

Untersuchungen zur Trocknung von Preßlingen aus tierischen Exkrementen mit Luft niedriger Trocknungstemperaturen

Von H. Sonnenberg, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 664.8.047:631.862

Abfallstoffe aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung (z.B. Flüssigmist) fallen nicht immer dort und dann an, wo und wann sie verwertet werden können. Um einen Ausgleich zwischen Angebot und Bedarf herbeiführen zu können, müßten die Stoffe problemlos lager- und transportfähig sein. Dieses Ziel kann durch Trocknen, allein oder als Teil eines umfassenderen Behandlungsverfahrens, erreicht werden. Als Trocknungsmittel dient Luft vorzugsweise im naturgegebenen Ausgangszustand oder mit geringer Erwärmung.

1. Einleitung

Rund 14 Mio. Rinder, 20 Mio. Schweine und 90 Mio. Hühner erzeugen in der Bundesrepublik täglich gut 0,5 Mio. t Mist. Die Suche nach Wegen zum Ausgleich der zeitlichen und örtlichen Differenzen zwischen Anfall und Bedarf hat zu verschiedenen Lösungsansätzen geführt. Mistbanken, wie in Holland, dienen lediglich der Verteilung. Flüssigmist ist wegen seines hohen Wassergehaltes nur über kurze Entfernungen transportwürdig. Physikalische, biologische und chemische Behandlungs- und Veredelungsverfahren sollen den Stoff handelsfähig machen und ihn damit der Verwertung in einem weiten Bereich erschließen. Ein Verfahren ist das Trocknen.

Bei der vorliegenden Arbeit wurde von Rinderflüssigmist natürlicher Zusammensetzung ausgegangen, der im Feststoffverfahren [1, 2] (nach Vermengen mit systemeigenem Rückgut) eine viertägige Heißrotte erfahren hatte. Hier dient das Trocknen der Rückgutgewinnung. Es kann aber in gleicher Weise für eine weitergehende Stabilisierung und Konservierung etwa in Mieten oder Rottezellen kompostierten Flüssigmistes Verwendung finden.

Das zu trocknende Gut schrumpft mit abnehmender Feuchte unter Veränderung von Dichte und Struktur. Sein geringer Wert schließt den Einsatz aufwendiger Einrichtungen mit hohen Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten aus. Für den Gebrauch in der Landwirtschaft müssen die Einrichtungen einfach, robust, leicht zu bedienen und betriebssicher sein.

Der Trocknungsprozeß sollte witterungsunabhängig, der benötigte Zeitbedarf vorherbestimmbar sein.

*) Dipl.-Ing. H. Sonnenberg ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

2. Aufgabenstellung

Das zu trocknende Gut hat einen Anfangsfeuchtegehalt $U_a = 0,50$, entsprechend dem Anfangsgutsfeuchtegrad $X_a = 1,0$. Es ist unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen atmosphärischen Bedingungen auf den Gutsfeuchtegehalt $U_c = 0,15$, entsprechend dem Gutsfeuchtegrad $X_c = 0,176$ — nachfolgend soll wegen der Konstanz der Bezugsgröße der Feuchtegrad X verwendet werden —, zu trocknen. Der Zeitbedarf ist unter Ausschöpfung des Energieangebots der Außenluft und Minimierung der gegebenenfalls benötigten Zusatzenergie zu bestimmen. Mit Rücksicht auf den Bau- und Isolationsaufwand für den Trockner sowie auf Wärmequellen geringen Temperaturniveaus sind niedrige Trocknungstemperaturen zu bevorzugen. Es ist ein praxisgerechtes Verfahren mit den für Auslegung und Bewertung erforderlichen Daten zu finden.

3. Auswahl des Trockners

Nach den in einer Systematik von Kröll [3, 4] formulierten Auswahlkriterien wurde unter Berücksichtigung des Einsatzbereiches und der Gestalt des zu trocknenden Gutes (Aggregate im Größenbereich 1–100 mm) ein Behältertrockner (Normaldruck-Übertemperatur-Trockner, Konvektions-Trockner, Verdunstungstrockner mit Ventilator) mit Siebboden ausgewählt, in dem das ruhende Gut zwangsweise von unten nach oben von Trocknungsluft durchströmt wird.

4. Versuche

4.1 Methode

Die verfahrenstechnischen Grundlagen der Trocknung sind gleichermaßen Theorie und Experiment. Es gilt, sowohl die erreichbaren Gleichgewichtsfeuchtegrade zu bestimmen als auch den zeitlichen Trocknungsverlauf. Rechnerische Ansätze sind entwickelt worden, die, wie die *Fourier*-Gleichung bzw. das *Ficks*che Diffusionsgesetz, den Stoff- und Wärmeübergang in der Grenzschicht zwischen Gas und Flüssigkeit insbesondere für den ersten Trocknungsabschnitt beschreiben [5, 6, 7]. Die Anwendung bedarf der experimentellen Bestimmung verschiedener Parameter. Eine wesentliche Grundinformation bietet die Trocknungsverlaufskurve. Sie wird durch komplexe Erfassung der einzelnen Trocknungsabschnitte im Versuch ermittelt.

Stellt man die Zustandsänderung der als Trocknungsmedium verwendeten Luft idealisiert im h,x -Diagramm [8], Bild 1, dar, so folgt sie bei Erwärmung der Außenluft (falls erforderlich) einer Linie konstanten Feuchtegrades von Punkt 0 nach 1 und beim Trocknungsvorgang einer Linie konstanter Enthalpie von 1 nach 2.

Das Maß für das maximale Wasseraufnahmevermögen der Trocknungsluft ist das adiabate Feuchtedefizit Δx zwischen ihrem Ausgangszustand und der Sättigungslinie. Reicht das Feuchtedefizit Δx_0 der Außenluft für die gewünschte Trocknung nicht aus, so kann die Luft durch Energiezufuhr auf eine höhere Temperatur erwärmt und damit das Feuchtedefizit auf den Wert Δx_1 vergrößert werden. In der technischen Trocknung wird dieses Wasseraufnahmevermögen der Luft in der Regel nicht voll ausgenutzt. Der Zustandspunkt 2 muß einen genügenden Abstand von der Sättigungslinie einhalten, um ein zu langsames Trocknen und Rekondensation zu vermeiden.

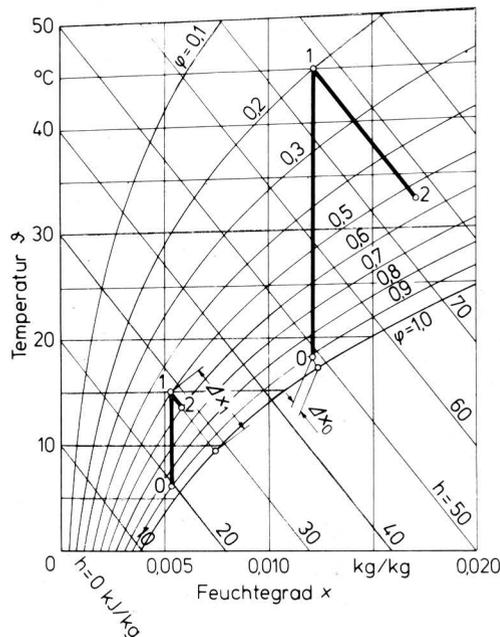


Bild 1. Darstellung des idealisierten Trocknungsverlaufs im h, x -Diagramm nach Mollier an zwei Beispielen.

- 0 Zustand der Außenluft
- 1 Zustand der Trocknungsluft zu Beginn der Trocknung
- 2 Zustand der Abluft
- 01 Erwärmung der Außenluft
- 12 Abkühlung der Trocknungsluft im Trockner

Die Parameter der Trocknungsluft, Temperatur ϑ_L , relative Feuchte φ (bzw. Feuchtegrad x) und Durchsatz \dot{V}_L , sind systematisch zu variieren. Experimentell werden der jeweilige Gleichgewichtsfeuchtegrad des Gutes und der zeitliche Trocknungsverlauf ermittelt. Aus diesen Daten folgen die Desorptionsisothermen, die Trocknungsgeschwindigkeit und der Zeitbedarf für die vorgegebene Feuchtereduktion einer bestimmten Gutsmenge.

Da die Luft einziger Energieträger ist, resultiert aus den so ermittelten Werten auch der Energiebedarf, der sich — neben dem für das Gebläse — zusammensetzt aus den Anteilen für den eigentlichen Trocknungsvorgang, für die Erwärmung des Gutes und für die Wärmeverluste.

4.2 Trocknungsgut

Das mit dem Feststoffverfahren gewonnene Ausgangsgut wurde auf den Feuchtegrad $X \rightarrow 0$ getrocknet, in einer Labormühle gemahlen, Korngrößenverteilung siehe **Tafel 1**, durch Zusatz von Wasser auf den Feuchtegrad $X_a = 1,0$ gebracht und mittels einer Schneckenpresse zu zylindrischen Aggregaten von 15 mm Durchmesser und ungefähr 15 bis 40 mm Länge kompaktiert. Das so gewonnene und für alle Versuche verwendete "Standard-Gut" hat einen Anteil an organischer Masse von 63 bis 65 % und einen Aschegehalt von 35 bis 37 %. Die Dichte der Preßlinge beträgt bei dem Feuchtegrad $X_a = 1,0$ im Mittel $\rho = 1,171 \text{ kg/dm}^3$ und bei dem Feuchtegrad $X = 0$ im Mittel $\rho = 1,292 \text{ kg/dm}^3$. Die spezifi-

sche Wärmekapazität konnte überschlägig berechnet [9] und mit Hilfe eines Kalorimetergefäßes versuchstechnisch ermittelt werden. Sie ergab sich zu $c = 1,65 \text{ kJ/kg K}$.

Korngröße mm	Massenanteil %
$\leq 0,063$	2,95
$> 0,063 - 0,1$	3,74
$> 0,1 - 0,2$	9,47
$> 0,2 - 0,63$	34,80
$> 0,63 - 1,0$	16,72
$> 1,0 - 2,0$	23,25
$> 2,0 - 3,0$	7,73
$> 3,0$	1,34

Tafel 1. Korngrößenverteilung von Standard-Gut, Siebanalyse des trockenem, gemahlten Gutes vor dem Wasserzusatz und Kompaktieren (Probenmenge 200 g, Siebdauer 3 min, Frequenz 18,2 Hz).

4.3 Versuchsdurchführung

Der verwendete Modelltrockner, **Bild 2**, besteht aus fünf übereinander angeordneten Behältern von je 1 kg Fassungsvermögen, deren Gewicht einzeln meßbar ist. Die Schichthöhe der Probe beträgt je Behälter 200 mm. — Während der Trocknung nimmt sie infolge der Schrumpfung geringfügig ab. — So kann die Trocknung in einer Gutsschicht von 1 m Gesamthöhe simuliert werden. Luft, deren Zustand sich mit Hilfe eines Klimabereiters einstellen und konstant halten läßt, durchströmt die Einrichtung von unten nach oben.

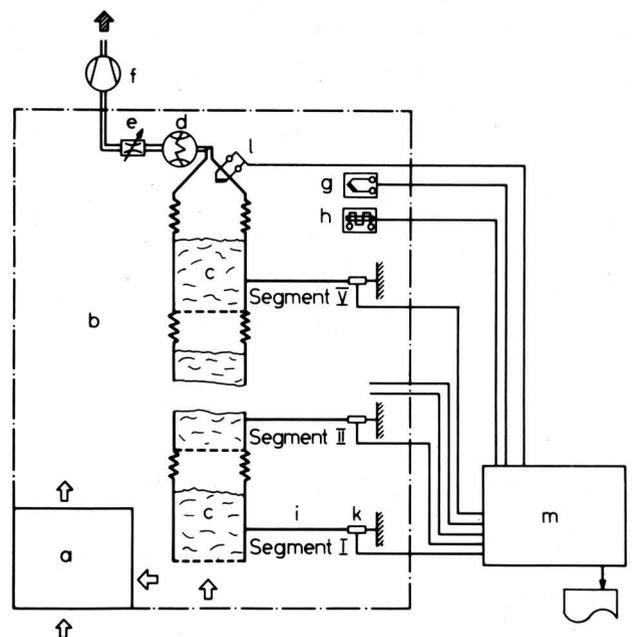


Bild 2. Versuchseinrichtung zur Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Trocknung bei Haufwerken größerer Schichthöhe.

- a Klimabereiter
- b klimatisierter Raum
- c Probenbehälter mit Versuchsgut
- d Luftvolumenmesser
- e Regulierventil
- f Gebläse
- g Raumtemperaturfühler
- h Raumfeuchtefühler
- i Biegestab
- k Dehnungsmeßstreifen
- l Temperaturfühler
- m Meßwertverarbeitung (Aufnahme bis Ausdruck)

Die den Trocknungsverlauf bestimmenden Parameter sind bei der Trocknungsluft der auf die Siebfläche eines Einzelbehälters bezogene Durchsatz \dot{V}_L , ihre Temperatur ϑ_{L1} und ihre relative Feuchte φ_1 bzw. ihr Luftfeuchtegrad x_1 . Bei den hier zu diskutierenden Versuchen wurde zunächst der Luftdurchsatz $\dot{V}_L = 800 \text{ m}^3/\text{h m}^2$, der in einem Vorversuch [10] bestimmt wurde, stets konstant gehalten. Variiert wurden die Trocknungsluft-Temperatur ϑ_{L1} im Bereich von 20 bis 45 °C und die relative Feuchte φ_1 im Bereich von 0,20 bis 0,80. Die jeweils erzielte zeitliche Reduktion der Gutsfeuchte wurde registriert.

Der Versuch gilt als beendet, sobald der Gleichgewichtszustand zwischen dem Wasserdampfdruck der Luft und dem Dampfdruck im Gutsinnern erreicht ist.

5. Ergebnisse

5.1 Trocknungsverlauf

Trägt man für einen vorgegebenen Luftzustand den Gutsfeuchtegrad X über der Trocknungszeit t auf, so ergibt sich die in Bild 3 dargestellte Feuchtereduktion in den einzelnen Schichtsegmenten I bis V von je 200 mm Schichthöhe. Die strichpunktierte Kurve in der Mitte repräsentiert den Durchschnitt der Gesamtprobe. Alle Behälter erreichen schließlich denselben Gleichgewichtsfeuchtegrad X_e , der einen Punkt der zugehörigen Desorptionsisotherme [2] darstellt. Die Desorptionsisothermen sind typisch für viele hygroskopische organische Güter mit Adsorption im Bereich niedriger Gleichgewichtsdampfdrücke und Kapillarkondensation im Bereich höherer Werte.

Da der Versuch in erster Linie auf das Erreichen des Gutsfeuchtegrades $X_e = 0,176$ (entsprechend $U_e = 0,15$) ausgerichtet ist, wurde im Bild 3 zusätzlich die jeweils bis auf diesen Feuchtegrad getrocknete Schichthöhe h_{15} (gestrichelte Linie) über der Trocknungszeit t aufgetragen.

Die Steigung der Feuchtegrad-Kurven gibt an, welche Menge

$$\dot{m}_D = \frac{dm_D}{dt}$$

an Wasserdampf der Probe je Zeiteinheit entzogen wird. Dividiert man diese Größe durch eine geeignete Bezugsfläche A , so ist der Quotient definiert als Trocknungsgeschwindigkeit

$$g_D = \frac{\dot{m}_D}{A} = \frac{dm_D}{A \cdot dt}$$

Bezieht man den Massenstrom \dot{m}_D statt dessen auf die während des Trocknungsvorganges mit hinreichender Genauigkeit konstant bleibende Trockenmasse m_{TM} , so ergibt sich die für die praktische Anwendung gut geeignete Trocknungsgeschwindigkeit g_D^* . Sie ist gleichzeitig als direkte Ableitung der Feuchtegrad-Kurven nach der Zeit zu deuten, also als zeitliche Änderung des Gutsfeuchtegrades [11, 6]

$$g_D^* = \frac{\dot{m}_D}{m_{TM}} = \frac{dm_D}{m_{TM} \cdot dt} = \frac{dX}{dt}$$

Mit der Einheit

$$[g_D^*] = \frac{[m_{\text{Wasserdampf}}]}{[m_{TM}] [t]} = \frac{g}{kg \cdot h}$$

sind diese Trocknungsgeschwindigkeiten für das erste und fünfte Schichtsegment sowie für den Durchschnitt der Gesamtprobe in Bild 4 über der Trocknungszeit t aufgetragen.

Hieraus ist deutlich zu erkennen, daß das erste Schichtsegment, beaufschlagt mit der noch sehr trockenen, aufnahmefähigen Luft, von Anfang an eine hohe Trocknungsgeschwindigkeit aufweist und schon nach kurzer Zeit seinem Gleichgewichtsfeuchtegrad X_{e1} zustrebt. Das Schichtsegment V erreicht seine höchste Trocknungsgeschwindigkeit erst nachdem die vorausgegangenen Schichten schon weitgehend trocken sind. Daß jedoch im vorliegenden Versuch auch das Schichtsegment V bereits seit Versuchsbeginn eine gewis-

se Trocknung erfahren hat, zeigt der erste horizontale Abschnitt der zugehörigen Kurve. Die Luft war auch nach Durchströmen der voranstehenden Schichtsegmente noch nicht gesättigt, ein Tatbestand, der sich auch aus dem Verlauf (Anfangsneigung) der Feuchtegrad-Kurve für das Schichtsegment V in Bild 3 ablesen läßt. Trägt man die Trocknungsgeschwindigkeit

$$\frac{dX}{dt} = f(X)$$

über dem jeweiligen Gutsfeuchtegrad X auf, so ergibt sich die Trocknungsverlaufskurve, Bild 5.

Die Kurve für das erste Schichtsegment verläuft wie für ein poröses Gut zu erwarten. Der erste Trocknungsabschnitt und der erste Knickpunkt (in der Richtung abnehmenden Feuchtegrades von rechts nach links zu betrachten) sind deutlich ausgeprägt. Das zu trocknende Gut erfährt in diesem Bereich eine fast ausschließliche Oberflächenverdunstung, deren konstante Trocknungsgeschwindigkeit allein abhängig ist von dem Luftzustand und der Größe der Stoff- und Wärmeübergangskoeffizienten der Grenzschicht.

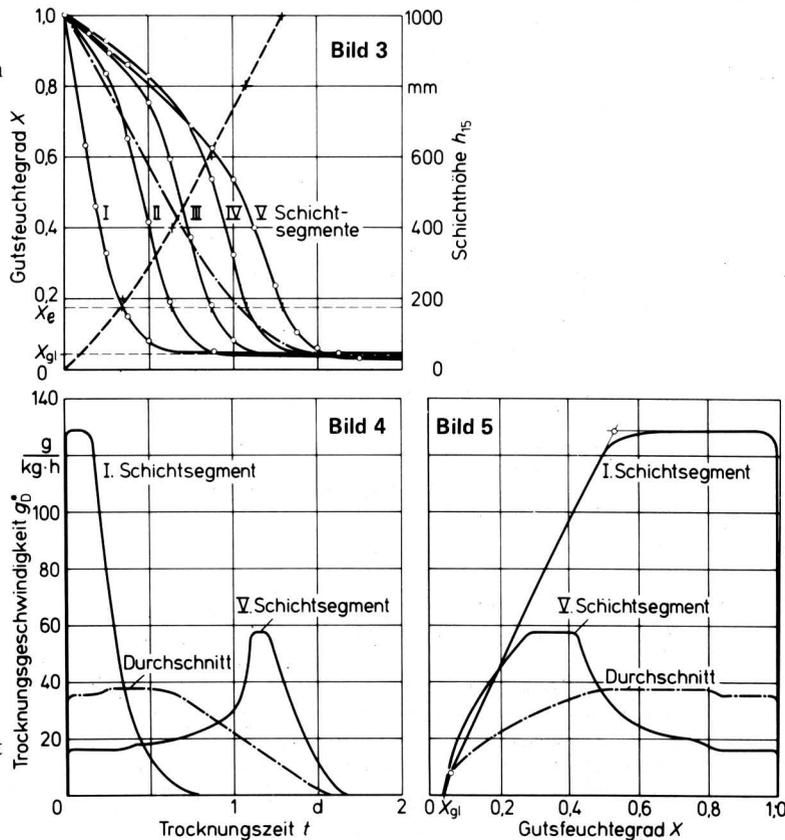


Bild 3. Zeitlicher Verlauf des Gutsfeuchtegrades X in den einzelnen Schichten eines Haufwerks aus aggregiertem, biologisch behandeltem Rinderflüssigmist und der Schichthöhe h_{15} , in der der angestrebte Gutsfeuchtegrad $X_e = 0,176$ (entsprechend $U_e = 0,15$) jeweils erreicht wurde.

Bild 4. Zeitlicher Verlauf der Trocknungsgeschwindigkeit g_D im unteren (I.) und oberen (V.) Schichtsegment sowie im Durchschnitt der untersuchten Probe.

Bild 5. Trocknungsverlaufskurve, dargestellt über dem Gutsfeuchtegrad X , für das untere (I.) und obere (V.) Schichtsegment der Gutsprobe sowie für deren Durchschnitt.

zu Bild 3–5:

- Standard-Gut
- Luftdurchsatz $\dot{V}_L = 800 \text{ m}^3/\text{h m}^2$
- Temperatur der Trocknungsluft $\vartheta_{L1} = 45 \text{ °C}$
- relative Luftfeuchte $\varphi_1 = 0,20$

Im zweiten Trocknungsabschnitt, das ist die nach dem ersten Knickpunkt sehr gleichmäßig abfallende Linie, erfolgt die Trocknung aus dem Gutsinnern heraus. Die Trocknungsgeschwindigkeit wird hier bestimmt vom Wasser- und Dampftransport durch das Gut, vom Wärmetransport durch trockene oder feuchte Gutschichten und von der hygroskopischen Bindung des Wasser an das Gut. Die pro Zeiteinheit an die Oberfläche transportierte Wassermenge ist geringer als die mögliche Verdunstungsleistung. Der Übergang in den dritten Trocknungsabschnitt, gekennzeichnet durch eine sehr starke Absenkung des Dampfdruckgefälles, ist kaum ausgeprägt.

5.2 Zeitbedarf

Trägt man die bis zum Erreichen der Schichthöhe $h_{15} = 1$ m benötigten Trocknungszeiten beispielsweise aus Bild 3 sowie für die übrigen untersuchten Trocknungsluftzustände als Zeit $t_{15,1}$ über dem jeweiligen Feuchtegrad x_1 der Luft zu Beginn des Trocknungsvorganges auf, so ergibt sich ein Diagramm gemäß Bild 6.

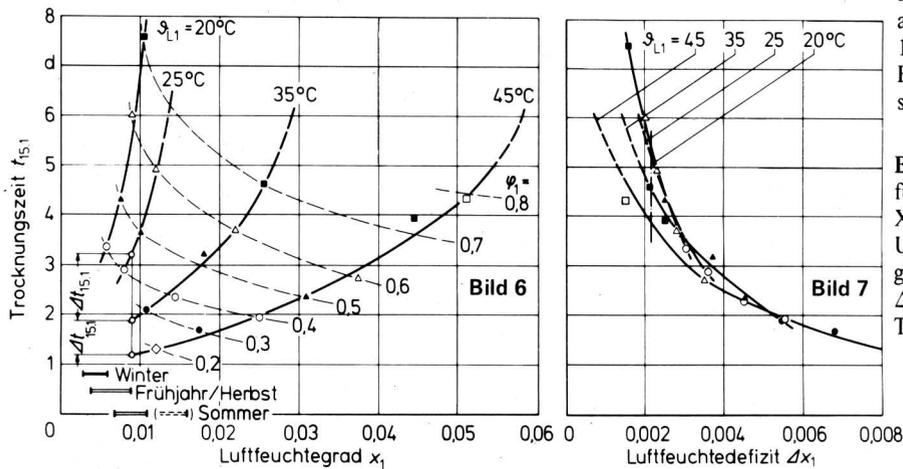


Bild 6. Erforderliche Trocknungszeit $t_{15,1}$ für die Trocknung vom Feuchtegrad $X_a = 1,0$ auf $X_e = 0,176$ (entsprechend $U_e = 0,15$) bei 1 m Schichthöhe in Abhängigkeit von dem Feuchtegrad x_1 der Trocknungsluft für verschiedene Trocknungslufttemperaturen ϑ_{L1} .

Bild 7. Erforderliche Trocknungszeit $t_{15,1}$ für die Trocknung vom Gutsfeuchtegrad $X_a = 1,0$ auf $X_e = 0,176$ (entsprechend $U_e = 0,15$) bei 1 m Schichthöhe in Abhängigkeit von dem jeweiligen Feuchtedefizit Δx_1 der Trocknungsluft für verschiedene Trocknungslufttemperaturen ϑ_{L1} .

zu Bild 6 und 7:
Standard-Gut
Luftdurchsatz $\dot{V}_L = 800 \text{ m}^3/\text{h}^2$

Die Linien der zugehörigen relativen Luftfeuchten φ_1 sind mit eingezeichnet. Ist der Trocknungsluftzustand durch Temperatur ϑ_{L1} und Feuchtegrad x_1 vorgegeben, so kann aus diesem Diagramm der jeweils erforderliche Zeitbedarf zum Trocknen einer Gutschicht von 1 m Höhe bis auf den Feuchtegrad $X_e = 0,176$ abgelesen werden. Als günstig erweist sich Luft niedrigen Feuchtegrades x_1 und hoher Temperatur ϑ_{L1} – etwa Winterluft, die (durch Sonneneinstrahlung) erwärmt wurde.

Oft wird zur Beurteilung der Trocknungsfähigkeit von Luft das Feuchtedefizit Δx_1 herangezogen. In Bild 7 sind die erforderlichen Trocknungszeiten $t_{15,1}$ über diesem Feuchtedefizit aufgetragen. Je größer das Feuchtedefizit Δx_1 und je höher die Temperatur ϑ_{L1} ist, desto geringer ist der Trocknungszeitbedarf. Die Temperatur ist dabei mit zu beachten; denn folgt man dem mit strichpunktierter Linie eingezeichneten Beispiel, so ist zu erkennen, daß sich für dasselbe Feuchtedefizit für die Lufttemperaturen $\vartheta_{L1} = 20$ bzw. 45°C Differenzen in der jeweils erforderlichen Trocknungszeit $t_{15,1}$ von rund 1 1/2 Tagen ergeben.

Die zum Trocknen benötigte Luft wird, ob direkt oder nach Erwärmung verwendet, stets der Umgebung entnommen. Je nach Witterung und Jahreszeit sind ihre Zustände verschieden. Einen Überblick über das örtliche Klima gibt Bild 8. Hier sind durchschnittliche Werte für die Temperatur ϑ_L , die relative Feuchte φ und den Feuchtegrad x über dem Verlauf des Jahres aufgetragen, für den jeweiligen Monat gemittelt aus den Werten der letzten fünf Jahre, 1971 bis 1975. Die stark ausgezogenen bzw. gestrichelten Kurven geben die fünfjährigen Monatsmittelwerte an. Die schraffierten bzw. getönten Bereiche werden begrenzt durch den jeweiligen höchsten bzw. niedrigsten monatlichen Mittelwert.

Unterliegen Temperatur und relative Feuchte je nach Windverhältnissen und Sonneneinstrahlung einem schnellen, gegenläufigen Wechsel, so ist der Feuchtegrad selbst eine Funktion der Trocknungsfähigkeit der Luft. Sein Wert (bzw. der Taupunkt) ist ein Charakteristikum der jeweiligen Jahreszeit.

Der mittlere Feuchtegrad der Luft beträgt für die Wintermonate (Dezember bis Februar) etwa 0,003 bis 0,006, für die Übergangsperioden Frühjahr und Herbst (März bis Mai und September bis November) 0,004 bis 0,009 und für die Sommermonate (Juni bis August) 0,007 bis 0,011. Jedoch unterliegen die Einzelwerte je nach Witterungsbedingungen großen Schwankungen. So sind in unserer Region im Winter schon Werte $x < 0,001$ aufgetreten und bei extrem heiß-schwülem Wetter, etwa im Juli, Werte $x > 0,016$. Die Durchschnittsbereiche für eine typische Winter-, Frühjahr/Herbst- bzw. Sommerluft, von denen bei diesen Betrachtungen ausgegangen werden soll, sind in Bild 6 unten links eingetragen. Luftfeuchtegrade $x > 0,012$ sind nicht sehr häufig.

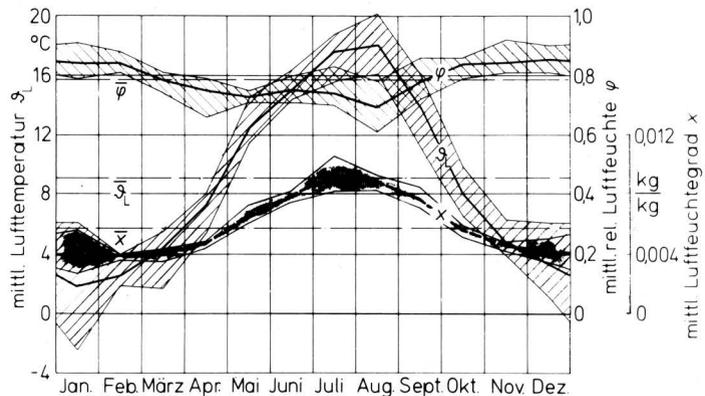


Bild 8. Durchschnittliche Werte von Temperatur ϑ_L , relativer Feuchte φ und Feuchtegrad x der Luft nach Aufzeichnung der Wetterstation Braunschweig-Völkenrode, für den jeweiligen Monat gemittelt aus den Klimawerten nach Georgi der letzten fünf Jahre, 1971 bis 1975. Der Streubereich wird begrenzt durch den höchsten und niedrigsten Mittelwert des jeweiligen Monats.

Bei Kenntnis des vorgegebenen Luftzustandes ist mit Hilfe von Bild 6 zu entscheiden, ob mit der Luft im Ausgangszustand getrocknet werden kann oder ob eine Erwärmung erforderlich ist. Dabei bliebe der jeweilige Luftfeuchtegrad konstant. Die Differenz der Ordinatenwerte von übereinanderliegenden Punkten verschiedener Isothermen zeigen den Unterschied an erforderlicher

Trocknungszeit $\Delta t_{15,1}$, wie für zwei Beispiele eingezeichnet, bei den verschiedenen Trocknungslufttemperaturen. So kann man aus den Ordinatenwerten der Kurven für $\vartheta_{L1} = 45, 35$ und 25°C ablesen, wie groß die Ersparnis an Trocknungszeit $\Delta t_{15,1}$ wäre, wenn man, von den Isothermen ausgehend, eine Temperaturerhöhung um je 10 K durchführte.

Die so gefundenen Werte $\Delta t_{15,1}$, aufgetragen über dem Luftfeuchtgrad x_1 , ergeben das Diagramm Bild 9. Das Bild zeigt für die beiden als Isothermen dargestellten Ausgangslufttemperaturen ϑ_{L0} , wie groß die Zeitersparnis bei dem jeweils vorliegenden Luftfeuchtgrad x_1 wäre, wenn man die eingezeichneten Temperaturen um 10 K erhöhte. Die Zeitersparnis ist umso größer, je höher der Luftfeuchtgrad und je niedriger die Ausgangstemperatur ist.

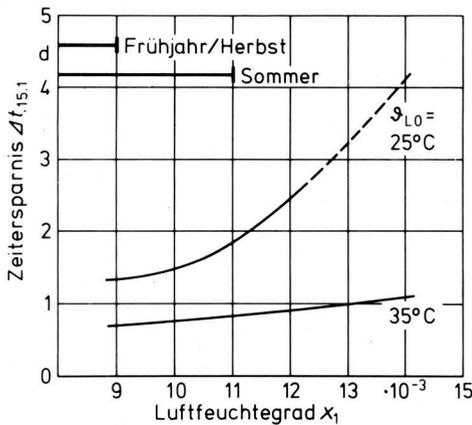


Bild 9. Trocknungszeitersparnis $\Delta t_{15,1}$ bei einer Erhöhung der Ausgangsluft-Temperatur ϑ_{L0} um 10 K in Abhängigkeit vom Luftfeuchtgrad x_1 für zwei Außenluft-Temperaturen ϑ_{L0} .

Standard-Gut
Luftdurchsatz $\dot{V}_L = 800 \text{ m}^3/\text{h m}^2$

5.3 Energiebedarf

Die für die Trocknung erforderliche Energie E setzt sich zusammen aus dem Anteil für die gegebenenfalls notwendige Heizung und dem für die Luftförderung (Gebläse).

$$E = E_{\text{Heizung}} + E_{\text{Gebläse}} = \dot{Q} \cdot t_{15,1} + P \cdot t_{15,1} \\ \approx (\dot{m} \cdot c \cdot \Delta \vartheta_{L01} + P) \cdot t_{15,1}$$

worin

\dot{Q}	Wärmestrom
$t_{15,1}$	erforderliche Trocknungszeit zum Trocknen einer Gutsschicht von 1 m Höhe vom Gutsfeuchtgrad $X_a = 1,0$ auf $X_e = 0,176$ (entsprechend $U_e = 0,15$)
P	Leistungsaufnahme des Gebläses
\dot{m}	Luftmassenstrom
c	spez. Wärmekapazität der Luft
$\Delta \vartheta_{L01}$	Temperaturintervall zwischen der Außen- und der Trocknungsluft.

Da beide Energieanteile dem Zeitbedarf proportional sind, korreliert auch die Gesamtenergie mit der Trocknungszeit $t_{15,1}$.

Temperaturerhöhungen bewirken eine überproportionale Verkürzung der Trocknungszeit. Dabei ist zu beachten, daß mit zunehmendem Temperaturintervall $\Delta \vartheta_{L01}$ zwar nur die Heizleistung linear ansteigt, während die des Gebläses konstant bleibt, daß jedoch die Zeitersparnis $\Delta t_{15,1}$ abnimmt. Bei konstantem Luftdurchsatz erweist sich also die Trocknung mit geringer Lufterwärmung als die energetisch günstigere.

5.4 Beurteilung der Ergebnisse

Die Anwendbarkeit der Ergebnisse wird eingeschränkt dadurch, daß den Versuchen lediglich ein (konstant gehaltener) Luftdurchsatz zugrunde lag und Luftzustände geringerer Feuchtekonzentration noch nicht in genügendem Umfang untersucht werden konnten. Für den erfaßten Bereich jedoch sind die Aussagen als Grundlage für eine Umsetzung in den technischen Maßstab geeignet.

6. Zusammenfassung

Auf experimentellem Wege konnten für ein praxisgerechtes Verfahren zur Trocknung von Preßlingen aus Flüssigmist Daten ermittelt werden, die die Abschätzung wichtiger Größen für die Auslegung gestatten. Unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen und witterungsbedingten Unterschiede des Außenluftzustandes konnten die Trocknungsfähigkeit der Luft und der Zeitbedarf dargestellt werden, aus dem der erforderliche Energiebedarf abzuleiten ist.

Bei der Trocknung mit konstantem Luftdurchsatz nimmt der Wirkungsgrad mit zunehmender Lufterwärmung ab.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Baader, W., F. Schuchardt u. H. Sonnenberg: Untersuchungen zur Entwicklung eines technischen Verfahrens für die Gewinnung von Feststoffen aus tierischen Exkrementen (erste Mitteilung). Grndl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 2, S. 33/42.
- [2] Baader, W., F. Schuchardt u. H. Sonnenberg: Untersuchungen zur Entwicklung eines technischen Verfahrens zur Gewinnung von Feststoffen aus tierischen Exkrementen — 2 (zweite Mitteilung). Grndl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 6, S. 234/44.
- [3] Kröll, K.: Einige Entwicklungslinien der Trocknungstechnik. Verfahrenstechnik Bd. 5 (1971) Nr. 7, S. 279/88.
- [4] • Kröll, K.: Trockner, einteilen, ordnen, benennen, benummern. Schilde Schriftenreihe Band 6, April 1965.
- [5] • Krischer, O. u. K. Kröll: Trocknungstechnik, Bd. 1 (Krischer: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik). 2. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1963.
- [6] • Krischer, O. u. K. Kröll: Trocknungstechnik, Bd. 2 (Kröll: Trockner und Trocknungsverfahren). Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1959.
- [7] • Kneule, F.: Das Trocknen. Aarau, Frankfurt/Main: Verlag Sauerländer 1975.
- [8] • Häussler, W.: Lufttechnische Berechnungen im Mollier-i,x-Diagramm. Wärmelehre u. Wärmewirtschaft in Einzeldarstellungen Band 17. Dresden: Verlag Theodor Steinkopff 1973.
- [9] Houkom, R.L., A.F. Butchbaker u. G.H. Bruswitz: Thermal properties of beef manure. ASAE-Paper No. 72-316 (1972).
- [10] Baader, W., F. Schuchardt, H. Sonnenberg u. H. Söchtig: Die Gewinnung eines lagerfähigen und landwirtschaftlich nutzbaren Feststoffes aus Rinderflüssigmist. Berichte über Landw. Sh. 192, S. 798/835 Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey 1975.
- [11] Claus, H.G.: Einfluß von mechanischer Aufbereitung, Schichtstärke, Temperatur und Luftgeschwindigkeit auf die Trocknung von Halmfutter im Warmluftbereich, Habilitationsschrift Univ. Göttingen, 1971.