

Errichtung und Betrieb landwirtschaftlicher Trocknungsanlagen sind mit hohen Kosten verbunden. Mehrschichtbetrieb und Regelung der Anlagen sind heute die wichtigsten Wege zu ihrer rationellen Nutzung. Durch Entwicklung und Einsatz funktions- und betriebssicherer Geräte zur kontinuierlichen Messung der Naß- und Trockengutfeuchte könnten die Auslastung der Trocknungsanlagen und die Qualität des Endprodukts weiter verbessert werden.

1. Meßgüter und Meßbedingungen in Trocknungsanlagen der Landwirtschaft

Untersuchungen zur Messung des Wassergehalts des Trockneraufbeguts werden für zweckmäßig angesehen, weil die Kenntnis dieses Wassergehalts im Gegensatz zur heute üblichen Verfahrensweise Möglichkeiten eröffnen würde, „vorbeugend“ den Trocknungsprozeß zu beeinflussen, und zwar nicht durch Änderung der Feuerungsleistung, sondern durch eine der Änderung des Wassergehalts entsprechende Verstellung der Gutzufuhr zum Trockner.

Die bisherigen Ergebnisse auf dem Gebiet der Regelung von Trocknungsanlagen führen zwar zu einer weitgehenden Konstanz des Endwassergehalts durch Regelung des Trockners auf konstante Abgastemperatur, jedoch ist die Trockengutfeuchte dadurch quantitativ noch nicht festgelegt. Es wird daher nach Möglichkeiten gesucht werden, die Trockengutfeuchte kontinuierlich zu messen, um eine ständige Kontrolle über das Ergebnis des Trocknungsprozesses zu gewährleisten.

1.1. Meßobjekt und Meßbedingungen bei der Naßgutfeuchtemessung

Meßobjekt sind die bekannten trockenungswürdigen Erzeugnisse der Pflanzenproduktion. Sie werden der Trocknungsanlage in zerkleinerter Form (gehäckselt, geschnitzelt, gerissen) zugeführt. Der Zerkleinerungsgrad beeinflußt die Lagerungsdichte des Guts auf Förderbändern und in verfahrensbedingt vorhandenen Pufferlagern.

Der Wassergehalt des Trockneraufbeguts liegt unter Berücksichtigung sowohl von Haftwasser als auch von angewektem Gut zwischen 90 und 50 Prozent, bezogen auf die Gesamtmasse. Das Wasser ist zum größten Teil im Gutinnern gebunden, kann aber teilweise filmartig die Gutoberfläche bedecken (Haftwasser aus Niederschlägen oder Waschprozessen, Zellsaft an den aus dem Zerkleinerungsprozeß resultierenden Schnittflächen).

Grünfutter zeigt in seinem Zellaufbau eine ausgeprägte Orientierung in Längsrichtung der Stengel oder Halme und Blätter. Es ist daher mit einer Anisotropie bestimmter Guteigenschaften zu rechnen. Die Guttemperatur entspricht der Umgebungstemperatur. Da der Meßort zweckmäßig möglichst nahe dem Trocknereingang zu wählen ist, werden Temperaturerhöhungen, wie sie bei der Grüngutbevorratung mitunter zu beobachten sind, beim Durchlauf des Guts durch die Förder- und Aufbereitungsanlagen bis zum Erreichen des Meßorts weitgehend abgebaut.

Die Meßgenauigkeit sollte so hoch wie möglich sein, wobei gleichzeitig ein geringer Kostenaufwand anzustreben ist.

1.2. Meßobjekt und Meßbedingungen bei der Trockengutfeuchtemessung

Das Meßobjekt entsteht aus dem Meßobjekt der Naßgutfeuchtemessung durch Wasserentzug in einer beabsichtigten Höhe. Trockenguthäcksel stellt aufgrund seiner physikalisch-

mechanischen Eigenschaften ein bauschig-faseriges Haufwerk dar. Die Berührungsflächen der Teilchen untereinander sind besonders bei geringer Schütthöhe klein. In dickeren Gutteilen muß mit einer Inhomogenität der Feuchteverteilung gerechnet werden: Außen trockene Schichten umschließen u. U. einen wesentlich feuchteren Kern. Bei Kartoffeln führt der Stärkeaufschluß zum Verkleistern der Oberflächenschicht, wodurch das Erfassen des Wassergehalts ebenfalls erschwert werden kann. Die Guttemperatur am Meßort, der mit Rücksicht auf die Aktualität der Information möglichst nahe am Trocknerausgang liegen sollte, beträgt etwa 40 bis 80 °C. Der mit Rücksicht auf die Erhaltung der Qualität geforderte Wassergehalt liegt im Bereich von 3 bis 14 Prozent. Dementsprechend ist eine Meßgenauigkeit von mindestens ± 1 Prozent Wassergehalt zu fordern.

2. Verfahren zur kontinuierlichen Messung der Feuchte von Feststoffen

Aufgrund der großen Vielfalt der Meßgüter, Meßbedingungen und Anforderungen bezüglich der Meßgenauigkeit entstand eine Vielzahl von Meßverfahren. Ein universell einsetzbares Feuchtemeßverfahren gibt es nicht. Überprüft man die bekannten Meßverfahren hinsichtlich der geforderten kontinuierlichen Messung und der verzögerungsfreien Bildung des Meßwerts, so verbleiben nur wenige, die eingehender betrachtet werden müssen.

2.1. Wassergehaltsbestimmung durch Wärmeleitfähigkeitsmessung

Diesem Meßverfahren liegt die Nutzung der Abhängigkeit zwischen dem Wassergehalt und der Wärmeleitfähigkeit eines Stoffs zugrunde.

Ein genau in Richtung des Gutstroms angeordnetes Meßrohr enthält ein kleines Heizelement. In unmittelbarer Nähe des Heizelements sowie außerhalb seines Einflußbereichs entgegen der Gutförderichtung ist je ein Thermoelement angeordnet. Bei konstanter Heizleistung, Gutgeschwindigkeit und Kontaktgüte zwischen Fühler und Gut hängt die nahe dem Heizelement gemessene Temperatur im wesentlichen nur von der feuchteabhängig unterschiedlichen Wärmeableitung durch das Gut ab. Das zweite Thermoelement mißt zu Vergleichszwecken die ungestörte Guttemperatur. Durch Gegeneinanderschaltung der beiden Thermoelemente wird der Meßwert gebildet, der dann von Schwankungen der Guttemperatur unabhängig ist. Als Anwendungsgebiete werden Sinternmischungen und Torfmüll genannt. Nähere Angaben zur erzielten Meßgenauigkeit und zum Meßbereich liegen nicht vor.

2.2. Wassergehaltsbestimmung durch Messung der Ultrarotabsorption

Wasser zeigt im Ultrarotbereich einige ausgeprägte Absorptionsbanden. Bestrahlt man die zu untersuchende Probe mit Lichtstrahlen einer derart durch Absorption bevorzugten Wellenlänge (z. B. 1,94 μm), so tritt je nach Wassergehalt des Guts eine unterschiedlich starke Absorption auf. Der nicht absorbierte Strahlungsanteil wird vom Gut reflektiert, aufgefangen, gebündelt und über eine Photozelle in einen Wechselstrom verwandelt, der nach Gleichrichtung zur Anzeige gebracht wird. Zu Vergleichszwecken wird die Probe mit Licht einer Wellenlänge, für die keine Absorption durch das Wasser auftritt, bestrahlt (z. B. 1,7 μm). Der fast vollkommen reflektierte Lichtstrahl wird in der gleichen Weise in einen Gleichstrom umgewandelt. Das Verhältnis der Ver-

* Universität Rostock, Sektion Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. Chr. Eichler)

gleichsstrahlung zur Meßstrahlung kann durch eine entsprechende Eichkurve zum Wassergehalt in Beziehung gesetzt werden.

Da die Eindringtiefe der Strahlung in das Gut gering ist, wird die Oberflächenfeuchte gemessen. Während die Farbe des Meßguts im allgemeinen keinen störenden Einfluß ausüben soll, versagt das Verfahren bei elektronisch leitenden Stoffen. Das Verfahren wird vorzugsweise zur Messung an Materialbahnen eingesetzt. Problematisch erscheint bei der hier vorliegenden Meßaufgabe, daß im Gegensatz zu glatten Materialbahnen die Gutoberfläche keine bevorzugte Reflexionsrichtung der Strahlung erwarten läßt.

2.3. Wassergehaltsbestimmung durch Kernresonanzmessung

Wasserstoffkerne vollführen aufgrund ihrer kernphysikalischen Eigenschaften in einem magnetischen Gleichfeld eine Präzessionsbewegung. Die charakteristische Frequenz dieser Spinpräzession wird Lamorfrequenz genannt. Wird dem magnetischen Gleichfeld durch eine senkrecht zum Feld liegende Spule ein magnetisches Hochfrequenzfeld überlagert, so kann man durch Frequenzabgleich die Lamorfrequenz entsprechend der Frequenz des Hf-Felds einstellen. Die sich dabei vollziehende phasengleiche Ausrichtung der Lamorpräzession entzieht dem Hf-Feld eine der Anzahl der Wasserstoffkerne im Feld proportionale Energiemenge. Auf dieser Basis läßt sich eine Meßanordnung aufbauen, die es ermöglicht, den H-Anteil in Materialproben, die in das Feld gebracht werden, zu bestimmen. Die Unterscheidung organisch gebundenen Wasserstoffs von dem im Wasser enthaltenen Wasserstoff ist möglich, sofern der Wassergehalt nicht zu gering wird (> 5 Prozent bei hygroskopischen Stoffen). Zu beachten ist, daß manche Öle, Fette und organische Lösungsmittel ein dem Wasser ähnliches Verhalten zeigen. Der Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Meßsignal ist über dem gesamten Feuchtebereich linear. Es wird mit abgewogenen Proben gearbeitet. Die Messung selbst dauert nur wenige Sekunden, so daß ein quasikontinuierliches Messen möglich ist.

2.4. Wassergehaltsbestimmung durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit eines im trockenen Zustand den elektrischen Strom nicht leitenden Materials hängt von seinem Wassergehalt ab. Dieser Grundzusammenhang wird jedoch durch eine Reihe anderer Faktoren, wie Temperatur, Druck, Dichte, Homogenität der Wasserverteilung, Faserrichtung, Korngrößenverteilung und Elektrolytgehalt, in unterschiedlicher Weise beeinflußt. Bei jeder Meßaufgabe muß man Art und Größe der in Frage kommenden Einflußfaktoren analysieren und die Möglichkeiten einer Verfälschung des Meßwerts durch sie weitgehend unterbinden. Aufgenommene Eichkurven für dieses Meßverfahren gelten exakt nur unter den gleichen Bedingungen, wie sie bei der Eichung vorlagen. Hauptanwendungsgebiet dieses Meßverfahrens ist der sogenannte hygroskopische Feuchtebereich, da für höhere Wassergehalte der Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Wassergehalt so flach verläuft, daß keine ausreichende Meßgenauigkeit mehr zu erzielen ist. Durch unterschiedliche Gestaltung der Meßgeber ist es gelungen, die Leitfähigkeitsmessung erfolgreich für eine Vielzahl von Meßgütern anzuwenden.

2.5. Wassergehaltsbestimmung durch Messung dielektrischer Eigenschaften

Die Trockensubstanz von Materialien, deren Wassergehalt in Verarbeitungsprozessen von Interesse ist, hat relative Dielektrizitätskonstanten in der Größenordnung von $\epsilon_{rel.} = 2$ bis 10. Wasser dagegen weist aufgrund seines unsymmetrischen Molekülaufbaus eine anormal hohe Dielektrizitätskonstante von $\epsilon_{rel.} \approx 80$ bei Raumtemperatur auf. In Verbin-

dung mit den erstgenannten Stoffen wird Wasser daher je nach der vorhandenen Menge die relative Dielektrizitätskonstante des Gemischs vergrößern. Dieser Grundzusammenhang ist die Basis für die Bestimmung des Wassergehalts durch Messung der Dielektrizitätskonstanten des Materials. Ähnlich wie bei der Leitfähigkeitsmessung wird jedoch dieser Grundzusammenhang durch das Wirken einer Reihe von Einflußfaktoren in teilweise komplizierter Weise gestört. Solche Einflußfaktoren sind der Füllgrad des Meßkondensators, die Meßgutdichte, die Meßgutzusammensetzung, die Temperatur des Meßguts und die Frequenz des verwendeten Meßstroms.

Die elektrische Leitfähigkeit eines Stoffs ist die Hauptursache für die sich bei der Messung der Dielektrizitätskonstanten oftmals störend auswirkenden dielektrischen Verluste. In solchen Fällen erweist es sich mitunter als günstig, die dielektrischen Verluste selbst zur Meßgröße in Abhängigkeit vom Wassergehalt zu machen. Die bei der Behandlung der Wassergehaltsbestimmung durch elektrische Leitfähigkeit genannten Einflußfaktoren sind zu beachten.

Sowohl bei der Messung der Dielektrizitätskonstanten als auch bei der Messung der dielektrischen Verluste wird im Unterschied zum Leitfähigkeitsmeßverfahren die in Teilchen mit trockener Oberfläche eingeschlossene Feuchtigkeit mit erfaßt.

Der Meßbereich dieses Verfahrens ist der gesamte Feuchtebereich. Durch unterschiedliche Kondensatorformen (Parallel- und Streufeldkondensatoren) ist bisher die Anpassung an eine Vielzahl von Meßgütern und Meßbedingungen gelungen.

2.6. Wassergehaltsbestimmung durch Messung der Absorption und Streuung radioaktiver Strahlung

Radioaktive Strahlung (Alpha-, Beta-, Gamma-, Neutronenstrahlung) ist in unterschiedlichem Maße fähig, Schichten festen Materials zu durchdringen. Je nach Strahlenart tritt dabei durch Ionisations- oder Stoßprozesse ein Energieverlust auf. Die Bremsung der α -, β - und γ -Strahlung ist der Dichte des durchdrungenen Stoffs proportional. Wenn nun, wie z. B. bei körnigen, nichthygroskopischen Stoffen, die Dichte des feuchten Materials allein vom Wassergehalt abhängig ist, kann durch eine Dichtebestimmung mit den genannten Strahlenarten auf den Wassergehalt der Probe geschlossen werden. Die α -Strahlung hat nur eine geringe Reichweite und scheidet für Messungen an festen Stoffen praktisch aus. Gemessen wird entweder nach dem Prinzip der Durchstrahlung (bei nicht zu dicken Proben und wenn beide Seiten zugänglich sind) oder nach dem Prinzip der Rückstreuung (wenn nur eine Seite des Meßobjekts zugänglich ist). Zu beachten ist die Zeitabhängigkeit der Strahlungsintensität radioaktiver Präparate (Halbwertszeit). Aus dem Verhältnis der Intensität der auftretenden zur durchgedrungenen bzw. rückgestreuten Strahlung wird zunächst auf die Dichte des Materials und von dieser auf den Wassergehalt geschlossen.

Die Verwendung von Neutronenstrahlung ermöglicht die Feststellung des Wasserstoffgehalts der Probe, da Neutronenstrahlung am wirksamsten durch Stoßprozesse mit Wasserstoffkernen (ungefähre Massengleichheit Neutron — Wasserstoffkern!) gebremst wird. Aus dem festgestellten H-Gehalt kann auf den Wassergehalt des untersuchten Materials geschlossen werden. Schwierigkeiten entstehen, wenn bei organischen Stoffen der Anteil des organisch, d. h. nicht in Wasser gebundenen Wasserstoffs nicht als konstant angenommen werden kann. Komplikationen bereitet weiterhin ein hoher Anteil anderer leichter Elemente außer Wasserstoff, da man dann nicht mehr nahezu ausschließliche Strahlenschwächung durch Wasserstoffkerne voraussetzen darf.

Die radiometrischen Meßverfahren erfordern ein großes Meßvolumen (Kugel von 40 bis 60 cm Durchmesser um den Strahler bei Einstechsonden). Es sind stoffspezifische Eichkurven erforderlich. Für geringe Wassergehalte, insbesondere

Tafel 1. Vergleich von Verfahren zur kontinuierlichen Wassergehaltsbestimmung

| Meßverfahren Beurteilungsmerkmal | Wärmeleitfähigkeitsverfahren | Ultrarot-Absorptionsverfahren | Elektr. Leitfähigkeitsverfahren | Dielektrisches Verfahren | Neutronen-Meßverfahren |
|---|--|--|---|--|---|
| Meßbereich; % Feuchte | keine allgemeingültigen Angaben 10...15 % bei Erz-Sintermischung | bis $\approx 20\%$, darüber ungenügende Empfindlichkeit | $>4\%$, hygroskopischer Bereich (max. bei Holz $\approx 45\%$) | gesamter Bereich | $>4\%$ bis zu höchsten Werten |
| Meßgenauigkeit, % Feuchte | 0,8 % (Erz-Sintermischung) | keine Angabe | $\pm 0,2\%$ erreichbar | $\pm 0,5 \dots 0,2\%$ | $\geq \pm 1\%$ |
| Technischer Aufwand | gering | sehr groß | mittel bis groß | groß | sehr groß |
| Kosten | gering | sehr hoch | mittel | hoch | sehr hoch (bes. Impulszählgeräte) |
| Entwicklungsstand | vereinzelt praktische Anwendung; geringe Erfahrungsbreite | vereinzelt praktische Anwendung; Laboruntersuchungen | verbreitete praktische Anwendung | verbreitete praktische Anwendung | praktische Anwendung |
| Anwendungsbereich | Erz-Sintermischung, gemahlener Torf | Papier-, Gewebefabriken, pulverförmige Stoffe, Flüssigkeiten | bevorzugt homog. hygroskop. Stoffe (Getreide u. -produkte, Tabak, Textilien, Holz, Zellstoff u. a.) | homogene hygroskop. u. nichthygroskop. Stoffe (Getreide u. -produkte, Tabak, Textilien, Holz, Bitumen, Sand) | homogene hygroskop. u. nichthygroskop. Stoffe (Baustoffe, Gießereiformsand, Torf, Holz) |
| Schutzbestimmungen | keine speziellen | keine speziellen | keine speziellen | Frequenzbeschränkungen beachten (Send- und Funkverkehr) | Strahlenschutzbestimmungen und Genehmigungspflicht beachten |
| Schüttdichte einfluß | mittelbar über Kontaktgüte Fühler - Gut | kein Einfluß | mittelbar über Kontaktgüte Gut - Gut u. Fühler - Gut (Übergangswiderstände) | vorhanden (Änderungen der Zusammensetzung des Dielektrikums) | bedeutend (durch zusätzliche Dichtemessung kompensierbar) |
| Einfluß inhomogener Feuchteverteilung | vorhanden (Wärmeübergang Fühler - Gut) | vorhanden (wenn feuchter Kern durch trockene Außenschicht umschlossen) | bedeutend (äußere trockene Schichten isolieren feuchten Kern) | kein Einfluß | kein Einfluß |
| Einfluß wechselnder Meßgutzusammensetzung | vorhanden, aber gering (Wärmeübergang) | kein Einfluß | vorhanden | vorhanden (Änderung von ϵ_{rel} , der Grundsubstanz) | wechselnder, größerer Anteil leichter Elemente (außer H) verfälscht Meßergebnis |
| Einfluß eines Fremdelektrolytgehalts | kein Einfluß | kein Einfluß | bedeutend (elektrolytische Leitfähigkeit ist Meßgröße) | sehr gering | kein Einfluß |
| Einfluß der Guttemperatur | vorhanden, aber kompensierbar | kein Einfluß | vorhanden (Temperaturabhängigkeit der elektr. Widerstände) | vorhanden (Temperaturabhängigkeit aller ϵ_{rel}) | kein Einfluß |
| Einfluß der Kontaktgüte Fühler - Gut | sehr groß (Wärmeübergang Fühler - Gut) | kein Kontakt erforderlich | bedeutend (Übertragungswiderstand kann u. U. Meßwert stärker bestimmen als Feuchte) | kein Kontakt erforderlich | kein Kontakt erforderlich |
| Einfluß der Schichtdicke | oberhalb Mindestdicke (allseitige Fühlerbedeckung) gering (Kontaktgüte Fühler - Gut) | kein Einfluß (mißt nur Oberflächenfeuchte) | vorhanden (Kontaktgüte bei Fühleranordnung unter Gutschicht) | vorhanden (wenn dadurch Schüttdichte am Meßort beeinflusst wird) | Mindestschichtdicke $>15 \dots 20$ cm erforderlich |
| Einfluß der Gutgeschwindigkeit | groß (Wärmeableitung vom Heizelement) | keine Angaben | kein Einfluß | kein Einfluß | keine Angaben |
| Literaturquellen (Auswahl) | /1/, /2/, /3/ | /1/, /4/, /5/, /6, S. 79/ | /1/, /7/, /8/, /9/, /10/ | /1/, /7/, /9/, /11/, /12/, /13/, /14/ | /1/, /6, S. 171/213/, /15/, /16/ |

bei organischen Stoffen, ist das Verfahren nicht anwendbar. Auf Einhaltung der Strahlenschutzvorschriften ist zu achten.

2.7. Weitere Materialfeuchtemeßverfahren

Es sollen noch zwei Verfahren angeführt werden, an deren Entwicklung seit einiger Zeit gearbeitet wird, deren Anwendbarkeit bei den vorliegenden Meßaufgaben aber gegenwärtig schwer abzuschätzen ist. Es sind dies das Mikrowellenmeßverfahren und die Ultraschallmessung. Während für die Mikrowellenmessung bereits entsprechende Meßgeräte im Angebot sind, dürfte nach Kenntnis des Autors das Verfahren der Ultraschallmessung noch nicht wesentlich über das Erprobungsstadium hinaus sein.

Die Mikrowellenmessung nutzt die Tatsache, daß die Schwächung, die ein Hochfrequenzfeld durch eine zwischen Sender und Empfänger angeordnete Materialprobe erfährt, von deren Wassergehalt abhängig ist. Für Schüttgüter einfacher Struktur sind entsprechende Meßanordnungen bekannt. Erfolgreiche Messungen an Gütern mit komplizierter äußerer Struktur, bei denen eine konstante Lagerungsdichte mit wenig Aufwand nicht erreichbar ist, sind bisher nicht bekannt.

Für relativ homogene Güter körniger Struktur werden Meßgenauigkeiten von $\pm 0,1$ bis 0,5 Prozent Wassergehalt angegeben. Die Meßdauer für eine Probe von (durch das verwendete Meßgefäß) vorgegebener Größe beträgt 10 s, so daß ähnlich wie bei der Kernresonanzmessung (2.3) eine quasi-kontinuierliche Messung möglich wäre.

Der Anwendung von Ultraschallwellen zur Wassergehaltsbestimmung liegt die Beobachtung zugrunde, daß ihre Ausbreitung mit steigendem Wassergehalt der Probe zunimmt und die Energieänderung in direkter Beziehung zum Wassergehalt steht. Bisher sind nur Laboruntersuchungen an ausgewählten homogenen Materialien (Kaolin, Glasperlen 29 μm) mit unterschiedlichem Wasseranteil mit und ohne Kochsalzzusatz bekannt. Betriebliche Anwendungsbeispiele konnten nicht in Erfahrung gebracht werden.

3. Schlußfolgerungen zur Anwendbarkeit der Verfahren bei der Wassergehaltsbestimmung in Trocknungsanlagen

Unter dem Aspekt einer Einbeziehung in Regelungsanlagen müssen kontinuierlich arbeitende Meßverfahren gefordert werden, bei denen der Meßvorgang selbsttätig abläuft. Prüft

man daraufhin die behandelten Meßverfahren, dann können bereits jetzt die Kernresonanzmessung, die Mikrowellenmessung und die Ultraschallmessung aus weiteren Überlegungen ausgeschlossen werden, da sie entweder mit abgewogenen Proben arbeiten, deren Vorbereitung eine Arbeitskraft bindet oder sich noch in Entwicklung befinden, so daß Einsatzbedingungen und -grenzen nicht umfassend eingeschätzt werden können.

Für die anderen aufgeführten Meßverfahren wurde aus der verfügbaren Literatur die Tafel 1 zusammengestellt. Anhand einer Reihe von Kriterien wurden Einsatzverfahren und -bedingungen systematisiert. Auf dieser Grundlage ist die Entscheidung darüber möglich, welche Meßverfahren die größte Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Einsatz bei den Meßaufgaben in Trocknungsanlagen bieten.

Das Wärmeleitfähigkeitsverfahren besticht durch seinen einfachen Aufbau. Der gebildete Meßwert hängt jedoch derart von gleichbleibender Kontaktgüte zwischen Gut und Fühler ab, daß die Anwendbarkeit dieses Verfahrens wegen der komplizierten äußeren Struktur der vorliegenden Meßgüter in Frage gestellt ist. Das Ultrarotabsorptionsverfahren ist sehr kostenaufwendig, die Messung eines im wesentlichen nur vom Wassergehalt des Guts abhängigen reflektierten Strahlungsanteils erscheint infolge der zerklüfteten Meßgütoberfläche unmöglich. Die nur geringe Eindringtiefe der Strahlen (d. h. nur Messung der Oberflächenfeuchte) ist insbesondere mit der im Trockengut vorliegenden Feuchteverteilung nicht zu vereinbaren. Die staubhaltige Atmosphäre einer Trocknungsanlage wirkt sich nachteilig auf den optischen Teil der Meßeinrichtung aus. Das Neutronenfeuchte-meßverfahren läßt sich wegen des erforderlichen großen Meßvolumens schwierig in den Prozeß eingliedern. Es verursacht besonders durch die erforderlichen Impulszähleinrichtungen hohe Kosten.

Die Wassergehaltsbestimmung durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit wurde bereits für viele Materialien mit Erfolg angewandt. Die von der Firma Feutron, Greiz, für Trockenwerke angebotene Anlage FML 1 zur Trockengutfeuchtemessung konnte im Betrieb nicht überzeugen. Ursache dafür scheint die nicht ausreichende Kontaktgüte zwischen Meßfühler und Gut zu sein. Es wurden daher Untersuchungen angestellt mit dem Ziel, diese Anlage durch Einsatz eines veränderten Meßfühlers funktionssicherer zu gestalten /17/ /18/.

Für die Wassergehaltsbestimmung am Trockneraufgabegut erschien das dielektrische Meßverfahren am aussichtsreichsten. Entsprechende Untersuchungen /17/ /18/ konnten jedoch aufgrund der komplizierten Gutstruktur zu keinem befriedigendem Ergebnis geführt werden.

Literatur

- /1/ Lück, W.: Feuchtigkeit — Grundlagen, Messen, Regeln — München, Wien: R. Oldenbourg 1964 (234 Quellenangaben)
- /2/ Kruse, F.: Regelung des Feuchtigkeitsgrades von Sintermischungen mit einer Heizdrahtsonde (Bauart Elliot), Stahl und Eisen 82 (1962) Nr. 15, S. 1059
- /3/ Wiethoff, G.: Versuchsergebnisse bei der Ermittlung des Feuchtigkeitsgehalts von Sintermischungen mit der Heizdrahtsonde. Stahl und Eisen 82 (1962) Nr. 15, S. 1059/60
- /4/ Hoffmann, K.: Feuchtemessung durch Infrarotreflexion. Chem.-Ing.-Technik 35 (1963) H. 1, S. 55/62
- /5/ Eisentraut, H. J.: Kontinuierliche Analysegeräte Gaschromatograph und UR-Feuchtemeßgerät, Die Lebensmittelindustrie 13 (1966) H. 9, S. 337/339
- /6/ Wexler, A. (Hrsg.): Humidity and Moisture, Measurement and Control in Science and Industry, Bd. IV. Reinhold Publishing Corporation, New York, Chapman & Hall Ltd., London 1965
- /7/ Steru, M.: Conversion de l'humidité des solides en grandeurs électriques (Umwandlung der Feuchtigkeit von Festkörpern in elektrische Größen). Mesures-regulation-automatisme 29 (1964) H. 6, S. 91/104
- /8/ Moll, F.: Feuchtigkeitsmessung in Holz, ATM V 1281-1 1932
- /9/ Keinath, Gg.: Feuchtebestimmung in Getreide und Mehl. ATM V 1281-4 1935
- /10/ Weber, R., J. Müller: Kontinuierliche Feuchtemessung bei der Schnitzeltrocknung. Zuckerverzeugung (1962) H. 6
- /11/ Velten, O.: Kontinuierliche Wassergehaltsbestimmung von Brikettierbraunkohle. ATM V 1281-6 1939
- /12/ Lindrum, W.: Wassergehaltsbestimmung von Braunkohle. ATM V 1281-9 1962
- /13/ Fabian, J.: Messung des H₂O-Gehalts in verlustreichen Dielektrika. Vortrag IMEKO-IV Warschau 1967. Vortr. Nr. IU-304
- /14/ Steru, M.: Contributions au développement de la mesure électrique de l'humidité des matériaux (Beiträge zur Entwicklung der elektrischen Messung der Materialfeuchte). Vortrag IMEKO-IV Warschau 1967, Vortr. Nr. Fr-302
- /15/ Neuhaus, H. u. a.: Kontinuierliche Überwachung und Regelung des Feuchtegehaltes von Schüttgut nach dem Neutronenstreuungsfahren. Stahl und Eisen 82 (1962) Nr. 15, S. 1017/1026
- /16/ Czermak, H.: Kontinuierliche Feuchtebestimmung in Betonfeinsand mit Neutronen. Kernenergie 7 (1964) H. 6/7, S. 557/560
- /17/ Buchholz, E.: Forschungsabschlußbericht zum Forschungsauftrag „Automatisierung der Heißlufttrocknung“. Sektion Landtechnik der Universität Rostock 1969 (unveröffentlicht)
- /18/ Buchholz, E.: Ergänzungsbericht zu /17/ Sektion Landtechnik der Universität Rostock 1970 (unveröffentlicht) A 8724

Suchen Sie Antwort auf weitere in der Praxis auftretende Fragen der Heißlufttrocknung?

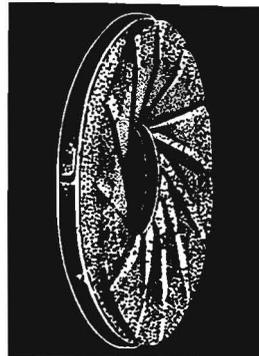
Das noch lieferbare Fachbuch

Heißlufttrocknung von Grünfütter und Hackfrüchten

von Dipl.-Landw. Boto Schneider gibt sie Ihnen! Dieses Buch mit 352 Seiten, 125 Bildern und 103 Tafeln ist zum Preis von 19,— M über jede Buchhandlung erhältlich.

VEB Verlag Technik Berlin

ORANO



in allen Größen
Rationell durch
—weiches Herzstück
—Vorschrotbahn
—Feinmahlbahn und
—halbweiche Luftfurche

Deshalb der Schrotstein von höchster Wirtschaftlichkeit

Folgende Referenzen geben Auskunft
über Vorteile und Leistung:

Paul Habermann, 9271 Langenchursdorf, Kreis Hoh.-Ernstthal
LPG „Am Heiderand“, 3212 Colbitz, Kreis Wolmirstedt
Martin Rönsch, 8921 Rengersdorf über Niesky
LPG „Philipp Müller“, 3581 Hanum, Kreis Klötze

Neu: Hartvermahlungsstein mit weichen Furchen und mit weichem Herz

Herstellung und Reparatur

ORANO MÜHLENBAU (13)

Norbert Zwingmann, Mühlenbaumeister

5821 Thamsbrück (Thüringen)

Fernruf Bad Langensalza 28 14