

Wladyslaw Bala: "La influencia del terreno y de la humedad sobre las resistencias al arado zanjador — Resultados de una investigación."

El autor ha hecho investigaciones sobre la influencia que ejerce la clase de terreno y la humedad sobre las resistencias al arado zanjador.

Para investigar estas interdependencias se midió el esfuerzo de tracción en el gancho del tractor de tal forma que la clase de terreno fuera el factor variable y la humedad del suelo, la velocidad de marcha y la profundidad de la zanja valores constantes. Los resultados de estas pruebas se recogieron en diagramas.

Fundándose en el análisis de estos diagramas, el autor hace notar que las resistencias aumentan con el contenido cre-

ciente de arcilla y de partículas de polvo, teniendo esta curva ascendente caracter constante, parecido a una parábola. Sin embargo el autor observa que las pruebas y los diagramas se hicieron con tierra no-ferruginosa y no-caliza y que dichas sustancias podrían dar lugar a cambios fundamentales de las condiciones mecánicas del terreno.

Las pruebas, en cuanto a la dependencia de la resistencia del arado de la humedad del suelo, se hicieron con seis clases de tierra de fuerza de solidificación distinta, siendo la clase de terreno, la velocidad de marcha y la profundidad del surco valores constantes y la humedad del terreno variable.

Los resultados de estas pruebas se recogieron también en diagramas. Las curvas acusan cierta conformidad con las que dió la investigación de silenios, e. d. que en todos los terrenos de solidificación crecida baja la resistencia al arado

Fred W. Bakker-Arkema und William G. Bickert:

Theoretische Untersuchung über das konvektive Trocknen von Futterbriketts

Agricultural Engineering Department, Michigan State University, East Lansing, Michigan/USA

Einleitung

Das Heu bleibt eines der wichtigsten landwirtschaftlichen Erntegüter und nimmt in den Vereinigten Staaten von Amerika flächen- und wertmäßig in der Reihe der landwirtschaftlichen Früchte die zweite Stelle ein (USDA Statistics, 1964). Obwohl der größte Prozentsatz des Heues in Ballen gepreßt wird, wächst das Interesse an der Brikettierung sehr schnell [1], und die meisten großen Landmaschinenfirmen in den USA sind mit der Entwicklung von Brikettiermaschinen beschäftigt [2].

Bei dem Brikettierverfahren wird das Heu in kleine Körper hoher Dichte zusammengepreßt. Form, Größe und Dichte der einzelnen Briketts unterscheiden sich entsprechend der Ausführung der Brikettier-Maschine. Im Vergleich zu anderen Heuerntemethoden liegt der Hauptvorteil des Brikettierens in dem relativ niedrigen Arbeitsbedarf dieses Verfahrens. Da die Briketts mit Schnecken, Förderbändern und anderen Transporteinrichtungen gefördert werden können, lassen sich Heuernte und Fütterung vollkommen mechanisieren. Weitere Vorteile sind die hohe Dichte und der Nährwert des Produktes. MATTHIES [3] und ROSS [4] haben ausführlich die Vorteile des Brikettierens gegenüber den konventionellen Methoden der Heuernte herausgestellt.

Vor der Lagerung müssen die Briketts getrocknet werden; der maximale Feuchtigkeitsgehalt von langem Heu beträgt für sichere Lagerung ungefähr 17 %, bezogen auf das

Naßgewicht [5]. Jedoch muß der Feuchtigkeitsgehalt der Briketts auf 12 bis 13 % reduziert werden, um ein Schimmeln nach drei oder vier Wochen Lagerung zu verhindern [6]. Es ist nicht klar, warum langes Heu und Briketts bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten zu schimmeln beginnen; jedoch scheint die mechanische Beanspruchung durch den Preßvorgang das Sorptionsverhalten des Futters zu ändern und zu einer Verschiebung der Sorptionsisotherme zu führen.

Die Notwendigkeit, Heubriketts zu trocknen, wird in naher Zukunft eine größere Bedeutung wegen der Entwicklung von Brikettiermaschinen gewinnen, welche Futter mit einem Anfangsfeuchtigkeitsgehalt von über 50 %, bezogen auf Naßgewicht, verarbeiten können [7]. Da in der Literatur keine genauen Angaben über die Voraussage des Trocknungsverhaltens von Futterbriketts zur Verfügung standen, wurde eine Untersuchung verschiedener Variabler, welche die konvektiven Trocknungsgeschwindigkeiten einzelner Futterbriketts beeinflussen, begonnen.

1. Versuche

1.1. Futterbriketts

Die in dieser Untersuchung verwendeten Futterbriketts wurden mit einer Versuchs-Brikettiermaschine hergestellt. Eine Ansicht der horizontalen Preßkanäle ist in Bild 1 gezeigt; die Gesamtanordnung wurde von LUNDELL und HULL [8] sowie von SCHOEDDER und BUSSE [9] beschrieben.

Der Querschnitt eines Preßkanals ohne Druckaufbringung auf die bewegliche Kanalwand beträgt $6,0 \times 6,5$ cm. Die auf das Trockengewicht bezogene Dichte der Briketts variiert von 0,25 bis $1,00 \text{ g/cm}^3$.

Briketts mit einer Dichte unter $0,4 \text{ g/cm}^3$ wurden wegen ihrer ungleichmäßigen Struktur nicht verwendet.

Die Briketts wurden aus einer gehäckselten Alfalfa-Gras-Mischung (92 % Alfalfa, 8 % Gras) mit einem Ausgangsfeuchtigkeitsgehalt von 18 %, bezogen auf das Trockengewicht, hergestellt. Die mittlere Länge des Häckselgutes betrug 4 cm. Der Feuchtigkeitsgehalt der Briketts wurde auf 20 bis 45 % erhöht, indem Wasser dem Futter kurz vor der Einführung in die Preßkanäle zugeführt wurde. Die mittlere Futteranalyse der Briketts, bezogen auf Trockengut, ergab 16,5 % Protein, 25,52 % Rohfaser, 1,45 % Ätherextrakt, 6,75 % Asche und 49,78 % N-freie Extrakte.

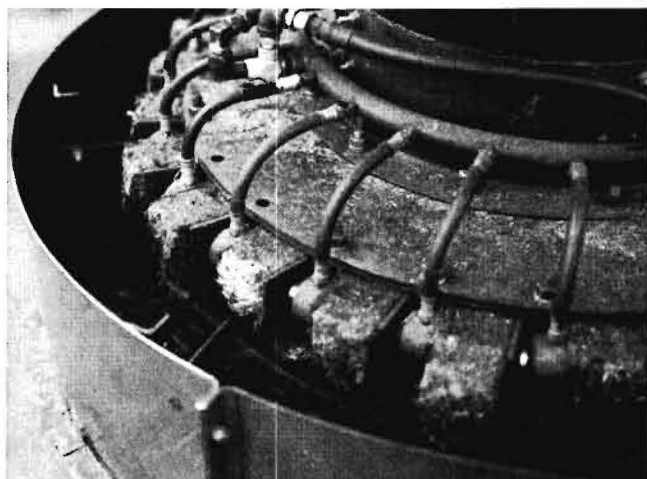


Bild 1: Ansicht der Preßkanäle

*) Approved as journal article No. XXX of the Michigan Agricultural Experiment Station, Michigan State University, East Lansing, Michigan/USA



Bild 2: Abmessungen der in den Trocknungsversuchen verwendeten Briketts

Die durch die Versuchs-Brikettiermaschine hergestellten Briketts hatten eine gleichmäßige Form mit Ausnahme an den beiden Enden (Bild 1). Da es sehr schwierig ist, einen unregelmäßig geformten Körper mathematisch zu behandeln, werden die Briketts mit einer schnellaufenden Säge rechtwinklig geschnitten. Bild 2 zeigt einige auf diese Weise erhaltene Briketts von unterschiedlicher Dicke.

1.2. Trocknungsapparat

Bild 3 gibt eine Gesamtansicht der Apparatur, die zur Aufnahme der Trocknungskurven benutzt wurde. Die Anordnung besteht aus einem thermostatisch geregelten Trockenschrank, einer Analysenwaage, einem Registrier-Potentiometer und einem Hitzdraht-Anemometer. Ein Drahtkorb mit der Versuchsprobe hängt an der auf dem Trockenschrank aufgestellten Waage. Auf diese Weise kann die Probe, ohne sie aus dem Ofen herauszunehmen, gewogen werden. Bild 4 zeigt das Innere des Ofens mit dem Drahtkorb und der Probe, die Thermolemente und das Hitzdraht-Anemometer zur Messung der Gutstemperaturen beziehungsweise der Luftgeschwindigkeit.

2. Theorie des Trocknens

Beim Trocknen poröser Stoffe biologischer Herkunft wird die Feuchtigkeit vom Inneren des Gutes an die Oberfläche transportiert und von dieser in die umgebende Luft verdunstet. Da biologische Stoffe hygroskopisch sind, trocknen sie in einer Luft mit einem Dampfdruck größer als Null nicht vollständig. Das physikalische und chemische Verhalten in Verbindung mit dem Ausgangsfeuchtigkeitsgehalt bestimmen in hohem Maße das Trocknungsverhalten von biologischen Stoffen.

Vor dem Trocknen befindet sich der Feuchtigkeitsgehalt vieler biologischer Stoffe — auch Futterbriketts gehören dazu [10] — unterhalb des hygroskopischen Punktes (der hygroskopische Punkt ist der Feuchtigkeitsgehalt eines Gutes im Gleichgewicht mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 %).

Somit hängt die Trocknungsgeschwindigkeit von Futterbriketts von der Geschwindigkeit der Feuchtigkeitsbewegung vom Inneren des Materials an seine Oberfläche ab. Infolgedessen findet das konvektive Trocknen im Bereich abnehmender Trocknungsgeschwindigkeit statt.

Viele der analytischen Arbeiten über das Trocknen führten in den zwanziger Jahren die Amerikaner LEWIS [11] und SHERWOOD [12] durch. Sie nahmen an, daß das Trocknen durch den molekularen Stoffübergang beschrieben werden kann, bei welchem die Strömung proportional dem Gradienten der Volumenkonzentration ist.

Die Proportionalitätskonstante wurde Diffusionskoeffizient D genannt. Die Gleichung der Molekulardiffusion lautet somit:

$$\text{Diffusionsstromdichte: } g = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1)$$

Demzufolge hat die Differentialgleichung des Stoffübergangs die Form

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2)$$

Neuere Untersuchungen von LYKOV (1958) und LEBEDEV

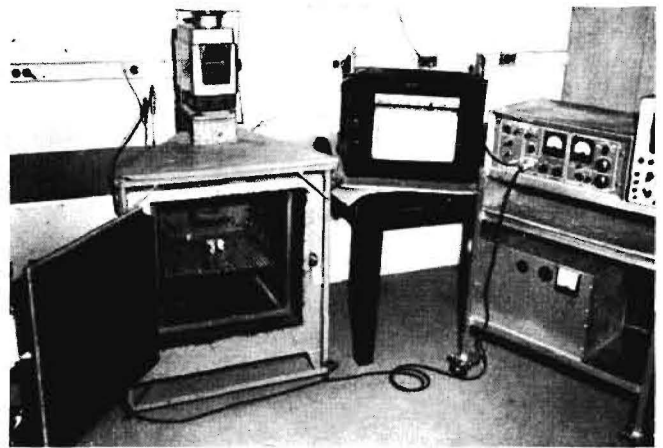


Bild 3: Versuchsanordnung

[13] zeigten, daß bei hoher Trocknungsgeschwindigkeit ein innerer Feuchtigkeitstransport nicht nur von der molekulären, sondern auch von der thermischen Diffusion und der hydrodynamischen Strömung abhängt. Infolgedessen lautet die allgemeine Stoffübergangs-Differentialgleichung zur Beschreibung des Trocknungsvorgangs wie folgt:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_{th} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + D_{pr} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (3)$$

Der zweite Ausdruck auf der rechten Seite von Gl. (3) gibt die Feuchtigkeitsbewegung als Folge eines Temperatur-Gradienten im Trockengut wider, der dritte Ausdruck kennzeichnet die Feuchtigkeitsströmung als Folge eines Gesamtdruck-Gradienten.

Die Lösung von Gl. (3) ist eine schwierige Aufgabe. LYKOV und MIKHAILOV [14] haben eine Reihe von Lösungen der Gl. (3) für verschiedene Ausgangs- und Randbedingungen auf Grund der Theorie der irreversiblen Thermodynamik veröffentlicht. Diese Lösungen bei der vorliegenden Untersuchung zu verwenden, war jedoch nicht notwendig, da die Lufttemperaturen zum Trocknen der Heubriketts nicht über 93 °C hinausgingen. Es zeigte sich, daß die Ausdrücke

$$D_{th} \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{und} \quad D_{pr} \frac{\partial p}{\partial x} \quad \text{im Vergleich zu} \quad D \frac{\partial C}{\partial x}$$

während des Feuchtigkeitstransportes in festen Stoffen bei Temperaturen von weniger als 104 °C klein sind [13; 15]. Dies bedeutet, daß für die meisten konvektiven Trocknungsvorgänge in der Landwirtschaft, einschließlich des Trocknens von Futterbriketts, die letzten beiden Ausdrücke auf der rechten Seite von Gl. (3) vernachlässigt werden können.

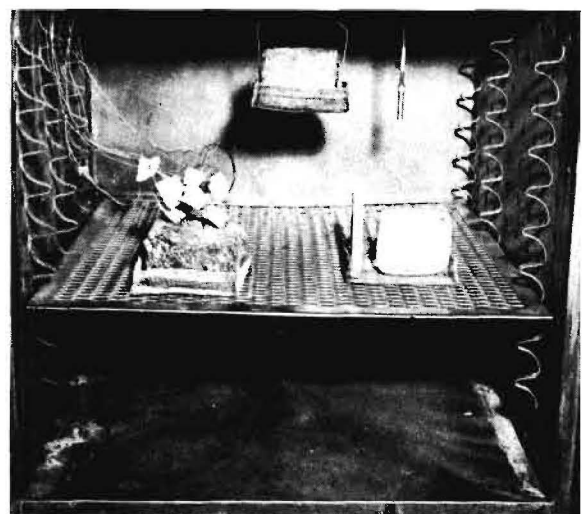


Bild 4: Ansicht des Trocknungsschranks

nen. Daher wurden die Gln. (1) und (2) zur Berechnung des Trocknungsablaufs von Futterbriketts verwendet.

LEWIS [11] und SHERWOOD [12] betrachteten die Diffusion von Dampf und Flüssigkeit nicht getrennt; bei einer Aufteilung erhält man zwei Gleichungen:

$$\text{für Flüssigkeitsdiffusion: } g_{fl} = -D_{fl} \frac{\partial C_{fl}}{\partial x}; \quad (4)$$

$$\text{für Dampfdiffusion: } g_d = -D_d \frac{\partial C_d}{\partial x}. \quad (5)$$

Da die Flüssigkeitskonzentration eines Trockengutes gleich seiner Dichte mal dem Feuchtigkeitsgehalt (bezogen auf Trockengewicht) ist, kann Gl. (4) in folgender Form geschrieben werden:

$$g_{fl} = -D_{fl} \cdot \varrho \frac{\partial M}{\partial x}. \quad (6)$$

Da die Trocknung von Futterbriketts bei relativ niedrigen Temperaturen stattfindet, kann der Wasserdampf als ideales Gas angesehen werden; dann wird Gl. (5):

$$g_d = -D_d \frac{1}{R_d T} \cdot \frac{\partial p_d}{\partial x} \quad (7)$$

Mit $\frac{\partial p_d}{\partial x} = \frac{\partial p_d}{\partial M} \cdot \frac{\partial M}{\partial x}$

ergibt sich $g_d = -D_d \frac{1}{R_d T} \cdot \frac{\partial p_d}{\partial M} \cdot \frac{\partial M}{\partial x} \quad (8)$

Gln. (6) und (8) weisen auf die beiden Arten des Stofftransportes, die Flüssigkeitsdiffusion und die Dampfdiffusion hin, welche durch das gleiche Antriebspotential, den Feuchtigkeitsgradienten im Trocknungsgut, verursacht werden. Das bedeutet, daß die folgende Gleichung für das Trocknen von Futterbriketts benutzt werden kann:

$$g = -D' \frac{\partial M}{\partial x}, \quad (9)$$

$$\text{wobei } D' = D_{fl} \cdot \varrho + \frac{D_d}{R_d T} \frac{\partial p_d}{\partial M}. \quad (10)$$

Die Stoffübergangs-Differentialgleichung für die x-Koordinate lautet dann

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial M}{\partial x} \right). \quad (11)$$

Da D während des Trocknungsvorganges, wie später gezeigt wird, innerhalb eines Feuchtigkeitsbereiches von 45 % bis 5 % konstant ist, nimmt Gl. (11) die folgende Form an:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \frac{\partial^2 M}{\partial x^2}. \quad (12)$$

Der mittlere Feuchtigkeitsgehalt als Funktion der Zeit hängt von den Ausgangs- und Randbedingungen des Trockengutes ab. Lösungen von Gl. (12) für verschiedene Bedingungen

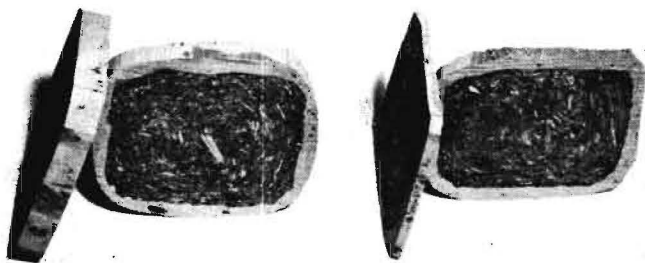


Bild 5: An den Schmalseiten wasserundurchlässig beschichtete Briketts

gen findet man bei CARSLAW und JAEGER [16] und CRANK [17]; ferner über konvektives Trocknen in einigen Untersuchungen landwirtschaftlicher Produkte, insbesondere von Getreide [18...20]. Die vorausgesagten Trocknungskurven stimmten — abgesehen von Anfang und Ende der Trocknung mit beachtlichen Unterschieden — gut mit den experimentellen Ergebnissen überein.

Für die Abweichungen am Beginn und Ende der Trocknung wurden eine Änderung des Diffusionskoeffizienten [18], ein langsamer Anstieg der Guttemperatur [20], für Abweichungen zu Beginn der Trocknung eine ungeeignete Wahl der Randbedingungen zur Lösung von Gl. (12) zur Begründung herangezogen [21].

3. Resultate und Diskussionen

3.1. Trocknung von dünnen Briketts

In den ersten Versuchsreihen wurden Briketts mit einer Dicke von ungefähr 1,0 cm mit einem wasserdichten Überzug auf den Schmalseiten versehen (Bild 5). Die Feuchtigkeitsgradienten in den y und z Richtungen dieser Briketts

$$\frac{\partial M}{\partial y} \quad \text{und} \quad \frac{\partial M}{\partial z}$$

waren somit während der Trocknung gleich Null. Nimmt man die Dicke eines Briketts mit $2l$ an, wobei die Oberflächen bei $+l$ und $-l$ liegen und $D = \text{konst.}$, so beschreibt Gl. (12) einen isothermen konvektiven Trocknungsvorgang. Um eine Differentialgleichung zweiter Ordnung wie Gl. (12) zu lösen, müssen die Anfangs- und Randbedingungen des Trocknungsgutes bekannt sein. Die Anfangsfeuchte der Futterbriketts war in diesen Versuchen gleichmäßig verteilt. Somit lautet die Anfangsbedingung

$$M_{t=0} = M_0 \quad \text{für} \quad -l \leq x \leq +l. \quad (13)$$

BAKKER-ARKEMA und HALL [21] schlossen, daß während der konvektiven Trocknung eines biologischen Stoffes die Oberflächen die Gleichgewichtsfeuchte exponentiell mit der Zeit erreichen. Um aber die Diffusionskoeffizienten berechnen zu können, nahmen sie an, daß sich auf den Oberflächen die Gleichgewichtsfeuchte augenblicklich einstellt. Die Randbedingung für die Trocknung von Futterbriketts kann daher geschrieben werden:

$$M_{x=\pm l} = M_c \quad \text{für} \quad t \geq 0. \quad (14)$$

Die Lösung von Gl. (12) unter Benutzung der Gln. (13) und (14) als Anfangs- und Randbedingungen wird dann [17]:

$$\frac{M_{l,x} - M_0}{M_c - M_0} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \times \exp\left(-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4l^2}\right) \cos \frac{(2n+1)\pi x}{2l}. \quad (15)$$

Wenn die aus den Briketts nach der Zeit t und nach unendlicher Zeit diffundierte Feuchtigkeitsmenge je Fläche Q_t und Q_∞ genannt werden, können wir schreiben:

$$\frac{Q_t}{Q_\infty} = \frac{M_0 - M_t}{M_0 - M_c} = Q_\infty \left[1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \times \exp\left(-D \frac{(2n+1)^2 \pi^2 t}{4l^2}\right) \right]. \quad (16)$$

Eine halblogarithmische Darstellung von $\frac{M_t - M_c}{M_0 - M_c}$

gegen die Zeit nach Gl. (16) ergibt eine Gerade außer für kleine Werte von t . Dies liegt daran, daß der erste Ausdruck der Reihe für große Zeiten unbedeutend wird.

Bild 6 zeigt die theoretische Trocknungskurve mit den experimentellen Werten für ein Futterbrikett, das bei 60 °C getrocknet wurde. Die Anfangsfeuchte betrug 29,8 %; die Anfangstemperatur 60 °C. Die Kurve ist typisch für alle

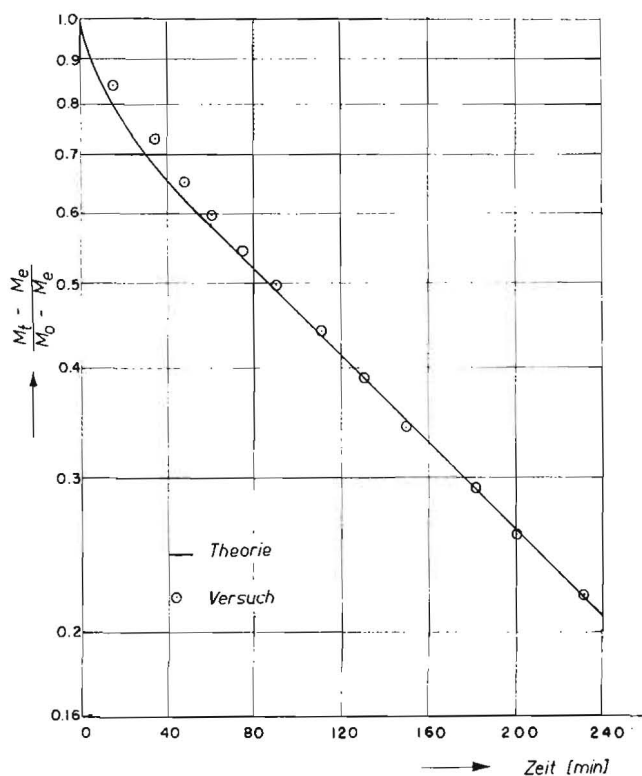


Bild 6: Trocknungsverlauf für ein an den vier Schmalseiten beschichtetes Briquet
 Lufttemperatur = 60 °C; Dicke = 0,9 cm; $\rho = 0,94 \text{ g/cm}^3$;
 $D = 0,62 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$; $Re = 4320$

isotherm getrockneten Briquets. In diesem Teil der Untersuchung stimmen die experimentellen und theoretischen Punkte, außer zu Beginn der Trocknung, gut überein. Die Abweichung während des Beginns der Trocknung ist, wie früher erklärt, begründet durch eine exponentielle statt einer augenblicklichen Einstellung der Oberflächenfeuchte. Jedoch kann Gl. (16) im Abschnitt 3.2. für die Berechnung der Diffusionskoeffizienten bei verschiedener Dichte der Futterbriquets und bei verschiedenen Trocknungstemperaturen benützt werden [21].

Das Briquet von Bild 6 wurde mit einer mittleren Luftgeschwindigkeit von 1,21 m/s getrocknet, entsprechend einer REYNOLDS-Zahl von 4320. Es wurde gefunden, daß die Luftgeschwindigkeit keine Einwirkung auf den Diffusionskoeffizienten bei REYNOLDS-Zahlen über 585 hatte. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend; SIMMONDS u. a. [22], JASON [23] und KRISCHER [24] berichteten, daß eine Luftgeschwindigkeit größer als ungefähr 0,06 m/min keinen Einfluß auf die Trocknung im Bereich abnehmender Trocknungsgeschwindigkeiten hatte. Ein kennzeichnendes Ergebnis dieses Abschnittes war, daß der Diffusions-Koeffizient während der Trocknung in dem Feuchtebereich von 40% bis 5% herab konstant blieb. Das Trocknungsverhalten der Futterbriquets

ist daher von vielen anderen biologischen Stoffen verschieden. Die Diffusionskoeffizienten von Weizen [18] und von Gemüse [25] nehmen ab, wenn der Feuchtigkeitsgehalt unter 10% fällt.

3.2. Die Wirkung der Briquettdichte und der Trocknungstemperatur auf die Trocknung von dünnen Briquets

Bekanntlich hängt der Diffusionskoeffizient eines biologischen Produktes von der Dichte des Gutes und der Umgebungstemperatur ab [26]. In diesem Abschnitt werden diese Beziehungen für Futterbriquets untersucht. Zweihundert dünne Briquets mit Dichten im Bereich zwischen 0,4 und 1,0 g/cm³ wurden bei 40, 60, 71, 82 und 93 °C getrocknet. Die Diffusionskoeffizienten dieser Briquets wurden nach der im Abschnitt 3.1. beschriebenen Methode berechnet.

Viele Briquets sind in Dichte und Form oft nicht gleichmäßig. Kleine Oberflächenrisse und ungleichmäßige Dichte zusammen mit gelegentlicher Entwicklung von großen und tiefen Rissen infolge von Wärmespannungen während der Trocknung machen eine theoretische Analyse der Futterbriquet-Trocknung schwierig. Wenn ein Riß während der Trocknung entsteht, steigt mit zunehmender Oberfläche die Trocknungsgeschwindigkeit. Der berechnete Diffusionskoeffizient scheint mit der Zeit größer zu werden, während in Wirklichkeit die Oberfläche größer wird. Eine Durchsicht der experimentellen Ergebnisse zeigte, daß die berechneten Diffusionskoeffizienten infolge Oberflächenänderung oder ungleichförmiger Dichte größer werden können. Obgleich die Theorie die Benutzung von Gl. (16) für die Berechnung des Diffusionskoeffizienten bei Auftreten von Rissen verbietet, wurde die Gleichung doch benutzt, weil sie Werte für D als Hinweis für die Feuchtigkeitsabgabe eines einzelnen Briquets lieferte. Die für Briquets mit Rissen berechneten Werte für D wurden scheinbare Diffusionskoeffizienten genannt.

In Tafel 1 sind die minimalen und maximalen Diffusionskoeffizienten aus Versuchen bei verschiedenen Temperaturen für fünf Dichtebereiche aufgeführt. In einigen Fällen beträgt der Unterschied zwischen den minimalen und maximalen Diffusionskoeffizienten (D_{\min} und D_{\max}) für Briquets im gleichen Dichtebereich über 250%. Die Erklärung für einen großen Diffusionskoeffizienten eines einzelnen Briquets war nie schwierig. Die Probe hatte meist Risse und war in der Dichte ungleichmäßig (scheinbarer Diffusionskoeffizient). Andererseits erhielt man kleine Diffusionskoeffizienten mit gleichmäßigen Briquets ohne Rissebildung an den Oberflächen (theoretische Diffusionskoeffizienten).

Es ist zu überlegen, welcher Wert von D , D_{\min} oder D_{\max} oder ein Zwischenwert in der weiteren Untersuchung benutzt werden soll.

Betrachtet man den Trocknungsvorgang, so kann diese Frage leicht beantwortet werden. Landwirtschaftliches Erntegut wird vor der Lagerung getrocknet, um es vor dem Verderb zu bewahren. Es ist notwendig, jeden Teil des Gutes unter eine gewisse Feuchte zu trocknen, da eine feuchte Stelle unter Umständen der Anlaß zum Verderb des ganzen

Tafel 1: Minimale und maximale Diffusionskoeffizienten bei verschiedenen Gutstemperaturen und verschiedener Dichte
 $[\text{cm}^2/\text{s} \times 10^3]$

Dichte [g/cm ³]	Temperatur [°C]									
	49		60		71		82		93	
	D_{\min}	D_{\max}	D_{\min}	D_{\max}	D_{\min}	D_{\max}	D_{\min}	D_{\max}	D_{\min}	D_{\max}
0,40 — 0,50	0,89	1,76	1,40	4,65	1,72	4,50	2,40	5,80	2,84	4,75
0,51 — 0,65	0,91	1,49	1,22	1,85	1,72	2,96	1,82	3,18	1,95	4,00
0,66 — 0,75	0,75	1,40	0,92	1,68	1,45	3,29	1,53	1,85	1,82	3,20
0,76 — 0,90	0,75	0,92	0,87	0,95	1,27	1,67	1,39	2,80	1,62	5,80
0,91 — 1,00	0,41	0,80	0,61	0,83	0,65	1,42	1,06	2,42	1,45	2,35

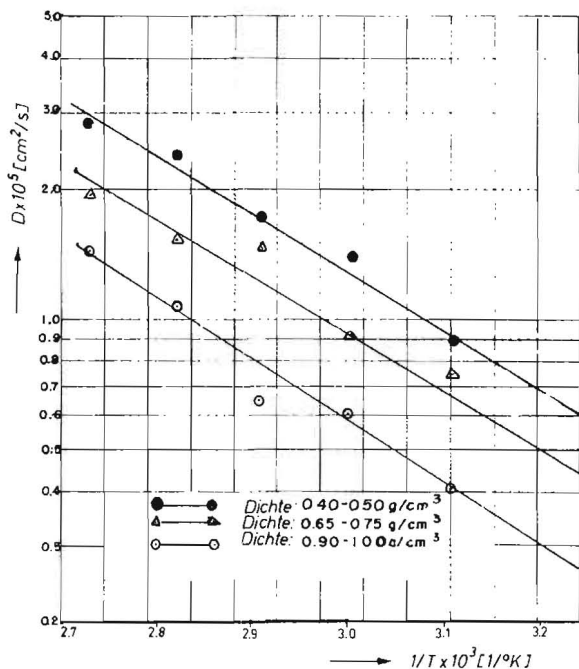


Bild 7: Beziehung zwischen dem Diffusionskoeffizienten und dem Reziprokwert der Temperatur der Trocknungsluft für verschiedene Dichtebereiche der Briketts

Gutes sein kann. Daher müssen die Proben mit niedrigster Trocknungsgeschwindigkeit und minimalen, theoretischen Diffusionskoeffizienten aus Tafel 1 betrachtet werden.

Als nachteilig ist anzusehen, daß jede Versuchsanstellung bei bestimmter Dichte und Temperatur nur einen minimalen Diffusionskoeffizienten liefert. Jedoch schien keine andere Auswertung der experimentellen Ergebnisse praktische Vorteile zu bieten.

Bild 7 zeigt in halblogarithmischer Darstellung eine lineare Beziehung zwischen dem Logarythmus von D_{\min} und dem Reziprokwert der absoluten Temperatur für drei Dichtebereiche. Jeder Dichtebereich kann daher durch eine ARRHENIUS-Gleichung von der Form

$$D = D_0 \exp(-E/RT) \quad (17)$$

dargestellt werden, wobei D_0 eine Konstante, E die Aktivierungsenergie und R die Gaskonstante bedeuten. Aus Tafel 2 sind für die Dichtebereiche die Werte von E und D_0 zu ersehen.

Die Aktivierungsenergien für die drei Dichtebereiche sind fast gleich; dieses konnte erwartet werden, da alle Briketts von demselben Futter stammen; die Korrelationskoeffizienten der drei Geraden in Bild 7 liegen bei 0,92.

Ein wichtiges Ergebnis von Bild 7 ist, daß die Geraden, welche die drei Dichtebereiche darstellen, annähernd parallel sind. Bild 7 kann daher für dünne Briketts verschiedener Dichte, aber auch für dicke, ziegelsteinförmige Briketts benutzt werden, in welchen eine Temperaturänderung während der Trocknung eine Änderung von D zur Folge hat. Ist der Diffusionskoeffizient eines dicken Briketts bei einer

Tafel 2: Aktivierungsenergie und D_0 von Alfalfa-Briketts in drei verschiedenen Dichtebereichen

Dichte [g/cm ³]	Aktivierungsenergie E [kcal/mol]	D_0 [cm ² /s]
0,4 — 0,5	2,724	0,11
0,65 — 0,75	2,510	7,5
0,9 — 1,0	2,580	28,10

Temperatur durch Auswerten isothermer Trocknungsergebnisse einer dünnen Scheibe eines Briketts bekannt, so kann der Punkt in Bild 7 festgelegt werden. Die Werte von D für eine beliebige Temperatur des Briketts findet man dann auf einer Geraden, die durch diesen Punkt und parallel zu den anderen Geraden läuft. Diesem Vorgehen wird auch im Abschnitt 3.3. gefolgt.

3.3. Trocknung von ziegelsteinförmigen Briketts

Die konvektive Trocknung dünner Briketts mit einer Anfangstemperatur gleich der Trocknungslufttemperatur wurde in den Abschnitten 3.1. und 3.2. durchgeführt. Jedoch werden Futterbriketts weder in dünnen Scheiben hergestellt, noch liegen ihre Anfangstemperaturen in der Höhe der Trocknungslufttemperaturen. In diesem Abschnitt wird der Einfluß dieser beiden Faktoren auf das Trocknungsverhalten untersucht.

Von ziegelsteinförmigen, nicht isolierten Briketts gleicher Dichte wurden 1 cm dicke Scheiben abgeschnitten, auf den Schmalseiten beschichtet und bei gleicher Temperatur wie das Ausgangsbrikett getrocknet. Die Anfangstemperatur des dünnen Briketts war gleich der Temperatur der Trocknungsluft, die Anfangstemperatur des ziegelsteinförmigen Briketts gleich der Raumtemperatur. In beide Briketts wurden Thermoelemente eingesetzt und die Temperaturen während der Trocknung aufgezeichnet.

Die Trocknungsergebnisse einer Gruppe von Ausgangsbriketts (92 A) und den zugehörigen dünnen Scheiben (92 B) wurden ausgewertet. Die Abmessungen von (92 A) und (92 B) waren $6,2 \times 5,7 \times 6,1$ cm und $6,2 \times 5,7 \times 1,0$ cm. Die Dichten betragen $0,518$ g/cm³ und $0,510$ g/cm³. Die Anfangstemperaturen von (92 A) waren 26 °C, diejenigen von (92 B) 59 °C; die Ofentemperatur betrug 60 °C; die Anfangsfeuchte beider Briketts $42,22\%$.

Die aus den experimentellen Trocknungskurven unter Benutzung von Gl. (16) berechneten Diffusionskoeffizienten ergaben für (92 B) einen konstanten Wert für D von $1,65 \times 10^{-5}$ cm²/s; dagegen stieg der scheinbare Diffusionskoeffizient des ziegelsteinförmigen Briketts ständig. Der Unterschied im Trocknungsverhalten der Briketts (92 A) und (92 B) ist durch die Temperaturunterschiede bei der Trocknung der beiden Briketts begründet.

PABIS und HENDERSON [27] untersuchten die Temperaturänderung von Maiskörnern während der Trocknung. Sie nahmen an, daß das Verhältnis von Wärmeübergang zu Wärmeleitung (Nu-Zahl) so groß war, daß die Temperaturgradienten in den Körnern vernachlässigt werden konnten. Diese Annahme gilt aber nicht für die Trocknung von ziegelsteinförmigen Briketts, in denen der Temperaturgradient bedeutend ist und in der Auswertung der Trocknungskurven beachtet werden muß.

Bevor Feuchtigkeit von der Oberfläche eines trocknenden Feststoffes verdunsten kann, muß sie einen gewissen Weg durch das Innere des Feststoffes zurücklegen. Auf Grund des Temperaturgradienten in einem trocknenden ziegelsteinförmigen Brikett wird jedes Wassermolekül nicht nur verschiedene Weglängen, sondern auch verschiedene Temperaturgefälle durchlaufen. Zur Berücksichtigung dieses Effektes soll eine mittlere Temperatur beziehungsweise ein mittlerer Diffusionskoeffizient für ziegelsteinförmige Briketts eingeführt werden.

Um die mittlere Temperatur eines ziegelsteinförmigen Briketts zu verschiedenen Zeiten während der Trocknung zu messen, wurden mehrere Thermoelemente parallel geschaltet und an bestimmten Stellen des Briketts eingesetzt. Zu diesem Zweck wurde jedes Brikett in eine Anzahl von Schalen mit gleichem Wärmeinhalt aufgeteilt.

Bild 8 zeigt die mittlere Temperatur der Briketts (92 A) und (92 B) in Abhängigkeit von der Zeit. Man sieht, daß die Temperatur des ziegelsteinförmigen Briketts während der Trocknung ständig stieg, aber niemals die Trocknungs-

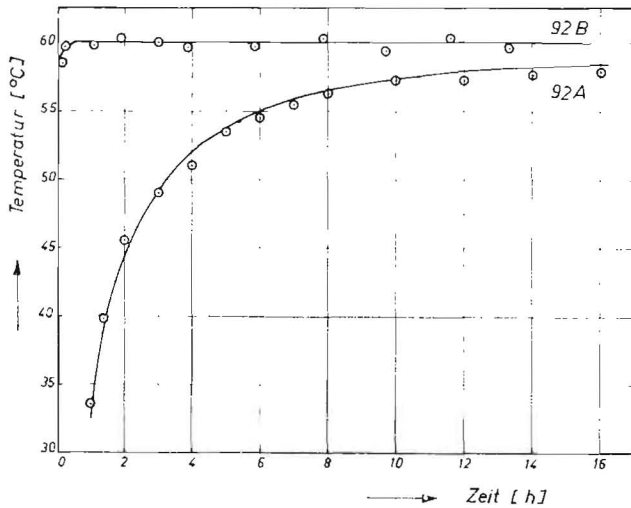


Bild 8 : Mittlere Guttemperatur in Abhängigkeit von der Zeit für die Briketts (92 A) und (92 B)
Lufttemperatur = 60 °C

lufttemperatur erreichte. Da der Diffusionskoeffizient eine Funktion der Temperatur ist, ändert sich der mittlere Wert von D des ziegelsteinförmigen Briketts während des Trocknungsverlaufs und macht die theoretische Auswertung wie in den Abschnitten 3.1. und 3.2. unmöglich.

Die Lösung der grundlegenden Gleichung für den Fall eines veränderlichen Diffusionskoeffizienten ist im allgemeinen ziemlich kompliziert. Ist jedoch D als Funktion der Zeit bekannt, so kommt man zu einer verhältnismäßig einfachen Lösung. Die Beziehung zwischen dem mittleren Diffusionskoeffizienten und der Zeit für ein ziegelsteinförmiges Brikett sieht man aus Bild 9.

Die Diffusionsgleichung für ein ziegelsteinförmiges Brikett mit den Dimensionen x , y und z lautet:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(t) \frac{\partial M}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D(t) \frac{\partial M}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D(t) \frac{\partial M}{\partial z} \right] \quad (18)$$

Mit der Transformation $\partial T' = D(t) dt$ (19)

und wenn man daran denkt, daß D nicht von x , y und z abhängt, wird Gl. (18)

$$\frac{\partial M}{\partial T'} = \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \quad (20)$$

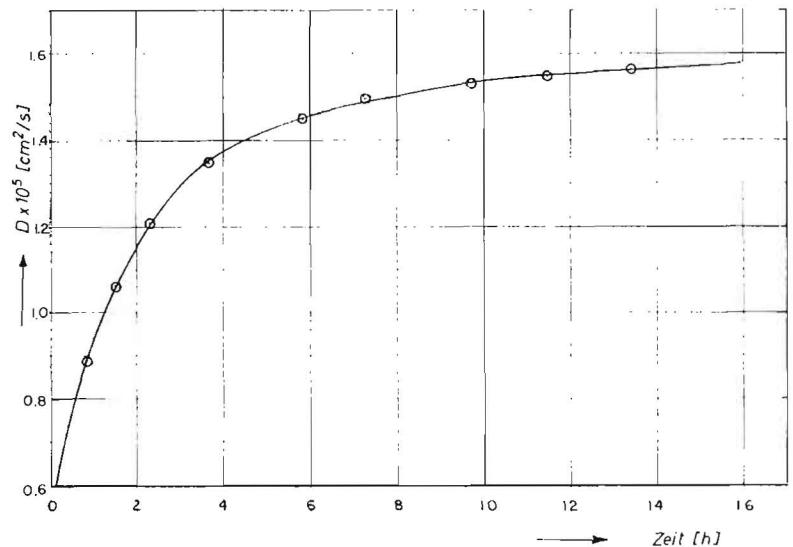


Bild 9 : Mittlerer Diffusionskoeffizient in Abhängigkeit von der Zeit für Briketts (92 A)
Lufttemperatur = 60 °C

Tafel 3: Trocknungsparameter für die Berechnung der theoretischen Feuchtigkeitsverhältnisse der Briketts (92 A)

Mittlere Zeit Brikett-	$D \times 10^5$	T'							
[min]	[°C]	[cm ² /s]	[cm ²]	L_1	L_2	L_3	MR_{th}	MR_{exp}	
55	31,6	0,900	0,706	0,951	0,943	0,953	0,856	0,879	
92	40,5	0,106	1,307	0,921	0,916	0,922	0,780	0,810	
135	46,2	1,200	2,104	0,896	0,890	0,897	0,714	0,739	
225	51,0	1,350	4,034	0,859	0,850	0,862	0,632	0,648	
350	54,5	1,446	6,975	0,815	0,803	0,815	0,533	0,540	
440	56,2	1,495	9,214	0,786	0,773	0,791	0,481	0,482	
585	57,0	1,530	12,850	0,748	0,733	0,753	0,412	0,410	
690	57,4	1,550	15,574	0,722	0,704	0,726	0,369	0,371	
805	58,0	1,560	18,563	0,697	0,678	0,698	0,330	0,321	

Durch Ersetzen von Dt in Gl. (16) durch T' liefert Gl. (20) eine Lösung für das mittlere Feuchtigkeitsverhältnis in einer Richtung. Die Feuchtigkeitsverhältnisse für die dreidimensionalen Briketts erhält man dann durch Multiplikation der eindimensionalen Lösungen nach Gl. (16) [28].

Bevor die Lösung nach Gl. (20) benutzt werden kann, muß die Beziehung zwischen T' , D und t wie in Gl. (19) vorhanden sein. Obwohl das Integral von Gl. (19) für den vorliegenden Fall nicht berechnet werden kann, so läßt sich doch die Beziehung zwischen T' , D und t graphisch aus der Abhängigkeit des mittleren Diffusionskoeffizienten von der Zeit finden (Bild 9).

Ein ähnliches Verfahren benutzen PABIS und HENDERSON [20]. Die Werte von T' für Brikett (92 A) sind für verschiedene Zeiten in Tafel 3 aufgeführt.

Mit den nunmehr bekannten Werten von T' lassen sich die theoretischen Feuchtigkeitsverhältnisse MR_{th} für Brikett (92 A) durch Multiplikation der drei Lösungen L_1 , L_2 und L_3 nach Gl. (20) für die drei räumlichen Dimensionen errechnen. Die experimentell gefundenen Feuchtigkeitsverhältnisse MR_{exp} sind ebenfalls in Tafel 3 enthalten.

Die theoretischen und experimentellen Feuchtigkeitsverhältnisse für die Briketts (92 A) sind in Bild 10 und 11 dargestellt. Zur Berechnung der theoretischen Feuchtigkeitsverhältnisse wurde in Bild 10 $D = konst = 1,65 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$, in Bild 11 ein infolge der Änderung der Temperatur sich ändernder Diffusionskoeffizient nach Tafel 3 eingesetzt. Dies hat zur Folge, daß die experimentellen Ergebnisse für Brikett (92 A) sich nur an die theoretische Kurve in Bild 11 anpassen.

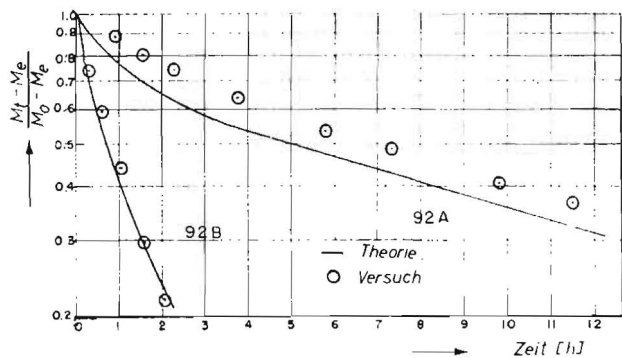


Bild 10: Trocknungsverlauf für Briketts (92 A) und (92 B)
 $D = \text{konst.} = 1,65 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$

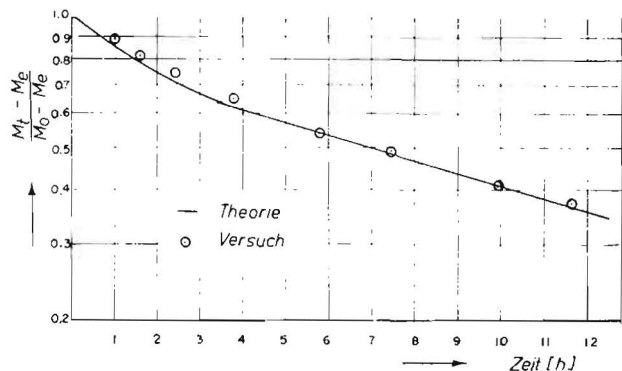


Bild 11: Trocknungsverlauf für Briketts (92 A) bei Annahme eines veränderlichen Diffusionskoeffizienten

In den meisten vorangegangenen konvektiven Trocknungsuntersuchungen mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen (Ausnahmen; [19; 20; 27]), wurde die Temperatur der Trocknungsluft, nicht dagegen die Gutstemperatur als Veränderliche benutzt. Diese Untersuchung zeigte, daß großstückiges Gut mit niedriger Wärmeleitfähigkeit die Temperatur der Trocknungsluft nicht erreicht. Daher sollte die Gutstemperatur anstelle der Lufttemperatur in theoretischen Trocknungsanalysen von landwirtschaftlichem Erntegut benutzt werden.

Zusammenfassung

Molekulare Diffusion ist der physikalische Mechanismus, der das konvektive Trocknungsverhalten einzelner Futterbriketts bestimmt. Der Diffusionskoeffizient ist im Feuchtebereich, in welchem Futterbriketts üblicherweise getrocknet werden, konstant. Die Wirkung der Temperatur auf die Diffusionskoeffizienten von Briketts kann durch eine ARRHENIUS-Darstellung von der Form $D = D_0 \exp(-E/RT)$ ausgedrückt werden. Die Konstanten D_0 und E wurden bei Briketts im Dichtebereich von 0,4 — 1,0 g/cm³ und Trocknungslufttemperaturen zwischen 49 °C und 93 °C bestimmt. Die Werte von D nehmen mit steigender Dichte und abnehmender Temperatur ab. Der langsame Anstieg der Gutstemperatur während der Trocknung führt zu einem Ansteigen des Diffusionskoeffizienten. Es läßt sich eine Diffusionsgleichung mit sich änderndem Diffusionskoeffizienten aufstellen, welche das konvektive Trocknungsverhalten eines ziegelsteinförmigen Futterbriketts genau beschreibt.

Schrifttum

[1] ZIMMERMANN, M.: Harvesting the hay crops. Implement and Tractor 79 (1964), S. 26
 [2] ZIMMERMANN, M.: Deere has hay cuber. Implement and Tractor 80 (1965), S. 36
 [3] MATTHIES, H. J.: Entwicklung und Forschung auf dem Gebiete des Verdichtens von Halmgut. Landtechnische Forschung 13 (1963), S. 157—163
 [4] ROSS, R. H., D. L. FOUNT and F. C. GEBHART: Alfalfa "Hayfers" versus baled alfalfa hay for milk and butterfat production. Mimeograph-Department of Dairy, University of Idaho, Moscow, Idaho 1963

[5] HALL, C. W.: Drying farm crops. Edwards Brothers, Ann Arbor, Michigan 1957
 [6] LAMP, B. J. and A. B. BARTLETT: Field experiences with wafering. Am. Soc. Agric. Engrs. Paper 63-636
 [7] MATTHIES, H. J.: Heubrikettieren — Stand und Aussichten. Landtechnik 20 (1965), S. 662—668
 [8] LUNDELL, V. J. and D. O. HULL: Field production of hay wafers. Agricultural Engineering 42 (1961), S. 412—415, 423
 [9] SCHOEDDER, F. und W. BUSSE: Einsatzversuche mit Aufsammler-Brikettierpressen. Landtechnik 19 (1964), S. 57—62
 [10] BAKKER-ARKEMA, F. W., C. W. HALL and E. J. BENNE: Equilibrium moisture content of alfalfa. Quarterly Bulletin of the Michigan State University Experiment Station 44 (1962), S. 492
 [11] LEWIS, W. K.: The rate of drying of solid materials. Ind. Engng. Chem. 13 (1921), S. 427—432
 [12] SHERWOOD, T. K.: The drying of solids. I. Ind. Engng. Chem. 21 (1929), S. 12—16
 [13] LEBEDEV, P. D.: Heat and mass transfer during the drying of moist materials. Internat. J. of Heat and Mass Transfer 1 (1961), S. 294—301
 [14] LYKOV, A. F. and Y. A. MIKHAYLOV: Theory of energy and mass transfer. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1961
 [15] FILONENKO, G. K. and P. D. LEBEDEV: Einführung in die Trockentechnik. VEB-Fachbuchverlag, Leipzig 1960
 [16] CARSLAW, H. S. and J. C. JAEGER: Conduction of heat in solids. Clarendon Press, Oxford 1959
 [17] CRANK, J.: The mathematics of diffusion. Clarendon Press, Oxford 1956
 [18] BABBIT, J. D.: Observations on the adsorption of water vapor by wheat. Canadian Journal of Research F 27 (1949), S. 55
 [19] BECKER, H. A. and H. R. SALLANS: A study of internal moisture movement in the drying of the wheat kernel. Cereal Chemistry 32 (1955), S. 212
 [20] PABIS, S. and S. M. HENDERSON: Grain drying theory II. A critical analysis of the drying curve for shelled corn. J. Agric. Engng. Research 6 (1961), S. 272—277
 [21] BAKKER-ARKEMA, F. W. and C. W. HALL: The importance of the boundary conditions in the solution of the diffusion equation for the drying of forage wafers. Transactions of the Society of Agricultural Engineers 8 (1965), S. 382—384
 [22] SIMMONDS, W. H. C., G. T. WARD and E. MCEWEN: The drying of wheat grain. I. The mechanism of drying. Trans. Instn. Chem. Engrs. 31 (1953), S. 265—278
 [23] JASON, A. C.: A study of evaporation and diffusion processes in the drying of fish muscle. Fundamental aspects of the dehydration of foodstuffs. Soc. of Chem. Industry, London 1964
 [24] KRISCHER, O.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Springer, Berlin 1963
 [25] VAN ARSDEL, W. B.: Approximate diffusion calculations for the falling rate phase of drying. Trans. Amer. Inst. Chem. Engrs. 47 (1947), S. 13
 [26] LYKOV, A. W.: Experimentelle und theoretische Grundlagen der Trocknung. VEB-Verlag Technik, Berlin 1955
 [27] PABIS, S. and S. M. HENDERSON: Grain drying theory III. The air grain temperature relationship. J. Agric. Engng. Research 6 (1961), S. 272—277
 [28] NEWMAN, A. B.: The drying of porous solids: Diffusion calculations. Trans. Amer. Inst. Chem. Engrs. 27 (1931), S. 310—333

Verwendete Zeichen:

g	Diffusionsstromdichte [g/cm ² · s]
l	Weg [cm]
t	Zeit [s]
x, y, z	Koordinaten
C	Konzentration [g/cm ³]
D	Diffusionskoeffizient [cm ² /s]
D_0	Konstante in Gl. (17) [cm ² /s]
E	Aktivierungsenergie [kcal/mol]
M	Feuchtigkeitsgehalt, bezogen auf Trockengewicht [%]
M_0	Gleichgewichtsfeuchte, bezogen auf Trockengewicht [%]
MR	Feuchtigkeitsverhältnis
Nu	NUSSELT-Zahl
Q	Mengenstromdichte [g/cm ² · s]
R	Gaskonstante [kp · m/kg · grd] [kcal/mol · grd]
Re	REYNOLDS-Zahl
T	Absolute Temperatur [°K]
T'	Transformationsveränderliche in Gl. (19) [cm ²]
ρ	Dichte, bezogen auf Trockengewicht [g/cm ³]

Verwendete Indizes:

d	Dampf
e	Gleichgewicht
exp	experimentell

fl	flüssig
max	maximal
min	minimal
t	Zeit
th	thermisch
x	Koordinate
0	Anfangszustand
∞	unendlich

Hermann Gaus verstorben

Am 21. 2. 1966 starb Dipl.-Ing. Dr. HERMANN GAUS an den Folgen eines Verkehrsunfalles, nachdem er sich bereits auf dem Wege der Besserung befand.

HERMANN GAUS wurde am 1. Oktober 1915 in Bodenstein, Krs. Gandersheim geboren. Er stammte aus einer niedersächsischen Bauernfamilie und konnte in dieser Umwelt schon in seiner Jugend die Anfänge der modernen Landtechnik in der Zeit nach dem ersten Weltkrieg miterleben.

Nach der Reifeprüfung und dem Studium des Maschinenbaues an der Technischen Hochschule Braunschweig übernahm er eine Stellung als Assistent im Institut für Maschinenelemente an der Technischen Hochschule Braunschweig.

Die zweite Phase seiner Lebensarbeit begann, als er 1949 in das neu gegründete Institut für Landmaschinenforschung an der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode eintrat. Unter seinem Direktor, Prof. Dr.-Ing. WALTER GUSTAV BRENNER, trug er wesentlich zum Aufbau dieses Instituts und zu den ersten Arbeiten dieses Instituts bei, die in erster Linie eine Weiter- beziehungsweise Neuentwicklung von Maschinen und Geräten für den Schlepper zum Ziele hatten. Aus dieser Zeit stammen seine ersten Veröffentlichungen über den zapfwellengetriebenen Ackerwagen, über den Bau und die Erprobung eines frontschneidenden Garbenbinders mit Einachstriebwerk und über die Entwicklung einer Grabenfräse. Verschiedene dieser Arbeiten wurden in dieser Zeitschrift veröffentlicht. Nach dem Ausscheiden von Prof. BRENNER, der im Mai 1952 das Institut für Landtechnik in Weihenstephan übernahm, setzte HERMANN GAUS seine landtechnischen Arbeiten unter dem neuen Leiter des Völkenroder Landmaschinen-Instituts, Prof. Dr.-Ing. GEORG SEGLER, fort. Eine Zahl von Veröffentlichungen, unter anderem Untersuchungsberichte über ausländische Landmaschinen, über Probleme an Stallungstreuern, über Frontlader-Einsatz, über Kleinbinderkonstruktionen geben Zeugnis über die Vielfalt seiner Tätigkeit in diesen Jahren. Ein Ergebnis dieser wissenschaftlichen Tätigkeit ist auch seine Doktor-Arbeit mit dem Titel „Beitrag zur Weiterentwicklung vollautomatischer Stallungstreuer“, mit der er an der Landwirtschaftlichen Hochschule Giessen zum Dr. agr. promovierte.

Den dritten und leider unvollendeten Abschnitt seines Lebens begann HERMANN GAUS im Jahre 1956, als er in die Dienste der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) trat und dort ein Jahr später vom DLG-Vorstand zum Geschäftsführer der Prüfungsabteilung für Landmaschinen bestellt wurde. In dieser Stellung konnte HERMANN GAUS seine Erfahrungen und Kenntnisse auf landtechnischem Gebiet in vollem Ausmaß auswerten. Dank seiner Initiative konnten er und seine Mitarbeiter eine Anpassung der Prüfmethode an die Bedürfnisse der Praxis und eine wesentliche Beschleunigung der Prüfungen selbst erreichen. Seine Offenheit und Aufgeschlossenheit in diesen Fragen und seine grundsätzliche Einstellung, auch die Meinung des Anderen gelten zu lassen, verschafften ihm nicht nur in den Kreisen der Landwirtschaft, sondern auch in der Industrie große Achtung. Ein prägnantes Beispiel für diese Aufgeschlossenheit und für seine Gabe der Koordinierung ist die neue Prüfungsordnung für Landmaschinen, die nach eingehenden Beratungen mit Vertretern der Industrie entstanden ist, und die die Anerkennung aller Kreise gefunden hat, die an Landmaschinenprüfungen interessiert sind.

Über den internen Rahmen seiner Abteilung hinaus konnte HERMANN GAUS auch in vielen in- und ausländischen Organisationen wirken. Er stand bei seinen Kollegen in den ausländischen Prüfstationen in gutem Ansehen, die ihn als einen erfahrenen Fachmann zu schätzen wußten. Sein Ableben wird von seinen Freunden tief betrauert. Mit ihm ist ein guter Ingenieur und anerkannter Landtechniker von uns gegangen, dessen Andenken wir in hohen Ehren halten wollen.

Willi Hanke

Résumé

Fred W. Bakker-Arkema and William G. Bickert: "Theoretical Aspects of the Convective Drying of Forage Waters."

Molecular diffusion is the physical mechanism controlling the convective drying behavior of individual forage wafers. The diffusion coefficient is constant in the moisture content range through which forage wafers are usually dried. The effect of temperature on the molecular diffusion coefficients of wafers can be expressed by an Arrhenius plot of the form $D = D_0 \exp(-E/RT)$. The constants D_0 and E were determined for wafers in the density range from 0.40 to 1.00 g/cm³ and drying air temperatures between 120 and 200 °F. The diffusion coefficients decrease in value with increasing density and decreasing temperature. The temperature of forage wafers rises slowly during drying resulting in an increase of the diffusion coefficient. An analytical solution of the diffusion equation with changing diffusion coefficient was obtained which described the convective drying behavior of brick-shaped forage wafers correctly.

Fred W. Bakker-Arkema et W. G. Bickert: Recherches théoriques sur le séchage par convection de briques de fourrage.

Le comportement des briques de fourrage au séchage par convection est déterminé par le mécanisme physique de la diffusion moléculaire. Le coefficient de diffusion est constant dans le domaine d'humidité dans lequel les briques de fourrage sont généralement séchées. L'influence de la température sur le coefficient de diffusion de briques peut être reproduite par une équation d'Arrhenius de la forme $D = D_0 \exp(-E/RT)$. L'auteur a déterminé les constantes D_0 et E pour des briques dont la densité se situe entre 0,4 à 1,0 g/cm³ et pour des températures de séchage de 49° à 93° C. Les valeurs de D diminuent au fur et à mesure que la densité augmente et la température baisse. L'accroissement progressif de la température des produits pendant le séchage entraîne une augmentation du coefficient de diffusion. On peut établir une équation de diffusion comportant un coefficient de diffusion variable qui exprime très exactement le comportement d'une brique de fourrage au séchage par convection.

Fred W. Bakker-Arkema y W. G. Bickert: "Investigación teórica del secado convectivo de briquetas de forraje."

El mecanismo físico, en él que se funda el comportamiento de las briquetas de forraje en el secado convectivo, es la difusión molecular. Dentro del margen de humedad corriente en el secado de estas briquetas, el coeficiente de difusión es constante. El efecto que ejerce la temperatura en los coeficientes de difusión en las briquetas, puede describirse por una fórmula de Arrhenius de $D = D_0 \exp(-E/RT)$. Las constantes D_0 y E en las briquetas se precisaron en el margen de densidad de 0,4 a 1,0 g/cm³ y las temperaturas del aire de secado entre 49° C a 93° C. Los valores de D bajan con el aumento de la densidad y con la bajada de la temperatura. La lenta subida de la temperatura del forraje durante el secado da lugar a la subida del coeficiente de difusión. Es posible establecer una ecuación de la difusión con coeficiente variable que describe exactamente el comportamiento en el secado convectivo de una briqueta de forraje forma ladrillo.