch hinreichend negativ, erreicht das entstehende Summensignal aus Halbwellenimpulsrest und Bezugs-Nadelimpuls den positiven Triggerschwellwert nicht. Somit wird ein Informationspegel „L“ nicht erzeugt, d. h., das durchstrahlte Teil wird als Stoff I erkannt und die Sortierweiche (bzw. der Trennmechanismus) nicht betätigt (Bild 4, Stoff I).

Wird dagegen beim Teiledurchgang die Amplitude der Halbwellenimpulse nicht hinreichend negativ oder sogar näherungsweise Null, so wird das entstehende Summensignal positiv und erreicht oder überschreitet den erwähnten Triggerschwellwert. Die damit entstehenden positiven Impulse bewirken das Entstehen einer „L“-Information, mit der das Teil als zugehörig zum Stoff II erkannt wird. Die positiven Impulsanteile erzeugen Auslöseimpulse, die im Diskriminator isoliert und dem Auslösungstrigger (Trigger 1) zugeführt werden. Die somit getriggerten Auslöseimpulse werden an die Stufe „Signalverarbeitung“ (Bilder 2 und 4) weitergegeben.

Beim Durchgang von in Bewegungsrichtung längeren Teilen durch den Kontrollstrahl zwischen Röntgenstrahlungsquelle und Empfänger würden aufgrund der dargelegten Wirkungsweise der Röntgenstrahlenschanke in den Strahlungsdetektorbausteinen mehrere Auslöseimpulse je Teil abgegeben, die nach Ablauf der Verzögerungszeiten in der Stufe „Signalverarbeitung“ unerwünscht mehrfache Betätigungen der Sortierweiche bzw. des Trennmechanismus bewirken würden. Um diese unerwünschten Auswirkungen zu besei-

Tafel 1. Intensitätsschwächungswerte (d durchstrahlte Dicke)

Stoff	d mm	U _A %	Schwächungs- koeffizient
Luft (Freiraum)		100,00	$\mu_0 = 1/r^2$
Kartoffel	100,	3,00	$\mu_1 \gg \mu_0$
Ton/Lehm	25	1,50	$\mu_2 > \mu_1$
Stein (SiO ₂)	25	0,25	$\mu_3 > \mu_2 > \mu_1$

tigen, wurde in die Signalelektronik des Detektorbausteins ein Totzeitglied (Inverter, Trigger 2 und Flipflop, Bild 3) eingefügt, das während des Durchgangs eines auszusortierenden Teils durch den Kontrollstrahl die Erzeugung weiterer Auslöseimpulse verhindert. Der erste Auslöseimpuls wird elektronisch durch die beiden Laufzeitstufen Monoflop 1 und Monoflop 2 um den Zeitraum verzögert, den das erkannte Teil des Stoffs II benötigt, um von der Mitte des Kontrollstrahls bis zur Sortierweiche zu gelangen. Der verzögerte Impuls steuert nunmehr die Ansteuerzeitstufe Monoflop 3 an, die eine zur Sortierweichenbetätigung ausreichende Ausgangsimpulsdauer gewährleistet. Damit wird durch die Betätigung der Sortierweiche bzw. des Trennmechanismus die Sortierung der Stoffe I und II des Meßgutes vorgenommen.

Die gesamte Anlage wird während des Betriebes hinsichtlich ihrer Funktion durch einen Fehlerindikator elektrisch überwacht. Diese Baugruppe hat die Aufgabe, die Anlage automatisch aus dem Betriebszustand in den Bereitschaftszustand, in dem keine ionisierende Strahlung erzeugt wird, zurückzuschalten. Kriterien für diese Zurückschaltung sind der Ausfall wichtiger Betriebsspannungen, der Strahlung und der Strahlenwarnleuchte (s. a. Bild 2).

4. Technische Daten und Anwendungsmöglichkeiten des Produktanalysators 25112

Die wichtigsten technischen Daten des Produktanalysators 25112 sind in Tafel 2 zusammengestellt.

Das eingangs erläuterte Prinzip der Erkennung von Teilen aus verschiedenen Stoffen läßt sich, wie durchgeführte Untersuchungen ergaben, stets dann anwenden, wenn die Bestandteile eines Teilgemenges die Forderung nach deutlich meßbaren Dichteunterschieden erfüllen. Das bedeutet, daß in Anbetracht eines relativ stark unterschiedlichen Schwächungskoeffizienten μ_n der zu unterscheidenden Stoffe auch ein hinreichender Teilgrößenfaktor (maximale Abmessung des Teils mit

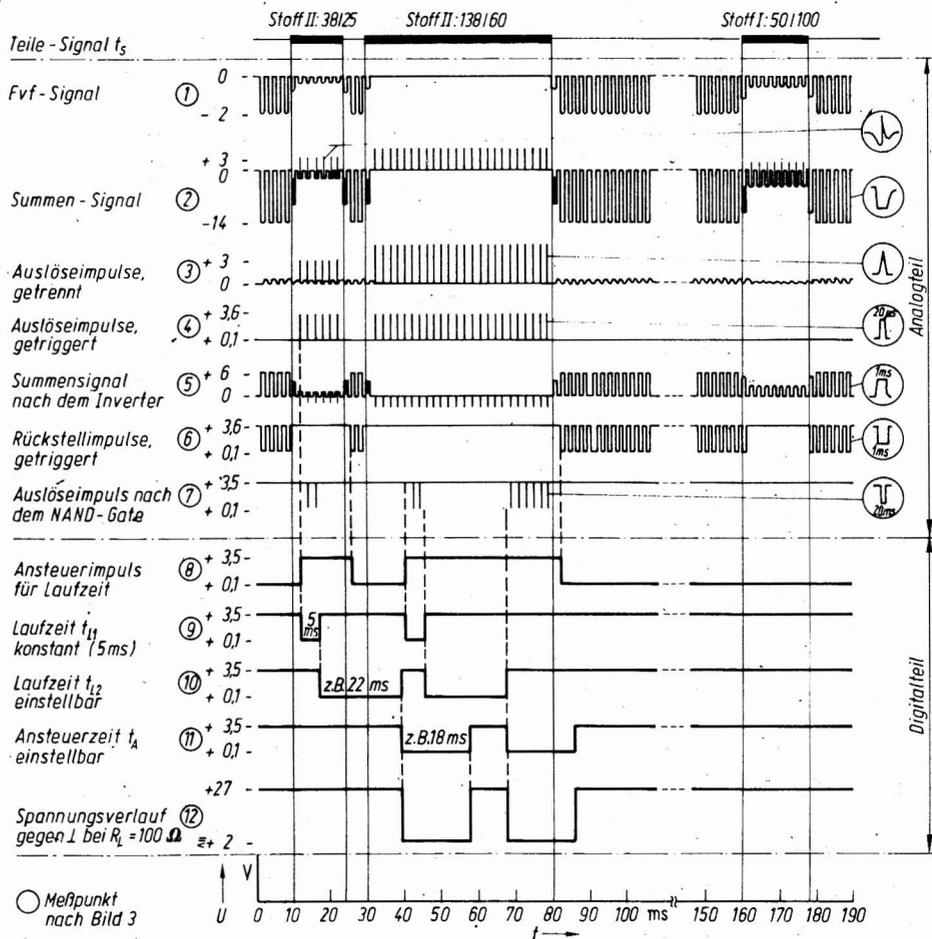


Bild 4. Strahlungsdetektorbaustein, Beispiel für ein Impulsablaufdiagramm;
Teilegeschwindigkeit $v = 2,75$ m/s
Stoff II: $t_1 = 14$ ms; $d = 25$ mm
Stoff II: $t_2 = 50$ ms; $d = 60$ mm
Stoff II: $t_3 = 18$ ms; $d = 100$ mm

geringstem μ -Wert zu minimaler Abmessung des Teils mit höherem μ -Wert) für die im Teilgemenge vorhandenen Teile verarbeitet werden kann.

Bei der Durchführung der Applikationsuntersuchungen wurde die Röntgenstrahlenschanke bei Normalbetriebsbedingungen (s. Pkt. 2) eingesetzt. Wie die Resultate der Untersuchungen (Tafel 3) zeigen, kann die Anlage als Rationalisierungshilfsmittel vielfältig in der Volkswirtschaft eingesetzt werden (Landtechnik, Bergbautechnik, Möbelindustrie, Landwirtschaft u. v. m.) [6] [7] [8].

Bei der Anwendung der Röntgenstrahlenschanke zur Teileerkennung sind zwei Fakten zu berücksichtigen, von denen der eine zu einer spürbaren Größenfaktorabweichung führen kann:

— Da Röntgenstrahlen beim Auftreffen auf stark zerklüftete Teile ähnlichen Streugesetzen unterliegen, wie dies aus der Optik bekannt ist, muß mit einer Erhöhung der stoffspezifischen Schwächungskoeffizienten gerechnet werden. Deshalb sind die möglichen Größenfaktoren (Tafel 3) nur als ungefähre Werte angegeben.

— Grundvoraussetzung für eine exakte Erkennung der Teile ist die Notwendigkeit einer totalen Abdeckung des Strahleneintrittsfensters des Strahlungsdetektors. Dies bedeutet einmal, daß eine bestimmte Minimalgröße der Teile nicht unterschritten werden darf. Weiterhin ergibt sich aus dieser Forderung, daß die Zuführung der Teile sehr exakt erfolgen muß, da sonst Teile einer bestimmten Materie mit einem spezifischen Schwächungsfaktor nicht erkannt werden könnten. Das ist dann der Fall, wenn das Teil beim Durchgang durch den Kontrollstrahl nur eine Teilabdeckung der Strahleneintritts-

Tafel 2. Technische Daten des Produktanalysators 25112

Strahlungsquelle	Röntgenstrahler TuR M 41
Strahlungsblende	Lochblende im Strahlungstubus
Strahlaustrittsfenster	$\varnothing 11$ mm
Anzahl der Kontrollstrahlen	max. 12 Strahlenbündel
mittl. Dosisleistung im Hauptstrahl	≈ 200 mR/min (FKA = 1,25 m)
Strahlungsdetektor	CaWO ₄ -Szintillatorfolie mit FvF M 10 FS 300
Anzahl der Strahlungsdetektoren	max. 12
Strahleneintrittsfenster	$\varnothing 8$ mm
Ausgangs-Spannungsimpuls	24 V \pm 10% bei max. 250 mA
Schwellwertbereich	intern: ± 5 dB extern: 5 Stufen, angepaßt an das Meßgut
Ansprechzeit = Erholzeit	≤ 6 ms
Laufzeit- und Ansteuerzeitbereich	einstellbar: 15...30 ms bzw. 15...25 ms
Teilfolge	max. 25 1/s je Kanal ¹⁾
Teilgeschwindigkeit	2...3 m/s
Teileabstand (Hinter- zu Vorderkante)	min. 6 ms
Betriebsart	Dauerbetrieb
Schutzgrad	JP 54 (TGL 15165)
Arbeitstemperaturbereich	0...+40 °C
Lagertemperaturbereich	-25...+55 °C
relative Luftfeuchte	$\leq 90\%$
Arbeitsbedingungen	Einsatzgruppe 3 (TGL 14283/05)
mechanische Festigkeit	Einsatzgruppe II (TGL 200-0057/04)
Zuverlässigkeit (nach DAMW-VW 592)	Nachweisgruppe 2
mittlere Funktionsdauer t_{mn}	≥ 1000 h (bei 90% stat. Sicherheit)
Energiebedarf	≤ 600 VA
Betriebsspannung	27,0 V $\pm 5\%$

1) „Kanal“ (Identifizierungskanal) besteht aus Zuordnung Kontrollstrahl-Strahlungsdetektorbaustein (z. B. Sortierweiche, Zähler o. ä.)

Tafel 3. Stoffe in Teilegemengen

Materie 1 (d_1, μ_1)	Materie 2 (d_2, μ_2)	Größenfaktor $d_{1\max}/d_{2\min}$
Kohle (Hartbraunkohle)	Halbkohle	≈ 2
Kohle (Hartbraunkohle)	Mergel (Ton) entspr. SiO_2 (Stein)	≈ 3
Kartoffeln	Lehmkluten	≈ 4
Glas	Metall (Stahl)	≈ 13 (Kronenverschluß nicht!)
Holz	Metall (Stahl)	> 250
PVC	Stein (SiO_2)	$\approx 1,5$ (Erkennung unsicher)
Polystyrol	Stein (SiO_2)	> 50
PVC	Metall (Stahl)	≈ 25
Polystyrol	Metall (Stahl)	> 50
PVC	Metall (Al)	$\approx 3,5$
Polystyrol	Metall (Al)	> 10
Preßstroh (Tierfutter)	Stein (SiO_2)	≈ 60
Preßstroh (Tierfutter)	Metall (Stahl)	≈ 150
Polsterwatte, gepreßt (Lumpen)	Metall (Stahl)	≈ 110
Polsterwatte, gepreßt (Lumpen)	Stein (SiO_2)	≈ 50

öffnung bewirkt. Dies ist einleuchtend, wenn man berücksichtigt, daß bei teilweiser Abdeckung ja nur ein Teil der Strahlungsenergie geschwächt wird, die durch das Strahleneintrittsfenster zum Strahlungsdetektor gelangt. Der nicht abgedeckte Teil empfängt die ungeschwächte Freiraumstrahlungsintensität, so daß der Strahlungs-

detektor einen geringeren stoffspezifischen Schwächungsfaktor erkennt, d. h., es tritt ein Erkennungsfehler auf. Dieser Erkennungsfehler beruht auf maschinentechnischen Ursachen (ungenauere Teilezuführung), ist also kein Versagen der Funktion der Röntgenstrahlenschranke.

Einen Überblick über Möglichkeiten des Einsatzes der Röntgenstrahlenschranke „Produktanalysator 25112“ als Erkennungseinrichtung gibt Tafel 3.

Zu den in Tafel 3 aufgeführten Materienpaarungen sei festgestellt, daß diese nur als Beispiele anzusehen sind. Schöpft man die Modifizierungsmöglichkeiten der Strahlenschranke durch Variation der entsprechenden Parameter Ortsdosisleistung, Strahlenbündeldurchmesser, Abstand Fokus-Strahlungsdetektor (FKA) voll aus, dürfte das Einsatzspektrum der Schranke wesentlich breiter sein.

Aus den vorangegangenen Darlegungen ergibt sich, daß die Röntgenstrahlenschranke „Produktanalysator 25112“ ein wertvolles Hilfsmittel zur Rationalisierung von berührungslosen Sortiervorgängen bei hohem Teiledurchsatz darstellt. Die hohe Teilefolge von max. 25 Teilen je Sekunde und Kanal ermöglicht z. B. beim Einsatz in der automatischen Trennanlage E 691 des VEB Weimar-Kombinat Landmaschinen für 12 Kanäle einen Rohware-Maximaldurchsatz von 30 t/h in der landwirtschaftlichen Kartoffelproduktion.

Als wesentliches Merkmal für den erzielten Rationalisierungseffekt ist die Einsparung von Arbeitskräften und die technisch exakte Lösung bisher nicht beherrschbarer Aufgaben der Sortier- und Erkennungstechnik bei hoher Arbeitsgeschwindigkeit anzusehen.

5. Zusammenfassung

Der Produktanalysator 25112 ist eine Unterscheidungseinrichtung für Teile unterschiedlicher spezifischer Dichte. Das Erkennungs-

vermögen ist speziell auf die Erkennung von Nutzmaterie (Kartoffeln = Stoff I) und Beimengungen (Erdkluten, Steine = Stoff II) im Erntestromgemenge der landwirtschaftlichen Kartoffelproduktion abgestimmt.

Wegen des angewendeten Prinzips der Röntgendurchstrahlung der Teile ist die Unterscheidung nur von bestimmten Größen möglich. Mit Sicherheit werden Kartoffeln mit 100 mm Maximaldicke noch von den angeführten Beimengungen mit 25 mm Minimaldicke unterschieden. Für die abzusondernden Beimengungen wird ein Steuerimpuls von der Anlage abgegeben, der eventuell zur Betätigung einer Trennmechanik dient.

Die Anlage kann im Dauerbetrieb unter Freiluftklimabedingungen eingesetzt werden.

Literatur

- [1] Stanek/Hartmann: Meßverfahren unter Anwendung ionisierender Strahlung (Handbuch der Meßtechnik in der Betriebskontrolle, Band V). Leipzig: Akad. Verlagsges. Geest u. Portig KG 1969.
- [2] Müller, E. A. W.: Handbuch der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. München: Oldenburg 1968.
- [3] Schuricht, V.: Strahlenschutzphysik. Berlin: VEB Dt. Verlag der Wissenschaften 1975.
- [4] Netz, V.: Röntgen-Strahlungsschranke Typ 25112 zur Identifizierung von Erntegut. Impuls (1976) H. 4, S. 170—173.
- [5] Brandt, G. A.: Physikalisch-technische Parameter von Röntgenverstärkerfolien und Durchleuchtungsschirmen. Radiologica diagnostica, Band 10 (1969) H. 5.
- [6] „Filtec“-Prospektmaterial. JD-Industrial Dynamics Company Ltd., Torrance, Cal. (USA) 1976.
- [7] Jenkinson, D. E. u. a.: Coal sorting by x-ray transmission. Druckschrift der Firma Gunson's Sortex Ltd., London, England.
- [8] Modell .16 Photometric Sorter. Prospektmaterial der Firmen Rio Tinto and Gold Field Groups and Ore Sorters Canada Ltd., Peterborough, Ontario (Canada) 1975. A 1807

Radiale und tangentielle Elastizitäts- und Dämpfungseigenschaften von Reifen landwirtschaftlicher Fahrzeuge

Dipl.-Ing. H. Müller

VEB Traktorenwerk Schönebeck, Betrieb II des VEB Kombinat Fortschritt — Landmaschinen — Neustadt in Sachsen

1. Aufgabenstellung

An landwirtschaftlichen Fahrzeugen sind zwischen Gestell und Fahrbahn größtenteils nur die Reifen als wirksame Federungs- und Dämpfungselemente vorhanden. Deshalb kann beim Einsatz auf verhältnismäßig unebenen Fahrbahnen eine erhebliche Schwingbeanspruchung der Konstruktion auftreten. Zur Ermittlung dieser Schwingbeanspruchung sind theoretische Untersuchungen an Schwingungsmodellen besonders geeignet und durch die Anwendung moderner Rechentechnik einfach möglich.

Zu den wichtigsten Schwingungsparametern der Modelle landwirtschaftlicher Fahrzeuge gehören die radiale und tangentielle Elastizitäts- und Dämpfungseigenschaften der Reifen. In der Literatur sind darüber z. Z. nur unzureichend Angaben vorhanden. Deshalb bestand die Aufgabe, für einige Reifen landwirtschaftlicher Fahrzeuge radiale und tangentielle Elastizitäts- und Dämpfungseigenschaften zu bestimmen und analytisch zu formulieren.

Bisher konnten die Deformations- und Spannungszustände im Reifen oder in der Berührungsfäche zwischen Reifen und Fahrbahn theoretisch nicht ausreichend genau ermittelt werden [1][2][3][4]. Zur Bestimmung der gesuchten Reifeneigenschaften sind daher Experimente notwendig [5][6][7].

Für die radialen Federkonstanten gelten nach den veröffentlichten Experimenten folgende Tendenzen:

- Die Federkonstante erhöht sich mit steigendem Überdruck im Reifen.
- Positive Fahrbahnkrümmungen verringern die Federkonstante [5][8][9].
- Gegenüber dem nicht rollenden Reifen fällt beim Übergang auf den rollenden Zustand die Federkonstante ab. Mit erhöhter Rollgeschwindigkeit steigt sie jedoch wieder an [7].
- Durch Radialschwingungen tritt eine Verhärtung auf [7][10][11][12][13]. Die Verhärtung nimmt mit steigender Fre-

quenz [7][10] und fallender Rollgeschwindigkeit zu [7][14].

- In vielen Fällen läßt sich die Federkennung durch eine Gerade nachbilden, d. h., man kann dann bei stückweise konstanten Bedingungen auch stückweise geltende Federkonstanten ermitteln. Diese Betrachtungsweise soll bei der Verwendung des Begriffs Federkonstante stets gelten.
- Die Größe der mittleren Radialbelastung hat auf die Verhärtung nur einen geringen Einfluß [7].

Über tangentielle Federkonstanten sind nur wenig Literaturhinweise bekannt, z. B. in [15][16][17][18]. Tendenzen waren daraus nicht ableitbar.

Für das Lehrsche Dämpfungsmaß D bei Radialschwingungen wird in Veröffentlichungen die Größe 0,05 bis 0,2 angegeben [12][19][20]. Weiterhin ist bekannt, daß bei geringen Fahrgeschwindigkeiten nicht der Dämpfungswiderstand, sondern sein Produkt mit der