

# Automatisierung von Trocknungsanlagen: neue Sensorik als Basis einer modernen Steuerung

## **Das in-line Wassergehalts-Meßsystem TRIME-GW und neue Programme auf Basis der SIMATIC S7 ermöglichen den vollautomatischen Betrieb von Trocknungsanlagen für Körner-, Öl- und Hülsenfrüchte.**

von Ludwig Artmann<sup>3</sup>, Peter Blume<sup>1</sup>, Robin Fundinger<sup>1</sup>, Kurt Köhler<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Bernd-Markus Pfeiffer<sup>2</sup>  
und Dr. Markus Stacheder<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IMKO Micromodultechnik GmbH, Im Stöck 2, D-76275 Ettlingen

<sup>2</sup> Siemens AG, A&D GT 5, D-76181 Karlsruhe; vertrieblich zuständig: A&D B31, Karlsruhe, H. Klein

<sup>3</sup> STELA Laxhuber KG, Öttinger Str. 2, D-84323 Massing

### **Zusammenfassung**

Das innovative in-line Meßsystem TRIME®-GW ermöglicht kontinuierliche Kornfeuchtemessung und eine bessere Prozeßüberwachung bei der Getreidetrocknung. Die Optimierung und Rationalisierung von Arbeitsabläufen, die Minderung von Warenwertverlusten sowie die möglichen Energieeinsparungen zeigen ein bisher nicht realisiertes, beträchtliches Kosteneinsparpotential bei niedrigen Investitionskosten auf. Eine Amortisation erfolgt bereits innerhalb eines Jahres.

### **Einleitung**

Weltweit ist die Trocknung von Grundnahrungsmitteln notwendig, um diese lagerfähig zu machen sowie optimale Wassergehalte für Verarbeitung und Warenverkehr zu erreichen.

Unnötigerweise werden aufgrund mangelhafter Trocknerregelung rund um den Globus enorme Energiemengen verschwendet, Warenwertverluste in Kauf genommen, Trockengut-schäden hingenommen und kostbare Arbeitszeit bei der manuellen Prozeßüberwachung vergeudet.

Bei der Trocknung von Grundnahrungsmitteln sind außergewöhnliche Rationalisierungspotentiale sichtbar, die zum Vorteil der Nahrungsmittelproduzenten, der verarbeitenden Anlagenbetreiber und der Lebensmittelverbraucher nunmehr nutzbar werden: IMKO's in-line Ganzkorn-Feuchtemeßsystem TRIME-GW in Verbindung mit der neu entwickelten speicherprogrammierbaren Steuerung SIMATIC S7 - ein Schritt zu höherer Prozeßtransparenz und Trocknungsgenauigkeit.

### **Heutige Trocknersteuerungen arbeiten mit veralteter Meß- und Regeltechnik!**

Die meisten automatischen Steuerungen von Getreidetrocknungs-Anlagen basieren gegenwärtig auf indirekten Meßverfahren (z.B. Abluftfeuchtigkeit, Abluft- und Korntemperatur) und nicht auf der direkten Messung des Wassergehaltes im Trockengut. Mannigfaltige Störgrößen, wie z.B. klimatische Schwankungen, die geringe Empfindlichkeit gegenüber Kornfeuchteschwankungen und das Verschmutzen der Sensoren in den Abluftschächten, etc. tragen dazu bei, daß die seit 20 Jahren übliche Sensorik versagt. Die darauf basierenden Regelungen sind daher bestens dafür bekannt, daß sie vom Betreiber kurzerhand abgeschaltet werden.

Als Notlösung ist die arbeitsintensive und für eine Prozeßsteuerung ungeeignete Probenahme im Anschluß an die Trocknung allgegenwärtig. Der Trocknungsprozess wird von Hand kontrolliert und manuell nachreguliert - aber nicht präzise gesteuert...!

### **Neue Sensorik für den Trockner**

Die IMKO Micromodultechnik GmbH, ein Unternehmen, das sich auf Materialfeuchtemessung und Umweltmeßdatenerfassung spezialisiert hat, entwickelte 1996 ein neuartiges in-line Feuchtemeßsystem für Getreidetrockner namens **TRIME®-GW**.

TRIME-GW ist ein Meßverfahren zur vollautomatischen und kontinuierlichen Messung des Wassergehaltes des Gesamtkornes direkt im Trockner bei Temperaturen bis zu 150°C - unabhängig von Sorte und Zusammensetzung des Getreides. TRIME-GW findet seit der Trocknungsperiode 1996 in nunmehr über 30 Systemen Einsatz.

Es erweist sich in der Praxis als außerordentlich

genau, zuverlässig, und bedienungsfreundlich - TRIME-GW spart damit sowohl Zeit als auch Kosten!

### High-tech für den Trockner: TRIME-GW

Das Meßprinzip von TRIME-GW basiert auf der Time-Domain-Reflectometry (TDR), d.h. auf der Geschwindigkeits- bzw. Laufzeitmessung einer elektromagnetischen Welle im zu messenden Material. Diese Ausbreitungsgeschwindigkeit eines elektromagnetischen Impulses hängt allein von der Dielektrizitätskonstanten (DK)  $\epsilon$  eines (nicht-magnetischen) Stoffes ab. Da Wasser im Gegensatz zu den meisten Materialien eine hohe DK besitzt, ist die DK von feuchten, porösen Materialien (z.B. Getreide) in erster Linie eine Funktion des Volumenanteils Wasser am Gesamtvolumen.

Durch den Einsatz modernster Mikroelektronik (ASICs auf Silicium-Basis), die den Impulsgenerator sowie die Zeitmeßeinheit mit dem Oszillator enthält, erspart man sich die bisher für derartige Auswertungen notwendigen komplexen und teuren Geräte, wie z.B. Hochfrequenz-Impulsgeneratoren und Oszilloskope. Auf diese Weise gelingt es, ein robustes, kompaktes Gerät mit kleinen Abmessungen und geringer Verlustleistung herzustellen.

Ein TRIME®-GW Sensor besteht aus einer Meßsonde mit zwei V2A-Metalstäben, die in den Getreidestrom eingebracht wird und einem kleinen Aluminium-Druckguß-Gehäuse mit der Erfassungselektronik.

Ein im TRIME®-Meßumformer erzeugter hochfrequenter TDR-Impuls (1 GHz) läuft entlang der beiden Wellenleiter (Sondenstäbe) und baut ein elektromagnetisches Feld um diese Leiter, d.h. im Getreide auf. Dieses elektromagnetische Feld hat keinerlei Einfluß auf das Korn. Mit dem patentierten Meßverfahren TRIME® ist es gelungen, die Laufzeit dieses Impulses mit einer Auflösung im Pikosekundenbereich zu messen. Die Impulslaufzeit ist ein indirektes Maß für den Wassergehalt.

Die Messung erfolgt unabhängig von der Getreidesorte, der Temperatur in der Trockenkammer und der Ionenleitfähigkeit.

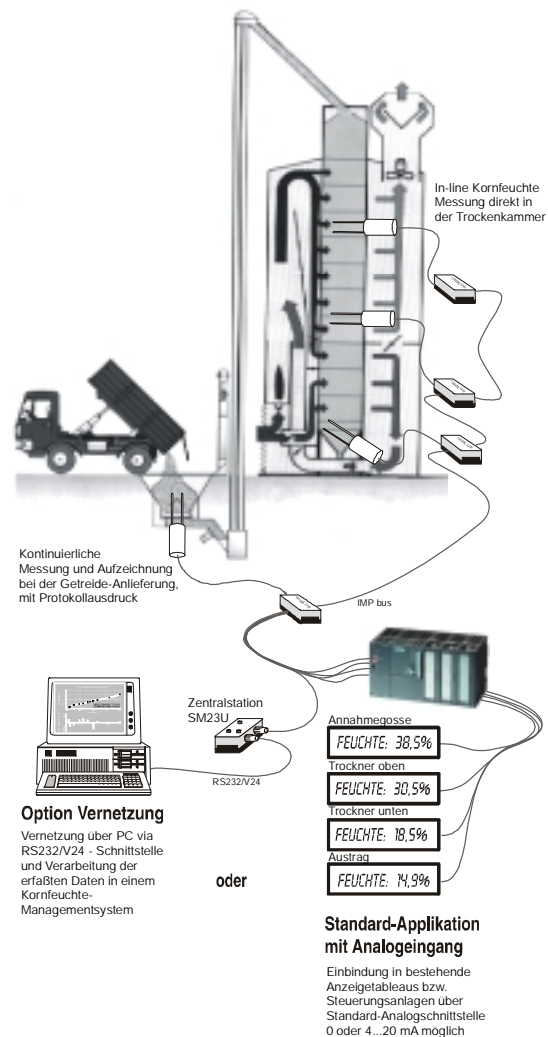
TRIME®-GW ist modular konzipiert, so daß ein anwendungs- und kostenoptimiertes System angeboten werden kann, das auch spätere Erweiterungen ohne weiteres erlaubt.

### Installation der Sensoren und ihre Einbindung in Steuerungssysteme

Die Installation der Sonden und des Elektronikgehäuses ist denkbar einfach und kann vom technischen Personal in kurzer Zeit z.B. im

Rahmen von Wartungsarbeiten durchgeführt werden.

Eine Einbindung in bestehende Steuerungsanlagen wie beispielsweise eine speicherprogrammierbare Steuerung SIMATIC S7 ist durch einen Analogausgang 0...20mA problemlos möglich. Über RS232/V24 oder IMP 232 MICRONET Schnittstellen bestehen darüber hinaus Vernetzungsmöglichkeiten.



**Bild 1:** Organigramm einer Trocknungsanlage mit TRIME®-GW Sensoren im Anlieferungsweg, im Trockenschacht und in der Kühlzone sowie den Optionen der Meßwertverarbeitung mit SIMATIC S7 und/oder PC – kontinuierliche Erfassung und automatische Regelung der Kornfeuchte.

Die Meßwerte werden in der Steuerungswarte angezeigt und geben dem Bedienungspersonal jederzeit Information über den Prozeßzustand.

Für Umlauftrockner ist ein Sensor mit einer Grenzwertabschaltung ausreichend. Durchlauf-trockner hingegen werden mit mindestens zwei Sensoren ausgestattet: ein Sensor in der Trockenkammer versorgt den Regler und ein Sensor am Ende der Kühlzone wird für die Qualitätskontrolle herangezogen. Für diese

Anlagen werden neue Steuerungsansätze notwendig.

### **Beispiel Druchlauftrockner für Getreide und Mais**

In einem Durchlauftrockner wird das feuchte Getreide durch einen Schacht geführt. Dieser ist durch kleine Dächer unterteilt, so daß die von einem Brenner erhitzte Warmluft von der Seite gleichmäßig durch das Getreide strömen kann. Das Getreide selbst bewegt sich schlangenförmig von oben nach unten durch den Schacht.

Beim Trocknungsvorgang muß die gewünschte Feuchtigkeit bis auf 0,5% genau erreicht werden. Wenn das Getreide zu stark getrocknet wird, verliert die Ware an Wert, da sie nach Gewicht abgerechnet wird. Bei noch stärkerer Übertrocknung drohen sogar Schwelbrände in der Anlage. Wenn das Getreide zu schwach getrocknet wird, ist es nicht lagerfähig. Der Trocknungsvorgang verbraucht extrem viel Heizenergie, so daß eine präzise Regelung nicht nur das Risiko einer Ausschußproduktion reduziert, sondern auch zu erheblichen Energieeinsparungen führt.

### **Ein neues Regelungskonzept für Druchlauftrockner mit der SIMATIC S7**

Eine Zusammenarbeit zwischen der Fa. IMKO und Siemens Karlsruhe wurde von A&D B31, H. Klein, in die Wege geleitet. An einem typischen STELA Druchlauftrockner der landwirtschaftlichen Zentralgenossenschaft Karlsruhe wird die Kornfeuchtigkeit in drei Höhen gemessen: am Austrag, in Höhe 4m und in Höhe 8m. In der Kühlzone vom Austrag bis zur Höhe 4 wird keine heiße Luft mehr eingeblasen, so daß der Bereich oberhalb von Höhe 4 maßgeblich für den Trocknungsvorgang ist. Entscheidend für eine gleichmäßige Qualität der Trocknung ist es daher, den Istwert der Feuchte in Höhe 4 konstant zu halten; er wird daher als Regelgröße für eine automatische Regelung gewählt.

Da die Zufuhr heißer Luft nicht verstellbar ist, gibt es nur einen möglichen Stelleingriff in den kontinuierlichen Trocknungsprozeß: die Durchlaufgeschwindigkeit. Je langsamer das Korn durch den Trockner rutscht, desto mehr Feuchtigkeit wird ihm von dem heißen Luftstrom entzogen. Der Austrag läßt sich jedoch nicht kontinuierlich verstellen, sondern erfolgt schubweise, indem ein Austragsorgan, z.B. ein Walzenaustrag oder pneumatischer Austragschieber, binär angesteuert wird. Bisher ist es

üblich, die Austragszeit oder Öffnungszeit konstant zu halten, z.B. beim Walzenaustrag 10s und beim pneumatischen Austragschieber 1s fest einzustellen. Variiert wird dann lediglich die Standzeit, d.h. die Zeit in der die Öffnung verschlossen bleibt und kein Getreide aus dem Trockner läuft, z.B. zwischen 100 und 200s. Damit ist die Länge einer Gesamtperiode aus Standzeit und Austragszeit jedoch nicht konstant, was eine automatische Regelung erschwert.

Eine Änderung der Durchlaufgeschwindigkeit kann jedoch auch über eine klassische Pulsbreitenmodulation mit konstanter Periodendauer erfolgen, wenn als Stellgröße des Reglers die relative Austragszeit

$$y = \frac{t_{\text{austrag}}}{t_{\text{stand}} + t_{\text{austrag}}} 100\%$$

definiert wird.

Die wesentliche Störung des Prozesses, die von einer Regelung beherrscht werden muß, wird durch Schwankungen der Feuchte des zugeführten Rohmaterials verursacht. Der Meßwert in Höhe 8 reagiert als erstes auf solche Schwankungen und kann daher im Sinne einer Störgrößenaufschaltung dem Regler zur Verfügung gestellt werden, damit dieser nicht erst dann reagiert, wenn die Störung sich bereits bis zur Höhe 4 fortgepflanzt hat.

Als PI-Regler genügt ein serienmäßiger Software-Funktionsbaustein der SIMATIC. Er muß wegen der extrem langsamen Zeitkonstanten des Prozesses jedoch sehr vorsichtig parametrisiert werden. Die Störgrößenaufschaltung wirkt über einen speziellen Eingang des Funktionsbausteins additiv auf die Stellgröße des Reglers. Sie ist für den normalen Regelbetrieb nicht unbedingt erforderlich.

Für die bisher erprobte Variante mit konstanter Periodendauer am Walzenaustrag genügt die serienmäßige Pulsformerstufe der SIMATIC. Bei einem pneumatischen Austrag ist dagegen eine Variation der Austragszeit nicht möglich, so daß eine spezielle Pulsformerstufe mit fester Austragszeit programmiert werden muß.

Eine Besonderheit bei der Regelung ist durch die sehr engen Stellgrößenbeschränkungen gegeben, die aufgrund der mechanischen Auslegung der Anlage fest vorgegeben sind. Die Austragszeit muß so groß sein, daß die Austragswalze wirklich fördern kann. Sie darf nicht zu groß werden, damit der Kettenförderer das ausgetragene Material noch wegschaffen kann. Im konkreten Fall ist der Stellbereich des Reglers daher auf  $4\% < y < 18\%$  begrenzt. Weil das Getreide in der Kühlzone noch etwas nachtrocknet, muß der Sollwert in Höhe 4 etwas

höher liegen als die gewünschte Feuchte im Austrag. Der genaue Wert muß für eine bestimmte Anlage nach Erfahrungswerten der Bediener festgelegt werden.

Weil die Bediener sich daran gewöhnt haben, bei fester Austragszeit nur die Standzeit vorzugeben, wird die Regelung noch um eine Funktion erweitert, die Stellgrößen von variabler Periodendauer nach altem Schema auf feste Periodendauer nach neuem Schema umrechnet und umgekehrt.

Mit der neuen Regelung kann die Anlage Tag und Nacht vollautomatisch innerhalb der geforderten Qualitätstoleranzen stabil gehalten werden. Darüber hinaus erlaubt sie sogar ein automatisches Hochfahren der gesamten Anlage vom kalten Zustand in einen stabilen Dauerbetrieb: Bild 2.

Die Implementierung der Regelung ist auf jeder SIMATIC S7-Steuerung ab S7-314 möglich. Bei Neubauten von Durchlauf-Trocknungsanlagen wird inzwischen routinemäßig eine speicherprogrammierbare Steuerung vorgesehen, die neben der Regelung des Austrags auch noch Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen für Brenner und Nebenaggregate umfaßt. Da Regler und Pulsformer als vorgefertigte Funktionsbausteine zur Verfügung stehen, ist für die Regelung kein großer Programmieraufwand erforderlich.

### ***Vorteile für den Trocknerbetrieb***

Die in-line Messung der Kornfeuchte direkt im Trockner bei Temperaturen bis zu 150°C erhöht die Prozeßtransparenz und bietet neue Möglichkeiten der Prozeßkontrolle in der Getreidetrocknung. Die kontinuierliche Messung erlaubt den Einsatz neuer Steuerungstechniken.

Gefahren wie die Über- oder Untertrocknung des Korns werden weitestgehend verhindert.

Die verbesserte Prozeßkontrolle optimiert die Durchlaufzeiten und kann so - je nach Anlage und Trocknungsprodukt - zu beträchtlichen Energieeinsparungen führen.

Die bisherigen zeit- und arbeitsintensiven Probenahmen für die konventionellen Meßgeräte reduzieren sich auf ein Minimum. Die direkte Anzeige der Kornfeuchte im Trockner führt zu mehr Information über den Prozeßverlauf und damit zu mehr Sicherheit in der Bedienung - eine bedeutende Arbeitserleichterung für die Silomeister, die in Stoßzeiten z.T. im 24 Stunden Schichtbetrieb arbeiten müssen.

### ***Vorteile für Annahme- und Umschlagbereiche***

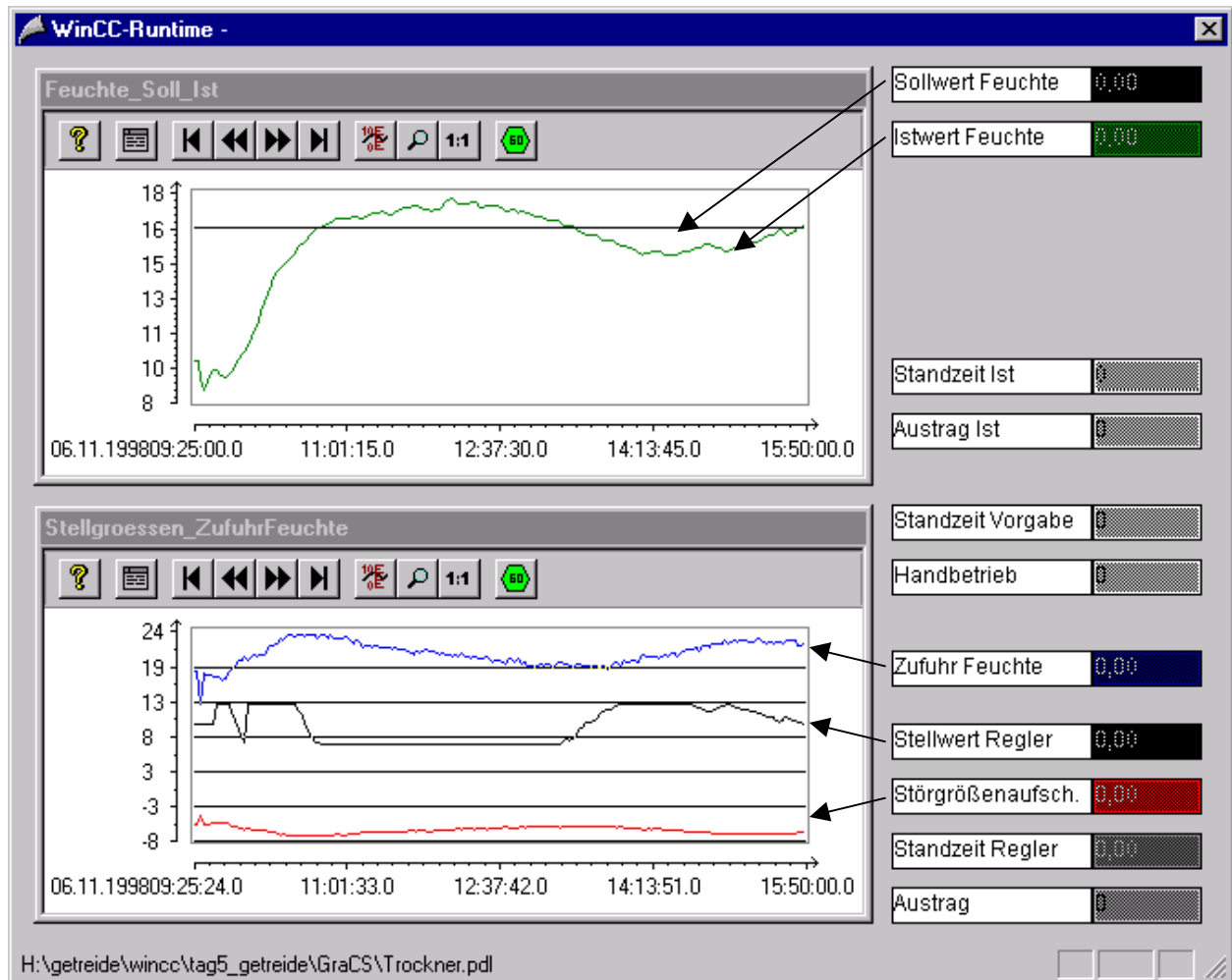
Der Einbau einer Sonde im Anlieferungsweg ermöglicht eine kontinuierliche Dokumentation des Wassergehaltes im angelieferten Erntegut. Die kontinuierliche Messung der Kornfeuchte bewirkt zweierlei:

1. zum einen werden zu feuchte Partien zuverlässig erkannt (die, wenn sie in Lager-silos gelangen, Temperatur- bzw. Fäulnis-herde bilden)
2. zum anderen wird das gesamte angelieferte Erntegut für die Bestimmung des Wassergehaltes vermessen und nicht nur einzelne, z.T. nur fingerhutgroße Proben. Somit werden mit TRIME-GW klare und verlässliche Abrechnungsgrundlagen geschaffen.

### ***Vorteile für die Wirtschaftskette***

Die Vorteile der neuen Technologie sind bei geringem Investitionsvolumen außerordentlich mannigfaltig und weitreichend:

- Getreideproduzenten erzielen aufgrund gesteigerter Produktqualität deutlich höhere Preise am Markt.
- Trocknerbetreiber arbeiten wirtschaftlicher aufgrund:
  1. höherer Prozeßtransparenz,
  2. höherer Prozeßsicherheit,
  3. geringerer Warenwertverluste durch Über- oder Untertrocknung,
  4. höherer Durchsatzleistung aufgrund optimierten Prozeßablaufes,
  5. reduziertem Energieverbrauch,
  6. minimiertem Personalaufwand.
- Kunden profitieren von der gesteigerten und homogeneren Qualität des getrockneten Getreides (z.B. Mühlen, Endverbraucher, Landwirte (Saatgutqualität)).
- die Umwelt profitiert von dem effizienteren Einsatz der Energieträger Öl und Gas.



**Bild 2:** Automatisches Hochfahren eines kalten Durchlaufrockners für Mais (ZG Malsch, 6.11.98),

**oberes Fenster:**

Soll- (schwarz) und Istwert(grün) der Kornfeuchte [%],

**unteres Fenster:**

Stellgröße [%] des Reglers (schwarz) und Störgrößenaufschaltung (rot), sowie Kornfeuchte [%] in Höhe 8 (blau) – der Istwert der Kornfeuchte wird an den Sollwert herangeführt und schwingt sich dort ein.