

Jens Grube und Markus Böckelmann

# Die Ernte in trockenen Tüchern – Kennzahlen zur Getreidetrocknung

Die Trocknung von Getreide ist ein bewährtes und sicheres Verfahren zur Bewahrung der Kornqualität und Schaffung von Lagerstabilität. Eine regelmäßige trockenungstechnische Aufbereitung wird zukünftig durch engere Erntefenster nötig werden. In Bezug auf die Produktqualität fordert dies eine schlagkräftige Erntetechnik und eine verwendungsorientierte Konservierung. Hohe Trocknungskosten aufgrund steigender Energiepreise grenzen die Wertschöpfung für Getreide zunehmend ein. Derzeit dominieren im europäischen Raum Trocknungsanlagen, deren Warmluftzeuger mit fossiler Energie befeuert werden. Aktuelles Ziel der Praxis ist das Erreichen möglichst günstiger spezifischer Trocknungskosten, wobei Sekundäreffekte wie eine CO<sub>2</sub>- Reduzierung, Kornschonung und Qualitätserhaltung zunehmend wichtiger werden.

## Schlüsselwörter

Getreidetrocknung, Getreideernte, Getreidelagerung

## Keywords

Grain drying, grain harvest, grain storage

## Abstract

Grube, Jens and Böckelmann, Markus

## The harvest home and dry – key figures for grain drying

Landtechnik 66 (2011), no. 4, pp. 276–281, 3 figures, 3 tables

The drying of grain is a proven and reliable process for maintaining its quality and creating storage stability. Wet harvests preventing long term storage of the resultant grain and the even narrower harvesting windows expected in the future mean that higher capacity harvesting machinery and use-related conservation systems, including drying to ensure product quality, are required. High drying costs due to increasing energy prices increasingly limit grain growing profitability. In Europe fossil fuel fired hot air drying plants currently dominate. At the moment the target in farming is to keep specific drying costs as low as possible whereby the secondary effects such as CO<sub>2</sub> reduction, grain protection and quality maintenance becoming increasingly important.

■ Erfolgt die Abreife nicht auf dem Halm, drohen schädliche Auswirkungen für das Endprodukt. Hohe Getreidefeuchten und Lagertemperaturen fördern Atmungsverluste und das Wachstum von Pilzen, Mikroorganismen und Lagerschädlingen. Zur dauerhaften Lagerung sollten aus kornphysiologischen Gründen 14,5 % Feuchte nicht überschritten werden. Um diese Zielfeuchte zu erreichen, kann es notwendig sein, das Erntegut nach dem Drusch zu konservieren. Neben Säurekonservierung, gasdichter Lagerung und Kühlung ist die Trocknung ein häufig eingesetztes Verfahren zur Konservierung. Hauptvorteil der Trocknung ist die Erhaltung der Verwendung als Nahrungsmittel. Dies wird ebenfalls bei der Kühlung erreicht, wobei hier zum Verkauf das Lagergut dann auch getrocknet werden muss um vermarktungsfähig zu sein.

Landwirtschaftliche Trocknungsanlagen sind zur Getreide- oder Körnermaistrocknung oft nur zeitlich begrenzt im Einsatz. Typisch sind jährliche Laufzeiten von ca. 100 bis 1000 Betriebsstunden. Hieran orientiert sich auch das bisherige Anforderungsprofil mit folgender Wertigkeit nach:

- Trocknerleistung
- Bedienerfreundlichkeit
- Trocknungsenergiebedarf

Technisch machbare Optimierungsmöglichkeiten wurden und werden aus Kostengründen teilweise nicht umgesetzt.

Aufgrund der absehbaren Erhöhung der Beschaffungskosten für Trocknungsenergie und mittelfristig steigendem Rohwarenwert verlagert sich das Anforderungsprofil von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen deutlich. Die von der Praxis geforderte Verschiebung zu einer nahezu gleichwertigen Berücksichtigung der drei Hauptkriterien des Anforderungsprofils lässt sich nur mit einer vollständigen Optimierung des Gesamtverfahrens lösen. Dies ist nur zu erreichen, wenn es ge-

lingt, den effektiven, produktspezifischen Trocknungsenergiebedarf vom gesamten eingesetzten Energiebedarf der Anlage zu entkoppeln, zu bewerten und zu optimieren.

Die Praxis zeigt, dass der theoretische Trocknungsenergiebedarf der reinen Wasserverdunstung (kWh/kg) im tatsächlichen Betrieb um ca. 50 % bis 200 % höher ist (**Tabelle 1**). Im Wesentlichen sind hierfür die produktspezifischen Übergangswiderstände, die Bindungsform der Feuchtigkeit und die korninnere Verteilung derselben verantwortlich. Dazu addieren sich technische Anlageneigenheiten bzw. -defizite wie eine suboptimale Luft- und Wärmeverteilung im Trockner, Verluste, nicht angepasste Trocknungszeiten, eine unpassende Wärme- und

Luftbereitstellung oder falsche Dimensionierung der leistungsbestimmenden Trocknerbaugruppen.

### **Einfluss des Trocknungsgutes**

Losgelöst von einer konkreten Trocknungsanlage ergibt sich in Abhängigkeit von der Sorte, der Abreife, den Vegetations- und Witterungsbedingungen (Standortfaktoren), der Kornform und -ausbildung ein bis zu 20 % abweichender spezifischer Trocknungsenergiebedarf.

Verfahrenstechnisch günstige landwirtschaftliche Trockner gestatten eine weitgehende Anpassung der Warmlufttemperatur und der Prozessluftmenge ans Trocknungsgut. Hierbei gibt

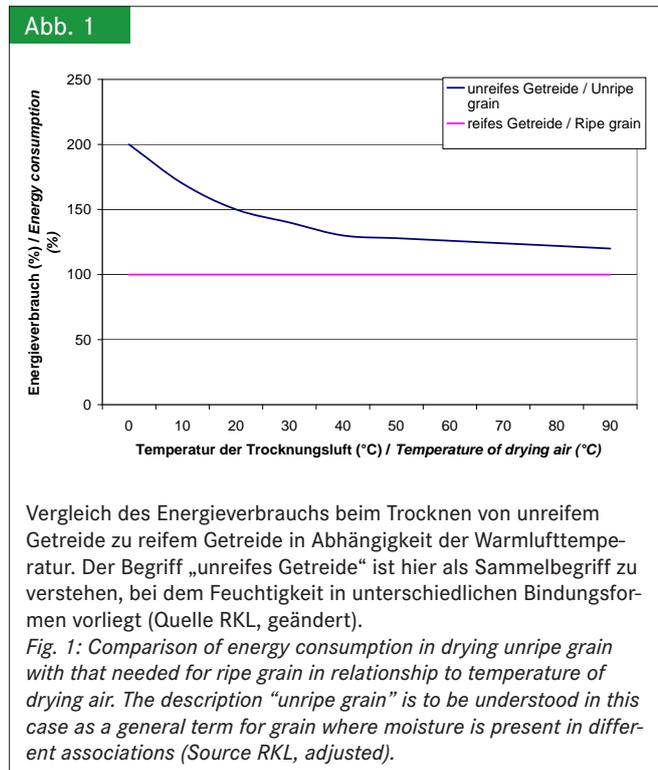
**Tab. 1**

Übersicht der Einflussparameter auf den spezifischen Trocknungsenergiebedarf

*Table 1: Overview of parameters influencing specific drying energy requirement*

<b>Technisches Ausrüstungsmerkmal</b> <i>Technical equipment factors</i>	<b>Verringert bzw. beeinflusst den Trocknungsenergiebedarf um:</b> <i>Reduces or influences drying energy requirements by:</i>
Trocknerisolierung/ <i>Dryer insulation</i> Reduzierung der Strahlungsverluste/ <i>Reduction of heat radiation losses</i>	ca. 8 % (Getreide) bis zu 20 % (Körnermais) <i>approx. 8 % (cereal grain) up to 20 % (grain maize)</i>
Automatische Endfeuchterege- lung <i>Automatic final moisture content control</i>	ca. 3 bis 10 % <i>approx. 3 to 10 %</i>
Homogene Eingangsfeuchte bereitstellen bzw. durch Produktvermischung im Trockner erreicht <i>Arranging for homogenous moisture content of material at input or through mixing of product in dryer</i>	ca. 5 bis 15 % <i>approx. 5 to 15 %</i>
Leistungsorientiert günstig aufeinander abgestimmte Einzelkomponenten der Trocknungsanlage von Warmluf- terzeuger, Trocknersäule, Gebläse, Staubabscheidung, Steuerung und Fördertechnik <i>Performance-oriented matching of dryer plant components air heating system, dryer column, air fans, dust extraction, controls and grain transport technology for efficient operation as a whole</i>	ca. 5 bis 30 % <i>approx. 5 to 30 %</i>
Konstruktiv günstig aufeinander abgestimmte Aggregate der Trocknungsanlage (Warmluf- terzeuger, Trocknersäule, Ventilator, Staubabscheidung) <i>Aggregates within the drying plant (for heating air, dryer column, air fans, dust extraction) adjusted for working efficiently together</i>	bis zu 15 % <i>up to 15 %</i>
Trocknungsanlage günstig in die Getreide-Infrastruktur des Einzelbetriebes eingebunden <i>Dryer designed to fit efficiently into the grain production infrastructure on the individual farm</i>	bis zu 8 % <i>up to 8 %</i>
Korrekte Messposition der Trocknerregelgrößen (Warmlufttemperatur, Austragtemperatur bzw. Austragfeuchte) <i>Correct positioning of measurement sites for main factors in control of drying operation (drying air temperature, temperature - or moisture content - of discharged grain)</i>	bis zu 20 % <i>up to 20 %</i>
Angepasste Prozessführung im Trockner (z.B. variable (modulierende) Warmluft- temperaturbereitstellung, Umlaufgeschwindigkeit, Verweildauer, frequenz- gesteuerte Gebläse, Prozessluftführung) <i>Adapted process operation within dryer (e.g. variable (modulated) warm air temperature production, material throughput speed, drying speed, frequency controlled fan, process air flow)</i>	ca. 5 bis 20 % <i>approx. 5 to 20 %</i>
Vorreinigung vor dem Trockner (Windsichter) <i>Precleaning before dryer (wind/cyclone separator)</i>	ca. 3 bis 5 % <i>approx. 3 to 5 %</i>
Siebreinigung vor dem Trocknungsprozess <i>Sieving before drying process</i>	ca. 5 bis 8 % <i>approx. 5 to 8 %</i>
Indirekt betriebener Warmluf- terzeuger <i>Indirectly powered hot air producer</i>	ca. + 4 bis 16 % <i>approx. + 4 bis 16 %</i>

es aber Einstellungsgrenzen, die in erster Linie vom Regelbereich des Warmluftzeugers bestimmt werden. Die Einstellvarianz beträgt in der Praxis ca. 60 °C (**Abbildung 1**). Vorteilhaft ist es, wenn die Temperatur der Trocknungsluft dem jeweiligen Stand des Prozesses angepasst werden kann. Dadurch bleiben bzw. werden trockenungsgutspezifische Einflüsse bedeutsam.



Das Beherrschen der Verfahrenstechnik unter Berücksichtigung der Trocknungswilligkeit des Produktes ist besonders erforderlich, wenn aus Gründen der Produktqualität das Einstellen einer bestimmten und somit limitierenden Trocknungsgeschwindigkeit erforderlich ist. Eine Maximierung der Trocknungsgeschwindigkeit ist hier unvernünftig.

Wird Getreide zur Konservierung getrocknet, wirkt die Trocknung als gesamtheitliches Verfahren. Im Wesentlichen wird die Trocknung hierbei von drei Faktoren hinsichtlich der Leitgrößen Durchsatzleistung, Feuchtezug und des hierzu erforderlichen Energieaufwandes bestimmt:

- Aufbau und Wirkungsweise der Trocknungsanlage
- Manuelle Bedienung bzw. Einstellung der Anlage oder bei automatischer Steuerung der Anlage deren Regelabhängigkeiten
- Produktspezifische Trocknungseigenschaften

Der Begriff Trocknungswilligkeit ist zur Beschreibung der produktspezifischen Trocknungseigenschaften physikalisch und auch verfahrenstechnisch nicht eindeutig definiert; dennoch ist er als Begriff bekannt. Die Trocknungswilligkeit beschreibt, wie gut ein Trocknungsgut in der Lage ist, seine ihm anhaftende und beinhaltende Feuchtigkeit bis zum Zielfeuchtegehalt abzugeben. Sie ist dabei von zwei Faktoren abhängig:

- Die Trocknungswilligkeit des Trocknungsgutes in Verbindung mit der zur Trocknung umgebenen Verfahrenstechnik. Hierbei ist auch von Bedeutung, wie gut die eingesetzte Trocknungstechnik konstruktiv und verfahrenstechnisch in der Lage ist das Wasserabgabevermögen bzw. den Wasserabgabedarf des Trocknungsgutes unter möglichst günstigem Trocknungsenergieeinsatz auszuschöpfen. Dieses entscheidet über die in Frage kommenden Trocknungsverfahren.
- Die Trocknungswilligkeit des Trocknungsgutes als direkte produktspezifische charakteristische Größe. Daher ist es vereinfachend bei einer physikalischen Beschreibung der Trocknungswilligkeit auch möglich, für den praktischen Einsatz keine produktspezifischen inneren Messgrößen anzulegen, sondern parallel zur Wirkungsweise in Trocknungsanlagen die gleichen physikalischen Messgrößen in übertragbare Verhältnisse zu setzen. Dieses sind schlussendlich auch die Einheiten, die die Trocknung monetär begleiten, also zunächst der thermische Energiebedarf sowie der elektrische Energiebedarf zum Transport bzw. Bewegen von Prozessluft und Trocknungsgut. Die geometrischen, biologischen und physikalischen Korninnengrößen sind zur Betrachtung der Bewertung der Trocknung von Produkten insgesamt erforderlich. Die Trocknungswilligkeit als charakteristische, vergleichbare Größe des Produktes ist im Zusammenspiel mit der Trocknungsanlage eine Kombinationsbeschreibung.

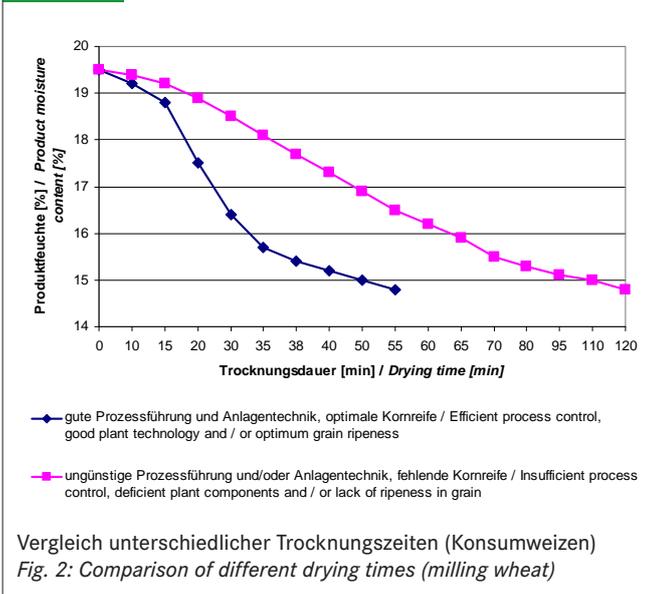
### Anforderungen an den Prozess

Unter Beachtung der Produktqualität ist die Trocknungsdauer für einen bestimmten Feuchteentzug die charakteristische Größe. An der erforderlichen bzw. sich ergebenden Trocknungszeit zeigt sich, wie gut das Wasserabgabevermögen des Trocknungsgutes durch die Anlage ausgeschöpft werden kann.

Für den typischen Feuchteentzug der Getreidetrocknung von 19 auf 14 % Feuchtegehalt erfolgt in landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen der Feuchteentzug ohne nennenswerte Diffusionswiderstände des Trocknungsgutes. Allerdings erfolgt die Trocknung bezogen auf die Trocknungsdauer nicht mit konstanter Trocknungsgeschwindigkeit. Dieser Umstand bedingt sich aber durch die Wechselwirkung von zunächst erforderlichem Energieeintrag in das Trocknungsgut zum Dampfdruckaufbau, um die Feuchtwanderung an die Kornoberflächen anzustrengen und von dort mit Trocknungsluft abzuführen. Dieser Prozess erfolgt im praktischen Betrieb mit zeitlichen Verschleppungen, sodass sich typische Trocknungsverläufe ergeben. Mit sinkender Trocknungsgeschwindigkeit (z.B. Lagerbelüftungstrocknung, Silosatztrocknung) sinkt auch der Einfluss dieser Wechselwirkung, die Trocknung des Einzelkorns erfolgt gleichmäßiger, gleichwohl in ruhenden Schüttungen wandernde Trocknungshorizonte entstehen können (**Abbildung 2**).

In Verbindung mit gut ausgelegten Trocknungsanlagen beträgt die Wasserabgabegeschwindigkeit in dem hier zugrunde liegenden Feuchtebereich bei der Getreide- und Rapstrocknung in der Praxis etwa 3,5 bis 4,5 % Feuchteentzug pro Stunde. Dies

Abb. 2

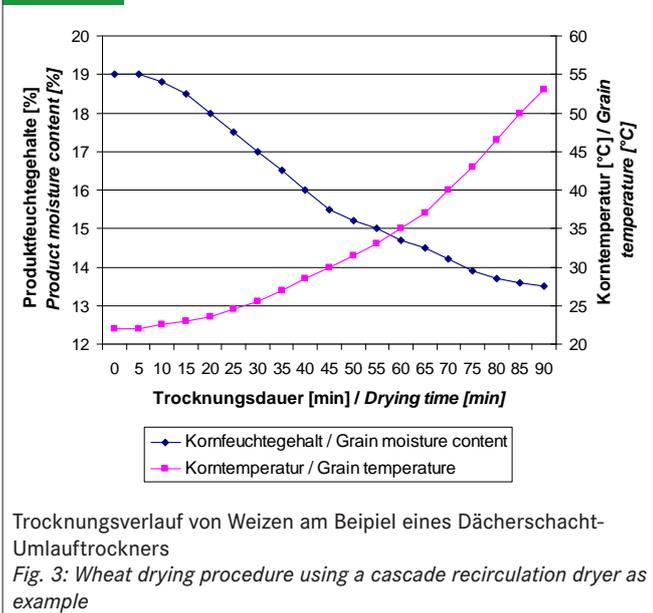


bedeutet eine Verweildauer im aktiven Trocknerbereich bei einer Feuchtedifferenz von 19 auf 14 % etwa 1,25 Stunden. Hieraus ergibt sich auch, dass in Bezug auf die Trocknernennleistung bei vorgegebenem bzw. sich ergebendem Feuchteentzug das Produktvolumen in dem aktiven Trocknungsbereich in direktem Zusammenhang zur möglichen Trocknerleistung steht.

Abbildung 3 zeigt den typischen Trocknungsverlauf in einem Dächerschacht-Umlufttrockner bei der Weizentrocknung von 19 auf ca. 14 % Feuchte mit einer konstanten Warmlufttemperatur von 75 °C.

Im Rahmen der Untersuchungen zum Arbeitsprogramm Kalkulationsunterlagen des KTBL wird deutlich, dass hier noch erhebliche Reserven vorhanden sind. Dieses zeigt sich in sehr stark differierenden spezifischen Trocknungsenergiebedarf.

Abb. 3



In der Praxis wird das installierte Leistungspotenzial von Trocknungsanlagen oft nicht optimal ausgeschöpft, weil konkrete Anpassungen an die tatsächlich erforderliche Führung des Trocknungsprozesses nur suboptimal erfolgen, oder die hierzu notwendigen Maßnahmen nicht bekannt sind (Tabelle 2).

In der Regel sind Anpassungen über manuelle Veränderungen der Betriebsparameter einstellbar, gleichwohl für den Betreiber hinsichtlich Ursache und Wirkung nur schwer einzuordnen. Leistungseinbußen oder ein erhöhter Trocknungsenergiebedarf sind die Folgen.

Tab. 2

Übersicht der Bewertung des Trocknungsenergiebedarfs  
Table 2: Overview of drying energy requirement evaluations

Spez. Wärmebedarf Specific heat requirement KJ/kg	Note Performance	Spez. Wärmebedarf umgerechnet in Specific heat requirement calculated in kWh/kg
< 4000	sehr gut very good	< 1,1
4 000-4 500	gut good	1,1-1,25
4 500-5 000	befriedigend satisfactory	1,25-1,38
5 000-6 000	ausreichend sufficient	1,38-1,66
> 6 000	unbefriedigend unsatisfactory	> 1,66

Mitunter führen aber auch veränderte Betriebsbedingungen (Durchsatzhöhung, Qualitätsansprüche an das Trocknungsgut) und gestiegene Energiebezugskosten an „gewachsenen“ Trocknungsanlagen zu einer Nichteinhaltung des Stand der Technik und können die Produktqualität negativ beeinflussen.

Die produktspezifischen Eigenarten der Wasserabgabe bei der Trocknung zeigen sich insbesondere bei Ware mit hoher Anfangsfeuchte oder durch fehlende Abreife. Eine fehlende Abreife auf dem Halm lässt sich in einer Trocknungsanlage bis zum Zielfeuchtegrad nur energiezehrend durchführen.

Das spezifische Wasserabgabeverhalten ist auch beim Trocknen von Saat-, Brot- oder Braugetreide wichtig und lässt sich im Ergebnis nur unvollständig über die typischen Trockner Eckdaten charakterisieren; wie zum Beispiel installierte Heizleistung (bzw. gewollte Warmlufttemperatur), aktiver Inhalt des Trockners, Prozessluftmenge und Verweildauer in der Anlage. Hier greifen auch die Größen der Regeldimensionierung der Hersteller von Trocknungsanlagen nicht immer vollständig.

Bezogen auf 1 000 kg Getreide sind unter idealer Trocknerbetrachtung – aber mit unvermeidbarer Kornerwärmung (Stofferwärmung) – etwa 8,2 bis 8,5 kWh je Kilogramm Wasserentzug (kWh/kg) erforderlich, um im typischen Feuchtebereich ei-

nes Getreidetrockners einen entsprechenden Wasserentzug zu realisieren. In der Praxis reicht die hierzu erforderliche Spanne von ca. 0,98 bis zu 2 kWh/kg Wasserentzug an thermischer Energie.

Der Prüfrahen der DLG sieht für die Bewertung des spezifischen Wärmebedarfs von Warmlufttrocknungsanlagen folgendes Bewertungsschema vor:

Aufgrund der je nach Eingangsfeuchtigkeit und Feuchtebindung im Produkt unterschiedlichen Wasserabgabegeschwindigkeit ist der spezifische Trocknungsenergiebedarf je Prozent Wasserentzug bei Getreide oder auch Körnermais über den Trocknungsverlauf gesehen unterschiedlich. Eine Durchschnittswertbildung ist nur bezogen auf den gesamten Trocknungsverlauf sinnvoll, also bei Getreide von ca. 22 bis 18 % Ein-

Tab. 3

Energiebedarf von Trocknungssystemen  
Table 3: Energy requirements of drying systems

Getreidetrocknung – Feuchteentzug von 19 auf 14 % / Grain drying – Moisture reduction from 19 to 14 %				
Trocknerbauart Type of dryer	Mittlerer spez. thermischer Energiebedarf Average specific thermal energy requirement kWh <sub>th</sub> /kg	Varianz spez. thermischer Energiebedarf Variance of specific thermal energy requirement kWh <sub>th</sub> /kg	Mittlerer spez. elektrischer Energiebedarf <sup>2)</sup> Average specific electrical energy requirement <sup>2)</sup> kWh <sub>el</sub> /kg	Bemerkungen Comments
Dächerschicht-Satz-Trockner <i>Cascade batch</i>	1,5	1,3–2,0	0,14	Warmlufttemperatur auf 60 °C begrenzt <i>warm air temperature limited to 60 °C</i>
Dächerschicht-Umlauf-Trockner <i>Cascade recirculating dryer</i>	1,3	1,1–1,7	0,08	Warmlufttemp. 80 °C <i>warm air temp. 80 °C</i>
Dächerschicht-Durchlauf-Trockner <i>Cascade continuous dryer</i>	1,2	0,98–1,5	0,07	Warmlufttemp. 80 °C <i>warm air temp. 80 °C</i>
Schachttrockner (Satzrockner) <sup>1)</sup> <i>Tower dryer (batch dryer)<sup>1)</sup></i>	1,4	1,28–1,9	0,14	Warmlufttemp. 60 °C gute Selbstisolierung bei innenliegender Warmluftzuführung <i>warm air temp. 60 °C good self-insulation with internally circulated warm air</i>
Schachttrockner (Umlaufrockner) <sup>1)</sup> <i>Tower dryer (recirculating dryer)<sup>1)</sup></i>	1,25	1,12–1,6	0,10	Warmlufttemp. 80 °C gute Selbstisolierung bei innenliegender Warmluftzuführung <i>warm air temp. 80 °C good self-insulation with internally circulated warm air</i>
Bandrockner <i>Belt dryer</i>	1,35	1,15–1,7	0,05	gleichmäßige Trocknung, Mehrbandrockner sind verfahrenstechnisch Einbandrocknern überlegen <i>uniform drying, multiple belt dryers perform better than single band ones</i>
Schubwendetrockner <i>Feed-and-turn dryer</i>	1,45	1,25–1,9	0,09	große Funktionsvariabilität daher überdurchschnittlicher spez. Energiebedarf <i>great flexibility regarding function with an associated slightly higher specific energy requirement</i>
Trommelrockner <i>Drum dryer</i>	1,7	1,5–2,2	0,06	geringe aktuelle Bedeutung in der Landwirtschaft <i>small current importance in agriculture</i>
Wagentrockner <i>Trailer dryer</i>	1,75	1,5–2,5	0,09	überholtes System, neue Lösungen zur Wärmenutzung von Biogasanlagen zunehmend Schütthöhe < 1 m <i>overtaken system, new solutions for using heat from biogas plants increasing grain load height &lt; 1 m</i>
Containertrockner <i>Container dryer</i>	1,8	1,5–2,5	0,1	Wagentrockner, in der Schütthöhe ca. 1,5 m <i>as with trailer dryer, in load height of around 1.5 m</i>
Silosatzrockner / <i>Silo batch dryer</i>	1,1	1,0–1,25	0,12	Warmlufttemp. 60 °C / <i>warm air temp. 60 °C</i>
Lagerbelüftungstrocknung <i>In-store aeration dryer</i>	0,85	0,8–1,7	0,3–1	geringe Warmlufttemp., hoher Energiebedarf für Prozessluft durch Schütthöhe + Belüftungsdauer, max. Produktfeuchte 19 % / <i>lower warm air temp., higher energy requirement for process air through grain pile height + aeration time, max. product moisture content 19 %</i>

<sup>1)</sup> Verschiedene Ausführungen unter diesem Begriff: Zentralrohrrockner, Querstromrockner usw. zusammengefasst / *different systems are described under this name: centre-pipe dryer, crossflow etc.*

<sup>2)</sup> Elektrischer Energiebedarf für Prozessluft und Mindestfördertechnik, das heißt zum Befüllen, Entleeren, sofern vorhanden Umlauf bzw. oder Produktbewegung; Angabe in Kilowattstunden Strombedarf je Kilogramm Wasserentzug / *electrical energy requirement for process air and powering minimal grain moving requirements i.e. loading and unloading dryer, powering existing recirculating or product movement systems; given as kilowatt hours electricity requirement per kilogram moisture removal.*

gangsfeuchte auf 15 bis 14 % Endfeuchte, und bei Körnermais von 30 bis 37 % Anfangsfeuchte auf die gleiche Endfeuchte.

Zwischen leistungsmaximierter und energieeinsatzoptimierter Getreidetrocknung besteht ein Zielkonflikt. An der erforderlichen bzw. sich ergebenden Trocknungszeit zeigt sich, wie gut das Wasserabgabevermögen des Trocknungsgutes durch die Anlage auch ausgeschöpft werden kann.

### Energiebedarf

Bezugsgröße zum Trocknungsenergiebedarf [kWh] ist der Wasserentzug in Kilogramm [kg]. Der zur Trocknung erforderliche Wasserentzug errechnet sich nach der Duval'schen Formel wie folgt:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{NaBww}} \cdot \{(F_A - F_E)/(100\% - F_E)\}$$

$F_A$  = Anfangsfeuchtegehalt in %

$F_E$  = Endfeuchtegehalt in %

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  = Masse des entzogenen Wassers

$m_{\text{NaBww}}$  = Masse des zu trocknenden Gutes

Die Angaben des mittleren spezifischen thermischen Energiebedarfs entsprechen dem thermischen Energiebedarf, der bei dem Stand der Technik konfigurierten und betriebenen Trocknungsanlagen und durchschnittlicher Produktqualität typischerweise zu erwarten ist bzw. in Praxisanlagen gemessen worden ist (**Tabelle 3**).

### Schlussfolgerungen

Die typischerweise in einem Trockner zur Anlagensteuerung installierten Prozessfühler ermöglichen ein vernünftiges Betreiben zum Erreichen eines bestimmten Endfeuchtegrades. Dennoch verliert der Trockner dadurch noch nicht seinen „black box“ – Charakter. Das Erreichen der passenden Endfeuchte am Trocknerausgang lässt noch keine Aussagen zu, mit welchem energetischen Aufwand dieses erreicht wird und ob die Produktfeuchteverteilung homogen ist. Mögliche Energieeinsparpotenziale bei produktschonender Betriebsweise oder ein Umsetzen von Leistungsreserven wird erst durch eine hinreichend vollständige Erfassung der Prozess(luft)zustände und im Trockner korrespondierender Produktfeuchten und des Energieeinsatzes deutlich. Die Aufnahme physikalischer Eckdaten als Momentaufnahme ist für eine Vorabschätzung von Einspar- bzw. Optimierungsmaßnahmen ausreichend, belastbare und nachhaltige Bewertungen sind nur durch kontinuierliche Messwertaufnahmen mit grafischer Darstellung über einen größeren Zeitraum möglich.

### Autoren

**Dr. Markus Böckelmann** ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der Landwirtschaftskammer NRW, Markweg 78, 48147 Münster, E-Mail: m.boeckelmann@t-online.de

**Dr. Jens Grube** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt, E-Mail: j.grube@ktbl.de