

Entwicklung eines Gleichstrom/Gegenstrom-Durchlauftrockners für Getreide und Mais.

Von Werner Mühlbauer, Heinz Kuppinger, Stuttgart-Hohenheim und Gerald W. Isaacs, West Lafayette (USA)*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 631.365:664.8

Vergleichende Untersuchungen der verschiedenen für die Getreidetrocknung geeigneten Trocknungsverfahren zeigen, daß keines der Verfahren im Hinblick auf Leistung, Energiebedarf, Gleichmäßigkeit der Trocknung und Erhaltung der Kornqualität als optimal angesehen werden kann. Es besteht zwar die Möglichkeit, diese Verfahren durch konstruktive und verfahrenstechnische Maßnahmen zu verbessern, einige der verfahrensbedingten Nachteile können allerdings nur mit hohem technischen Aufwand behoben werden.

Im folgenden wird darüber berichtet, wie durch eine Kombination von Gleichstrom- und Gegenstromverfahren die Nachteile der Einzelverfahren ausgeglichen werden können. Versuche zeigten, daß Weizen und Mais auch bei hohen Gutfeuchten in einem Durchgang ohne Beeinträchtigung der Gutqualität auf lagerfähigen Zustand getrocknet werden können. Leistung, Energieausnutzung und Gleichmäßigkeit der Trocknung konnten im Vergleich zum Gleichstromverfahren wesentlich verbessert werden. Durch Variation von Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit in den Trocknungszonen wurden die Leistungsgrenzen des Verfahrens ermittelt.

1. Einleitung

Die Leistungsfähigkeit und der technische Entwicklungsstand der in Mühlen, Lagerhäusern und landwirtschaftlichen Großbetrieben für die Getreide- und Maistrocknung eingesetzten Durchlauftrockner konnte bislang nicht an die der Erntemaschinen angepaßt werden. Bedingt durch den Engpaß bei der Trocknung, kann die Ernte

trotz ausreichender Bergeleistung der Mähdescher meist nicht zum optimalen Zeitpunkt erfolgen. Bei einer Verschlechterung der Witterungsbedingungen ist unter ungünstigen Umständen über einen längeren Zeitraum hinweg eine Ernte nicht möglich, wodurch es zu erheblichen Massen- und Qualitätsverlusten auf dem Feld durch Ausfall von Körnern, Auswuchs und die Tätigkeit von Mikroorganismen kommt. In der Praxis wird oft versucht, durch eine Zwischenlagerung der Körner in feuchtem Zustand bzw. über eine Erhöhung der Temperatur der Trocknungsluft die Leistung der Trocknungsanlage an die Kapazität der Erntemaschine anzupassen. Enzymatische und mikrobiologische Vorgänge bei der Zwischenlagerung und eine Verminderung der biologischen, ernährungsphysiologischen und technologischen Eigenschaften der Körner bei der Trocknung mit unzulässig hohen Lufttemperaturen führen zu erheblichen qualitativen und quantitativen Verlusten. Die getrockneten Körner genügen daher oft nicht mehr den hohen Anforderungen, die die verarbeitende Industrie an die Qualität des Rohstoffs Getreide stellt.

Weiter führten die gestiegenen Energiepreise in Verbindung mit dem hohen Energiebedarf bei der Trocknung zu einem sprunghaften Anstieg der Trocknungskosten. Insbesondere bei Durchlauftrocknern kommt zukünftig neben der Vergrößerung der Trocknungsleistung einer Reduzierung des Energiebedarfs eine erhebliche Bedeutung zu.

Eine Steigerung der Trocknungsleistung bei gleichzeitiger Senkung des Energiebedarfs kann bei Durchlauftrocknern in erster Linie über eine Erhöhung der Temperatur der Trocknungsluft erreicht werden [1]. Dabei sind allerdings die Trocknungsparameter so aufeinander abzustimmen, daß eine Verminderung der qualitätsbestimmenden Eigenschaften des Trocknungsgutes vermieden wird. Weiter muß durch konstruktive Maßnahmen eine ungleichmäßige thermische Belastung der Körner verhindert werden. Im Gegensatz zu den bislang vorliegenden Arbeiten, bei denen stets versucht wurde, die einzelnen konventionellen Trocknungsverfahren durch verfahrenstechnische oder konstruktive Maßnahmen zu verbessern, wird im folgenden versucht, durch eine Kombination von verschiedenen Trocknungsverfahren deren verfahrensbedingte Nachteile auszugleichen und die Trocknungsleistung bei gleichzeitiger Reduzierung des Energiebedarfs zu erhöhen.

2. Bisherige Arbeiten

Die kontinuierlichen Trocknungsverfahren lassen sich entsprechend der Führung von Gut- und Luftstrom in Gleichstrom-, Gegenstrom- und Querstromverfahren einteilen. Eine vergleichende Untersuchung der verschiedenen Trocknungsverfahren von Thompson [2], Bakker-Arkema [3], Mühlbauer [4, 5] und Gyax [6] zeigte, daß bei der Trocknung im Gleichstrom wesentlich höhere Trocknungsleistungen erzielt werden können als bei der Trocknung im Quer- bzw. Gegenstrom.

Die Verfasser danken der chemisch-technischen Assistentin Fräulein Dorothea Hirschbach für ihre Mitarbeit bei der Durchführung und Auswertung der Versuche.

*) Dr.-Ing. Werner Mühlbauer ist Oberingenieur am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Dipl.-Ing. Heinz Kuppinger wiss. Mitarbeiter des Sonderforschungsbereichs 140 – Landtechnik, Dr. Gerald W. Isaacs Head Professor am Agricultural Engineering Department der Purdue Universität in West Lafayette, Indiana (USA).

In der mechanischen und chemischen Verfahrenstechnik werden Strom- und Trommeltrockner, die nach dem Gleichstromprinzip arbeiten, zur Trocknung von rieselfähigen und pasteusen, anorganischen und organischen Stoffen eingesetzt [7, 8]. Bei den Strom- und Trommeltrocknern wird das Trocknungsgut im Dünstrom durch den Trockner hindurchgeführt, wobei die Trocknungsluft gleichzeitig Wärmeträger und Transportmedium darstellt. In der Landwirtschaft werden Gleichstromtrommeltrockner zur Trocknung von Grünfutter, Rüben, Kartoffeln und Futtergetreide eingesetzt [9], was allerdings infolge des hohen Energiebedarfs zunehmend an Bedeutung verliert.

In den USA wurden Gleichstromschachttrockner, in denen das Trocknungsgut im Dichtstrom infolge der Schwerkraft kontinuierlich durch einen senkrechten Trocknungsbehälter fließt, entwickelt und werden dort in fahrbarer und stationärer Ausführung seit 1970 zur Trocknung von Mais eingesetzt [10, 11, 12].

Thompson [2], Bakker-Arkema [13], Baughman [14], Farmer [15] u.a. entwickelten mathematische Modelle zur Optimierung des Gleichstromprozesses im Hinblick auf Investitionskosten, Trocknungsleistung, Energiebedarf und Qualität des Trocknungsgutes und simulierten die Zusammenhänge auf Rechenanlagen. Experimentelle Untersuchungen an Gleichstromtrocknern im Labormaßstab mit Mais, Weizen, Reis, Acker- und Sojabohnen [4, 5, 11, 12, 16 bis 19] zeigten übereinstimmend, daß Gleichstromtrockner für alle Körnerfrüchte unabhängig von deren Verwendungszweck geeignet sind, vorausgesetzt, Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und Korngeschwindigkeit werden richtig aufeinander abgestimmt [4, 5, 20]. Zur Erhöhung der Trocknungsleistung wurden von Brook [21] mehrstufige Gleichstromtrockner entwickelt, in denen die hintereinandergeschalteten Gleichstromzonen durch einzelne Temperzonen getrennt sind.

Obwohl bereits im Jahre 1915 Hoffmann [22] auf die Vorteile des Gleichstromverfahrens bei der Getreidetrocknung hinwies, wurden in der Bundesrepublik Deutschland erst in den Jahren zwischen 1967 und 1970 von Segler [23] Versuche mit Gleichstromschachttrocknern durchgeführt. Diese zeigten, daß bei Trocknungslufttemperaturen zwischen 140 und 250 °C hohe Trocknungsleistungen verbunden mit guter Energieausnutzung erzielt werden können [19]. Die Qualität des Trocknungsgutes genügte allerdings nur bedingt den Anforderungen, da infolge ungleichmäßiger Trocknung ein Teil der Körner auch visuell erkennbar geschädigt war [19]. Durch konstruktive Verbesserungen an den Luftzufuhrkanälen, den Trocknerwandungen und der Austrageinrichtung konnte ein gleichförmiger Kornfluß im Trocknerschacht sowie eine gleichmäßige Luft- und Temperaturverteilung erreicht werden. Damit war es möglich, Futtermais mit Erntefeuchtegehalten unter 35 % in einem Durchgang auf lagerfähigen Zustand zu trocknen, ohne daß die ernährungsphysiologisch relevanten Eigenschaften des Trocknungsgutes und die Kornfarbe negativ beeinflusst werden [4, 5]. Bei ergänzenden Untersuchungen wurde jedoch festgestellt, daß bei Feuchtegehalten über 40 % der Feuchteentzug in einem Durchgang Schwierigkeiten bereitet, da zwar der Futterwert erhalten blieb, die Kornfarbe aber über die zulässigen Werte hinaus sich veränderte [24].

Trotz der zweifellos vorhandenen Vorteile des Gleichstromverfahrens gegenüber anderen Trocknungsverfahren haben sich Gleichstromschachttrockner in der landwirtschaftlichen Praxis in der Bundesrepublik Deutschland bislang noch nicht durchsetzen können.

3. Aufgabenstellung

Ausgehend von dem aus dem Schrifttum [2, 4, 5] bekannten Trocknungsverlauf bei der Gleichstromtrocknung soll aufgrund theoretischer Betrachtungen ein Trocknungsverfahren gesucht werden, bei dessen Kombination mit dem Gleichstromverfahren die verfahrensbedingten Nachteile beider Verfahren kompensiert werden können. Durch Aufstellung von Wärme- und Stoffbilanzen und der Darstellung des Verfahrensablaufs in Mollier-h-x-

Diagrammen für feuchte Luft wird versucht, die Verfahrensführung zu optimieren. Neben Verfahrensleistung und Energieausnutzung bilden Gleichmäßigkeit der Trocknung und technische Realisierbarkeit in einem Schachttrockner die wesentlichsten Beurteilungskriterien.

Zur Realisierung der ausgewählten Verfahrensführung soll ein Durchlauf-trockner in Schachtbauweise in halbtechnischem Maßstab erstellt und naturfeuchtes Getreide einschließlich Mais mit unterschiedlichem Feuchtegehalt in einem Durchgang auf lagerfähigen Zustand getrocknet werden. Dabei sollen die Temperatur der Trocknungsluft und die Luftgeschwindigkeit in den Trocknungs-zonen variiert und der für die Prozeß- und Qualitäts-optimierung wichtige zeitliche Verlauf von Korn-temperatur und Feuchtegehalt der Körner gemessen werden. Zur Bewertung des Trocknungserfolges sind Trocknungsleistung und Energiebedarf zu ermitteln und die Qualität des Trocknungsgutes im Hinblick auf seine Verwendung als Brotgetreide bzw. Futtermais zu beurteilen. Als Kriterien für die Qualitätsbeurteilung werden Gleichmäßigkeit der Trocknung, Backfähigkeit bei Brotgetreide sowie der ernährungsphysiologische Wert und die Kornfarbe bei Futtermais herangezogen.

Ziel der Untersuchung ist es, die Leistungsgrenzen des Verfahrens zu bestimmen und mit dem Gleichstromverfahren zu vergleichen. Aufgrund der Versuchsergebnisse soll untersucht werden, inwieweit der Energiebedarf durch Wärmerückgewinnung aus der Abluft und den getrockneten Körnern weiter gesenkt werden kann.

4. Theoretische Grundlagen

4.1 Analyse des Trocknungsverlaufs

Im folgenden wird zunächst anhand der aus dem Schrifttum [2, 4, 5] bekannten Trocknungsverlaufskurven ($\vartheta_L = f(z)$; $\vartheta_K = f(z)$; $\varphi_L = f(z)$; $U = f(z)$) der verschiedenen kontinuierlich arbeitenden Trocknungsverfahren (Gleich-, Gegen-, Querstrom) untersucht, inwieweit durch eine Kombination dieser Verfahren die Trocknungsleistung und Energieausnutzung verbessert werden können. Weitere Bewertungsgrundlagen der Verfahrenskombination sind die Gleichmäßigkeit der Trocknung, die Regelbarkeit des Trocknungsprozesses und die technische Realisierbarkeit der Verfahrensführung in einem Schachttrockner.

Bei der Gleichstromtrocknung trifft die heiße Trocknungsluft auf das kalte und feuchte Gut. Infolge der großen Temperatur- und Partialdampfdruckdifferenzen zwischen Kornoberfläche und Trocknungsluft setzt sofort ein intensiver Wärme- und Stoffaustausch ein, wodurch den Körnern Feuchte entzogen und gleichzeitig die Trocknungsluft abgekühlt wird, Bild 1. Die Korn-temperatur steigt zwar zunächst schnell an, durch die aus dem Feuchteentzug resultierende Verdunstungskühlung wird ein Anstieg auf unzulässig hohe Korn-temperaturen jedoch verhindert. Nach Erreichen eines Maximalwertes sinkt die Korn-temperatur mit zunehmendem Weg des Gutes im Trockner wieder ab und nähert sich asymptotisch der Lufttemperatur.

Aus dem Verlauf von Luft- und Korn-temperatur ist ersichtlich, daß zwischen der Trocknungslufttemperatur am Lufteintritt, die für die Trocknungsleistung maßgeblich ist, und der maximalen Korn-temperatur, durch die im wesentlichen die Qualitätsveränderung des Gutes beeinflusst wird [4, 5], eine große Temperaturdifferenz besteht. Dadurch bedingt, können bei der Gleichstromtrocknung wesentlich höhere Luft-temperaturen angewandt werden als bei allen anderen Trocknungsverfahren. Da mit zunehmender Temperatur der Trocknungsluft die Trocknungsleistung ansteigt und gleichzeitig die für die Energieausnutzung entscheidenden Kenngrößen – spez. Wärmebedarf, spez. Luftbedarf – abnehmen [1], Bild 2, sind beim Gleichstromverfahren Trocknungsleistung und Energieausnutzung höher als bei der Gegen- und Querstromtrocknung [19, 4, 5]. Ein weiterer Vorteil des Gleichstromverfahrens ist die gleichmäßige Trocknung. Nachteilig

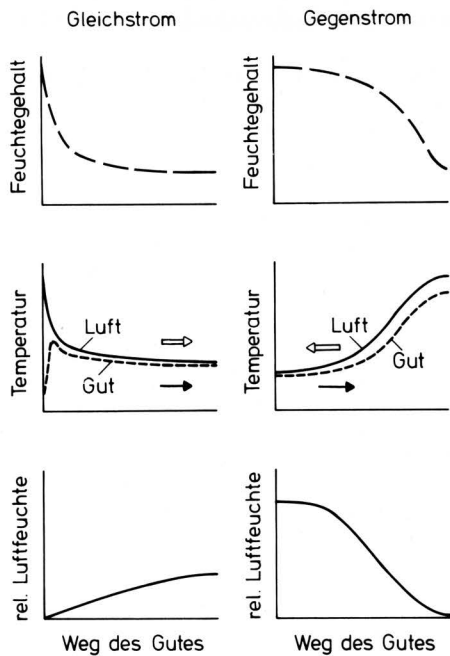


Bild 1. Verlauf der Trocknung beim Gleichstrom- und beim Gegenstromverfahren in Abhängigkeit vom Weg des Gutes.

oben: Feuchtegehalt des Gutes
 mitte: Temperatur von Gut und Trocknungsluft
 unten: relative Feuchte der Trocknungsluft

hier der schnelle Feuchteentzug zu Beginn der Trocknung besonders günstig auswirkt. Grenzen sind dem Verfahren bei einstufigen Anlagen dadurch gesetzt, daß der Feuchteentzug im Bereich niedriger Feuchtegehalte sehr langsam verläuft.

Will man die verfahrensbedingten Nachteile der Gleichstromverfahren durch Kombination mit einem anderen Verfahren kompensieren, so muß bei diesem das Trocknungspotential am Ende des Trocknungsvorgangs möglichst groß sein. Eine Kombination aus Gleichstrom- und Querstromverfahren scheidet insofern aus, als Querstromtrockner verfahrensbedingt bei schlechter Energieausnutzung ungleichmäßig trocknen [2, 3]. Die Kombination mehrerer Gleichstromtrocknungszone [21] läßt sich technisch nur durch den Einbau von extrem hohen Temperzonen ($> 4 \text{ m}$) zwischen den Trocknungszone zur Verhinderung von Falschlufströmen realisieren.

Optimale Voraussetzungen für die Kombination mit dem Gleichstromverfahren sind hingegen beim Gegenstromverfahren gegeben, bei dem die heiße Trocknungsluft auf die bereits getrockneten Körner trifft. Da beim Gegenstromverfahren das maximale Trocknungspotential beim Austritt der Körner aus der Trocknungszone auftritt, ist es insbesondere zum Feuchteentzug im Bereich niedriger Feuchtegehalte geeignet. Hinzu kommt, daß das Gegenstromverfahren neben der gleichmäßigen Trocknung den Vorteil hat, daß bei richtiger Abstimmung der Trocknungsparameter die Abluft den Trockner in gesättigtem Zustand verläßt, Bild 1. Die zulässige Temperatur der Trocknungsluft und damit auch die Trocknungsleistung ist beim Gegenstromverfahren niedriger als bei der Trocknung im Gleichstrom, da die maximale Korntemperatur sich nur geringfügig von der Trocknungslufttemperatur an der Lufteintrittsstelle unterscheidet, Bild 1.

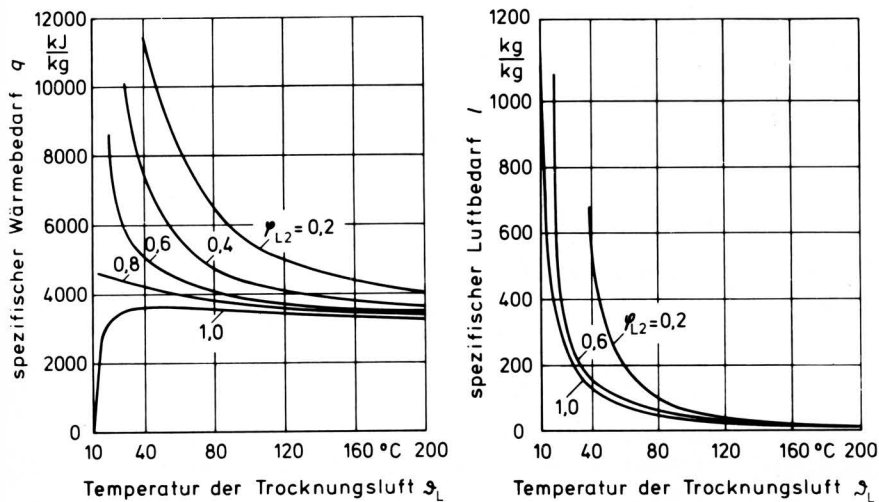


Bild 2. Spezifischer Wärmebedarf (links) und spez. Luftbedarf (rechts) in Abhängigkeit von der Temperatur der Trocknungsluft ϑ_{L1} und der relativen Feuchte der Abluft φ_{L2} (Zustand der Außenluft: $\vartheta_{L0} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_{L0} = 0,8$).

wirkt sich aus, daß eine vollständige Sättigung der Abluft theoretisch nur bei unendlich großer Trocknungszone erreicht werden kann, da das Trocknungspotential der Luft mit zunehmendem Weg des Gutes im Trockner asymptotisch gegen Null strebt. Bei der Trocknung mit hohen Lufttemperaturen ($\vartheta_L > 100 \text{ }^\circ\text{C}$) braucht eine vollständige Sättigung der Abluft im Gegensatz zur Kaltlufttrocknung ($\vartheta_L < 40 \text{ }^\circ\text{C}$) jedoch nicht unbedingt angestrebt werden, da der Sättigungsgrad der Abluft in diesem Temperaturbereich den spez. Wärmebedarf und den spez. Luftbedarf nur noch geringfügig beeinflusst, Bild 2. Aus Bild 1 ist weiter ersichtlich, daß Gleichstromtrockner speziell zur Trocknung von Materialien mit hohem Feuchtegehalt geeignet sind, da sich

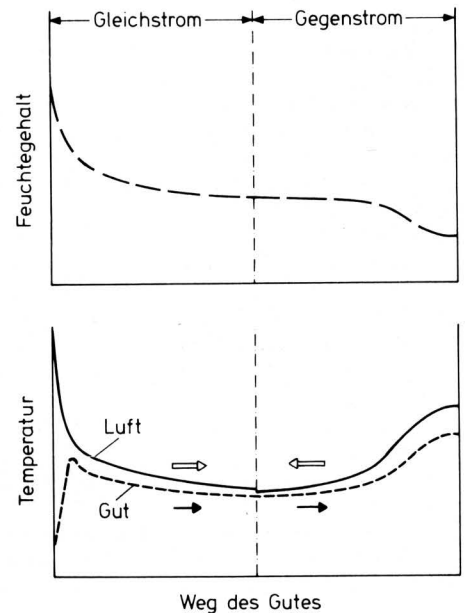


Bild 3. Verlauf des Feuchtegehalts der Körner sowie der Luft- und Korntemperatur in Abhängigkeit vom Weg des Gutes im Trockner bei der Kombination von Gleichstrom- und Gegenstromtrocknung.

In Bild 3 ist der aufgrund theoretischer Überlegungen bei der Kombination von Gleichstrom- und Gegenstromtrocknung zu erwartende Trocknungsverlauf dargestellt. Aus den hier angestellten Betrachtungen ergibt sich, daß bei der technischen Realisierung der Verfahrensführung die erste Trocknungszone im Gleichstrom, die zweite im Gegenstrom betrieben werden muß, um die Vorteile sowohl der Gleichstrom- als auch der Gegenstromtrocknung voll ausnutzen zu können. Um auf die bei konventionellen einstufigen

Gleichstromtrocknern [4, 5, 10] erforderliche Abdichtung des Trocknungsbehälters nach oben verzichten zu können, bietet sich der Einbau einer Vorwärmzone zwischen Feuchtgutvorratsbehälter und Gleichstromtrocknungszone an. Dadurch kann ein Teilluftstrom der in der Gleichstromzone zugeführten Trocknungsluft gezielt zur konvektiven Vorwärmung der Körner im Gegenstrom verwendet werden. Der Luftdurchsatz wird dabei über die Höhe der Vorwärmzone bzw. über eine Drosselung des Abluftstromes aus der Vorwärmzone gesteuert.

Für eine sichere Lagerung der Körner ist unbedingt eine Abkühlung auf Außentemperatur erforderlich. Diese wird zweckmäßigerweise wie bei den einstufigen Gleichstromtrocknern [6] im Gegenstrom durchgeführt, da bei der Gegenstromkühlung infolge der schonenden Abkühlung der Körner die Gefahr der Spannungsrißbildung in den Körnern relativ gering ist [6]. Die Spannungsrißbildung kann weiter durch eine zwischen Gegenstromtrocknungs- und -kühlzone eingebaute Temperzone, in der ein Temperatur- und Feuchteausgleich in den Körnern erreicht wird, reduziert werden [25]. In Bild 4 ist die Verfahrensführung des neu konzipierten Gleichstrom-Gegenstromtrockners in Form eines Blockschaltbildes dargestellt. Zusätzlich wurde in das Bild die Benennung der Luftströme sowie der Luft- und Kornzustände eingetragen.

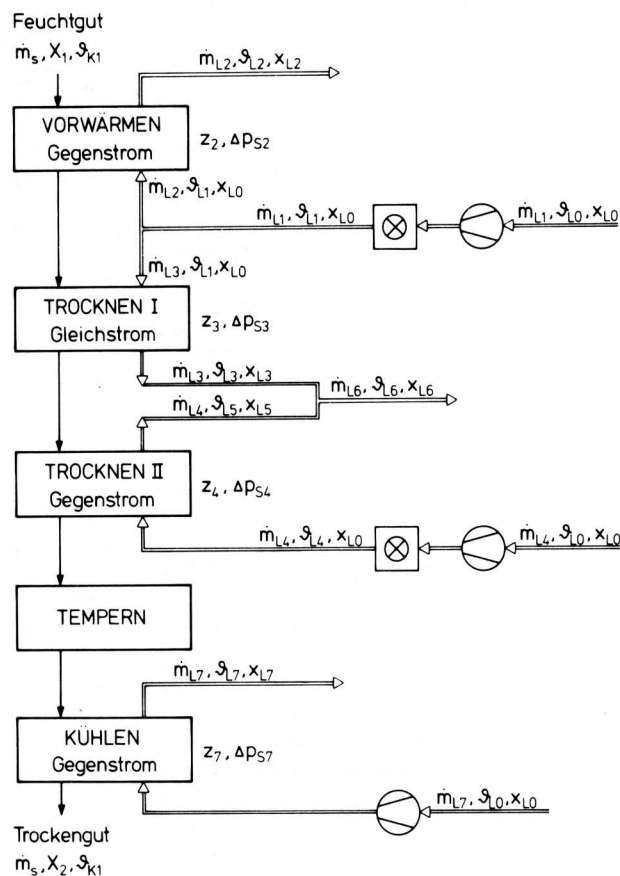


Bild 4. Blockschaltbild des Gleichstrom-Gegenstromtrockners.

4.2 Berechnung der Trocknungskenndaten

Das Leistungsvermögen eines Trocknungsverfahrens läßt sich durch die bei der Trocknung entzogene Feuchtemasse bzw. den Trockengutdurchsatz, der Energiebedarf durch den spez. Wärme-, spez. Luft- und spez. mechanischen Energiebedarf charakterisieren.

Die bei der Trocknung den Körnern in der Zeiteinheit zu entziehende Feuchtemasse

$$\Delta \dot{m}_w = \dot{m}_s (X_1 - X_2) \quad (1)$$

muß von der Trocknungs- und Kühlluft aufgenommen werden, wofür im Falle der im Schema dargestellten Gleichstrom- und Gegenstromtrocknung mit Vorwärmung und Kühlung gilt:

$$\Delta \dot{m}_w = \dot{m}_{L2} (x_{L2} - x_{L0}) + \dot{m}_{L3} (x_{L3} - x_{L0}) + \dot{m}_{L4} (x_{L5} - x_{L0}) + \dot{m}_{L7} (x_{L7} - x_{L0}) \quad (2)$$

Der Durchsatz an trockenem Gut \dot{m}_{K2} (mit der Feuchte X_2) kann nach der Beziehung berechnet werden:

$$\dot{m}_{K2} = \Delta \dot{m}_w \frac{1 + X_2}{X_1 - X_2} \quad (3)$$

Der spez. Wärmebedarf q gibt an, welche Wärmemenge erforderlich ist, um 1 kg Feuchtemasse den Körnern zu entziehen und kann demnach als Quotient aus zugeführtem Wärmestrom \dot{Q} und der bei der Trocknung in der Zeiteinheit entzogenen Feuchtemasse $\Delta \dot{m}_w$ berechnet werden:

$$q = \frac{\dot{Q}}{\Delta \dot{m}_w} = \frac{\Delta h_L}{\Delta x_L} \quad (4)$$

Entsprechend gilt für das kombinierte Trocknungsverfahren:

$$q = [\dot{m}_{L2} (h_{L1} - h_{L0}) + \dot{m}_{L3} (h_{L1} - h_{L0}) + \dot{m}_{L4} (h_{L4} - h_{L0})] : [\dot{m}_{L2} (x_{L2} - x_{L0}) + \dot{m}_{L3} (x_{L3} - x_{L0}) + \dot{m}_{L4} (x_{L5} - x_{L0}) + \dot{m}_{L7} (x_{L7} - x_{L0})] \quad (5)$$

Der spez. Luftbedarf l ist definiert als diejenige Luftmenge, die erforderlich ist, um 1 kg Feuchtemasse aus dem Trockner zu entfernen:

$$l = [\dot{m}_{L2} + \dot{m}_{L3} + \dot{m}_{L4} + \dot{m}_{L7}] : [\dot{m}_{L2} (x_{L2} - x_{L0}) + \dot{m}_{L3} (x_{L3} - x_{L0}) + \dot{m}_{L4} (x_{L5} - x_{L0}) + \dot{m}_{L7} (x_{L7} - x_{L0})] \quad (6)$$

Der spez. mechanische Energiebedarf e kennzeichnet den Energiebedarf, der zum Antrieb der Warmluft- und des Kühlluftgebläses erforderlich ist, und wird auf 1 kg entzogene Feuchtemasse bezogen:

$$e = [\dot{m}_{L2} \Delta p_{s2} / \bar{\rho}_{L20} + \dot{m}_{L3} \Delta p_{s3} / \bar{\rho}_{L30} + \dot{m}_{L4} \Delta p_{s4} / \bar{\rho}_{L40} + \dot{m}_{L7} \Delta p_{s7} / \bar{\rho}_{L70}] : [\dot{m}_{L2} (x_{L2} - x_{L0}) + \dot{m}_{L3} (x_{L3} - x_{L0}) + \dot{m}_{L4} (x_{L5} - x_{L0}) + \dot{m}_{L7} (x_{L7} - x_{L0})] \quad (7)$$

4.3 Darstellung der Trocknungsvorgänge im h,x-Diagramm

Die Vorgänge in den einzelnen Zonen der Vorwärmung, der Gleichstrom- und Gegenstromtrocknung sowie beim Gesamtprozeß können im Mollier-h,x-Diagramm graphisch dargestellt werden, **Bild 5**. Die Steigung $\Delta h_L / \Delta x_L$ der Verbindungsgeraden zwischen Zuluft- und Abluftzustand ist nach Gl. (4) ein Maß für den spezifischen Wärmebedarf, wobei allerdings die Enthalpieänderung der Körner vernachlässigt wird. Der spezifische Luftbedarf ergibt sich aus dem reziproken Wert der Feuchtegraddifferenz Δx_L zwischen Zuluft- und Abluft. Bei der Darstellung der Gleichstrom-Gegenstromtrocknung mit Vorwärmung wurden die unterschiedlichen Masseströme der Luft in den einzelnen Zonen des Trockners durch Anwendung der Mischungsregel berücksichtigt. Punkt 8 stellt beispielsweise den Mischungspunkt der Abluftströme aus Vorwärm- und Gleichstromtrocknungszone dar, Punkt 9 charakterisiert den Mischungspunkt der gesamten Abluft aus Vorwärm-, Gleichstrom- und Gegenstromtrocknungszone. Weiter verdeutlicht Bild 5, in welcher Größenordnung eine Senkung des spez. Wärme- und spez. Luftbedarfs bei dem kombinierten Verfahren im Vergleich zum einstufigen Gleichstromverfahren erwartet werden kann.

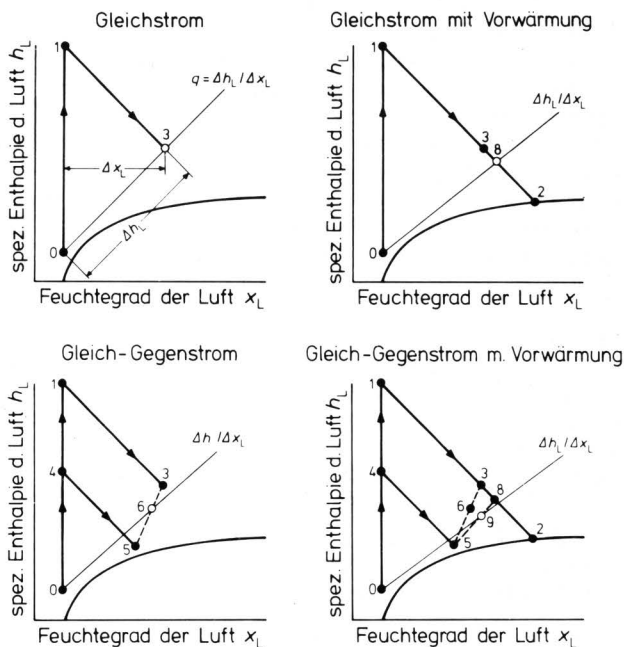


Bild 5. Idealierte Darstellung des Trocknungsverlaufs bei der Kombination von Gleichstrom- und Gegenstromtrocknung im Mollier h,x-Diagramm.

- | | |
|---|---|
| 0 Außenluft | 6 Abluft aus Gleichstrom- und Gegenstromzone |
| 1 Trocknungsluft für Gleichstrom- und Vorwärmzone | 7 Abluft aus Kühlzone |
| 2 Abluft aus Vorwärmzone | 8 Abluft aus Gleichstrom- und Vorwärmzone |
| 3 Abluft aus Gleichstromzone | 9 Abluft aus Gleichstrom- Gegenstrom- und Vorwärmz. |
| 4 Trocknungsluft für Gegenstromz. | |
| 5 Abluft aus Gegenstromzone | |

5. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die Trocknungsversuche wurden mit dem in **Bild 6** dargestellten Versuchstrockner durchgeführt. Der Schachttrockner besteht im wesentlichen aus Vorratsbehälter für Feuchtgut, Vorwärmzone, Gleichstrom- und Gegenstromtrocknungszone, Temperzonen und Austrageinrichtung. Um eine getrennte Messung der Abluftzustände aus den beiden Trocknungs-zonen durchführen zu können, wurde zwischen Gleichstrom- und Gegenstromtrocknungszone eine zusätzliche Temperzone eingebaut. Auf den Einbau einer Kühlzone mußte aus versuchstechnischen Gründen verzich-

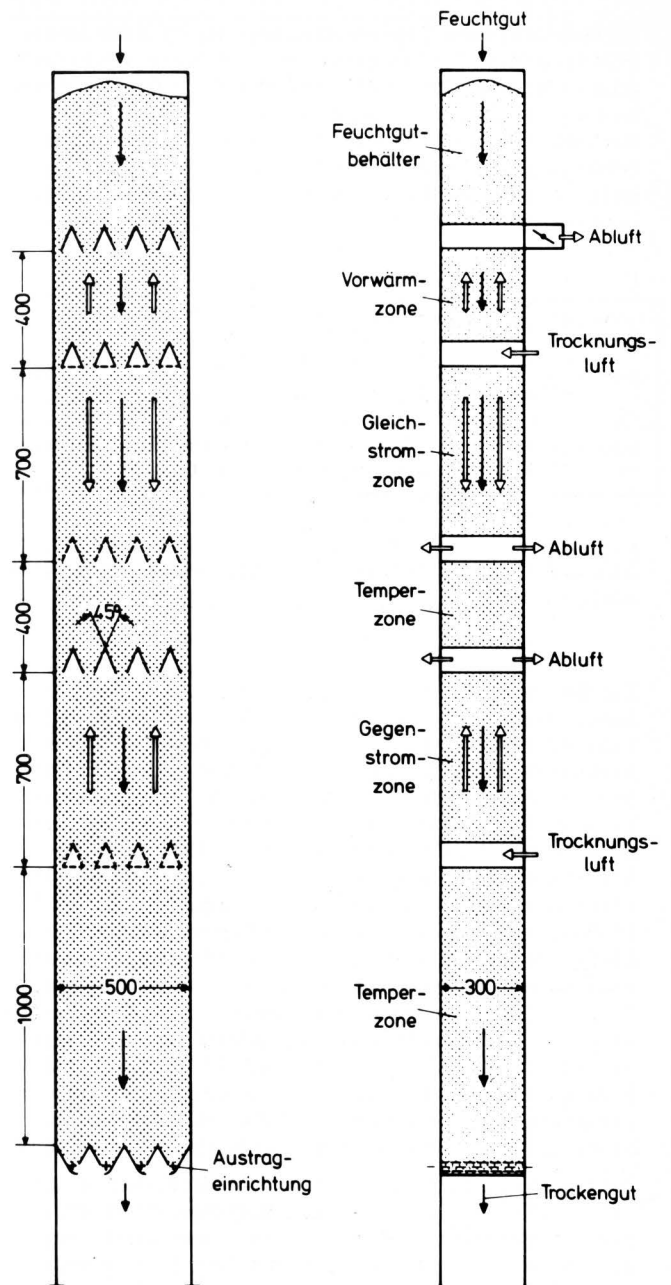


Bild 6. Schematische Darstellung des Modelltrockners.

tet werden. An einer Seitenwand des Trockners wurden verschließbare Öffnungen zur Messung der Lufttemperatur und zur Entnahme von Versuchsgut für die Feuchtebestimmung angebracht.

Die zu trocknenden Körner werden mit einem Becherelevator in den Vorratsbehälter gefördert und fließen infolge der Schwerkraft durch den Trocknerschacht. Die Austragung des Trocknungsgutes erfolgt mittels Dosierzellen, die nach dem Zellenradprinzip arbeiten. Der Gutdurchsatz kann über eine stufenlose Verstellung der Drehzahl der Dosierzellen gesteuert werden. Die Trocknungsluft wird über dächerförmige Luftkanäle zu- und abgeführt. Die konstruktive Gestaltung der Luftzufuhrkanäle und der Austrageinrichtung, durch die ein gleichmäßiger Kornfluß im Trocknerschacht erreicht werden kann, sowie die Maßnahmen zur gleichmäßigen Luft- und Temperaturverteilung über den Querschnitt des Trocknerschachtes sind ausführlich in [4, 5] beschrieben. Zur Regulierung der Verteilung der Luftströme auf Vorwärm- und Gleichstromtrocknungszone wurde in den Abluftkanal der Vorwärmzone eine Drosselklappe eingebaut.

Mit dem Gleichstrom-Gegenstromtrockner wurden in den Jahren 1974 bis 1976 39 Trocknungsversuche mit Weizen und Mais durchgeführt. Der Feuchtegehalt der erntefrischen Körner lag bei Weizen zwischen 15,9 und 22,5 %, bei Mais zwischen 29,8 und 44,3 %. Das Versuchsmaterial wurde mit dem Mährescher geerntet, die Beimengungen mit einem Saatgutreiniger entfernt. Bei den Versuchen wurden die in **Tafel 1** zusammengestellten Trocknungsparameter variiert.

Trocknungszone	Trocknungsparameter	Trocknungsgut	
		Weizen	Mais
Gleichstrom	Lufttemperatur °C	70–100	175–240
	Luftgeschwindigkeit m/s	0,5–0,67	1,0–1,5
Gegenstrom	Lufttemperatur °C	60–90	100–200
	Luftgeschwindigkeit m/s	0,33–0,5	0,5

Tafel 1. Zusammenstellung der bei den Versuchen variierten Trocknungsparameter.

Zur Messung der Temperatur und der relativen Feuchte von Außenluft, Trocknungsluft und Abluft wurden Thermoelemente bzw. Lithiumchloridfeuchtefühler verwendet. Die Meßwerte wurden als Analogwerte mittels Kompensationsdrucker registriert. Die Korntemperatur wurde während des Durchlaufs der Körner durch den Trocknerschacht mittels eines im Korninnern befindlichen Thermoelements nach der in [4, 5] beschriebenen Methode kontinuierlich gemessen. Die Lufttemperatur im Trockner konnte mit einer Temperaturmeßsonde bestimmt werden, die durch seitlich am Trockner angebrachte Öffnungen in die Körnerschüttung eingeführt wurde. Diese Meßöffnungen dienten außerdem zur Entnahme von Körnern zur Ermittlung des Feuchteverlaufs der Körner im Trockner. Der Trockengutdurchsatz wurde mit einer Durchlaufwaage, der Luftdurchsatz in den verschiedenen Trocknungs-zonen mit Meßleitungen und Normblenden nach DIN 1952 gemessen. In Abständen von 15 Minuten wurden von den erntefeuchten und getrockneten Körnern jeweils 3 Proben entnommen und deren Feuchtegehalte im Trockenschrank (24 h bei 105 °C) ermittelt.

Zur Untersuchung der Qualitätsveränderung der Körner durch die Trocknung wurden vom Feucht- und Trockengut jeweils Mischproben entnommen und entsprechend der Gutart und des vorgesehenen Verwendungszwecks nach den in **Tafel 2** zusammengestellten Methoden untersucht¹⁾.

Gutart	Qualitätskriterium	Methode
Weizen	Keimfähigkeit Mahlfähigkeit	Rolled-Paper Methode [26] Mahlversuch mit Labormühle Typ Quadromat Junior, Fa. Brabender [27]
	Feuchtklebergehalt Backeigenschaften	Auswaschmethode [28] Backvolumen und sensorische Bewertung nach Rapid-Mix-Test-Backversuch [29]
Mais	Kornfarbe	Photometrische Bestimmung mittels Dreibereichsfarbmeßgerät [30]
	Aminosäuregehalte	Ionenaustauschchromatographie nach salzsaurer Hydrolyse nach Moore et. al. [31]
	Proteinbewertung	Bestimmung der biologischen Wertigkeit und der wahren Verdaulichkeit im Tierversuch mit Ratten in Anlehnung an [32]

Tafel 2. Verwendete Kriterien und Methoden zur Qualitätsbeurteilung von Weizen und Mais.

6. Versuchsergebnisse

In **Tafel 3** und **4** sind die wichtigsten Ergebnisse aus den Versuchen mit dem Gleichstrom-Gegenstromtrockner bei der Trocknung von Weizen und Mais zusammengestellt. Die zur Qualitätsbeurteilung herangezogenen Kriterien wurden dabei auf eine bei 20 °C getrocknete Vergleichsprobe bezogen. Um einen Vergleich mit einem einstufigen Gleichstromtrockner zu ermöglichen, wurden die mit diesem Verfahren ermittelten Trocknungskennwerten [24] zusätzlich in die Tafeln eingetragen.

Aus **Tafel 3** und **4** ist ersichtlich, daß durch die Kombination von Gleichstrom- und Gegenstromverfahren bei der Brotgetreidetrocknung eine Leistungssteigerung gegenüber der einstufigen Gleichstromtrocknung zwischen 20 und 50 %, bei der Trocknung von Futtermais zwischen 20 und 100 % erzielt werden konnte. Insbesondere bei der Trocknung von Mais wirkten sich die Vorteile der Gleichstrom-Gegenstromtrocknung im Hinblick auf Trocknungsleistung und Energiebedarf aus. Außerdem wurde festgestellt, daß die ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Körner bei dem kombinierten Verfahren nicht über die zulässigen Grenzwerte [4] hinaus beeinträchtigt wurden.

Die Versuche zeigten weiter, daß bei der Futtermastrocknung die Temperatur der Trocknungsluft in der Gegenstromzone 80 bis 120 K niedriger liegen sollte als in der Gleichstromzone, um die Qualität nicht zu beeinträchtigen. Bei der Brotgetreidetrocknung empfiehlt es sich dagegen, die Trocknungslufttemperatur in der Gegenstromzone etwa gleich hoch einzustellen wie in der Gleichstromzone. Dies kann damit begründet werden, daß im Gegensatz zu Futtermais Brotgetreide bei niedrigem Feuchtegehalt einer wesentlich höheren thermischen Belastung ausgesetzt werden kann als bei hoher Gutfeuchte [33].

Die Werte für den spezifischen Wärmebedarf konnten bei dem kombinierten Trocknungsverfahren um 10–20 % gegenüber der Gleichstromtrocknung vermindert werden und liegen deutlich unter denen handelsüblicher Getreide- und Maistrockner ($q = 5000–6500 \text{ kJ/kg H}_2\text{O}$ [1]). Der mechanische Energiebedarf konnte insbesondere bei der Weizentrocknung reduziert werden, während sich bei der Trocknung von Mais keine Einsparungen erzielen ließen.

Die Gleichmäßigkeit der Trocknung ist sowohl bei Weizen als auch bei Mais, gemessen an den Richtlinien der DLG-Prüfung, als sehr gut zu bezeichnen.

Der Verlauf von Luft- und Korntemperatur sowie des Feuchtegehaltes der Körner in den einzelnen Trocknungs-zonen ist in **Bild 7** beispielhaft für die Weizen- und Maistrocknung dargestellt. Aus **Bild 7** ist ersichtlich, daß in der Vorwärmzone nur eine geringfügige Reduzierung des Feuchtegehalts der Körner erzielt werden kann, da ein Teil der Luftfeuchte auf den kalten Körnern wieder kondensiert. Dieser Kondensationseffekt wirkt sich auf die Trocknung in der nachfolgenden Gleichstromzone vorteilhaft aus. Die an der Oberfläche der um etwa 20 K erwärmten Körner angelagerte Feuchte kann mit geringem Energiebedarf verdampft werden, wobei gleichzeitig infolge der Verdunstungskühlung die Körner vor einer zu hohen thermischen Belastung geschützt werden. Die für einen schonenden Feuchteentzug maßgebliche Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur der Trocknungsluft beim Eintritt in die Gleichstromzone und der maximalen Korntemperatur liegt bei der Maistrocknung in der Größenordnung von 90 K, bei der Trocknung von Weizen dagegen bei lediglich 20 K. Das bedeutet, daß Mais mit wesentlich höheren Temperaturen getrocknet werden kann als Brotgetreide. Insofern wirken sich die Vorteile des kombinierten Verfahrens in erster Linie bei der Trocknung von Futtermais aus.

¹⁾ Die Aminosäureanalysen und Tierversuche wurden von Prof. W. Huß am Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim, die mahl- und backtechnischen Untersuchungen von Prof. L. Wassermann im Versuchslabor der Fa. Eiselen Vater und Sohn, Neu Ulm, durchgeführt.

			Gleichstrom	Gleichstrom-Gegenstrom											
Gleichstrom															
Temp. der Trocknungsluft	ϑ_{L1}	°C	60	70	70	80	80	80	80	80	80	90	90	100	
Luftgeschwindigkeit	v_{L1}	m/s	1,0	0,5	0,67	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,67	0,5	
Gegenstrom															
Temp. der Trocknungsluft	ϑ_{L4}	°C	—	90	90	60	60	60	80	80	70	70	60		
Luftgeschwindigkeit	v_{L4}	m/s	—	0,5	0,33	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,33	0,5		
Anfangsfeuchtegehalt	U_1	%	21	17,2	16,7	21,8	18,9	15,9	19,9	16,4	17,0	16,7	20,3		
Endfeuchtegehalt	U_2	%	14	13,9	13,4	13,3	15,3	13,5	15,4	13,6	13,7	12,9	15,6		
Leistung															
Trockengutdurchsatz	\dot{m}_{K2}	kg/m ² h	466,3	1200	1086	4,67	1080	1280	1000	1160	1213	1233	1000		
Entzogene Wassermenge	$\Delta\dot{m}_w$	kg/m ² h	39,4	47,3	43,1	50,7	48,0	35,7	56,1	38,9	48,0	56,3	58,4		
Leistungsziffer	n	—	1,00	1,20	1,10	1,29	1,22	0,91	1,43	0,99	1,22	1,43	1,48		
Energiebedarf															
Spez. Wärmebedarf	q	kJ/kg	4060	3705	3880	3425	3780	5150	4005	4875	3815	3655	3955		
Spez. Luftbedarf	l	kg/kg	92,3	73,4	81,5	70,0	73,5	98,5	63,1	89,0	73,5	61,2	59,3		
Spez. mech. Energiebedarf	e	kWh/kg	0,30	0,031	0,038	0,032	0,032	0,050	0,032	0,036	0,030	0,031	0,027		
Gleichmäßigkeit															
Max. Feuchtedifferenz	ΔU_{max}	%	1,1	0,7	0,2	0,8	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,3	0,4		
Standardabweichung	s	%	5,12	1,88	0,97	3,46	1,01	1,73	1,81	1,86	1,25	1,12	1,07		
Qualität															
Keimfähigkeit	K/K ₁	%	100	94	98	71	98	83	82	100	100	98	74		
Mahlausbeute	M/M ₁	%	100	100	98,6	94,6	91,5	100	98,7	100	100	100	95,5		
Feuchtklebergehalt	F/F ₁	%	98,5	100	100	100	98,8	98,8	81,4	100	100	100	84,4		
Spez. Backvolumen	v/v ₁	%	99,6	100	87,8	96,4	86,7	93,8	86,6	100	92,1	100	84,1		

Tafel 3. Zusammenstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse bei der Gleichstrom-Gegenstromtrocknung von Weizen im Vergleich zur Gleichstromtrocknung.

			Gleichstrom	Gleichstrom-Gegenstrom										
Gleichstrom														
Temp. der Trocknungsluft	ϑ_{L1}	°C	200	175	200	200	200	220	200	200	220	240	240	
Luftgeschwindigkeit	v_{L1}	m/s	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Gegenstrom														
Temp. der Trocknungsluft	ϑ_{L4}	°C	—	120	120	160	200	120	100	120	100	100	120	
Luftgeschwindigkeit	v_{L4}	m/s	—	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Anfangsfeuchtegehalt	U_1	%	43	41,1	44,3	44,2	44,2	44,2	35,1	34,8	35,3	33,5	32,5	
Endfeuchtegehalt	U_2	%	14	13,9	17,4	18,1	15,2	17,4	14,1	14,4	15,3	17,3	15,4	
Leistung														
Trockengutdurchsatz	\dot{m}_{K2}	kg/m ² h	279	387	400	440	440	667	527	580	607	787	807	
Entzogene Wassermenge	$\Delta\dot{m}_w$	kg/m ² h	142,0	172,0	193,2	205,9	228,7	287,7	170,4	181,4	187,5	192,4	203,3	
Leistungsziffer	n	—	1,00	1,21	1,36	1,45	1,61	2,03	1,20	1,28	1,32	1,36	1,43	
Energiebedarf														
Spez. Wärmebedarf	q	kJ/kg	3860	3750	3655	3600	3510	3695	4250	4070	4025	4280	4055	
Spez. Luftbedarf	l	kg/kg	18,2	24,8	20,9	18,5	16,7	18,7	25,0	23,0	22,2	21,2	19,3	
Spez. mech. Energiebedarf	e	kWh/kg	0,008	0,01	0,009	0,008	0,008	0,015	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008	
Gleichmäßigkeit														
Max. Feuchtedifferenz	ΔU_{max}	%	1,6	1,8	2,3	2,6	1,5	2,2	0,9	2,1	1,5	1,3	2,0	
Standardabweichung	s	%	7,67	5,6	9,0	7,98	4,3	5,6	4,14	4,11	5,31	3,31	4,69	
Qualität														
Kornfarbe	X _K /X _{K1}	%	78,3	83,4	67,8	67,0	69,2	86,2	92,4	92,1	97,5	93,7	93,6	
Lysinggehalt	L/L ₁	%	86,5	90,2	92,3	97,6	91,6	97,9	91,9	100	90,5	100	97,6	
Biologische Wertigkeit	BW/BW ₁	%	—	—	—	93,1	94,7	100	—	—	—	—	—	
Wahre Verdaulichkeit	WV/WV ₁	%	—	—	—	100	100	97,8	—	—	—	—	—	

Tafel 4. Zusammenstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse bei der Gleichstrom-Gegenstromtrocknung von Mais im Vergleich zur Gleichstromtrocknung.

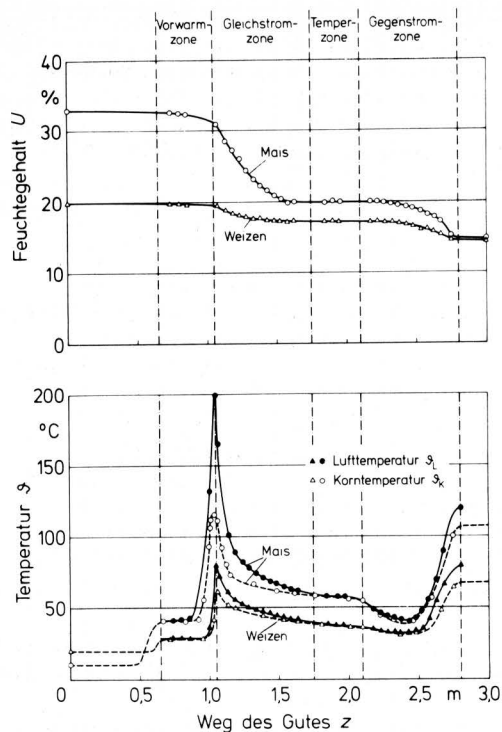


Bild 7. Darstellung eines experimentell ermittelten Verlaufs des Feuchtegehalts der Körner sowie der Luft- und Korn-temperatur in Abhängigkeit vom Weg des Gutes im Trockner bei der Gleichstrom-Gegenstromtrocknung.

Bild 7 zeigt weiter, daß mit der in den Körnern beim Verlassen der Gleichstromzone gespeicherten Wärmeenergie die Abluft aus der Gegenstromzone erwärmt wird. Außerdem liegt die Korn-temperatur beim Austritt der Körner aus der Gegenstromzone nur geringfügig unter der Temperatur der Trocknungsluft beim Eintritt in die Gegenstromzone. Die damit beim Verlassen der Gleichstrom- und der Gegenstromtrocknungszone in den Körnern gespeicherte Wärmeenergie kann bei der vorgegebenen Verfahrensführung nicht zum Feuchteentzug genutzt werden. Erfolgt allerdings eine Änderung der Verfahrensführung wie in Bild 8 dargestellt, so kann ohne großen technischen Aufwand Wärmeenergie in der Größenordnung von 20–30 % zurückgewonnen werden.

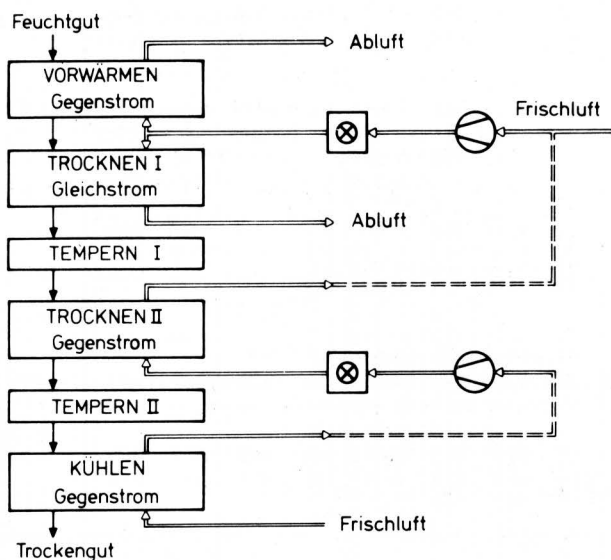


Bild 8. Blockschaltbild des Gleichstrom-Gegenstromtrockners mit Wärmerückgewinnung.

Da der Feuchtegehalt der erntefrischen Körner erheblichen Schwankungen unterworfen ist, wurden für Durchlauf-trockner automatische Regeleinrichtungen entwickelt, mit denen der Trocknungsprozeß über den Gutdurchsatz so geregelt wird, daß das Gut den Trockner mit konstantem Feuchtegehalt verläßt. Die bisherigen Entwicklungen befriedigen allerdings noch nicht, da unabhängig davon, ob die Regelung über den Endfeuchtegehalt der Körner, die Korn-temperatur oder die relative Feuchte der Abluft erfolgt, ein Regelein-griff sich erst nach längerer Zeit auf den Trocknungsprozeß aus-wirkt.

Bei den Versuchen mit dem Gleichstrom-Gegenstromtrockner konnte ein linearer Zusammenhang zwischen der Temperatur der Abluft aus der Gleichstromzone und dem Feuchtegehalt der Körner beim Austritt aus der Gleichstromzone ermittelt werden, siehe Bild 9. Durch die Verwendung der einfach erfassbaren Ablufttemperatur als indirekte Meßgröße für den Feuchtegehalt der Körner nach der Gleichstromzone kann über eine Steuerung der Tempe-ratur der Trocknungsluft in der Gegenstromzone so zeitig in den Trocknungsprozeß eingegriffen werden, daß ein konstanter vorgegebener Feuchtegehalt der Körner am Trocknerende erreicht wird.

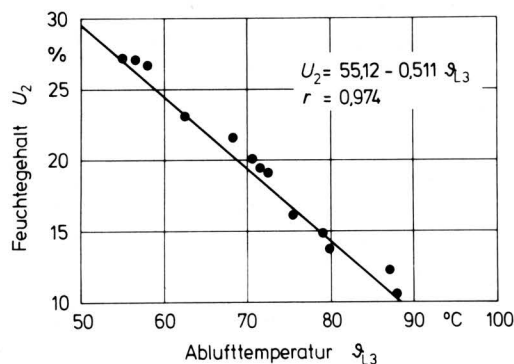


Bild 9. Zusammenhang zwischen der Temperatur der Abluft aus der Gleichstromtrocknungszone und dem Feuchtegehalt der getrockneten Körner bei der Gleichstrom-Gegenstromtrocknung von Mais.

Anfangsfeuchtegehalt der Körner $U_1 = 32-45 \%$
 Eintrittstemperatur der Trocknungsluft in die Gleichstromzone $\theta_{L1} = 200-240 \text{ } ^\circ\text{C}$
 Luftgeschwindigkeit $v_L = 1,0 \text{ m/s}$

7. Zusammenfassung

Die Anpassung der Leistungsfähigkeit von Durchlauf-trocknern an die Kapazität der Erntemaschinen ist dringend erforderlich, um qualitative und quantitative Verluste bei der Getreide- und Mais-trocknung zu verhindern.

Durch Kombination von Gleichstrom- und Gegenstromtrocknung wurde versucht, die verfahrensbedingten Nachteile der Einzelver-fahren auszugleichen und die Trocknungsleistung bei gleichzeitiger Reduzierung des Energiebedarfs zu steigern. Versuche mit einem Modelltrockner in halbtechnischem Maßstab zeigten, daß sowohl Brotgetreide als auch Futtermais selbst bei hohen Erntefeuchtege-halten der Körner in einem Durchgang auf lagerfähigen Zustand getrocknet werden können, ohne daß eine Beeinträchtigung der Qualität des Trocknungsgutes erfolgt. Die Trocknungsleistung konnte gegenüber dem einstufigen Gleichstromtrockner wesent-lich gesteigert werden, wobei sich die Vorteile des Gleichstrom-Gegenstromverfahrens insbesondere bei der Trocknung von Mais mit Feuchtegehalten über 40 % auswirkten. Sowohl der spez. Wärmebedarf als auch der spez. mechanische Energiebedarf lagen weit unter den Werten handelsüblicher Durchlauf-trockner. Weitere Verbesserungen der Energieausnutzung können durch den Einbau eines Wärmerückgewinnungssystems erzielt werden, das sich mit einfachen technischen Mitteln realisieren läßt.

Eine Steuerung des Trocknungsprozesses ist unmittelbar über die Temperatur der Trocknungsluft in der Gegenstromzone möglich; als indirekte Meßgröße für den Feuchtegehalt der Körner vor der Gegenstromzone kann die Ablufttemperatur der Gleichstromzone herangezogen werden.

Verwendete Formelzeichen

BW	Biologische Wertigkeit
e	Spezifischer mechanischer Energiebedarf
F	Feuchtklebergehalt
h_L	Spezifische Enthalpie der Luft
K	Keimfähigkeit
l	Spezifischer Luftbedarf
L	Lysingehalt
\dot{m}_{K2}	Trockengutdurchsatz
\dot{m}_L	Luftdurchsatz
\dot{m}_s	Trockenmassedurchsatz
Δm_w	entzogene Feuchtemasse
M	Mahlausbeute
n	Leistungsziffer
q	Spezifischer Wärmebedarf
\dot{Q}	Wärmestrom
s	Standardabweichung
U	Feuchtegehalt der Körner, bezogen auf feuchte Gesamtmasse
v	Spezifisches Backvolumen
v_L	Luftgeschwindigkeit
WV	Wahre Verdaulichkeit
x_L	Feuchtegrad der Luft
X	Feuchtegrad der Körner, bezogen auf die Masse der Trockensubstanz
X_K	Normfarbwert der Körner
z	Weg des Gutes im Trockner
ϑ_K	Korntemperatur
ϑ_L	Lufttemperatur
$\bar{\rho}_L$	mittlere Dichte der Luft
φ_L	relative Feuchte der Luft
η	Gesamtwirkungsgrad von Gebläse mit Antriebsmotor

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Isaacs, G.W. u. W. Mühlbauer:* Möglichkeiten und Grenzen der Energieeinsparung bei der Körnermaistrocknung. Landtechnik Bd. 30 (1975) Nr. 9, S. 397/401.
- [2] *Thompson, T.L., G.H. Forster u. R.M. Peart:* Comparison of concurrent-flow, crossflow and counterflow grain drying methods. Market Research Report (1969) 841, USDA: Washington, D.C.
- [3] *Bakker-Arkema, F.W., B.B. Brooker u. G.W. Hall:* Comparative evaluation of crossflow and concurrent-flow grain dryers. ASAE-Paper Nr. 72-849 (1972), Am.Soc.Agr. Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [4] *Mühlbauer, W.:* Untersuchungen über die Trocknung von Körnermais unter besonderer Berücksichtigung des Gleichstromverfahrens. Forschungsbericht des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft zur Förderung der Agrartechnik, Frankfurt, 1974, Heft 1, im Selbstverlag des Verfassers, Lehrstuhl für Landtechnik, Universität Hohenheim.
- [5] *Mühlbauer, W.:* Recherches sur le séchage du maïs-grain et étude d'un dispositif de séchage a co-courants. Etude Nr. 415, C.N.E.E.M.A., Anthony (Frankreich), 1976.
- [6] *Gygax, R.A., A. Diaz u. F.W. Bakker-Arkema:* Comparison of commercial crossflow and concurrent-flow dryers with respect to grain damage. ASAE-Paper Nr. 74-3021 (1974), Am.Soc.Agr.Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [7] ● *Kneule, F.:* Das Trocknen. Aarau/Frankfurt: Verlag Sauerländer 1975.
- [8] ● *Krischer, O.:* Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1969.
- [9] ● *Maltry, W., E. Pötke u. B. Schneider:* Landwirtschaftliche Trocknungstechnik. Berlin: VEB-Verlag Technik 1975.
- [10] *Graham, D.L.:* Concurrent-flow grain dryer design study and proposal. Special Report, M.a.W. Gear Co.: Gibson City, IL. 1970.
- [11] *Anderson, R.J.:* Commercial concurrent-flow heating-counterflow cooling grain dryer-Anderson model. ASAE-Paper Nr. 72-846 (1972), Am.Soc.Agr.Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [12] *Westelaken, C.M.:* Concurrent-flow commercial grain dryers - The Westelaken model. ASAE-Paper Nr. 77-3016 (1977), Am.Soc.Agr.Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [13] *Bakker-Arkema, F.W., D.M. Farmer u. L.E. Lerew:* Optimum grain dryer design through simulation. International Symposium on the Preservation of Wet Harvested Grains, Paris, 1973.
- [14] *Baughman, G.R., H.J. Barre u. M.Y. Hamdy:* Experimental study and simulation of concurrent-flow dryers. Trans. ASAE Bd. 16 (1973) Nr. 4, S. 890/94.
- [15] *Farmer, D.M., F.W. Bakker-Arkema, S.F. Deboer u. M.G. Roth:* Simulation and optimal design for commercial concurrent-counterflow grain dryer - The Anderson model. ASAE-Paper Nr. 72-847 (1972), Am.Soc.Agr. Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [16] *Bakker-Arkema, F.W., A. Ahmadnia-Sokhansanj u. G. Green:* High temperature wheat drying. ASAE-Paper Nr. 77-3527 (1977), Am.Soc.Agr. Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [17] *Walker, L.P. u. F.W. Bakker-Arkema:* Energy efficiency in concurrent-flow rice drying. ASAE-Paper Nr. 78-3540 (1978), Am.Soc.Agr.Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [18] *Kalchik, S.J.:* Drying of soybeans in a pilot scale concurrent-flow grain dryer. MS Thesis Michigan State University (1977).
- [19] *Scheuermann, A. u. W. Mühlbauer:* Das Trocknungsverhalten von Einzelkornschichten von Körnermais bei hohen Lufttemperaturen. Grundl. Landtechnik Bd. 20 (1970) Nr. 1, S. 11/15.
- [20] *Hawk, A.L., R.T. Noyes, G.M. Westelaken, G.H. Foster u. F.W. Bakker-Arkema:* The present status of commercial grain drying. ASAE-Paper Nr. 78-3008 (1978), Am.Soc. Agr.Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [21] *Brook, R.C. u. F.W. Bakker-Arkema:* Design of multi-stage grain dryers using computer optimization. ASAE-Paper Nr. 77-3529 (1977), Am.Soc.Agr.Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [22] *Hoffmann, J.F.:* Sicherung der Getreideernte. Landwirtschaftl. Hefte Nr. 28 (1915) S. 25/27.

- [23] *Segler, G.*: Aktuelle technologische Fragen der Körnermaispromerktion. Vortrag Hohenheim, 1969.
- [24] *Mühlbauer, W., H. Kuppinger u. G.W. Isaacs*: The present status of commercial grain drying. Design and operating conditions of single-stage concurrent flow and two-stage concurrent-counter flow grain dryers. ASAE-Paper Nr. 78-3008 (1978), Appendix-B 2, Am.Soc. Agr.Engr., St. Joseph, Michigan (USA).
- [25] *Mc Kenzie, B.A., G.H. Foster, R.T. Noyes u. R.A. Thompson*: Dryeration — better corn quality with high speed drying. Cooperative Extension Service, AE-72, Purdue University, Lafayette, Indiana, 1972.
- [26] Anonym: Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. Mitteilung intern. Vereinig. Saatgutprüfung 31 (1966), S. 521/690.
- [27] *Seibel, W.*: Experimentelle Bestimmung der Mahlfähigkeit, ihrer Kriterien und Parameter in Europa. Getreide, Mehl und Brot Bd. 28 (1974) Nr. 7, S. 176/80.
- [28] •Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung: Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot. Detmold: Verlag Moritz Schäfer, 1971.
- [29] *Pelshenke, P.F.* et.al.: Der Rapid-Mix-Test als Standard-Backmethode für Weizen der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V., Detmold. Merkblatt Nr. 62 der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V., Detmold 1970.
- [30] *Mühlbauer, W., W. Huss u. H. Kuppinger*: Farbmetrische Schnellmethode zum Erkennen einer Proteinschädigung bei der Trocknung von Maiskörnern mit hohen Lufttemperaturen. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 4, S. 128/32.
- [31] *Moore, S.* et.al.: Chromatography of amino acids on sulfonated polystyrene resins. Anal. Chem. Bd. 30 (1958) S. 1185/90.
- [32] *Müller, R.*: Vorschrift zur Proteinbewertung in Versuchen an wachsenden Ratten. Zeitschr. Tierphys., Tierernährung und Futtermittelkunde Bd. 19 (1964) S. 305/308.
- [33] *Sprenger, J.J.*: Einige Aspekte der Getreide-Trocknungs-Anlagen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Verwendbarkeit für die verschiedenen Arten landwirtschaftlicher Produkte. O.E.E.C-Bericht über die Studientagung über Getreidetrocknung, ... vom 3.9 bis 3.10.1953, S. 27/34.

Notizen aus Forschung, Lehre, Industrie und Wirtschaft

Kolloquium "Humanisierung der Arbeit in der Landwirtschaft" der FAL am 7. November 1979

Abgestimmt auf die Jahrestagung der VDI-Fachgruppe Landtechnik, veranstaltet die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft am 7. Nov. 1979 ein Kolloquium "Humanisierung der Arbeit in der Landwirtschaft", das einen Statusbericht zu diesem Schwerpunktprogramm der FAL darstellt. Die Themen und die Berichtserstatter sind der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Programm

1. Begrüßung

2. Einführung

- 2.1 Merkmale der Arbeit in der Landwirtschaft (*Schön*)
 2.2 Ziele des Forschungsschwerpunktes (*Batel*)

3. Ergonomische Bewertung von Arbeitssystemen — Merkmale, Methoden und Verfahren —

- 3.1 Einführung (*Schön/Thomé*)
 3.2 Physiologische Größen zur Beurteilung von Belastung und Beanspruchung (*Jahns/Thomé*)
 3.3 Arbeitswissenschaftliche Skalierungsverfahren (*Thomé*)
 3.4 Arbeitsplatzsimulator als methodisches Hilfsmittel (*Jahns*)

4. Belastungen aus den Tätigkeiten und den Umgebungsbedingungen am Arbeitsplatz und Entlastung über Maßnahmen am Betriebsmittel

- 4.1 Einführung
 4.2 Tätigkeiten am Arbeitsplatz
 Entlasten durch Automatisieren (*Jahns*)
 Entlasten durch Einsatz von Elektronik (*Speckmann*)
 4.3 Luftfremde Stoffe
 Notwendigkeit, Theorie der Wirkung und Bewertung von Staubschutzmaßnahmen (*Batel/Krause*)
 Belastung beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln (*Batel*)

- Messen der Konzentration von Pflanzenbehandlungsmitteln in der Atemluft (*Ellwardt*)
 Ausbreitung von Schadstoffen in der Luft am Arbeitsplatz (*Krause*)
 Geruchsstoffbelastung und -bekämpfung (*Mejer*)
 Keim- und Staubbelastung in Tierställen (*Matthes*)
 Staubbelastung und -bekämpfung in ortsfesten Anlagen (*Hinz*)
 4.4 Klima
 Einfluß des Klimas auf die Arbeitsdurchführung (*Jahns/Janssen/Thomé*)
 Klimabelastung auf Schleppern und Mähdreschern und Maßnahmen zur Klimagestaltung (*Batel/Janssen/Möller*)
 4.5 Schwingungen
 Schwingungsbelastung auf Schleppern und anderen fahrenden Arbeitsmaschinen (*Graef*)
 4.6 Lärm
 Lärmbelastung auf Schleppern und Mähdreschern und Beanspruchung des Fahrers durch Infraschall (*Witte*)
 5. Verbesserung der Arbeitsbedingungen durch bauliche und betriebstechnische Maßnahmen
 5.1 Bauliche Maßnahmen (*Piotrowski*)
 5.2 Betriebstechnische Maßnahmen (*Schön*)

Der Zeitplan sieht vor, die Punkte 1 bis 3 von 9.30 Uhr bis 12.30 Uhr, die Punkte 4 und 5 von 13.30 Uhr bis 17.30 Uhr zu behandeln.
 Diskussionen werden jeweils zusammengefaßt nach Abschluß der entsprechenden Themenbereiche durchgeführt. Im Anschluß an das Kolloquium ist ab 18.00 Uhr ein geselliges Beisammensein geplant.