

Lagerfestmachung von Getreidekorn durch Trocknung und Kühlung im Unterdruck-Verbund-Verfahren

Von Kurt J. Menning, Berlin

Um Getreide lagerfest zu machen, genügen das Trocknen auf einen mittleren Endfeuchtegehalt einer Trocknerfüllung und das Kühlen auf eine gewünschte Endtemperatur allein nicht. In dem Unterdruck-Verbund-Verfahren des Verfassers werden die Körner in einer Verbunddrehtrommel regenartig aufgeteilt, wobei jedes einzelne Korn von dem Trocken- bzw. Kühlmittel allseitig umspült wird. Dabei wird der entstehende Brüden im Augenblick des Entstehens abgeführt, wodurch jede Bildung von Kondensat und damit Entstehen von Wärmenestern und Schimmelbildung vermieden werden.

Die physikalischen Eigenschaften des Getreidekorns und dessen Lagerfähigkeit hängen zum großen Teil von dem Klimazustand während der Ernte und nach dem Dreschen ab. Nur selten ergeben sich, wenn das Korn den endgültigen Reifezustand erreicht hat, auch die idealen Wetterverhältnisse. Häufig wird durch plötzliche Wetterverschlechterung und plötzliche Regengüsse sowohl die Oberfläche als auch das Korninnere eine Zunahme der Feuchtigkeit erfahren. Das wirkt sich um so ungünstiger aus, je länger eine Zwischenlagerung bis zur endgültigen Lagerfestmachung verstreicht. Die Schäden, die allein in der Bundesrepublik an der Kornenernte in jedem Jahr entstehen, gehen in die Millionen.

Das Ziel muß sein, um eine Wertverminderung, wenn nicht sogar eine Vernichtung des Kornes zu vermeiden, das Getreide möglichst unmittelbar nach dem Drusch bzw. nach Empfang bei der Lagerstelle wirklich lagerfest zu machen. Dazu gehört nicht nur das Trocknen des gesamten Getreides auf den günstigsten Endfeuchtegehalt, sondern auch die Kühlung auf die günstigste Lagertemperatur und die gleichzeitige Entwässerung. Dabei kommt es nicht darauf an, daß durchschnittliche Werte erfüllt sind, sondern daß jedes einzelne Korn einen gleichmäßigen Endzustand bis in den innersten Kern sowohl in bezug auf die Temperatur als auch in bezug auf den Endfeuchtegehalt erhält, so daß die Bildung von Wärmenestern und die dadurch entstehenden Schäden ausgeschlossen werden [7]. Hierbei spielt es eine große Rolle, auf welche Art und mit welchem Behandlungsmittel dieser Endzustand erreicht wird.

Das Ziel der Trocknung muß sein, jedes einzelne Korn in gleicher Weise und in gleicher Menge und gleicher Zeitdauer mit dem Trockenmittel in Kontakt zu bringen, und in gleicher Weise auch bei der Kühlung und Entwässerung des bereits getrockneten Kornes zu verfahren, um die Gewähr zu haben, daß jedes einzelne Korn bis in das Korninnere die gleiche Temperatur und den gleichen Endfeuchtegehalt erreicht.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik gibt es bereits eine große Anzahl der verschiedensten Geräte, von den einfachsten Förderbändern, Trogkettenförderern, Siebkettenförderern, Jalousietrocknern, Kaskadentrocknern, Kammer- bzw. Zellentrocknern und Silotrocknern bis zu den Vakuumtrocknern. Bei all diesen Geräten befindet sich das Gut in geschichteten Haufen, die zwar zum Teil umgewälzt, meist aber nur sehr langsam umgeschichtet werden, wobei aber immer nur ein Teil der Oberfläche eines Teiles der Körner von dem gasförmigen Trockenmittel unmittelbar berührt werden kann und ein Teil des Gutes, vor allem in den Ecken und Rillen nur zu erheblich kleinerem Anteil, zum Teil zeitweise so gut wie gar nicht behandelt wird.

Bei allen Trocknungsgeräten, bei denen geschichtete Haufen vorliegen, sucht sich das Trockenmittel immer den Weg des

geringsten Widerstandes. Es bilden sich Kanäle geringeren Luftwiderstandes, die sich allmählich erweitern, so daß die abseits dieser Kanäle liegenden Gutsteilchen nicht von dem Trockenmittel berührt werden. Natürlich wechseln diese Kanäle im Inneren des geschichteten Haufens ihre Lage, Größe und Anzahl, die Ungleichmäßigkeit der Trocknung bleibt aber bestehen. Dies trifft auch für das Kühlen und Entwässern zu. Bei diesen genannten Geräten ist meist atmosphärische Luft das Trocken- oder Kühlmittel, so daß dabei wenigstens der erforderliche Kontakt mit Luft zum Teil aufrechterhalten wird.

Auf das Vakuumverfahren trifft das gleiche, wenn auch in anderem Maße, zu. Da immer nur ein kleiner Teil der Körner die in den einzelnen Kammern liegenden Heizrohre berührt, erfahren diese eine größere Wärmeaufnahme als der mitten im Haufen des Gutes liegende größere Teil.

Wenn auch im praktischen Betrieb auf diese Weise der erwünschte Endfeuchtegehalt und die gewünschte Endtemperatur erreicht werden, so handelt es sich dabei aber immer nur um Durchschnittswerte, die an der verschroteten Probe festgestellt werden. Diese Tatsache schließt nicht aus, daß sich später im Silo, wie die Praxis zeigt, Wärmenester bilden mit den bekannten nachteiligen Folgen.

Da das in den Silos liegende Getreide mit den zur Zeit vorhandenen Trockengeräten nicht hundertprozentig lagerfest gemacht werden kann, sind in den einzelnen Lagerzellen kostspielige und umfangreiche Kontrollmaßnahmen erforderlich, die laufend durchgeführt werden müssen. Trotzdem kommt es immer wieder vor, daß ganze Silos durch Aufpulverung der Wärmenester und Entwicklung der Kornkäferlarven usw. geleert, entgast, evtl. befeuchtet und neu getrocknet werden müssen.

Eine wirklich gleichmäßige Behandlung aller einzelnen Körner wird erfahrungsgemäß am einfachsten in einer Drehtrommel mit Rieseleinbau erreicht, **Bild 1**. Durch das dauernde Abrieseln und Durchmischen im Strom des Behandlungsmittels wird praktisch jedes einzelne Kornteilchen gleich lange, mit gleicher Temperatur und mit gleicher Menge des Behandlungsmittels getrocknet, gekühlt und entwast.

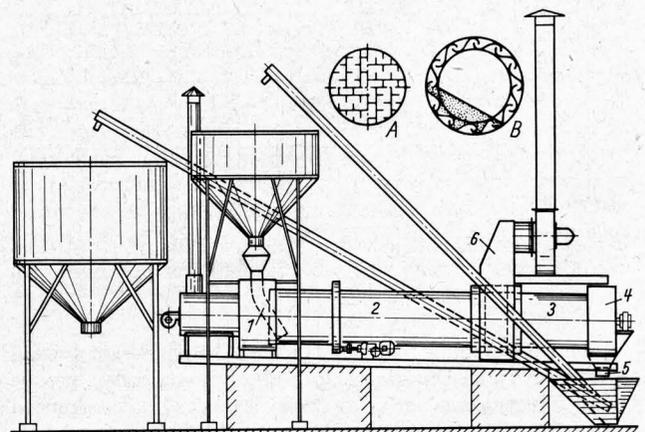


Bild 1. Gleichstrom-Gegenstrom-Verbundtrommel für normale Durchsatzleistung von 2,5 t/h.

- 1 Feuchtgutschurre
- 2 Gleichstromteil
- 3 Gegenstromteil
- 4 Ausfallgehäuse
- 5 Trockengutschurre
- 6 Luftauslaßgehäuse

A Schnitt der Trommel mit dem Rieseleinbau

B Schnitt der Trommel an der Stelle des Luftabsaugkastens 6 zwischen Trocken- (Gleichstrom) und Kühlteil (Gegenstrom)

Dipl.-Ing. Kurt J. Menning VDI ist Bergwerksdirektor i. R. und von der Industrie- und Handelskammer zu Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Maschinen und Maschinenteile der Braunkohlen-Industrie.

Daß tatsächlich bei der Drehtrommel mit Rieseleinbau jedes einzelne Gutsteilchen in jeder Phase des Behandlungsvorganges genau die gleichen Eigenschaften hat, ist seit Jahrzehnten aus der Braunkohlen-Brikettierindustrie bekannt. So wurden von der Bergakademie Freiberg/Sachsen eingehende langjährige Versuche gemacht mit dem Ergebnis, daß das Gleichstrom-Gegenstrom-Verbundverfahren System „Menning“ nicht nur am fortschrittlichsten, sondern auch am vollkommensten ist und bei Neubau von Brikettfabriken ausschließlich dieses Verfahren in Frage kommt.

Bei den bisher in der Trocknung von Massengütern gemachten Erfahrungen (wie z. B. Trocknung von Kohle, Kalkstein, Koks, Kreide, nassem Ton usw. [1 bis 4]) handelt es sich um homogene Stoffe im Gegensatz zum Getreidekorn, das aus mehrschichtiger fester Schale und weichem Innenkern besteht, und bei dem, z. B. in bezug auf die Erhaltung der Keimfähigkeit, besondere physikalische und chemische Einflüsse berücksichtigt werden müssen.

All diesen Umständen wird durch das Unterdruckverfahren in einer Verbunddrehtrommel mit Rieseleinbau Rechnung getragen, und zwar dadurch, daß der Dampfteildruck im Korninneren gegenüber dem Druck im Trommelinneren über das Maß des für die Förderung des Trockenmittels notwendigen Unterdrucks hinaus erheblich erhöht wird, so daß durch die Druckdifferenz eine wesentliche Steigerung des Feuchtigkeits- und Wärmeaustausches erreicht wird.

Das Verfahren der Unterdrucktrocknung kommt dem Trockenvorgang in der Natur auf dem Feld am nächsten. Ebenso wie der entstehende Brüden auf dem Halm durch die immerwährende, wenn auch geringe Windgeschwindigkeit in statu nascendi abgeführt wird, geschieht dies auch beim Unterdruckverfahren, sowohl beim Trocknen als auch beim Kühlen und Entwasen.

Beim Unterdruckverfahren des Verfassers gelangt das lagerfest zu machende Gut am Einfallende zusammen mit der erhitzten Luft in die Verbunddrehtrommel, wo es im Gleichstrom getrocknet wird. Während das Korn in gleicher Richtung weiter bis zum Ausfallende durch die Trommel wandert, wird von diesem her die Kühlluft angesaugt und gemeinsam mit der Heißluft durch das Unterdruckgebläse abgesaugt. Dabei wird das Korn im Gegenstrom gekühlt und entwrast und auch der hierbei entstehende Wrasen in statu nascendi gemeinsam mit der Trockenluft abgesaugt. Gerade die sofortige Abfuhr des entstandenen Brüdens im Augenblick des Entstehens kann bei keinem anderen Verfahren in dieser gleichförmigen Vollkommenheit erreicht werden.

In der Trommelerweiterung angeordnete Sperrschaufeln verhindern das Ausfallen von Korn aus der Trommel, lassen dagegen die von beiden Enden her strömende Warm- und Kaltluft ungehindert durch. Die Luftgeschwindigkeit im Trommelinneren wird so gehalten, daß Staub, Abrieb, Schmutz, Spreu usw. mit dem Luftstrom ausgetragen werden, wodurch das Getreide zusätzlich noch gereinigt wird. In größeren bewohnten Orten kann gegebenenfalls zwischen der Trommel und dem Absauggebläse ein Trockenfliehkraftabscheider vorgesehen werden, so daß die Abluft praktisch so rein ist, daß sie auch den behördlichen Ansprüchen auf Reinhaltung der Luft entspricht.

Die Erwärmung der Luft kann durch einen Lufterhitzer jeder Art mit Heizöl oder Dampf, bei Kleinanlagen auch durch verbilligten elektrischen Strom erfolgen.

In Fällen, bei denen die Temperatur der zur Verfügung stehenden Kühlluft so hoch ist, daß sie zur Kühlung und Entwasung des getrockneten Gutes nicht mehr ausreicht, um die gewünschte Endtemperatur zu erreichen, ist es ohne weiteres möglich, auf einfache Weise durch einen vorgeschalteten, mit Wasser beschickten Luftkühler die Temperatur der Kühlluft auf das notwendige Maß herabzusetzen, so daß jederzeit die gewünschte vollkommene Lagerfestigkeit gesichert ist.

Ein weiterer Vorzug des Verfahrens besteht darin, daß alle Faktoren, die für die Behandlung des Gutes ausschlaggebend sind, wie Menge, Anfangs- und Endfeuchtegehalt, Behandlungsdauer usw., während des Betriebes allen praktisch vorkommenden Eigenschaften des Gutes auf einfachste Weise angepaßt werden können. Der Füllungsgrad und damit die Durchsatzmenge der

Trommel kann durch einfache Verstellung der Schwenkschur bis auf 1% Genauigkeit durch ein Handrad eingestellt werden. Hierzu werden keinerlei Absperrorgane wie Schieber, Klappen und dgl. benötigt, wobei der Vorgang der Füllung von außen her ohne technische Mittel beobachtet werden kann. Die Behandlungsdauer, die durch die Drehzahl der Trommel bestimmt wird, kann durch ein stufenlos regelbares Getriebe in weiten Grenzen eingestellt werden. Die Temperatur der Heißluft ist auf bekannte Weise durch Temperaturfühler den Eigenschaften des Gutes, wie Feuchtegehalt, Eintrittstemperatur, Wasserauftrocknungsgrad und ebenso der Art des Gutes (Braueigerste, Konsumweizen, Roggen, Mais, Saatgetreide) anzupassen.

Da das Getreidekorn ein organischer Körper ist, sind die aus wärmetechnischen Berechnungen möglichen Höchstwerte für die Temperatur des Trockenmittels, die die größte Wirtschaftlichkeit ergeben können, nicht immer zulässig. Vielmehr ist die Höchsttemperatur des Trockenmittels für das Getreide begrenzt, um die Backfähigkeit, Mahlfähigkeit, Keimfähigkeit usw. zu erhalten.

Bei dem Trocknungsvorgang im Gleichstromteil der Verbunddrehtrommel erfährt das Korn eine zunächst schnelle Temperaturzunahme, die sich allmählich verlangsamt, während das Trockenmittel zunächst eine schockartige, in der Folge sich immer mehr verlangsamte Temperaturabnahme erfährt, **Bild 2.**

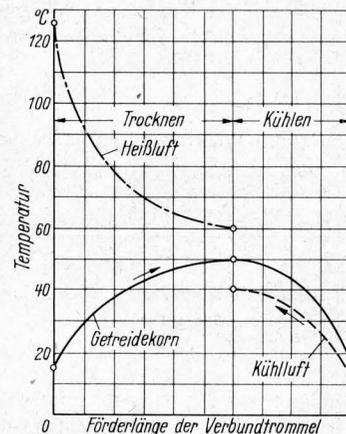


Bild 2. Temperaturverlauf in der Verbunddrehtrommel.

Das Korn ist daher seiner erreichten Höchsttemperatur nur wenige Minuten ausgesetzt und wird dann sofort im gleichen Arbeitsgang durch die im Gegenstrom zugeführte Kühlluft von seiner angenommenen fühlbaren Wärme wieder befreit und auf die endgültige Lagertemperatur abgekühlt und auch gleichzeitig vollkommen entwrast.

Daher braucht das Korn in der Trockenzone nicht bis auf den gewünschten Restfeuchtegehalt U_3 getrocknet zu werden, sondern nur auf einen etwa 1,5% höheren Endfeuchtegehalt U_2 . Er läßt sich aus der Nachtrocknung durch die fühlbare Wärme errechnen, die sich aus der erforderlichen Kühlluftmenge ergibt. Die Feuchtegehalte U stellen die Feuchtemasse bezogen auf die jeweilige Gesamtmasse dar nach

$$U = \frac{m_w}{m_w + m_s} \quad (1)$$

m_w Feuchtemasse
 m_s Trockensubstanzmasse.

Die Mengenergebnisse werden hier grundsätzlich auf 1 kg Fertiggut mit dem Restfeuchtegehalt U_3 bezogen, denn letzten Endes ist ja für den Verbraucher die Mengenangabe bezogen auf das Fertiggut maßgebend. Das ergibt gegenüber der häufig üblichen Beziehung auf 1 kg Naßgut scheinbar ungünstigere Ergebnisse, wie die nachstehende Tabelle zeigt, weil die Differenz an Wasserballast bereits ausgetrieben ist. Bei einem Anfangsfeuchtegehalt U_1 ergibt sich bei Trocknung von 1 kg Naßgut auf einen Restfeuchtegehalt von 14%:

$U_1 = 18\%$	22%	26%	30%
0,953	0,907	0,860	0,814 kg Trockenkorn

oder für 1 kg Trockenkorn werden bei den gleichen Anfangsfeuchtegehalten bei einer Trocknung auf 14% Restfeuchtegehalt

$$U_1 = \begin{array}{cccc} 18\% & 22\% & 26\% & 30\% \\ \hline 1,05 & 1,10 & 1,16 & 1,23 \end{array} \text{ kg Naßkorn benötigt.}$$

Bei einer Trocknung auf 16% Restfeuchtegehalt ergeben sich folgende Werte:

$$U_1 = \begin{array}{cccc} 18\% & 22\% & 26\% & 30\% \\ \hline 0,976 & 0,929 & 0,881 & 0,833 \end{array} \text{ kg Trockenkorn}$$

oder aus 1 kg Naßkorn

$$U_1 = \begin{array}{cccc} 18\% & 22\% & 26\% & 30\% \\ \hline 1,02 & 1,08 & 1,14 & 1,20 \end{array} \text{ kg Naßkorn}$$

für 1 kg Trockenkorn.

Bei der wärmetechnischen Berechnung einer Gleichstrom-Gegenstrom-Verbund-Trocken-, Kühl- und Nachtrocknungs- sowie Entwasungsanlage ist zu berücksichtigen, daß man zunächst von dem verlangten Restfeuchtegehalt U_3 ausgeht und als erstes den Feuchtegehalt U_2 am Ende des Trocknerteiles berechnet, um den Wärmearaufwand für die Trocknung ermitteln zu können.

Wärmebilanzen

Aus den Wärmebilanzen des Kühl- und Trocknungsteiles der Verbundtrommel ergeben sich die für die Auslegung interessierenden Größen.

Kühlteil der Trommel

Für die zur Kühlung und Entwasung erforderliche wasserfreie Luftmenge m'_{LK} in kg je kg lagerfest gemachtes Gut ergibt sich:

$$m'_{LK} = \frac{[c(1-U_3) + U_3 c_w](\vartheta_{2s} - \vartheta_{3s})}{(c_{2K} \vartheta_{2K} - c_{1K} \vartheta_{1K}) + (x_{2K} - x_{1K})(i_v - c_w \vartheta_{2s})} \quad (2)$$

Hierbei ist die Enthalpieänderung des Wasserdampfes wegen ihrer Geringfügigkeit vernachlässigt worden.

Bezeichnungen:

- m'_{LK} die zur Kühlung und Entwasung erforderliche wasserfreie Luft in kg je kg lagerfest gemachtes Gut
- c spezifische Wärme des wasserfreien Getreidekornes
- U_3 Restfeuchtegehalt des lagerfesten Gutes
- ϑ_{2s} Eintrittstemperatur des getrockneten Kornes in die Kühlzone
- ϑ_{3s} Austrittstemperatur des lagerfesten Gutes
- c_{1K} spezifische Wärme der Kühlluft beim Eintritt in die Trommel
- ϑ_{1K} Temperatur der Kühlluft beim Eintritt in die Trommel
- c_{2K} spezifische Wärme der Kühlluft beim Austritt aus der Trommel
- ϑ_{2K} Temperatur der Kühlluft beim Austritt aus der Trommel
- x_{1K} Feuchtegrad der Kühlluft am Eintritt in die Trommel
- x_{2K} Feuchtegrad der Kühlluft am Austritt aus der Trommel
- i_v Verdampfungswärme des Wassers bei 0°C
- c_w spezifische Wärme des Wassers.

Aus der errechneten Größe m'_{LK} berechnet man die im Kühlteil ausgetriebene Wassermenge m'_{WK} je kg Fertiggut zu

$$m'_{WK} = m'_{LK} (x_{2K} - x_{1K}) \quad (3)$$

Hieraus ergibt sich der Endfeuchtegehalt U_2 des Kornes am Ende des Trocknerteiles vor Eintritt in die Kühlzone zu

$$U_2 = \frac{U_3 + m'_{WK}}{1 + m'_{WK}} \quad (4)$$

Nachdem nunmehr auch der Endfeuchtegehalt U_2 bekannt ist, kann die Menge m'_{LT} der für die Warmlufttrocknung aufzuwendenden wasserfreien Luft je kg lagerfest gemachten Gutes errechnet werden.

Trocknungsteil der Trommel

Bei der Wärmebilanz für den Trocknungsteil der Trommel werden die Wärmeverluste am Trommelmantel sowie die Enthalpieänderung der dampfförmigen Wasseranteile vernachlässigt.

Damit ergibt sich für die erforderliche Heißluftmenge m'_{LT} in kg trockener Luft je kg lagerfest gemachtes Gut (Feuchtegehalt U_3):

$$m'_{LT} = \frac{1 - U_3}{1 - U_2} \times \frac{[c(1 - U_2) + c_w U_2] \vartheta_{2s} - \frac{1 - U_2}{1 - U_1} c(1 - U_1) + c_w U_1 + \frac{U_1 - U_2}{1 - U_1} i_v}{c_{1T} \vartheta_{1T} - c_{2T} \vartheta_{2T}} \quad (5)$$

Darin bedeuten:

- m'_{LT} zur Trocknung erforderliche Heißluft in kg trockener Luft je kg lagerfest gemachtes Gut
- U_1 Anfangsfeuchtegehalt des zu trocknenden Gutes
- ϑ_{1s} Eintrittstemperatur des Kornes in die Trockenzone
- ϑ_{2s} Austrittstemperatur des Kornes aus der Trockenzone vor Eintritt in die Kühlzone
- c_{1T} spezifische Wärme der Trockenluft beim Eintritt in die Trommel
- ϑ_{1T} Temperatur der Trockenluft beim Eintritt in die Trommel
- c_{2T} spezifische Wärme der Trockenluft beim Austritt aus der Trommel
- ϑ_{2T} Temperatur der Trockenluft beim Austritt aus der Trommel.

Die Trockenluft und die Kühlluft werden durch ein gemeinschaftliches Gebläse von der Einfall- bzw. Ausfallseite her durch die Trommel eingesaugt und etwa in der Mitte der Trommel wieder abgesaugt. Die Menge des Trockenluft- und Kühlluftgemisches errechnet sich aus der Wärmebilanz. Für die Gesamtenthalpie der austretenden Luftmenge je kg Fertiggut gilt

$$J_{ges} = J_K + J_T \quad (6)$$

- J_{ges} Wärmeinhalt des Luftgemisches in kcal/kg lagerfestes Gut
 - J_K Wärmeinhalt der Kühlluft in kcal/kg lagerfestes Gut
 - J_T Wärmeinhalt der Trocknungsluft in kcal/kg lagerfestes Gut
- oder:

$$J_{ges} = m'_{LK} c_{2K} \vartheta_{2K} + m'_{LT} c_{2T} \vartheta_{2T} \quad (7)$$

Der Restfeuchtegrad x_3 des Warmluft-Kühlluft-Gemisches errechnet sich aus:

$$x_3 = \frac{m'_{LK} x_{2K} + m'_{LT} x_{2T}}{m'_{LK} + m'_{LT}} \quad (8)$$

Nachdem x_3 bekannt ist, kann die spezifische Wärme des Abluftgemisches bestimmt werden, wenn dessen Temperatur bekannt ist. Dies kann nur festgestellt werden durch vorläufige Schätzung der Temperatur ϑ_3 , die dann mit c_3 multipliziert den Wert des bereits unter J_{ges} bekannten Wärmeinhaltes des Gemisches ergeben muß. Diese Berechnung ist notwendig, um den Taupunkt des Gemisches feststellen zu können, damit eine zu große Annäherung oder sogar Überschreitung des Taupunktes vermieden wird.

Das spezifische Volumen v_3 (Gesamtvolumen in m³ je kg trockner Abluft) errechnet sich aus

$$v_3 = \frac{R_D T_3}{P} (0,622 + x_3) \quad (9)$$

- R_D Gaskonstante von Wasserdampf (47,1 mkp/kg °K)
- T_3 absolute Temperatur des Abluftgemisches in °K ($T_3 = \vartheta_3 + 273^\circ$)
- P Gesamtdruck ($\approx 10\,000$ kp/m²)

0,622 Verhältnis der Molekulargewichte von Dampf und Luft.

Das trockne Abluftvolumen je kg Fertiggut ergibt sich hieraus zu:

$$V_3 = v_3 (m'_{LT} + m'_{LK}) \quad (10)$$

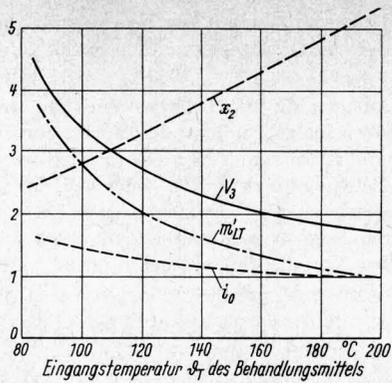


Bild 3. Die verschiedenen Faktoren bei einer Trocknung des Getreides von 18% auf 14% Feuchtegrad.

- m'_{LT} Luftmenge in kg Heißluft/kg Endprodukt
- x_2 Feuchtegrad der Heißluft am Ende des Trocknteils in 10^{-2} kg Wasser/kg Trockenluft zur Beurteilung der Taupunktverhältnisse
- V_3 Abluftgemisch-Volumen in m^3 /kg Endprodukt
- i_0 Wärmeverbrauch in 10^3 kcal/kg aufgetrocknetes Wasser

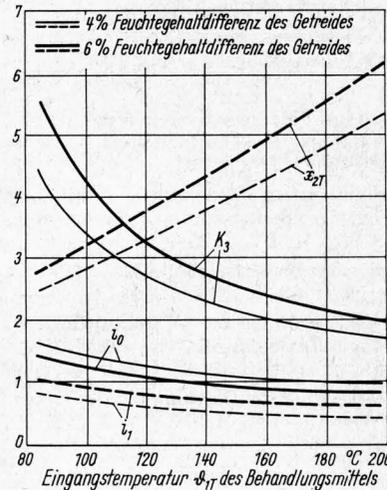


Bild 4. Gegenüberstellung derselben Faktoren wie in Bild 3 bei einer Trocknung von 18% auf 14% und einer Trocknung von 20% auf 14% Feuchtegrad des Gutes.

- V_3 Abluftgemisch-Volumen in m^3 /kg Endprodukt
- i_0 Wärmeverbrauch in 10^3 kcal/kg aufgetrocknetes Wasser
- i_1 Wärmeaufwand in 10^2 kcal/kg Endprodukt
- x_{2T} Feuchtegrad der Heißluft in 10^{-2} kg Wasser/kg Trockenluft

Für die Berechnung der Leistungsdaten einer Trockenanlage werden, um eine klare Übersicht über die verschiedenen Verhältnisse zu erreichen, denen sich die Anlage anpassen muß, die einzelnen Daten in Schaubildern und Kurven dargestellt. Darin ist berücksichtigt, daß 1. die *Behandlungsdauer* einfach durch stufenlose Veränderung der Drehzahl der Trommel eingestellt werden kann, daß 2. die *Durchsatzmenge* von dem Füllungsgrad abhängig ist und durch Verstellung der Schwenkschurre ebenfalls leicht geändert werden kann, und daß 3. die *Eintrittstemperatur* des Trockenmittels auf bekannte Weise leicht zu regulieren ist.

Dagegen wird die Gebläseleistung konstant gehalten, einmal, um die Luftgeschwindigkeit in der Trommel und den Unterdruck gleichmäßig aufrecht zu erhalten, zum zweiten, um eine Beinträchtigung des Abscheidungsgrades einer etwa angeschlossenen Entstaubungsanlage zu vermeiden.

In **Bild 3** sind die verschiedenen Faktoren, bezogen auf 1 kg Endprodukt, dargestellt bei einer Aufrocknung von 18 auf 14%,

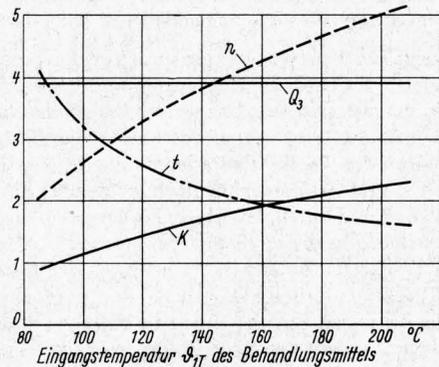


Bild 5. Durchsatzleistung K , Abluftmenge Q_3 , Trommeldrehzahl n und Behandlungsdauer t bei einer Anlage mit einer Durchsatzleistung von 15 t/h bei einer Trocknung des Gutes von 18% auf 14% Feuchtegrad.

- n Trommeldrehzahl in $2 \cdot 10^6$ U/min
- Q_3 Abluftgemisch-Volumen in 10^4 m^3 /h
- K Fertigtgtdurchsatz in 10^1 t/h
- t Behandlungsdauer in 10^1 min

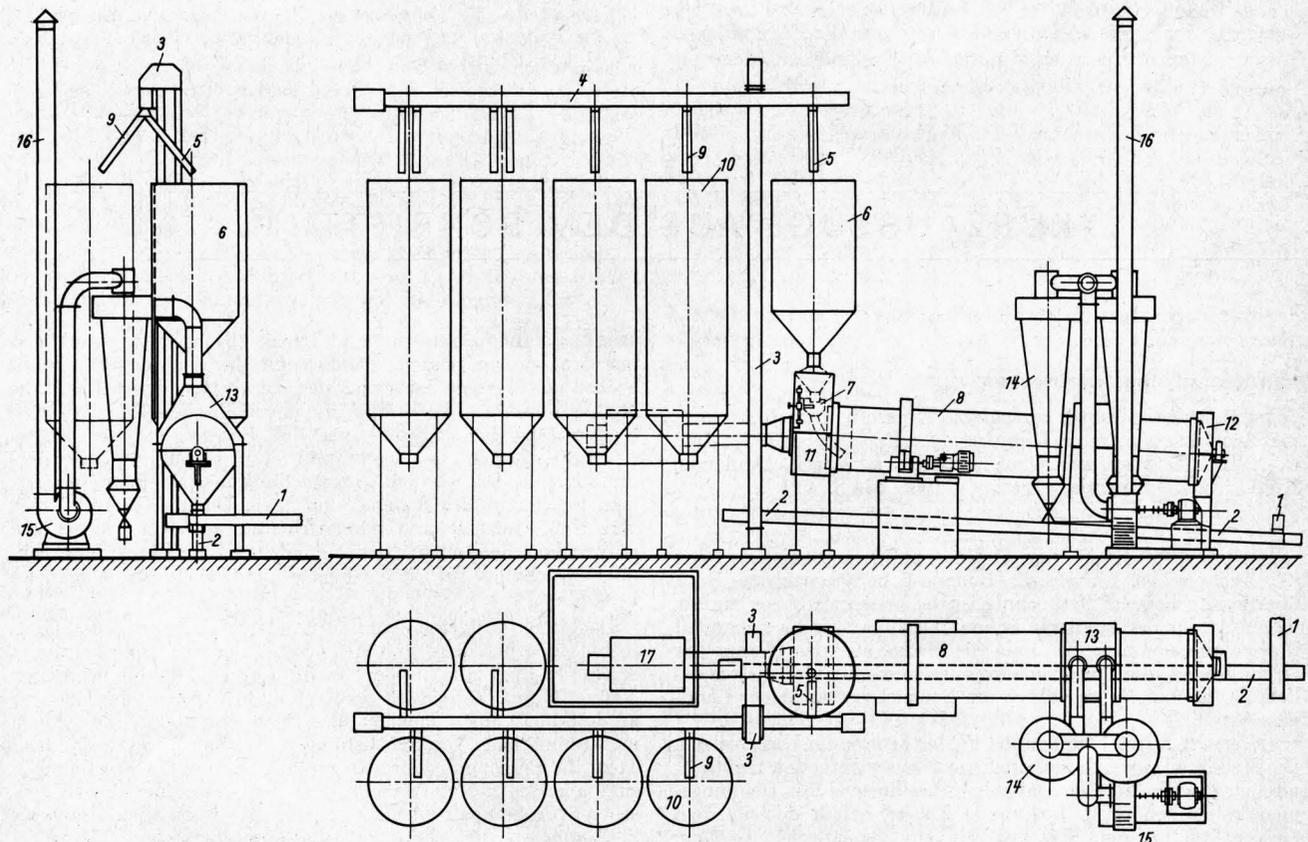


Bild 6. Trocknungsanlage mit Fördereinrichtungen und Entstaubungsanlage für Durchsatzleistungen bis 15 t/h.

also um 4%. Man sieht aus der Kurve i_0 , daß der Wärmeverbrauch mit der steigenden Temperatur des Behandlungsmittels erheblich sinkt.

Bild 4 zeigt eine Gegenüberstellung der gleichen Faktoren wie bei Bild 3, jedoch einmal bei einer Trocknung von 18 auf 14%, also um 4%, gegenüber einer Trocknung von 20 auf 14%, also um 6%.

Bild 5 zeigt die Durchsatzleistung K an Fertiggut, den Abluftdurchsatz Q_3 sowie Trommeldrehzahl n und Behandlungsdauer t am Beispiel einer Anlage mit einer Durchsatzleistung von 15 t/h, bei einer Wasserauftrocknung von 18 auf 14%, also um 4%. Die Abluft-Gemisch-Menge Q_3 in m^3 je Stunde ist hierbei unabhängig von der Eintrittstemperatur des Behandlungsmittels als konstant festgelegt. Aus dieser Tatsache ergeben sich bei der gleichen Menge an Abluft nach $K = Q_3/V_3$ verschiedene Durchsatzleistungen K an Fertiggut, weil bei verschiedenen Eintrittstemperaturen des Heizmittels naturgemäß entsprechend veränderte Gutsmengen getrocknet werden können. Außerdem ergibt sich daraus zwangsläufig die Behandlungsdauer t des Gutes und demgemäß auch die entsprechende Drehzahl n der Trommel.

Bild 6 zeigt als Beispiel eine gesamte Trocknungsanlage bei der auch gleich die Fördereinrichtungen und die Entstaubungsanlage mit dargestellt sind. Das Frischgut gelangt durch den Förderer 1 über den Trogkettenförderer 2 in das Becherwerk 3, das das Gut auf den Trogkettenförderer 4 abgibt. Der Förderer 4 kann das Frischgut bei Förderung nach rechts über die Schurre 5 in den Füllsilo 6 und durch die Schwenkschurre 7 in die Verbundtrommel 8 leiten. Aus dieser gelangt das getrocknete Gut wiederum in den Trogkettenförderer 2, der es durch das Becherwerk 3 auf den Trogkettenförderer 4 bringt, der nunmehr je nach Öffnung der einzelnen Schieber über die Schurren 9 das Gut in einen der hier angedeuteten Silos 10 fördern kann.

Für den Fall, daß das Frischgut extrem naß ist und bei einem Durchgang nicht den gewünschten Endfeuchtegehalt ohne unzulässige Übertreibung der Heißlufttemperatur erreichen kann, kann das im ersten Durchgang vorgetrocknete Gut über den Redler 2, das Becherwerk 3 und die Schurre 5 in den Füllsilo 6 zurückgeleitet werden, um nochmals einen Trocknungsprozeß durchzumachen.

Die Heißluft wird aus dem Lufterhitzer 17 dem Einfallkasten 11 der Trommel 8 zugeführt, während die Kühlluft vom Ausfallkasten 12 über den Kühlteil der Trommel aus dem Ab-

saugekasten 13 gemeinsam mit der Trockenluft über die Entstauber 14 durch das Gebläse 15 und den Schlot 16 gereinigt ins Freie gelangt.

Derartige Anlagen für die Lagerfestmachung des Getreides können in Größen bis zu Durchsatzleistungen von 100 t/h ohne weiteres ausgeführt werden. Technisch möglich wäre auch eine noch größere Leistung bis zu 200 t/h, die jedoch dann wirtschaftlich keine besonderen Vorteile mehr gegenüber zwei halb so großen Anlagen bringen würde. Die Teilung in zwei Anlagen hätte noch den Vorteil, daß sie bei Störung einer Trommel niemals einen ganzen Ausfall bringen.

Kleine Leistungen als fahrbare Anlage für dörfliche Genossenschaften, größere Güter oder für Lohndruschunternehmen können mit einer Durchsatzleistung von 1,5 bis 5 t/h hergestellt werden. In Bild 1 ist eine Anlage für die normale Durchsatzleistung von 2,5 t/h dargestellt, die sowohl in fahrbarer als auch in stationärer Ausführung hergestellt wird. Der Ausfall ist mit einer Gabelschurre ausgerüstet, durch die normalerweise das aus der Trommel kommende Gut in den Trockengutsilo gebracht wird. Bei extrem nassem Getreide kann durch die Gabelschurre das Gut in den Frischgutsilo zurückgeführt werden, um nochmals durch die Trommel geleitet zu werden.

Schrifttum

- [1] *Issel, Fr.*: Die Hochleistungskühlanlage System Menning und die mit ihr auf Grube Babina, Muskau, erzielten Betriebsergebnisse. Braunkohle (1936) H. 23, S. 385/91.
- [2] *Menning, K. J.*: Verbundwirtschaft zwischen Kraft und Wärme durch Rauchgas-Kohlentrocknung. Braunkohle, Wärme und Energie 4 (1952) H. 1/2, S. 25/34.
- [3] *Menning, K. J.*: Zur Frage der Brikettkohlenkühlung. Braunkohle, Wärme und Energie (1953) H. 13/14, S. 277/81.
- [4] *Menning, K. J.*: Wege zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, der Kalkstein-Trocknung. Zement-Kalk-Gips (1957) H. 3 S. 93/95.
- [5] *Guilbot, A., und J. Poisson*: Über die Bestimmung der Lagerfähigkeit von Getreide. Getreide und Mehl 3 (1964) S. 27/32.
- [6] *Arsdel, W. B. van, und M. J. Coled*: Temperatur, humidity and velocity of air over the material being dried. The Avi Publishing Company Inc. 1963, S. 100.
- [7] *Rosstrucker, H.*: Probleme der Körnertrocknung. Hochschule für Bodenkultur Wien. Die Bodenkultur (1963) Ausgabe A, H. 2, S. 279/93.

KURZAUSZÜGE AUS DEM SCHRIFTTUM

Buchbesprechungen

Landtechnisches Meßwesen

A mezőgazdasági gépek vizsgálata. Korszerű mérés technika a mezőgazdaságban. Von Dipl.-Ing. I. Mészáros und Dr.-Ing. G. Sítkei. Herausg. von Prof. Dr.-Ing. I. Rázsó. Akadémiai Kiadó (Akademie-Verlag) Budapest 1965. 676 S., 627 B.

DK 531.7: 631.3.001.4

Das von Prof. Rázsó, dem Ordinarius für Landmaschinenbau der Technischen Universität Budapest, herausgegebene Buch über landtechnische Meßtechnik ist das erste und bisher einzige dieser Art in der landtechnischen Weltliteratur. Es behandelt in vier ausgedehnten Kapiteln die Meßgeräte, das Messen der Grundgrößen, die Untersuchungsmethoden für landwirtschaftliche Stoffe und Meßverfahren am Beispiel verschiedener Landmaschinen.

Im ersten Kapitel werden die Fehlertheorie, die Verarbeitung der Meßdaten, ihre Klassierung sowie die wichtigsten meßtechnischen Bauelemente einschließlich des Messens mit Dehnungsmeßstreifen behandelt. Das zweite Kapitel befaßt sich mit dem Messen von Längen, Flächen, Winkeln, geodätischen Größen, Zeit, Kräften, Drehmomenten, Bewegung, Geschwindigkeit,

Beschleunigung, Schwingung, Druck, Temperatur und von meteorologischen Daten. Damit sind die wichtigsten Grundgrößen des Messens berücksichtigt. Im dritten Kapitel sind die Meßverfahren zur Erfassung der physikalischen Eigenschaften landwirtschaftlicher Stoffe, wie des Bodens und der Erntefrüchte enthalten. Das vierte und letzte Kapitel ist besonders umfangreich. Es werden Untersuchungsmethoden an Geräten zum Bearbeiten des Bodens, zum Säen, Düngen, für die Ernte von Heu, Getreide und Sonderfrüchten sowie für Maschinen und technische Anlagen der Tierhaltung, der Berechnungstechnik, Maschinen für den Gemüse- und Weinbau eingehend behandelt.

Das Buch gibt eine sehr vollständige Darstellung des landtechnischen Versuchs- und Meßwesens. Der Meßtechniker findet Auskunft über alle in der Fachliteratur bekanntgewordenen Meßverfahren. Zahlreiche meßtechnische Anwendungsbeispiele an Landmaschinen machen das Buch gegenüber allgemeinen meßtechnischen Veröffentlichungen besonders wertvoll. Der Text, die Berechnungsformeln und die technischen Zeichnungen sind übersichtlich dargestellt. Für den Leser, der der ungarischen Sprache nicht mächtig ist, wird das Buch allein durch die Zeichnungen, Berechnungen und umfangreichen Literaturangaben interessant und wertvoll. Eine deutsche Übersetzung