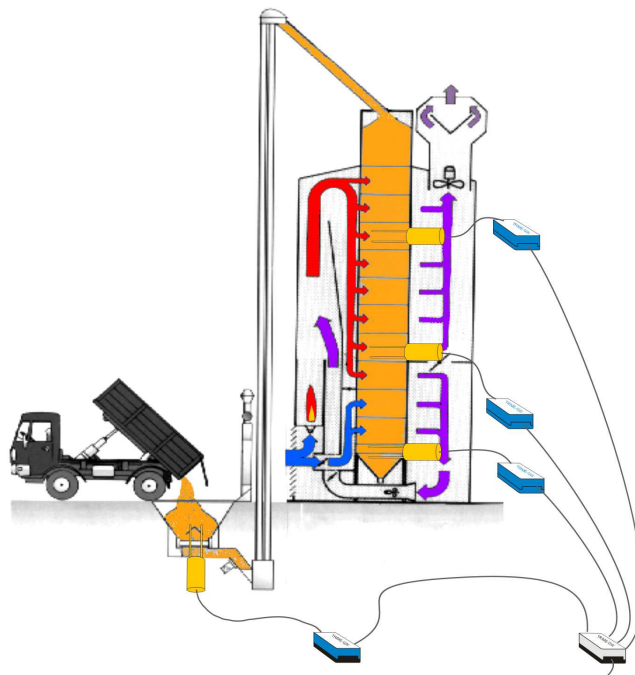




Rationalisierungs-Kuratorium
für Landwirtschaft

Genauigkeit von Feuchte- messer-Sensorik zur Steuerung von Durchlauftrocknern



Albert Spreu

Genauigkeit von Feuchtemess-Sensorik zur Steuerung von Durchlauftrocknern

Januar 2011

Albert Spreu ist Mitarbeiter beim RKL

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis einer von der Prof.-Udo-Riemann-Stiftung geförderten Untersuchung.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Prof. Dr. Yves Reckleben

Am Kamp 15-17, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-708110, Fax: 04331-7081120

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiges Beratungsunternehmen mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

Gliederung	Seite
1. Einleitung	1335
2. Material und Methode	1336
2.1. Wo ist der Feuchtegehalt zu bestimmen?	1336
2.2. Messverfahren.....	1338
2.2.1. Kapazitives Messverfahren	1339
2.2.2. Time Domain Refectometry (TDR)	1339
2.2.3. Mikrowellenresonanzmethode.....	1340
2.2.4. Widerstandsmesstechnik.....	1342
2.2.5. Nah-Infrarot-Reflektions-Spektroskopie (NIRS).....	1343
2.2.6. Trockenschrank.....	1343
2.3. Versuchsaufbau	1343
3. Ergebnisse	1345
3.1. Ergebnisse der Kapazitive Messung mit Liebherr FMS II.....	1345
3.2. Ergebnisse der TDR-Messung mit TRIME-GW	1347
3.3. Ergebnisse der Mikrowellenresonanzmethode TEWS	1347
3.4. Ergebnisse der Widerstandmessung mit Pfeuffer HE 60.....	1349
3.5. Ergebnisse des Trockenschranks	1349
4. Diskussion	1350
5. Schlussfolgerung	1351

1. Einleitung

Die Trocknung von Druschfrüchten hat in den gemäßigten Breiten einen besonderen Stellenwert. In vielen Regionen können die landwirtschaftlichen Produkte nicht lagerfähig geerntet werden und sind somit nicht verarbeitungs- und verkehrsfähig. Der Trocknungsbedarf auf den Betrieben schwankt von Jahr zu Jahr. Wobei die Betriebe bezüglich der anfallenden Feuchtgetreidemenge im langjährigen Mittel in drei Klassen eingeteilt werden können (Tab.1).

Tab. 1: Klasseneinteilung der Produktionsstandorte nach dem Feuchtgetreideanteil an der Gesamterntemenge

	Klasse I	Klasse II	Klasse III
Anteil an Feuchtgetreide an der Gesamterntemenge	10 - 30 %	30 - 70 %	70 - 100 %

Betriebe, die aufgrund großer Mengen an Feuchtgetreide in der Ernte einen Durchlauftrockner in Ihr Nacherntekonzept integriert haben, haben einen hohen Personal-, Energie- und Investitionsaufwand. Im Zuge der sich in der Landtechnik weiter ausbreitenden Steuerungselektronik fällt zunehmend auch der Fokus auf die i.d.R. immer noch zeit- und arbeitsintensive Praxis zur Steuerung des Trocknungsprozesses. Üblicherweise wird der Trocknungsprozess im Durchlauftrockner stichprobenartig mit einem handelsüblichen Schnellfeuchtebestimmer am Ende der Kühlzone kontrolliert. Getreide wird aus dem Gutstrom des Austrags entnommen und dessen Feuchtegehalt bestimmt. Über- oder unterschreitet der Ist-Wert den Soll-Wert um einen Toleranzbereich von 0,5 Prozent wird die Durchlaufgeschwindigkeit des Gutstroms im Trockners nachgeregelt. Regelungen der Zulufttemperatur sowie des –Voluminas haben sich aufgrund der Komplexität in der Praxis nicht bewährt.

Es ergibt sich somit die Fragestellung: „Welches Messverfahren ist geeignet den Feuchtegehalt im Gutstrom des Durchlauftrockners festzustellen und kann damit Grundlage zur automatisierten Steuerung des Trocknungsprozesses sein?“

In dieser Schrift wird dieser Fragestellung nachgegangen, einzelne Messverfahren vorgestellt und Ihre Relevanz für die Praxis bewertet.

2. Material und Methode

2.1. Wo ist der Feuchtegehalt zu bestimmen?

Das RKL hat im Rahmen eines Projekts der Professor-Udo-Riemann-Stiftung in der Ernte 2010 Versuche an einem 20 t Doppelsiebschachttrockner durchgeführt. Diese Bauform ist heute nicht mehr marktüblich. Nichtsdestotrotz hat man sich dazu entschieden einen Versuch an diesem Trockner durchzuführen. Denn der Autor stellt die marktüblichen Ansätze zur Automation von Durchlauftrocknern in Frage.

Üblicherweise wird versucht den Feuchtegehalt des Gutstroms im Trockner zu messen. Dazu werden mehrere Messsonden im Trockner verbaut. Wie die Abb. 1 zeigt.

In der Regel wird der Durchlauftrockner nach dem Ist-Wert der Messsonde am Ende der Trockenzone geregelt. Weitere Messsonden befinden sich am Ende der Kühlzone zur Qualitätskontrollen und am Anfang der Trockenzone zur Bestimmung des Feuchtegehalts neuer „Frischware“.

Alles in allem fokussiert man sich auf den reinen Trocknungsprozess. Es wird gänzlich außer Acht gelassen, dass es sich in der Praxis bewährt hat Feuchtgetreidezellen dem Durchlauftrockner vorzuschalten. Zur Effizienzsteigerung des Trocknungsprozesses ist ein Schwitzprozess in der Länge von 12–24 Stunden (Getreide), der den Feuchteausgleich zwischen den Körner und im Korn selbst fördert, vorzusehen. Die RKL-Erfahrungen belegen, dass somit bis zu 25 % der Trocknungskosten eingespart werden können.

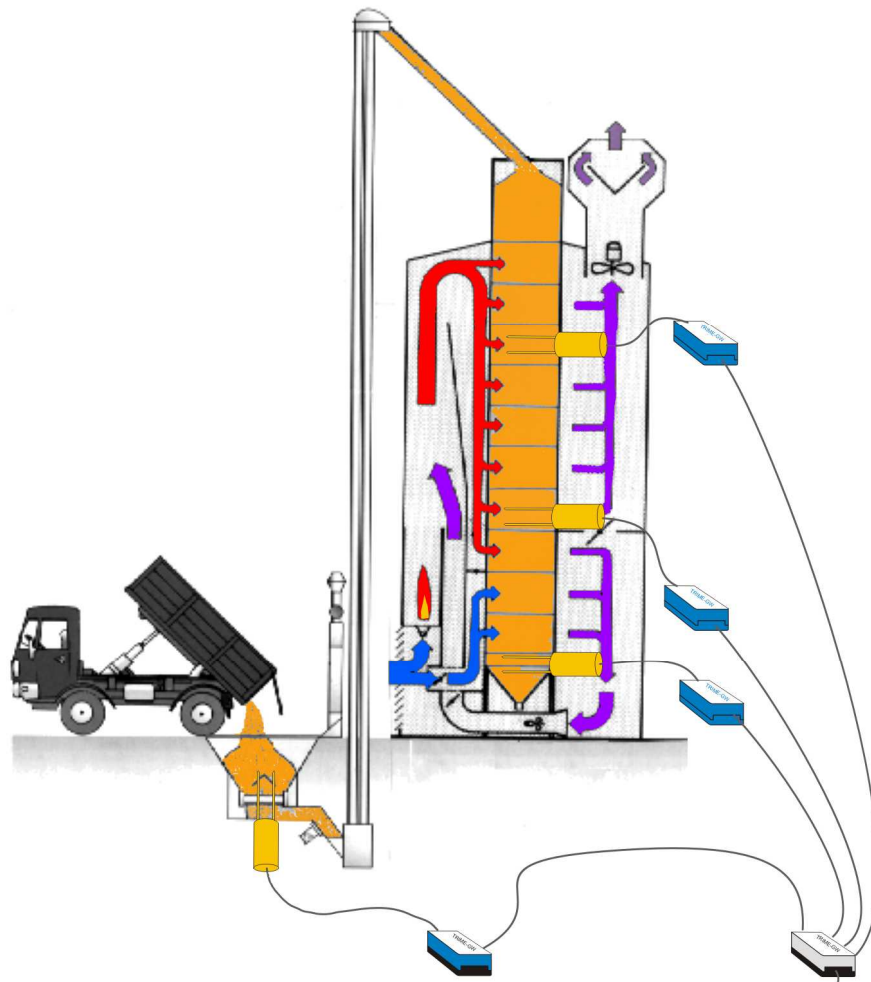


Abb. 1: Exemplarische Darstellung der Einbaupositionen von Messsonden zur Bestimmung der Produktfeuchte im Durchlauftrockner (Werkbild © Imko)

Es wird somit eine im Feuchtegehalt homogene Ware dem Durchlauftrockner bereitgestellt. Aus dieser Betrachtung heraus ergibt sich ein neuer Ansatz. Dieser sieht nicht allein die Regelung des Trocknungsprozesses vor, sondern die Einbindung der automatisierten Trocknersteuerung in das Getreideanlagenkonzept. Somit erübrigt sich die alleinige Betrachtung des Durchlauftrocknertypus, da die zu ermittelnden Werte zur automatischen Steuerung des Trocknungsprozesses nicht im Trockner selbst, sondern im Auslauf der Feuchtgetreidezelle sowie im Austrag des Durchlauftrockners zu erfassen sind (Abb. 2).

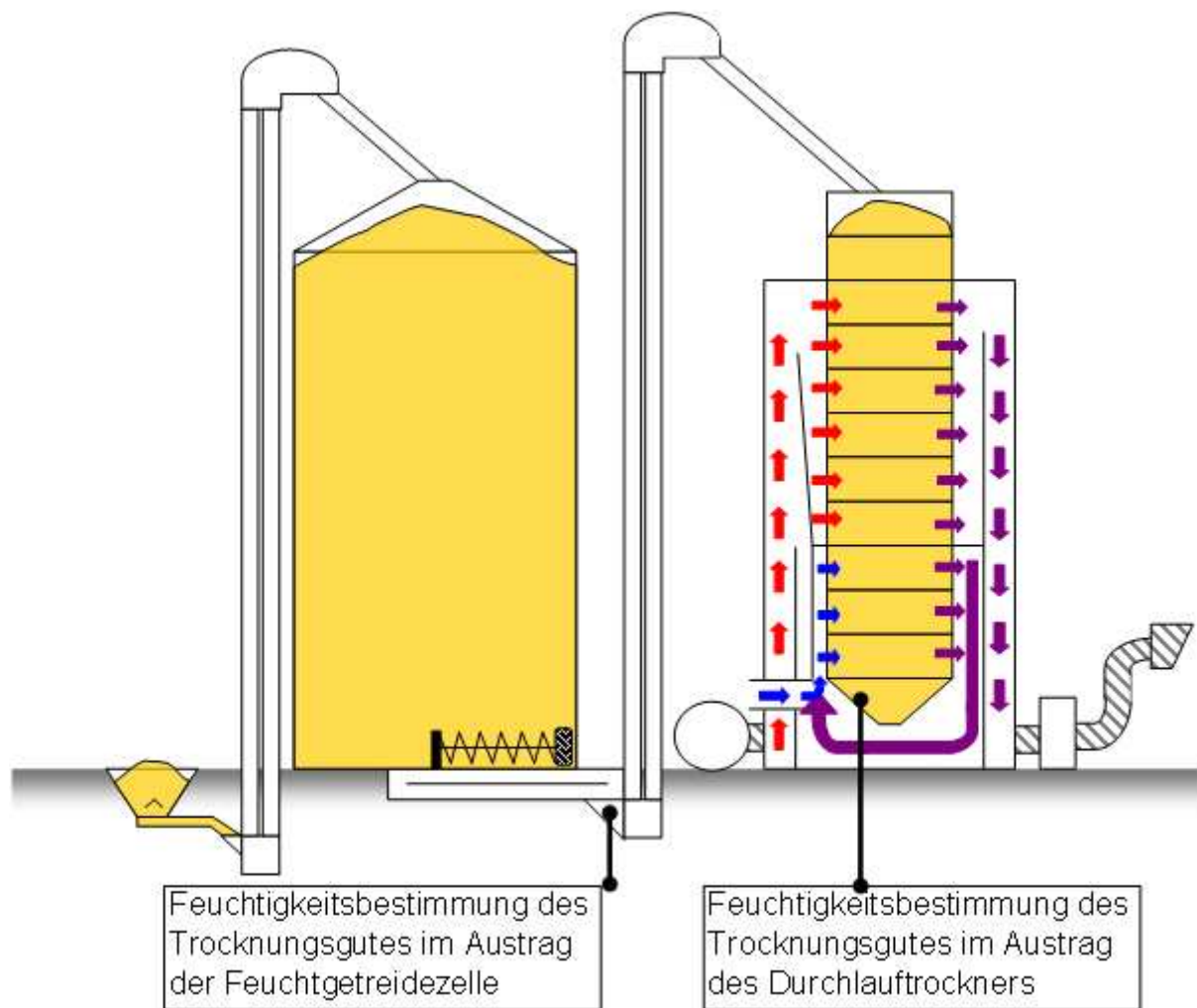


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Trocknungskonzeptes mit Durchlauf-trockner mit denkbaren Einbaupositionen der Echtzeit-Feuchtemessgeräte

2.2. Messverfahren

Zur Ermittlung von Produktfeuchten bedient man sich in der Landwirtschaft und vor allem in der Industrie dem dielektrischen Messprinzip. Gemessen wird hierbei die Dielektrizitätskonstante (DK) eines Materials über ein elektromagnetisches Hochfrequenzfeld welches das zu messende Gut durchdringt. Die DK von Wasser hat bei 20°C einen Wert von 80 und unterscheidet sich damit von der DK von Feststoffen, die je nach Material einen DK-Wert von 2 – 30 aufweisen. Bei diesem starken dielektrischen Kontrast kann die DK somit als Maß für den Wassergehalt bzw. die Materialfeuchte herangezogen werden. Die DK von trockenem Getreide liegt bei 2 (KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0130/1974).

2.2.1. Kapazitives Messverfahren

Bei diesem Messprinzip (Abb. 3) wird ein hochfrequentes Messsignal zwischen 5 MHz und 80 MHz mittels Stab- oder Plattenkondensator erzeugt (Abb. 5). Das elektromagnetische Hochfrequenzfeld durchdringt das Produkt und die Dielektrizitätskonstante bzw. die Kapazität des Materials wird ermittelt. Die DK wird aber in diesem Frequenzbereich teils durch nahezu gleiche Anteile vom Wassergehalt (Realteil) und vom Mineraliengehalt und Temperatur (Imaginärteil) beeinflusst. Eine Trennung der Einflussgrößen ist nicht möglich. Daher ist eine präzise Feuchtemessung unter Störgrößen wie Temperatur und Mineralgehalt schwer möglich.

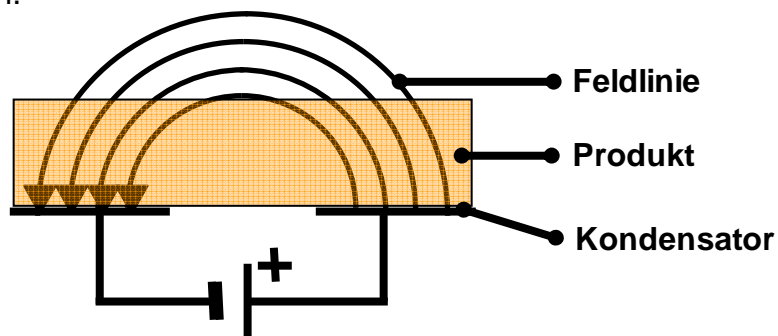


Abb. 3: Funktionsprinzip des kapazitiven Messverfahrens

2.2.2. Time Domain Reflectometry (TDR)

Das TDR-Messprinzip (Time-Domain-Reflectometry, auch Kabelradar genannt) hat sich in den letzten 10 Jahren als präzises Messverfahren für anspruchsvolle Anwendungen etabliert. Bei der TDR-Technologie kommen zwei- oder dreidrig, parallele Wellenleiter (als eigentlicher Sensor) zum Einsatz, die in Form von Stäben oder Platten in das zu untersuchende Material eingebracht werden. Es wird ein Spannungssprung angelegt, der sich entlang eines Koaxialkabels ausbreitet das an die Wellenleiter angeschlossen ist. Geht der Spannungssprung an den Sensor über, kommt es zu einer Teilreflexion. Der weiterlaufende Teil wird am Sensorende vollständig reflektiert. Die Sprungantwort eines Wellenleiters lässt sich über den Zeitbereich messen wobei die Reflexionszeit das Maß für den Wassergehalt ist. Grundlage für die Anwendung der TDR zur Feuchtemessung bildet folgender physikalischer Zusammenhang:

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}}$$

Demnach ist die Geschwindigkeit c einer elektromagnetischen Welle im Vakuum gleich der Lichtgeschwindigkeit c_0 . Außerhalb des Vakuums ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit c nur von der Dielektrizitätskonstante ϵ_r und der magnetischen Durchlässigkeit μ_r des Materials in dem sich die Welle ausbreitet, abhängig. Letztere kann in nichtmagnetischen Materialien gleich 1 gesetzt werden, so dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit nur von der Dielektrizitätszahl abhängig ist. Die Herausforderung bei der TDR-Messung liegt in der sehr kurzen Laufzeit der elektromagnetischen Welle auf dem Sensor, so dass für die Messung sehr kurzzeitige und steiflankige Impulse (Anstiegszeit < 300 Picosekunden (ps) = 10-12 s) nötig sind. Am Beispiel einer 15 cm langen TDR-Messsonde ($l = 15$ cm) errechnet sich die Laufzeit in Luft t_l mit einer DK von 1 und die Laufzeit in Wasser t_w mit DK = 1 folgendermaßen:

$$t = \frac{2l}{c_0} \cdot \sqrt{\epsilon_r}$$

$$t_l = \frac{0,3m}{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}} \cdot \sqrt{1} = 1ns$$

$$t_w = \frac{0,3m}{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}} \cdot \sqrt{81} = 9ns$$

Daraus ergibt sich eine Laufzeitdifferenz von nur 1 – 9 Nanosekunden (ns) zwischen den beiden Extremen 0 % und 100 % Feuchte. Um diese kleine Zeitdifferenz messtechnisch präzise erfassen zu können, sind elektronische Messvorrichtungen notwendig, die diesen Zeitbereich mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \times 10^{-12}$ s (± 2 Picosekunden!) auflösen können.

2.2.3. Mikrowellenresonanzmethode

Das Mikrowellen-Resonatorverfahren ist ein Feuchtemessverfahren, das mit elektromagnetischen Feldern arbeitet. Als Sensoren kommen entweder Hohlraumresonatoren oder Streufeldresonatoren zum Einsatz. Die jeweilige, zur Messung benutzte, Resonanz wird durch zwei Parameter charakterisiert, die Resonanzfrequenz und die Halbwertsbreite der Resonanzkurve (Abb. 4).

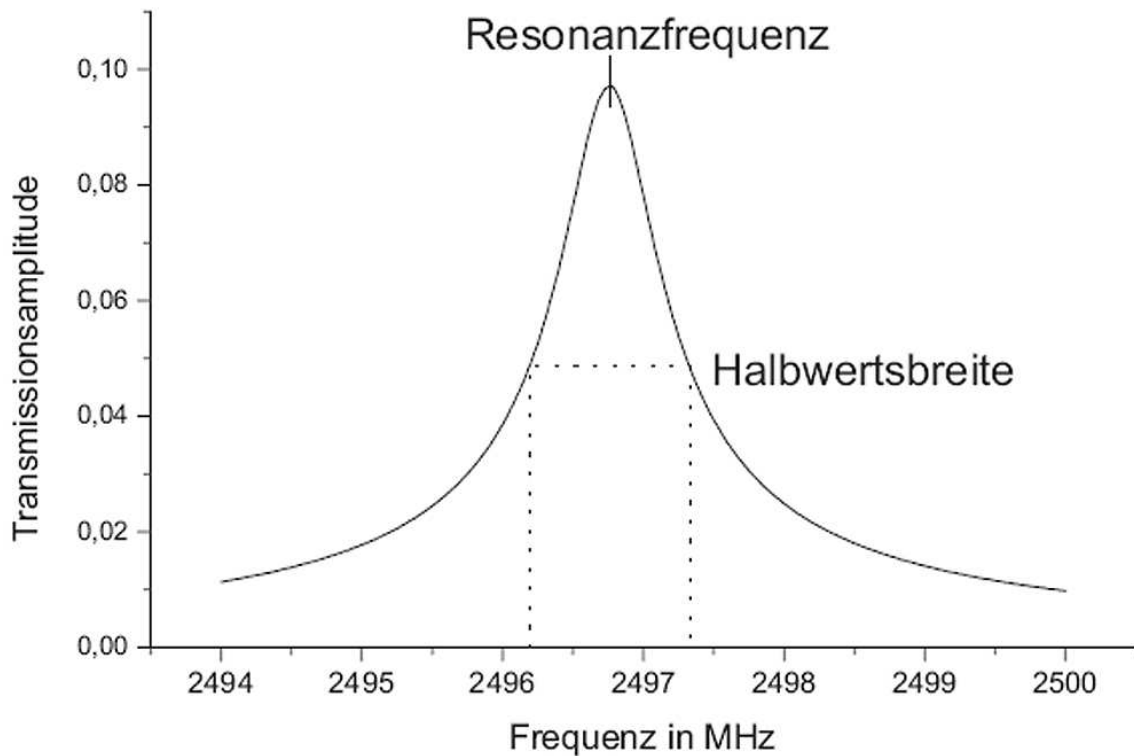


Abb. 4: Resonanzkurve der Mikrowellenresonanzmethode

Wird ein Messgut in den Resonator eingebracht, bzw. bei Streufeldresonatoren mit dem Resonator in Kontakt gebracht, sinkt die Resonanzfrequenz und gleichzeitig nimmt die Halbwertsbreite der Resonanzkurve zu. Bei jeder Messung wird die Veränderung dieser beiden Resonanzparameter bei Belastung des Resonators mit Messgut gemessen. Die Veränderung beider gemessener Parameter ist in gleicher Weise abhängig von der Masse des Messgutes, jedoch in unterschiedlicher Weise von der Messgutfeuchte. Der Quotient der beiden Messgrößen ist deshalb nur abhängig von der Messgutfeuchte. Dieser Quotient ist also ein geeigneter Wert zur dichte- und masseunabhängigen Feuchtemessung. Da die Messung der Veränderung der beiden Resonanzparameter (Resonanzfrequenz und Halbwertsbreite) masseabhängig ist, kann bei Messgütern, die homogen bzgl. ihrer Dichte sind, eine Dichtemessung über einen der beiden Resonanzparameter erfolgen.

Der Unterschied zum kapazitiven Messverfahren besteht in der Verwendung der hohen Messfrequenz. Bei genügend hoher Messfrequenz können im Messgut gelöste Salze und Mineralstoffe dem Wechselfeld nicht folgen, das Messergebnis wird also nicht durch eine Ionenleitung beeinflusst. Da beim Mikrowellen - Resonatorverfahren eine Messung zweier Parameter erfolgt, kann eine dichteunabhängige Feuchtemessung realisiert werden. Diese ist unabhängig vom Mineralstoffgehalt des Messgutes und somit, z.B. im Fall von landwirtschaftlichen Produkten, vom Anbaugbiet. Beim kapazitiven Messverfahren ist dagegen eine

dichteunabhängige Feuchtemessung nicht möglich. Bedingt durch die vom Mineralstoffgehalt abhängende Ionenleitung kommt es zu einer ausgeprägten Sortenabhängigkeit der jeweiligen Messwerte

2.2.4. Widerstandsmesstechnik

Mit einem empfindlichen logarithmischen Verstärker wird der elektrische Widerstand zwischen den Elektroden gemessen. Über eine spezielle Linearisierung wird die Feuchtigkeit errechnet.

Die Kontaktmessung erfolgt über mindestens 2 Messpunkte. Dabei wird der elektrische Leitwert zwischen den Messpunkten bestimmt und anhand von speziellen Kalibrierkurven die absolute Feuchtigkeit berechnet. Der Leitwert ist der Kehrwert des elektrischen Widerstandes.

Der elektrische Widerstand eines Materials ist nicht nur von der Feuchte sondern auch von der Temperatur und Salzgehalt abhängig. Der Temperatureinfluss muss beim Messergebnis korrigiert werden.

Bei mehreren Messstellen ist der geringste Widerstandswert oder die höchste Feuchtigkeit für das Ergebnis maßgebend.

Bekannt ist diese Messmethode von den handelsüblichen Feuchte-Schnellbestimmern.

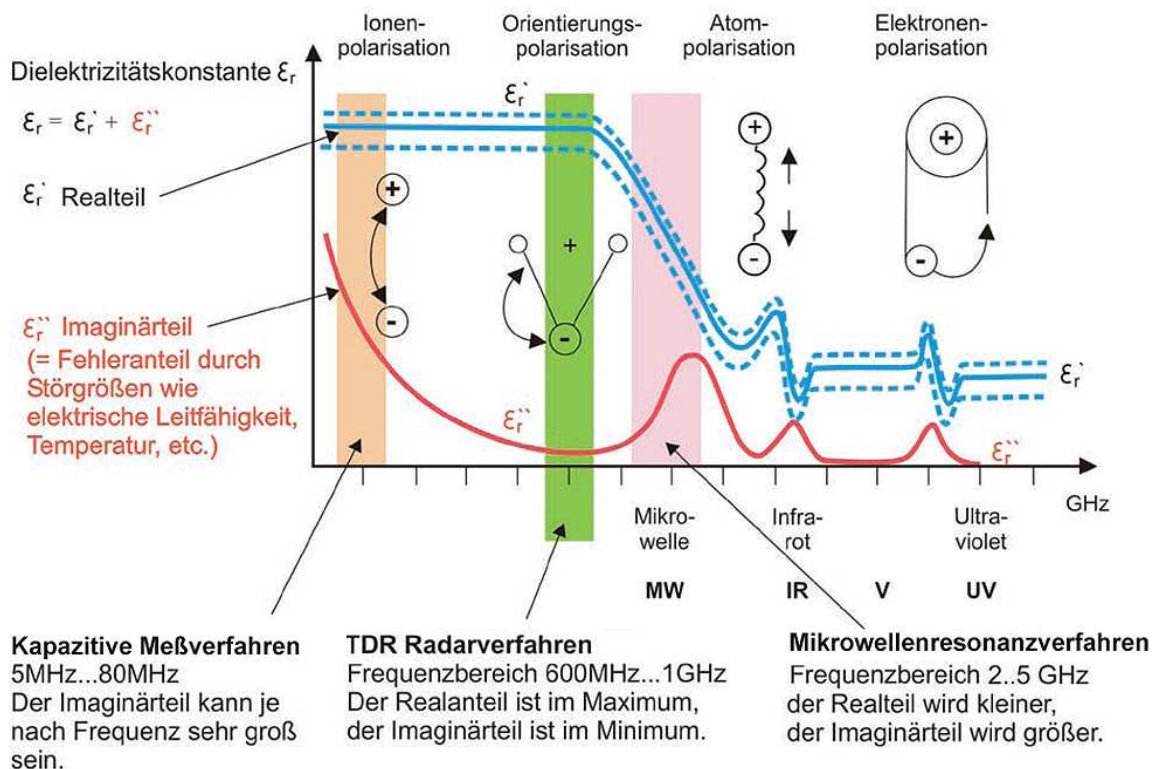


Abb. 5: Frequenzbereiche elektromagnetischer Feuchtemessverfahren (© Imko)

2.2.5. Nah-Infrarot-Reflektions-Spektroskopie (NIRS)

Die Produktfeuchte des Erntegutes wird mittels eines Spektrometers und einer Lichtquelle gemessen. Die von der Lichtquelle auf den vorbeilaufenden Gutstrom gerichtete Strahlung wird von diesem teils absorbiert und teils reflektiert. Der Reflektierte Anteil wird Mittels Prismaglas in verschiedene Wellenlängen aufgeteilt. Für jede Farbkombination ist eine andere Produktfeuchte hinterlegt. Eine hinreichende Genauigkeit erfordert mehrere tausend hinterlegte Kalibrierkurven. Der Sensor ist unempfindlich gegenüber Verschmutzung und eine Messung erfolgt mehrmals pro Sekunde. Der aktuelle TS-Gehalt wird nach Mittelwertbildung im Sekundentakt ausgegeben. Diese Technik findet bereits Ihre Anwendung z.B. in der Feuchtebestimmung des Häckselguts im selbstfahrenden Feldhäcksler und versuchsweise zur Feuchtebestimmung des Ernteguts im Mähdrescher.

2.2.6. Trockenschrank

Die Feuchtebestimmung im Trockenschrank dient im Allgemeinen als Referenzmethode für alle zuvor genannten Messmethoden. Das Gut wird eingewogen und verbleibt 24 Stunden im Trockenschrank bei 105°C. Anschließend wird das Gut zurück gewogen. Die sich ergebende Differenz ist der Wassergehalt. Die Bestimmung des Wassergehalts mittels Trockenschrank ist aufwendig und in der Landwirtschaftlichen Praxis kaum zu finden. Sie findet überwiegend Verwendung im Versuchswesen.

2.3. Versuchsaufbau

Für den Versuch der kontinuierlichen Feuchtebestimmung wurde die Messtechnik in den Austragstrichter des 20 t Doppelsiebschacht-Durchlauftrockners installiert (Abb. 6). Parallel zur Messeinheit wurde alle 15 min eine Referenzprobe aus der vorgefertigten Probenentnahmeöffnung gezogen und hinsichtlich Feuchte und Temperatur analysiert. Um ein möglichst repräsentatives Ergebnis zu erhalten ist die Entnahmeöffnung nahe der Messtechnik platziert worden.



Abb. 6: Mikrowellenresonator mit Thermometer der Firma „TEWS Elektronik“ im Auslauftrichter eines im Betrieb befindlichen Durchlauftrockners

Aus den Vorüberlegungen heraus sind die 4 Messprinzipien, Messung der Leitfähigkeit (Widerstand), kapazitiv, Mikrowellenresonanzmethode und die TDR-Technik ausgewählt worden. Letzteres Messprinzip stand zum Versuchszeitpunkt nicht zur Verfügung. Die Messwerte sind im nach hinein mit den erstellten Rückstellmuster mit einem Volumen von 8 Liter ermittelt worden.

Zur kapazitiven Messung standen bereits verbaute Sonden (FMS II) der Firma Liebherr zur Verfügung, deren Daten protokolliert und ausgewertet worden sind. Die Messsonde befand sich im unteren Drittel der Trockensäule. Da es sich bei dieser Getreideanlage um eine Siloanlage handelte und aufgrund von erhöhter Leistungsanforderungen auf die Kühlzone im Durchlauftrockner verzichtet worden ist, ist dieser Einbaupunkt nahe dem im Auslauftrichter und deren Messwerte mit denen der Mikrowellenresonanzmethode vergleichbar.

Die Messung über die Leitfähigkeit ist mit einem handelsüblichen Schnellfeuchtebestimmer der Firma Pfeuffer (HE 60, eichfähig) durchgeführt worden.

Die Bestimmung der Produktfeuchte über die Mikrowellenresonanzmethode erfolgte direkt im Austragtrichter des Durchlauftrockners.

Zur Korrektur der Messwerte sind ein Thermometer in die Trockensäule sowie in den Austragtrichter integriert worden.

Der Versuch in einer Praxisanlage unter den erschwerten Erntebedingungen 2010 lief über 2 Tage in der Weizenernte. Als Referenzmethode zur Bestimmung der tatsächlichen Produktfeuchte wurden die Rückstellmuster im Trockenschrank auf den Feuchtegehalt überprüft.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Kapazitive Messung mit Liebherr FMS II

Die bereits verbauten Messsonden Liebherr FMS II, welche in die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Anlage integriert worden sind, sollten den Feuchtegehalt des Guts in Echtzeit ermitteln (Abb. 7). Die vollautomatische Steuerung des Trockners über die SPS ist auch im dritten Jahr in folge nicht gelungen, obwohl die Messsonde ähnlich präzise Messwerte ergab, wie die anderen Messmethoden. Im Wesentlichen ist dies auf den Fakt zurück zu führen, dass der Sollwert von 14,5 % Feuchtegehalt im Weizen in der Trockensäule zu tief angesetzt war. Dadurch regelte der Durchlauftrockner die Gutstromgeschwindigkeit so herunter, dass die Mengenleistung des Trockners ebenfalls erheblich abnahm. Des Weiteren waren die Feuchtegehalte im Lager mit 13,0 % deutlich unter der Zielfeuchte. Das ist darauf zurück zu führen, dass in dieser Getreideanlage die Rundsilos-Lagerzellen gleichzeitig als Kühlzone genutzt worden sind. Das herunterkühlen des Trocknungsgutes von der Korntemperatur 45°C auf eine Lagertemperatur von 19°C entzieht dem Getreide ca. 1,5 % Wasser zusätzlich. Dies gilt es bei der Festlegung des Sollwertes sowie der Toleranzen und der Programmierung der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) zu beachten. Die Messwerte der Liebherrsonde sind in Abbildung 8 dargestellt.

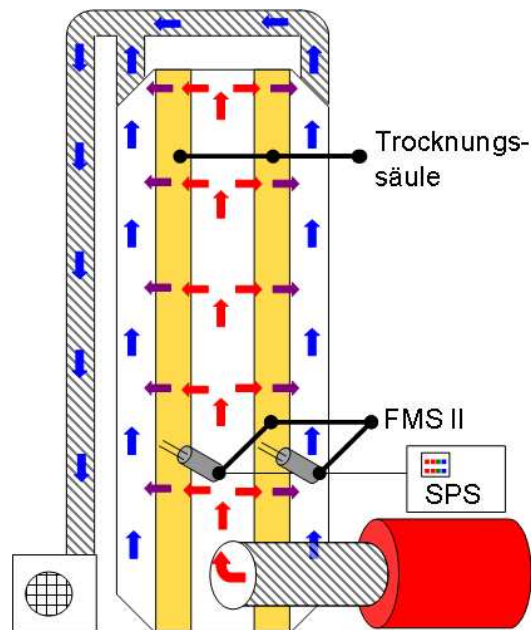


Abb. 7: Einbaupositionen der Feuchte-Mess-Sonden (FMS II) der Firma Liebherr im Versuchstrockner, System Doppelsiebschacht-Durchlauf-trockner

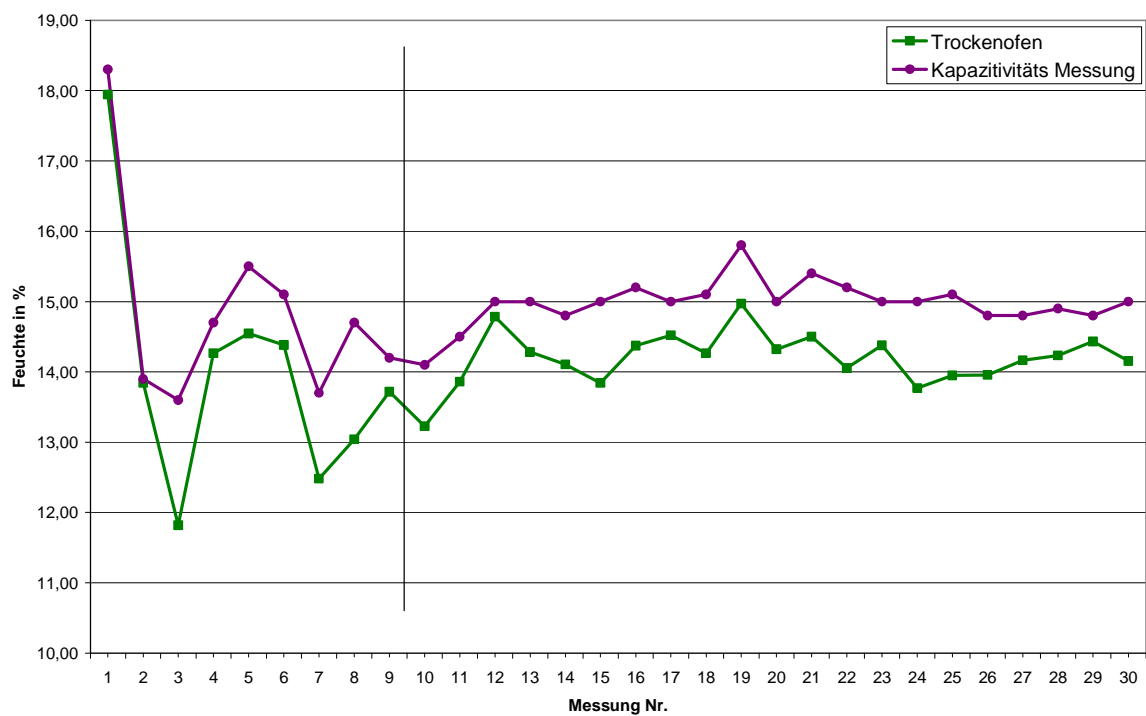


Abb. 8: Messwerte der Feuchten-Mess-Sonde (FMS II) von Liebherr

3.2 Ergebnisse der TDR-Messung mit TRIME-GW

Da zum Versuchsbeginn, dass TRIME-GW nicht zur Verfügung stand, sind die Messungen der Feuchtegehalte an den großenvolumigen Rückstellmestern durchgeführt worden. Da die Temperatur der Rückstellmester bei 19°C lag, konnten die Effekte der erhöhten Produkttemperatur auf die Messwerte nicht nachgestellt werden. Nichtsdestotrotz lagen die Messwerte bei Werkskalibrierung nahe dem der Referenzmessung. In Abbildung 9 ist der Versuchsaufbau dargestellt.

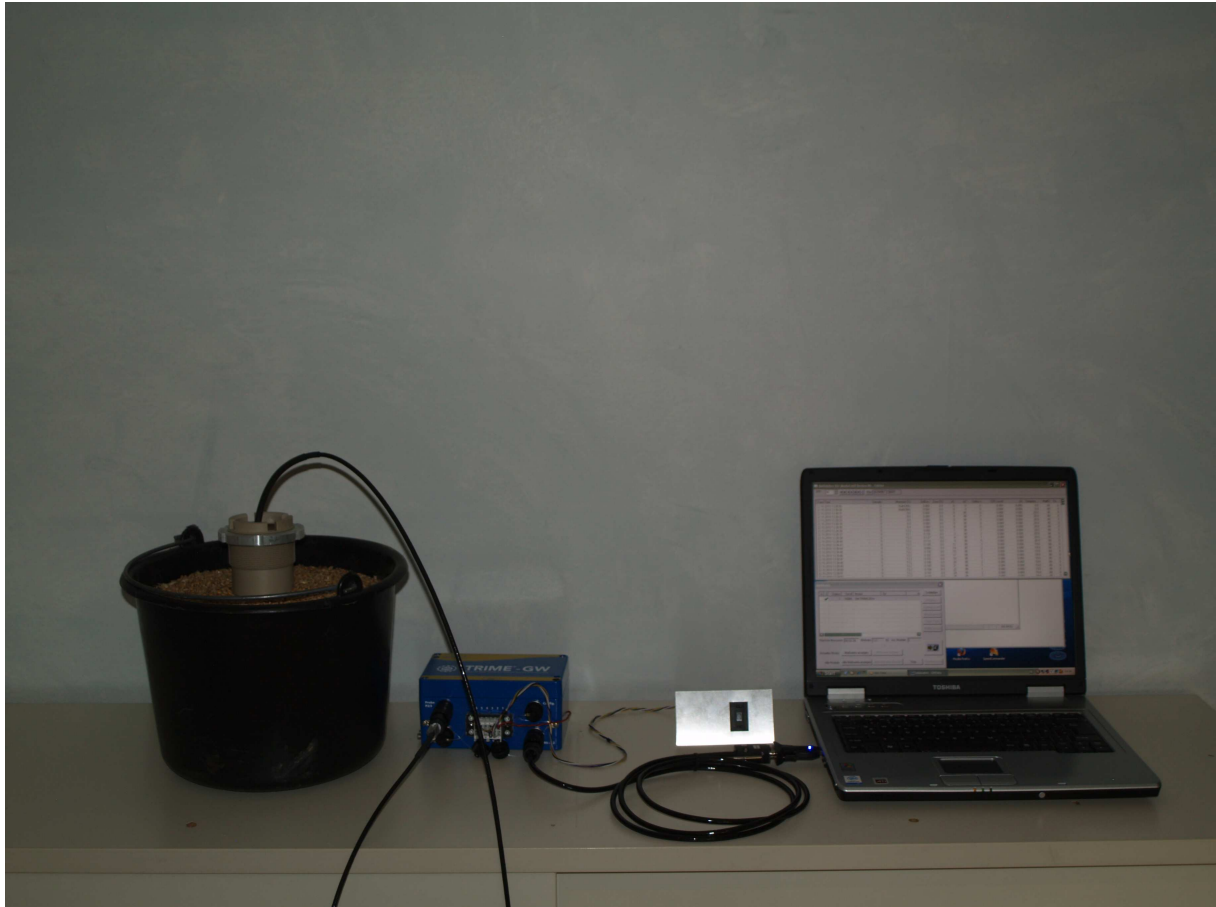


Abb. 9: Versuchsaufbau im Labor mit TRIME-GW Messtechnik der Firma Imko

3.3 Ergebnisse der Mikrowellenresonanzmethode TEWS

Die Ergebnisse der Mikrowellenresonanzmethode liegen nahe den Werten der Referenzmethode. Die folgende Abbildung 10 zeigen die Ergebnisse der Mikrowellen - Online - Feuchtemessung am Austragtrichter.

Die Referenzmessung Nr. 3 scheint fehlerhaft zu sein.

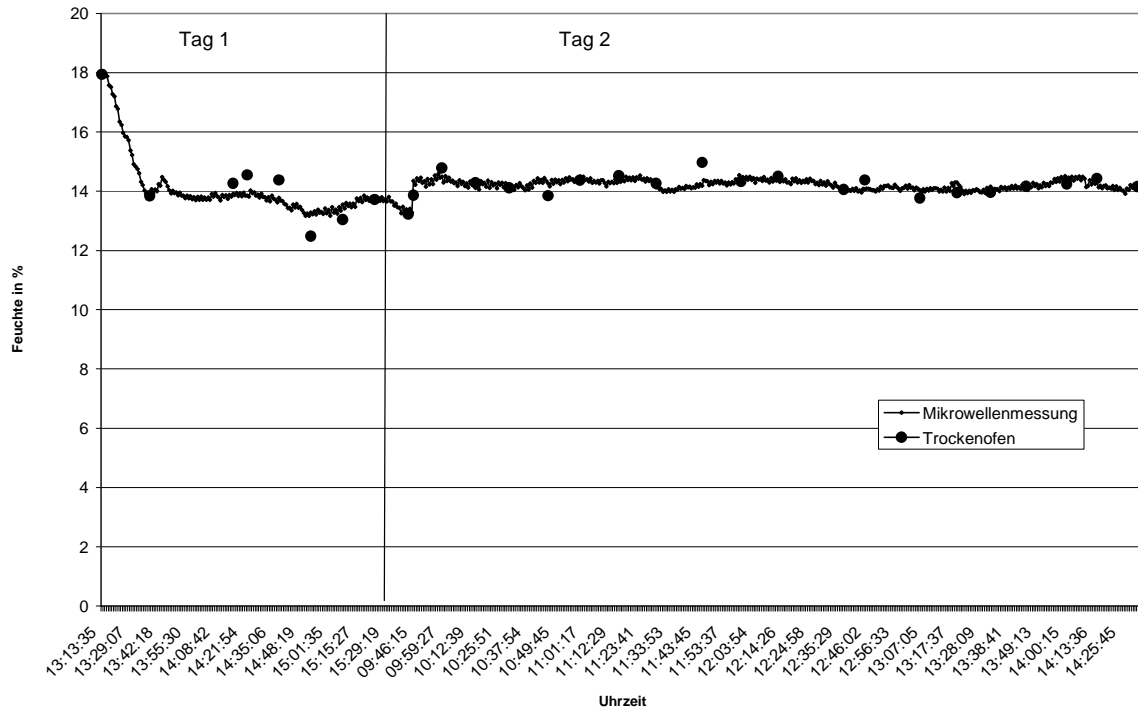


Abb. 10: Online-Messwerte des Mikrowellen-Resonators im Auslauftrichter

Abbildung 11 zeigt, dass der durch Ofentrocknung ermittelte Feuchtwert weder zu den entsprechenden Mikrowellen - Messwerten noch zu den mit dem 'Pfeuffer' - Messgerät ermittelten Werten passt. Dieser Messpunkt wurde deshalb bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

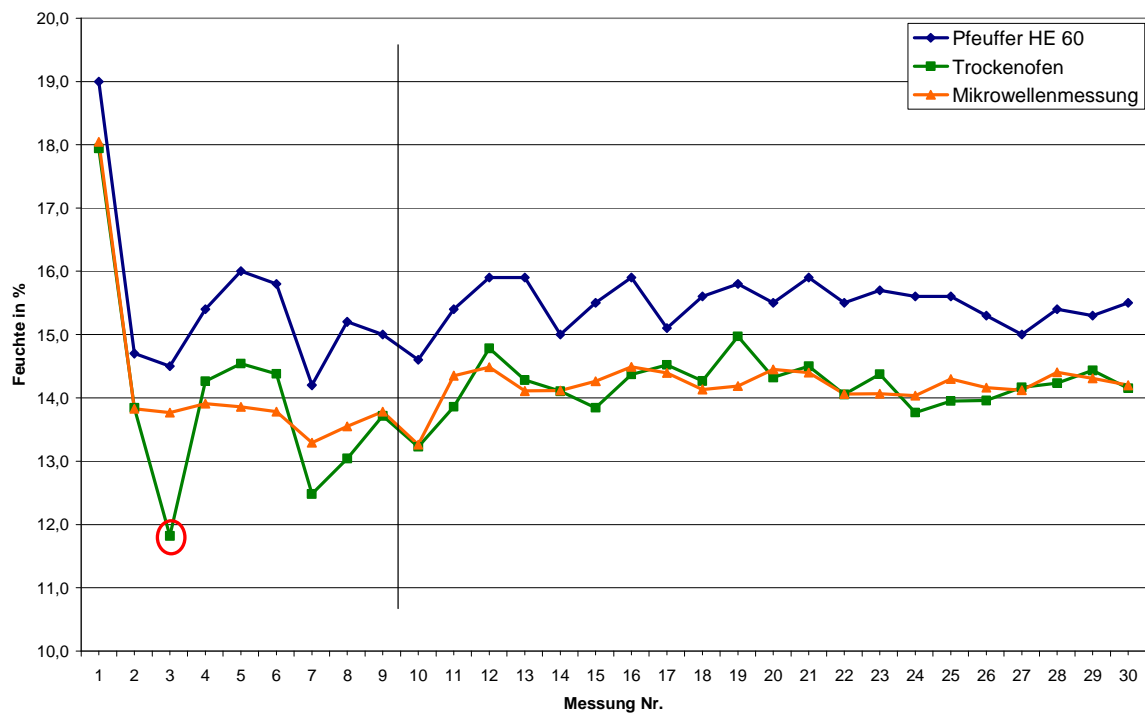


Abb. 11: Feuchteverlauf des Trocknungsgutes im Versuch

3.4 Ergebnisse der Widerstandmessung mit Pfeuffer HE 60 und HE 50

Zur Verfügung standen die Messgeräte Pfeuffer HE 60 und HE 50. Da nur das HE 60 eichfähig ist, wurden diese Messwerte zur näheren Betrachtung herangezogen. Wie aus der Abbildung 11 ersichtlich ist, liegen die Messwerte gut ein Prozent über dem der anderen Messmethoden. Da dieser „Fehler“ konstant ist, können die Werte durch Kalibration des Messgerätes nahe dem der Referenzmethode gebracht werden.

3.5 Ergebnisse des Trockenschanks

Die Messwerte des Trockenschanks zeigen den tatsächlichen Feuchtegehalt des Trockenguts. Lediglich bei der Probe 3 wird davon ausgegangen, dass hier eine Fehlmessung vorliegt, da dieser Wert nicht mit dem der Online-Messwerte übereinstimmt. Die Ergebnisse aller Messverfahren sind in Abbildung 12 dargestellt.

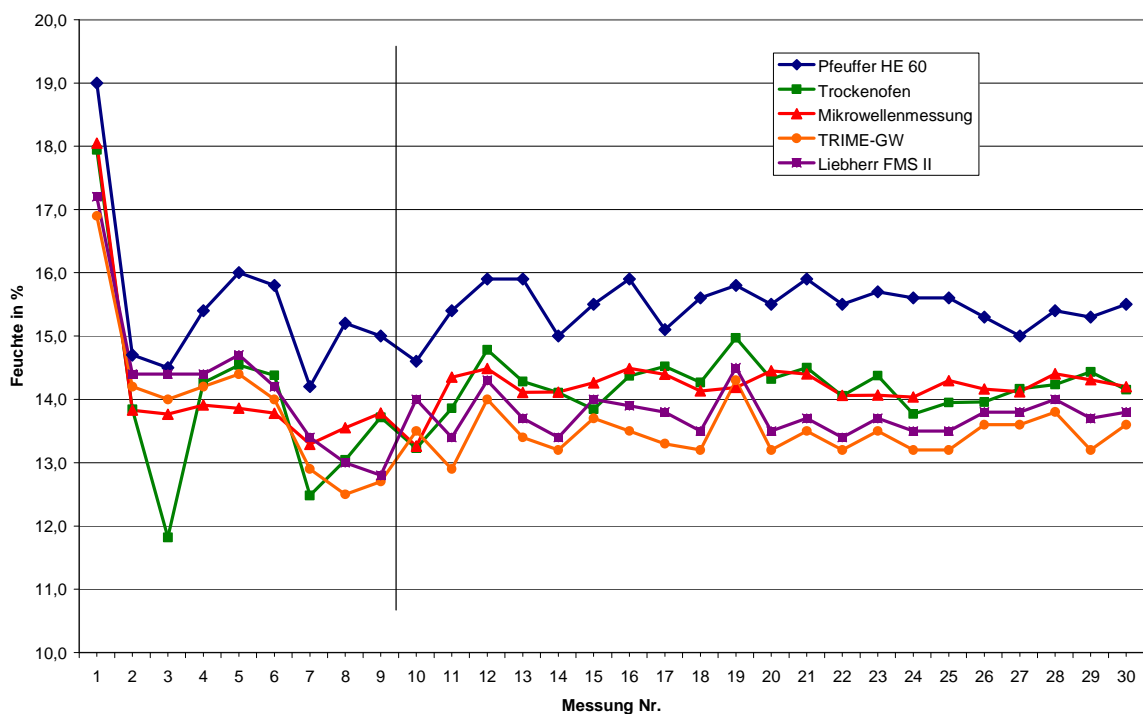


Abb. 12: Messwertvergleich aller Messverfahren

4. Diskussion

Wie die Ergebnisse zeigen liegen die Messwerte nahe bei einander. Lediglich das Messgerät Pfeuffer HE 60 zeigt konstant einen um ca. einen Prozent höheren Messwert. **Dies kann in diesem Bereich als Verkehrsfehler vernachlässigt werden.** Nichtsdestotrotz sollte hier eine Nachkalibrierung erfolgen. Alles in allem zeigen die Messwerte, dass alle Verfahren geeignet scheinen die Produktfeuchte in Echtzeit während des Trocknungsprozesses zu ermitteln. Der dritte Messwert des Trockenschanks scheint einem Fehler zu unterliegen und wurde nicht weiter in betracht gezogen.

Nicht erfasst worden sind die Eingangsfeuchten vor dem Durchlauftrockner. Da hier höhere Schwankungen auftreten, die in Abhängigkeit von der Fruchtart bis zu 38 % Feuchtegehalt reichen. Es ist zu erwarten, dass die Messverfahren unterschiedliche Grenzfeuchten für die hinterlegten Kalibrationen aufweisen.

Die Messwerte zeigen, dass das Trockengut im ganzen Prozess einen Feuchtegehalt von 14 % aufweist. Da es sich hier um einen Trockner ohne Kühlzone handelte, ist dieser Wert eindeutig zu niedrig gewählt und bremst das Leistungsvermögen der Getreideanlage. Gerade unter den erschwerten Erntebedingungen 2010 mit erhöhtem Feuchtgetreideanfall ist ein optimal verlaufender Trocknungsprozess Garant für die Qualitätssicherung in der Nachernteaufbereitung. Ein Feuchtegehalt von 15,5 % bei 45°C Korntemperatur wäre hier Zielgröße gewesen um Energie und Zeit zu sparen und Umsetzungsprozesse im Feuchtgetreidestapel zu verringern.

Die ausschließliche Konzentration der Verfahrenstechniker auf die Steuerung des Trocknungsprozesses durch Sensorik im Durchlauftrockner, wird den Anforderungen aus der Praxis nicht gerecht. Hier muss ein Umdenken stattfinden. Es gilt ein Steuerungskonzept individuell auf eine Getreideanlage zuzuschneiden und die automatisierte Steuerung des Durchlauftrockners dort zu integrieren.

Des Weiteren haben sich in Region der Klasse III Getreideanlagenkonzepte etabliert, in denen in der Regel mindestens zwei Feuchtgetreidezellen, je eine Tagesdruschmenge fassend, integriert sind. Hier weiß man den Effekt des Schwitzprozesses für den Trocknungsprozess zu nutzen. Der Feuchteausgleich des freien Wassers zwischen den Körner und im Korn selbst führt zu homogenen Feuchtgetreidepartien. Dies stellt die automatisierte Steuerung von Durchlauftrockner in Frage, da nach dem „Einfahren“ der Anlage kein weiteren Steuerungsbedarf besteht, solange der Betreiber mit Toleranzen von $\pm 0,5$ Prozent. Und dies kann er, denn durch das herunterkühlen des Getreides auf eine lagerfähige Temperatur findet erneut ein Feuchteausgleich zwischen den Körner statt.

Es hat sich gezeigt, dass der Einbauort der Messtechnik entscheidenden Einfluss auf die Aussagefähigkeit des Messwertes hat. In der Regel fließt das Getreide in der Trocknermitte (Kernfluss) schneller als an der Außenwand. Somit ergibt sich eine verzögerte Wiedergabe des tatsächlichen Feuchtegehalts. Diesem Effekt wird Rechnung getragen, indem neuere Installationen von Messtechnik direkt in die Trocknersäule hineingebaut wird. Ergebnisse hierzu stehen jedoch noch aus.

Weitere Erfahrungen aus der Praxis belegen, dass die Kalibration der Messtechnik von entscheidender Bedeutung für die Aussagefähigkeit des ermittelnden Werts ist. Gerade kapazitive, Mikrowellenresonanz- und TDR-Methode bedürfen einer ausgiebigen Messreihe der verschiedenen Trocknungsprodukte und einer Temperaturkorrektur.

6. Schlussfolgerung

Die Automatisierung des Durchlauftrockners rückt zukünftig stärker in Interesse der Landwirte. Qualitätssicherung, Arbeitszeit- und Energiekosteneinsparungen sind Ziele mit steigender Gewichtung. Aber auch die Prozesssicherheit gerade in den neueren großen Getreideanlagen ist ein Garant für die Rentabilität.

Diese Untersuchung hat gezeigt, dass die am Markt erhältliche Messtechnik den Trocknungsprozess dokumentieren kann und ggf. einen Durchlauftrockner über die SPS steuern kann, sofern Steuerungsalgorithmen vorhanden und hinterlegt sind.

Es ist jedoch darauf zu achten, dass der Trocknungsprozess nicht erst im Durchlauftrockner beginnt und hier großer Regelungsbedarf erscheint, sondern dass der Trocknungsprozess ein Teil des gesamten Nacherntekonzeptes ist. Feuchtgetreide wird in den Anlagen in den dafür vorgesehen Zellen durch Schwitzprozesse vorkonditioniert und somit homogenisiert. Daraus entsteht ein Minimum an Regelungsbedarf im eigentlichen Trocknungsprozess.

Sensorik zur Echtzeitmessung der Produktfeuchte kann helfen den Trocknungsprozess weiter zu optimieren, zu dokumentieren und zu überwachen. Denn eine manuelle Überwachung des Trocknungsprozesses findet heutzutage nur stichprobenartig und in einem zu geringen Umfang statt. Auf die Lagerfähigkeit des Trocknungsgutes hat dies in der Regel einen geringen Einfluss, da ein Feuchteausgleich im Lager zwischen den Körner ebenfalls stattfindet und das Kühlen mit Außenluft die Produktfeuchte unter bestimmten Voraussetzungen weiter absenken kann.

Es bestehen somit vor allem Potenziale in der Einsparung der Energieaufwendungen und in der Dokumentation des Trocknungsprozesses.

Die Erfahrungen des RKL zeigen, dass die häufigsten Ansätze zur Steuerung eines Durchlauf Trockners mit kapazitiven Messsonden nicht gelingen wollen. Es entsteht ein großer Kalibrierungsaufwand, da die Dichte und der Feuchtegehalt des Trocknungsgutes von Jahr zu Jahr schwanken. Des Weiteren verursacht der Kernfluss im Gutstrom Probleme bei der Abbildung der tatsächlichen durchschnittlichen Feuchte im Gutstrom. Das alles spricht dafür, die Messtechnik aus der eigentlichen Trocknersäule zu entfernen und in den Austragrichter zu versetzen. Dort, und nur dort, kann es gelingen die tatsächliche Feuchte des Produktes zu ermitteln und den Trocknungsprozess mit diesen Werten zu steuern.

Tab. 2: Verfahrensvergleich und Bewertung

Verfahren	Kapazitive Messung	Time- Domain- Reflectometry	Mikrowellen- resonanz- methode	Widerstand- messung	Trockenschanks (Referenzmethode)
Messgerät	FMS II	TRIME-GW	Prototyp	HE 60	Labortechnik
Messgenauigkeit	++	+++	+++	+	+++
Messwertauflösung	+++	+++	+++	o	o
Anschaffungspreis*	15.000 €	7.500 €	30.000 €	1.200 €	500 €
Praxistauglichkeit**	o	+++	++	+	o

*) Inkl. Installation und Einbindung in die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

***) ergibt sich aus den Erfahrungswerten des RKL und dem Anschaffungspreis

Aus diesem Versuch kann in der Tendenz abgeleitet werden, dass die TDR- sowie die Mikrowellen-Resonanz-Technologie geeignet scheinen in Echtzeit Messwerte zu ermitteln um den Trocknungsprozess zu dokumentieren und ggf. zu steuern.

Eine abschließende Bewertung der verwendeten Sensoren bzw. Messverfahren finden Sie in Tabelle 2.