

# Trocknungs- und Verlustvorgänge bei der Belüftung von Heustapeln mit Kaltluft

Mitteilung aus dem Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim

Im Zusammenhang mit den im Institut für Landtechnik der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim (Dir. Prof. Dr.-Ing. G. Segler) durchgeführten Untersuchungen auf dem Gebiete der Belüftungstrocknung von Heu wurde im Rahmen einer größeren Forschungsarbeit<sup>1)</sup> auf Trocknungs- und Verlustvorgänge bei der Kaltlufttrocknung von Heu eingegangen [1]. Nachfolgend wird auszugsweise über die Ergebnisse der Untersuchungen berichtet.

Die Belüftungstrocknung von Heu mit Kaltluft hat sich seit ihrer Einführung in Westdeutschland durch Prof. SEGLER [2] in den Jahren 1949/52 bewährt. Die Vortrocknung auf dem Felde konnte verkürzt und dadurch das Wetterisiko und die Feldverluste (Atmungs- und Bröckelverluste) wesentlich vermindert werden. Durch das Verfahren der Belüftungstrocknung von Heu wurde in den vergangenen Jahren eine wesentliche Qualitätssteigerung in der Heubereitung erreicht. Der wirtschaftliche Erfolg ist durch die Möglichkeit gegeben, Heu mit einem Anfangsfeuchtegehalt von 40 bis 45 %, bei verbesserten Anlagen bis zu 60 % Feuchtegehalt, mit geringem Arbeits- und Kostenaufwand in lagerfähigen Zustand zu bringen. Die Nährstoffverluste durch Atmungs- vorgänge noch lebender Pflanzenzellen und von Mikroorganismen sind so niedrig wie möglich zu halten. Da die Verluste sehr von der Trocknungszeit des Gutes abhängen, ist ihr Einfluß auf die auftretenden Trockensubstanzverluste bei den durchgeführten Untersuchungen besonders berücksichtigt worden. Amerikanische Untersuchungen [3 ... 8] zur Frage der biologischen Wärmebildung, der Nährstoffverluste und der Schimmelbildung bei der Belüftungstrocknung von Heu gaben wertvolle Hinweise für die Versuche. Auf trockenstechnische Grundlagen bei der Belüftung von Halmgut soll hier nicht näher eingegangen werden, da diese Fragen früher bereits behandelt wurden [9].

## 1. Theoretische Betrachtungen zum Versuchsaufbau und zur Versuchsmethodik

Die Untersuchungen, über deren Ergebnisse nachstehend berichtet werden soll, wurden in den Jahren 1960/61 an einer

<sup>1)</sup> Diese Untersuchungen wurden in dankenswerter Weise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch die Bereitstellung von Personal- und Sachmitteln unterstützt

im Institut für Landtechnik Hohenheim entwickelten Meßanlage durchgeführt (Bild 1). Sie bestand aus einem wärmeisolierten Versuchsbehälter (Bild 2) zur Aufnahme des Versuchsgutes. Der Behälter war zur ständigen Kontrolle der Gutmenge an einer Laufgewichts-Kranwaage aufgehängt. Die Luft wurde von einem Radialgebläse über eine Meßleitung dem Druckausgleichsraum im unteren Behälterteil zugeführt. Während der einzelnen Versuche sind folgende Meßwerte ermittelt worden: Die Masse und der Feuchtegehalt des Gutes bei der Ein- und Auslagerung sowie die Verminderung der Gutmasse durch die Trocknung in bestimmten Zeitabständen. Bei der Ein- und Auslagerung wurden jeweils Mischproben vom Trocknungsgut entnommen und auf ihren Nährstoffgehalt untersucht. Die trockenstechnischen Messungen erfaßten die geförderte Luftmenge und den Luftzustand, das sind Temperatur und relative Feuchte von Zu- und Abluft. Für die Messungen wurde ein Abstand von zwei Stunden gewählt. Da die Trocknungsluft aus einem Hallengebäude abgesaugt wurde, machten sich die tageszeitlichen Schwankungen im Luftzustand nur in abgeschwächter Form bemerkbar. Die Temperatur und relative Feuchte von Zu- und Abluft konnten deshalb gemittelt werden.

Zu Beginn der Versuchsreihe war folgendes Verfahren zur Verlustbestimmung vorgesehen: Die Trockensubstanz- und Nährstoffverluste sollten über den ganzen Versuchszeitraum erfaßt werden als Differenz der Trockensubstanz bei der Einlagerung  $m_{s1}$ , ermittelt aus der eingelagerten Gutmenge und dem Anfangsfeuchtegehalt, und der Trockensubstanz bei der Auslagerung  $m_{s2}$ , errechnet aus der ausgelagerten Gutmenge und dem Endfeuchtegehalt. Zur Kontrolle sind die Verluste in den einzelnen Meßintervallen aus folgenden Werten bestimmt worden: Gesamte Gutabnahme in der Zeit zwischen zwei Wägungen, abzüglich der in diesem Zeitraum abgeführ-



Bild 1: Ansicht des Versuchsbehälters mit Beschickungseinrichtung

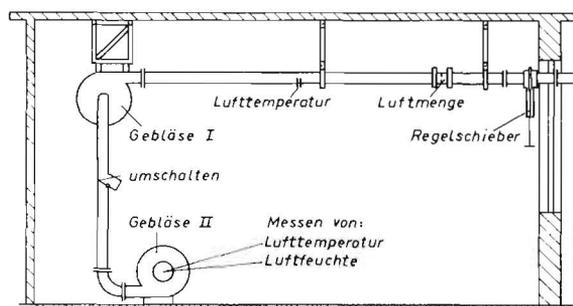
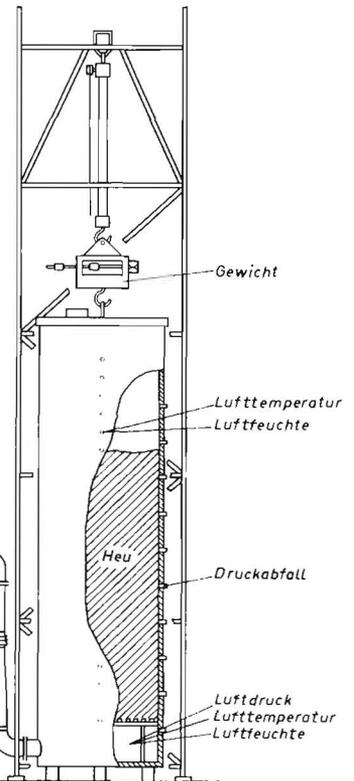


Bild 2: Versuchsanlage zur Durchführung von Untersuchungen über Trocknungs- und Verlustvorgänge bei der Belüftung von Heustapeln mit Kaltluft



ten Wassermenge, ermittelt aus den lufttechnischen Messungen. Es zeigte sich jedoch sehr bald, daß die auftretenden Verluste relativ klein waren und im Bereich der Meßtoleranzen für die Bestimmung von  $m_{s,1}$  und  $m_{s,2}$  lagen.

Deshalb wurde bei sämtlichen Versuchen eine zweite Methode zur Ermittlung der Trockensubstanzverluste gewählt, und zwar durch Aufstellen einer Energiebilanz. Mit den Zustandswerten von Zu- und Abluft können aus dem  $i,x$ -Diagramm für feuchte Luft die spezifischen Enthalpien ermittelt werden. Beim Durchgang der Luft durch das Gut hat sie

1. das Naßgut erwärmt oder abgekühlt,
2. die notwendige Desorptions- und Bindungsenthalpie dem Gut zugeführt und
3. die Wärmeverluste des Trockners an die Umgebung gedeckt.

Die Wärmemengen zur Abkühlung oder Erwärmung des Heues können in einfacher Weise bestimmt werden.

Es ist

$$Q_{G_i} = m_{G_i} \cdot c_{G_i} \cdot (\vartheta_{G_i} - \vartheta_{L_i}) \quad [kcal] \quad (1)$$

Es bedeuten:

- $m_{G_i}$  Masse des Naßgutes [kg]
- $c_{G_i}$  mittlere spezifische Wärme des Naßgutes [kcal/kg °C] (nach HENDRIX [5] ist  $c_{G_i}$  im Mittel 0,55 kcal/kg °C)
- $\vartheta_{G_i}$  Temperatur des Naßgutes [°C]
- $\vartheta_{L_i}$  Temperatur der aus- oder eintretenden Luft [°C].

In normalen Belüftungsbetrieb, wenn keine Erwärmungen stattfinden, kann dieser Wert vernachlässigt werden.

In Bild 3 ist die Versuchsanlage schematisch dargestellt. Die Gleichung der Energiebilanz für die Versuchsanlage nach Bild 3 lautet nach KRISCHER [10]

$$Q_A - Q_U + L_{Vent} = m_{L_a} \cdot (i_{L_a} - i_{L_e}) + m_{D_a} \cdot i_{D_a} - m_{D_e} \cdot i_{D_e} - \Delta m_W \cdot i_W \quad (2)$$

Es bedeuten:

- $Q_A$  im Gut erzeugte biologische Wärme (Atmungswärme) [kcal]
- $Q_U$  Wärmeverluste der Trocknungsanlage an die Umgebung [kcal]
- $L_{Vent}$  Ventilatorarbeit [kcal]
- $m_{L_a}$  Masse der Trockenluft [kg]
- $i_{L_a}$  spezif. Enthalpie der austretenden Trockenluft [kcal/kg]
- $i_{L_e}$  spezif. Enthalpie der eintretenden Trockenluft [kcal/kg]
- $m_{D_a}$  in der Luft enthaltene Dampfmasse beim Austritt [kg]
- $m_{D_e}$  in der Luft enthaltene Dampfmasse beim Eintritt [kg]
- $i_{D_a}$  spezif. Enthalpie der in der Luft enthaltenen Dampfmasse beim Austritt [kcal/kg]
- $i_{D_e}$  spezif. Enthalpie der in der Luft enthaltenen Dampfmasse beim Eintritt [kcal/kg]
- $\Delta m_W$  abgeführte Feuchtemasse [kg]
- $i_W$  spezif. Enthalpie der abgeführten Feuchtemasse [kcal/kg]

Da die spezifischen Enthalpien der Zu- und Abluft direkt aus dem  $i,x$ -Diagramm für feuchte Luft bestimmt werden, kann man vereinfacht schreiben ( $Q_U$  und  $L_{Vent}$  entfallen)

$$Q_A = m_L (i_a - i_e) - \Delta m_W (c_W \cdot \vartheta_H - i_B) \quad [kcal] \quad (3)$$

Es bedeuten:

- $i_a$  spezif. Enthalpie der Abluft [kcal/kg tr. Luft]
- $i_e$  spezif. Enthalpie der Zuluft [kcal/kg tr. Luft]
- $c_W$  mittlere spezifische Wärme der Gutfeuchte (Wasser) [kcal/kg °C]
- $i_B$  Bindungsenthalpie [kcal/kg] (sie ist besonders bei einer Übertrocknung des Gutes unter 20 % zu berücksichtigen)

Mit Hilfe der vorstehend abgeleiteten Gleichung für die Energiebilanz wurde die vom Trocknungsgut während der einzelnen Versuche erzeugte biologische Wärme  $Q_A$  ermittelt. Da bei den Versuchen das Heu in den unteren Schich-

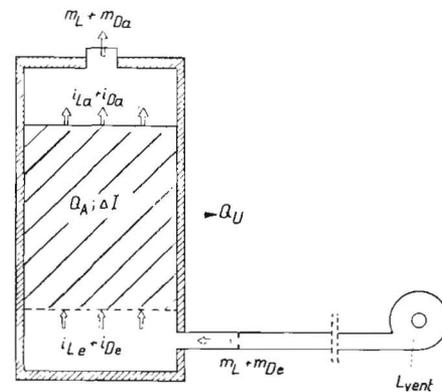


Bild 3: Versuchsanlage nach Bild 1 mit Angaben zur Energiebilanz:  $\Delta I$  Enthalpieänderung des Gutes

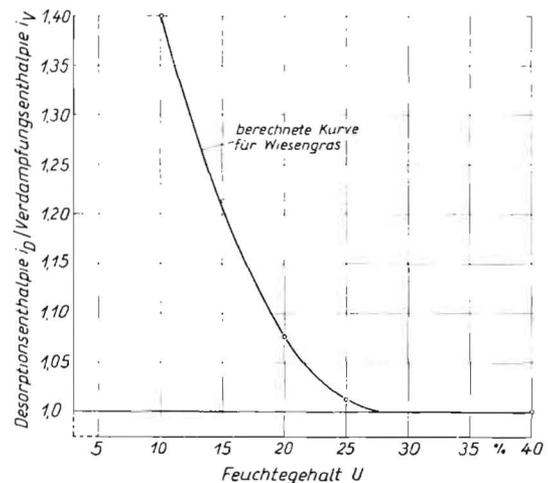


Bild 4: Desorptionenthalpie  $i_D$  im Vergleich zur Verdampfungsenthalpie  $i_V$  von freiem Wasser in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt  $U$  bei Wiesengras  
berechnet aus den Desorptionsisothermen von WINKELER [12]

ten bis auf einen Feuchtegehalt von 10 % heruntergetrocknet wurde, ist auch die Bindungsenthalpie  $i_B$  berücksichtigt worden. Dazu wurde nach einem Berechnungsverfahren von OTHMER [11] unter Verwendung der Desorptionsisothermen von WINKELER [12] die Bindungsenthalpie  $i_B$  bestimmt. Im Diagramm Bild 4 ist das Verhältnis von Desorptionenthalpie  $i_D$  zur Verdampfungsenthalpie  $i_V$  von freiem Wasser über dem Feuchtegehalt  $U$  aufgetragen. Für die Desorptionenthalpie  $i_D$  gilt folgende Beziehung

$$i_D = i_V + i_B \quad [kcal/kg] \quad (4)$$

Die erzeugte biologische Wärme ergab bei der Energiebilanz eine Erhöhung des Wärmeniveaus. Da sie durch die Atmung der noch lebenden Pflanzenzellen beziehungsweise der Mikroorganismen erzeugt wird, läßt sich der äquivalente Substanzverlust nach der folgenden Gleichung berechnen:

$$\Delta m_s = \frac{Q_A}{H_{II}} \quad [kg \text{ TS}] \quad (5)$$

mit  $\Delta m_s$  Verlust an Trockensubstanz [kg]  
 $H_{II}$  unterer Heizwert des Gutes [kcal/kg TS]

Unter der Annahme, daß nur Traubenzucker veratmet wird, beträgt  $H_{II} \approx 3750$  kcal/kg TS. Mit diesem Wert wurde bei den einzelnen Versuchen der Trockensubstanzverlust bestimmt.

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Bei der Durchführung der einzelnen Versuche ergab sich zu Beginn der Messungen, daß die Entwicklung einer bestimmten Versuchstechnik unerlässlich ist. Einleitend wurde schon darauf hingewiesen, daß beispielsweise die Methode zur Ermittlung der Substanzverluste mit Hilfe der Energie-

bilanz aufgestellt und erprobt werden mußte. Die ersten Versuche haben aber auch bereits gezeigt, daß der Trocknungsverlauf und die biologische Wärmebildung von so vielen Einflußgrößen abhängig sind, daß diese mit einem Versuchsbehälter nicht zu beherrschen waren. Zeitbedingte Unterschiede im Anfangsfeuchtegehalt und in der botanischen Zusammensetzung, in der Art der Aufbereitung und der Einlagerungsdichte des Gutes sowie im Zustand der Trocknungsluft waren nicht zu vermeiden. Die Vielzahl der Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Einflußgrößen ist eine Erklärung dafür, daß die durchgeführten Versuche nur bedingt miteinander verglichen werden können. Damit läßt sich gleichzeitig die teilweise Streuung der Versuchsergebnisse erklären. Die bei diesen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse und die entwickelte Meßmethodik konnten bei der später durchgeführten Erweiterung der Anlage und bei der Fortsetzung der Untersuchungen berücksichtigt werden. Trotz der in gewissen Grenzen streuenden Untersuchungsergebnisse wurde versucht, die Ergebnisse in Diagrammen auszuwerten. Frühere amerikanische Untersuchungen über die biologische Wärmeentwicklung bei der Belüftungstrocknung von Heu bestätigten die festgestellten Tendenzen [4; 8].

In den Jahren 1960/61 wurden neun Belüftungsversuche mit verschiedenen spezifischen Luftmengen durchgeführt. Da die Füllhöhe und damit die Heumenge nicht in allen Fällen gleich war, wurden die Versuche nach der verwendeten spezifischen Luftmenge je  $m^3$  Heu eingeteilt. Es wurden jeweils drei Versuche mit sehr niedrigen spezifischen Luftmengen von 0,006 bis 0,01  $m^3/s$  je  $m^3$  Heu, mit normalen Werten von 0,027 bis 0,03  $m^3/s$  je  $m^3$  Heu und mit gesteigerten Luftmengen von 0,04 bis 0,06  $m^3/s$  je  $m^3$  Heu durchgeführt. Der Anfangsfeuchtegehalt des Gutes lag bei diesen Versuchen zwischen 32 und 66 %. Der Zustand der Zuluft war, bedingt durch die jahreszeitlichen Schwankungen, ebenfalls sehr unterschiedlich. Die mittlere Temperatur der Zuluft für die einzelnen Trocknungsperioden schwankte zwischen 13,7 °C und 28,6 °C. Die zugehörigen Werte der mittleren relativen Feuchte der Zuluft lagen zwischen 55,5 % und 39 %. Für die Trocknungszeiten ergab sich auf Grund der unterschiedlichen Versuchsdaten ein großer Bereich von 35 bis 365 Stunden.

Jeder der neun Versuche wurde für sich ausgewertet, wobei mit den gemessenen Zustandswerten von Zu- und Abluft der Feuchtegrad  $x$  [g/kg tr. Luft] und die spezifische Enthalpie  $i$  [kcal/kg tr. Luft] aus dem  $i, x$ -Diagramm für feuchte Luft ermittelt wurden. Ferner ist für jeden Meßpunkt die Feuchtegraddifferenz  $\Delta x$  von Zu- und Abluft und die Enthalpieerhöhung der Abluft  $\Delta i$  bestimmt und anschließend für den ganzen Versuchszeitraum gemittelt worden. Die Wasseraufnahmefähigkeit der Luft ergab sich für die einzelnen Versuche aus der mittleren Feuchtegraddifferenz  $\Delta x_m$  zu 2,0 bis 5,5 g/kg tr. Luft; bei einer Dichte der Luft  $\rho_L = 1,18 \text{ kg/m}^3$  sind dies  $\Delta x_m = 2,4$  bis  $6,5 \text{ g/m}^3$  Luft. Bei der Versuchsauswertung wurde auch die Feuchtegraddifferenz  $\Delta x_{ad}$  für adiabatischen Trocknungsverlauf bestimmt. Damit konnte die Erhöhung der Trocknungsfähigkeit der Luft durch die biologische Wärmebildung erfaßt werden. Bei den Versuchen lagen die Werte für  $\Delta x_m - \Delta x_{ad}$  zwischen 0,1 bis 2,05 g/kg tr. Luft. Ein weiteres Maß für die biologische Wärmebildung ist die ebenfalls aus den Luftzustandswerten (Zu- und Abluft) bestimmte mittlere Erhöhung der spezifischen Enthalpie  $\Delta i_m$ . Sie erreichte bei den Versuchen Werte von 0,2 bis 1,0 kcal/kg tr. Luft. Die dabei aufgetretenen Trockensubstanz- und Nährstoffverluste betragen etwa 1 bis 5 %.

Bei der Ein- und Auslagerung wurden je eine Mischprobe aus dem Versuchsgut entnommen und auf ihren Nährstoffgehalt untersucht. Da die ein- und ausgelagerten Gutmengen bekannt waren, konnte für jeden Versuch eine Nährstoffbilanz durchgeführt werden. Untersuchungen von ORTH [13; 14] und ASCHERFELD [15] hatten ergeben, daß bei der biologischen Wärmebildung hauptsächlich N-freie Extraktstoffe (Kohlehydrate) abgebaut werden. Die Ergebnisse der durchgeführten Nährstoffuntersuchungen zeigten dieselbe Tendenz.

Auf diese Weise war es möglich, die Trockensubstanzverluste auch aus den Nährstoffbilanzen für das ein- und ausgelagerte Gut zu bestimmen. Es ergaben sich Verluste von 0,9 bis 5,5 %. Die nach verschiedenen Methoden ermittelten Verlustwerte stimmten relativ gut überein. Gleichzeitig wurde bestätigt, daß die gemachten vereinfachenden Annahmen bei der Aufstellung der Energiebilanz zulässig waren.

### 3. Auswertung der Versuche

Die Aufgabe der durchgeführten Untersuchungen war es, die Zusammenhänge zwischen der biologischen Wärmebildung, den dabei auftretenden Substanzverlusten und dem Trocknungsverlauf zu klären. Bei der Auswertung der Versuche hatte sich jedoch gezeigt, daß mit einem Versuchsbehälter nicht alle, den Trocknungsverlauf und die biologische Wärmebildung beeinflussenden Faktoren getrennt erfaßt werden konnten.

Die Kenntnis der zulässigen Trocknungszeit des Naßgutes in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt ist wegen der damit zusammenhängenden Trockensubstanzverluste besonders wichtig. Nährstoffuntersuchungen von getrocknetem Heu aus der Belüftungsschicht unmittelbar über dem Luftverteilstroß erbrachten folgendes Ergebnis: Heu, das sofort von der Trocknungszone erfaßt wird, erfährt in seinem Nährstoffgehalt keine wesentliche Veränderung. Für die genaue Bestimmung der Substanzverluste in Abhängigkeit von der Trocknungszeit ist eine Aufteilung des gesamten Stapels in dünne Einzelschichten erforderlich. Erst die Ermittlung des Trocknungsverlaufs und des Nährstoffgehaltes der Einzelschichten ermöglicht genaue Angaben über die Substanzverluste in Abhängigkeit von der Trocknungszeit.

Die Trocknungszeit wird jedoch nicht nur durch die zulässigen Substanzverluste begrenzt, sondern weitgehend vom Zeitpunkt der beginnenden Schimmelbildung. Untersuchungen von TERRY [7; 8] zeigten, daß mit zunehmendem Anfangsfeuchtegehalt und steigender Temperatur der Trocknungsluft bis zu 30 bis 40 °C nicht nur die biologische Wärmebildung ansteigt, sondern auch die Schimmelbildung im feuchten Heu früher einsetzt. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde jeweils der gesamte Stapel betrachtet. Es sind daher nur Nährstoffanalysen von Mischproben durchgeführt worden. Da ferner eine Überlagerung der verschiedenen Faktoren, welche die Trocknungswirkung der Luft und die biologische Wärmebildung beeinflussen, eingetreten war, können zu den gezeigten Diagrammen auf Grund der festgestellten Tendenzen Hinweise für weitere Untersuchungen gegeben werden.

Bild 5 zeigt den Trocknungsverlauf für drei verschiedene spezifische Luftmengen. Aus jeder der drei Versuchsgruppen wurde ein charakteristischer Versuch ausgewählt. Da Heu im

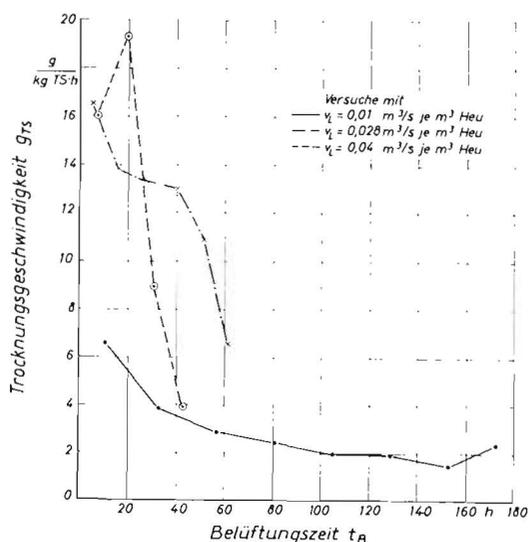


Bild 5: Verlauf der Trocknungsgeschwindigkeit  $g_{TS}$  in Abhängigkeit von der Belüftungszeit für drei verschiedene spezifische Luftmengen

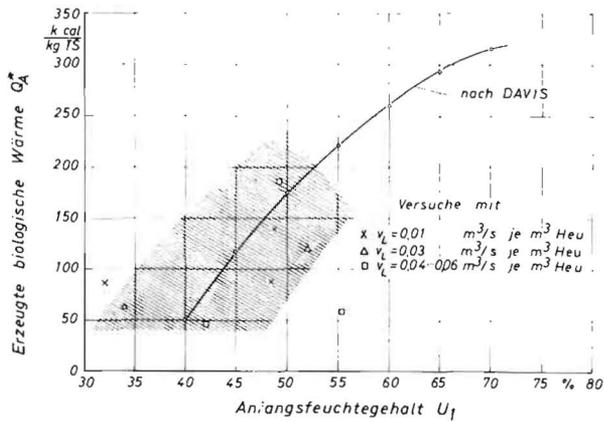


Bild 6: Je kg Trockensubstanz erzeugte biologische Wärme  $Q_A^*$  in Abhängigkeit vom Anfangsfeuchtegehalt  $U_1$  bei verschiedenen spezifischen Luftmengen  $v_L$ .

Verlauf der Trocknung schrumpft und außerdem seine Oberfläche nicht bestimmbar ist, konnte weder das Heuvolumen noch die Gutoberfläche (beides häufig in der Trocknungstechnik verwendete Bezugsgrößen) als Bezugsgröße gewählt werden. Die Trocknungsgeschwindigkeit wurde deshalb auf die Trockensubstanz als eine nur wenig veränderliche Bezugsgröße bezogen. SPRENGER [16] verwandte ebenfalls die Trocknungsgeschwindigkeit. In Bild 5 ist die Trocknungsgeschwindigkeit Trockensubstanz als Bezugsgröße für die Trocknungsgeschwindigkeit  $g_{TS}$  in  $g/kg\ TS \cdot h$  über der Belüftungszeit  $t_B$  aufgetragen. Die Trocknungsgeschwindigkeit  $g_{TS}$  stellt die in einer Stunde je kg Trockensubstanz abgeführte Feuchtemasse in Gramm dar. Aus dem Kurvenverlauf ist die meist zu frühe Beendigung der Versuche zu erkennen. Das bedeutet, daß die Trocknungszone noch nicht vollständig durch die Stapeloberfläche hindurchgewandert war. Am Ende eines Versuches müßten sich die Kurven asymptotisch der x-Achse nähern. Die Kurven in Bild 5 zeigen sehr deutlich den Einfluß der spezifischen Luftmenge auf die Trocknungsgeschwindigkeit. Mit zunehmender spezifischer Luftmenge erhält man einen steiler werdenden Kurvenverlauf.

Wie hoch ist nun die zulässige Trocknungszeit? Begrenzt man die Trockensubstanzverluste auf 2% bei durchgehender Belüftung, so ist bei einem Anfangsfeuchtegehalt von 45 bis 50% eine spezifische Luftmenge  $v_L$  von mindestens 0,04 bis 0,06  $m^3/s$  je  $m^3$  Heu erforderlich. Die Trocknungszeit sollte hierbei 50 bis 70 Stunden nicht überschreiten.

In der Einleitung wurde schon auf die verschiedenen, die biologische Wärmebildung beeinflussenden Faktoren hingewiesen. Diese waren: Gutart, Gutzusammensetzung und -beschaffenheit, Anfangsfeuchtegehalt des Gutes, ferner Temperatur und relative Feuchte der Trocknungsluft, spezifische Luftmenge beziehungsweise Luftgeschwindigkeit. Eine getrennte Erfassung einzelner Einflußgrößen ist nur durch Reihenversuche mit mehreren, gleichzeitig zu beschickenden Behältern möglich.

In den folgenden Diagrammen wurde versucht, die mit einem Versuchsbehälter gewonnenen Ergebnisse bei der Ermittlung der biologisch erzeugten Wärme auszuwerten. Es war dabei zu erwarten, daß bestenfalls ein Streubereich angegeben werden kann.

In Bild 6 ist die biologisch erzeugte Wärme  $Q_A^*$  bezogen auf die eingelagerte Trockensubstanz in Abhängigkeit vom Anfangsfeuchtegehalt des Gutes aufgetragen. Zum Vergleich ist eine von DAVIS [4] ermittelte Kurve eingetragen, die unter konstanten Versuchsbedingungen ermittelt wurde.

In den Bildern 7 und 8 ist die Abhängigkeit der biologischen Wärmebildung von der spezifischen Luftmenge  $v_L$  und  $v_L'$  beziehungsweise von der Luftgeschwindigkeit  $w_L$  gezeigt. Es ist der Anteil der biologischen Wärme  $Q_A$  an der gesamten erforderlich gewesenen Desorptionswärme  $Q_D$  aufgetragen. Die Versuchsergebnisse konnten durch Streubereiche erfaßt werden. Die Abgrenzungen der Streubereiche entsprechen in ihrem Verlauf den von TERRY [8] theoretisch ermittelten Kurven. Gleichzeitig ist in Bild 8

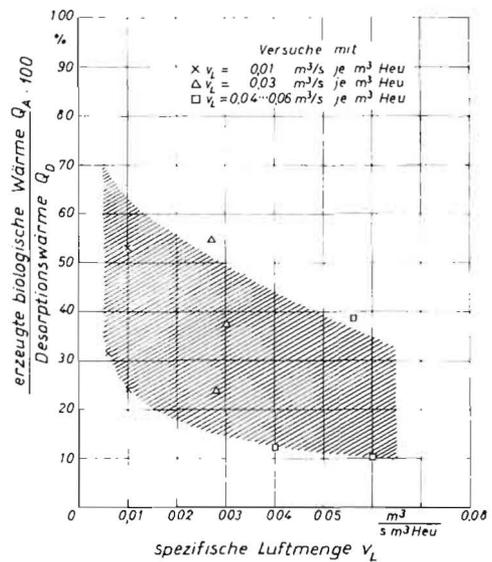


Bild 7: Anteil der biologischen Wärme  $Q_A$  an der gesamten Desorptionswärme  $Q_D$  in Abhängigkeit von der spezifischen Luftmenge  $v_L$ .

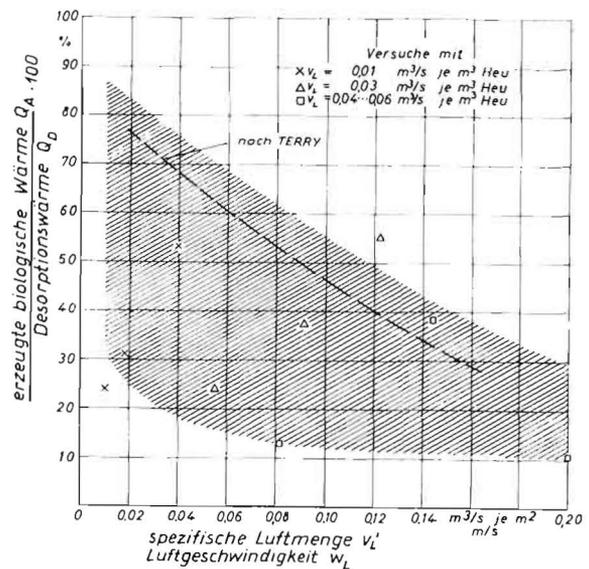


Bild 8: Anteil der biologischen Wärme  $Q_A$  an der gesamten Desorptionswärme  $Q_D$  in Abhängigkeit von der spezifischen Luftmenge  $v_L'$  beziehungsweise der Luftgeschwindigkeit  $w_L$ .

eine von TERRY [8] aus Versuchen ermittelte Kurve eingetragen. Die obere Grenzlinie des Streubereichs stimmt sehr gut mit der Kurve von TERRY überein. Aus einem Vergleich der Meßergebnisse und aus den Bildern 7 und 8 ist zu entnehmen, daß die Enthalpieerhöhung der Trocknungsluft mit zunehmender spezifischer Luftmenge absinkt. Die starke Streuung der Werte ist, wie schon erwähnt, auf die teilweise unterschiedlichen Versuchsbedingungen zurückzuführen.

### Zusammenfassung

Es wird über Trocknungs- und Verlustvorgänge bei der Belüftung von Heustapeln mit Kaltluft berichtet. Nach der Beschreibung der verwendeten Versuchseinrichtung wird eine Meßmethodik erläutert, die bei diesen Versuchen angewandt wurde. Ferner wird ein Rechenverfahren beschrieben, mit dessen Hilfe die Versuchsergebnisse ausgewertet wurden. Bei den Versuchsergebnissen werden die wichtigsten Zahlen über die Trocknungsfähigkeit der Luft und die mögliche Enthalpieerhöhung der Trocknungsluft durch die biologische Wärmebildung angeführt. Abschließend wird an Hand einiger Diagramme der Einfluß vom Feuchtegehalt des Gutes und von der spezifischen Luftmenge auf die biologische Wärmebildung aufgezeigt.

## Schrifttum

- [1] ULREICH, G.: Der Luftbedarf bei der Belüftungstrocknung von Heu unter Berücksichtigung der Atmungswärme und der Nährstoffverluste. Diss. Hohenheim 1966
- [2] SEGLER, G., H. J. MATTHIES und G. BIRK: Entwicklung und Erprobung von Heubelüftungsanlagen. (Berichte über Landtechnik, XXVIII) Verlag Neureuther, Wolfratshausen 1952
- [3] DAWSON, I. B. und R. B. MUSGRAVE: Respiration in hay as a source of heat for barn drying partially cured hay. *Agricultural Engineering* 27 (1946), S. 565—567

## Rationalisierung im Bibliothekswesen

Seit einigen Jahren bemühen sich die wissenschaftlichen Bibliotheken mit Hilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft verstärkt um eine Rationalisierung ihrer Arbeit. Die ersten Versuche haben jetzt zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Für die Universitätsbibliothek Bochum ist kürzlich der erste Bandkatalog ausgedruckt worden. Die Ausleihverbuchung mit einer Datenverarbeitungsanlage in Bochum und an der Bibliothek der Technischen Universität Berlin funktioniert ebenfalls. Außerdem läuft an der Universitätsbibliothek Göttingen die Herstellung und Fortführung eines Kataloges der 25 000 vorhandenen Zeitschriften mit Bestandsnachweisen und die Herstellung eines Gesamtkataloges von sieben Bibliotheken in Kölner Museen.

Darüber hinaus versucht die Deutsche Forschungsgemeinschaft sozusagen mit „konventionellen“ Mitteln den Fernleihverkehr von Zeitschriften in den großen Bibliotheken zu rationalisieren. Sie vergab im vergangenen Jahr als Starthilfe 190 000,— DM, um die Abgabe von Xerokopien einzelner Aufsätze statt der Ausleihe des ganzen Zeitschriftenjahrganges ohne höhere Kosten für den Benutzer zu ermöglichen; dabei werden selbstverständlich die urheberrechtlichen Bestimmungen beachtet. Der Kopierdienst, der wohl auf die Dauer zu den Normalleistungen der wissenschaftlichen Bibliotheken gehören wird, erspart das umständliche und zeitraubende Versenden der Originale; vor allem aber ist die Zeitschrift dann auch nicht für die Dauer der Ausleihe anderen Benutzern entzogen.

Die Förderung dieser Rationalisierungsmaßnahmen ist Teil eines umfangreichen Programms, mit dem die Forschungsgemeinschaft die wissenschaftlichen Bibliotheken unterstützt und für das sie im vergangenen Jahr insgesamt drei Millionen DM aufgewandt hat.

(Deutsche Forschungsgemeinschaft)

## 24 Mill. DM für Forschungsvorhaben

Der Hauptausschuß der Deutschen Forschungsgemeinschaft hat in seiner April-Sitzung 24 Millionen DM für Forschungsarbeiten in allen Zweigen der Wissenschaft bewilligt.

Ein Grenzgebiet zwischen Mathematik, Linguistik und Medizin berührt ein Vorhaben über die Kybernetik von Sprachprozessen. Auf dem Gebiet der Wirtschaftswissenschaften wurden für die Unternehmensforschung 0,5 Millionen DM bewilligt. Im Rahmen eines anderen Schwerpunktunternehmens, dem sogenannten Afrika-Kartenwerk, wurden Forschungsvorhaben in Uganda und Nigeria gefördert. Eine forstliche Studie befaßt sich mit den Kieferaufforstungen im Mittelmeerraum.

In der Medizin sind zwei Millionen DM für ein neues Schwerpunktprogramm zur Erforschung der chronischen Bronchitis bewilligt worden. Außerdem wurden Untersuchungen über die Berufskrankheiten der Haut, über die Verwendung des Röntgenfernsehens und der Kinematographie bei Herzerkrankungen und über die Übertragbarkeit bösartiger Geschwülste beim Geflügel gefördert. Geophysiker werden Eisdeckenmessungen in den Ötztaler Alpen mit seismischen Methoden vornehmen. Aus der Reihe der geförderten ingenieurwissenschaftlichen Projekte ist eine Untersuchung über das Fließverhalten von Schüttgütern, aus den Landbauwissenschaften eine Studie über Rationalisierungsmöglichkeiten in der Feldwirtschaft zu nennen.

- [4] DAVIS, R. B. jr. und G. E. BARLOW jr.: Supplemental heat in mow drying of hay — Part. II. *Agricultural Engineering* 29 (1948) S. 251—254
- [5] FRUDDEN, C. E.: Factors controlling the rate of moisture removal in barn hay-curing systems. *Agricultural Engineering* 27 (1946) S. 109—111
- [6] HENDRIX, A. T.: Heat generated in chopped hay and its relation to the drying effect. *Agricultural Engineering* 28 (1947) S. 286—288
- [7] TERRY, C. W.: Relation of time and operating schedule to hay quality, mold development, and economy of operation. *Agricultural Engineering* 28 (1947), S. 141—144
- [8] TERRY, C. W.: Some 1947 results of barn hay drying research. *Agricultural Engineering* 29 (1948), S. 208—209, 214
- [9] ISAACS, G. W. und A. SCHEUERMANN: Die Berechnung von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen mit dicken Schüttgutschichten. *Landtechnische Forschung* 14 (1964), S. 111—119
- [10] KRISCHER, O. und K. KRÖLL: Trocknungstechnik. Bd. 1: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Bd. 2: Trockner und Trocknungsverfahren. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956 und 1959
- [11] OTTMEYER, D. F.: Correlating vapor pressure and latent heat data. *Industrial and Engineering Chemistry* 32 (1940), S. 841—846
- [12] WINKLER, B.: Feuchtigkeitsgleichgewicht von Luzerne und Wiesen gras. *Landtechnische Forschung* 4 (1954), S. 59—61
- [13] ORTH, A.: Untersuchungen über den Einfluß der Lagerung von Wiesenheu in gehäckselter und ungehäckselter Form auf den Nährstoffgehalt. *Landwirtschaft — Angewandte Wissenschaft*, Nr. 7 Landwirtschaftsverlag GmbH, Hiltrup 1953
- [14] ORTH, A.: Raumgewicht von gehäcksel gelagertem Wiesenheu. *ALB-Mitteilungen* 4 (1953), S. 7
- [15] ASCHERFELD, W.: Untersuchungen über die Verluste an Trockenmasse und Kohlenhydraten von Weidegräsern bei verschiedenen Arten der Heuwerbung. Diss. Kiel 1956
- [16] SPRENGER, J. J. I.: Vorschlag für die Berechnung von Trocknern, insbesondere von Darren. *Der Ingenieur* 69 (1957), 1 Ch. 27—36

## Résumé

*Albert Scheuermann and Georg Ulreich: „Drying and Loss Processes at the Ventilation of Hay Piles with Cold Air.“*

*Drying and loss processes at the ventilation of hay piles with cold air are reported. After describing the experimental equipment a measuring method is discussed which has been applied in these experiments. Moreover, a method of calculation is described by means of which the experimental results have been evaluated. Of the experimental results, the most important values about the drying capacity of the air and the possible enthalpy increase of the drying air by biological heat information are stated. In conclusion the influence of the moisture content of the material and of the specific amount of air on the biological heat formation is shown by some diagrams.*

*Albert Scheuermann et Georg Ulreich: „Recherches sur le séchage et les pertes provoquées par l'aération de tas de foin par de l'air froid.“*

*Les auteurs donnent des renseignements sur le déroulement du séchage et les pertes provoquées par l'aération de tas de foin par de l'air froid. Après avoir décrit l'installation d'essai utilisée, ils informent sur la méthode de mesure appliquée. De plus, ils décrivent un procédé de calcul utilisé pour le dépouillement des résultats d'essai. Ils ne mentionnent des résultats d'essai que ceux ayant trait au pouvoir de séchage de l'air et à l'augmentation possible de l'enthalpie de l'air par la création de chaleur biologique. Enfin, ils montrent au moyen de quelques diagrammes l'influence de la teneur en humidité du produit et de la quantité d'air spécifique sur la création de chaleur biologique.*

*Albert Scheuermann y Georg Ulreich: „Fenómenos de secado y de pérdida en la ventilación de montones de heno con aire frío.“*

*En este trabajo se trata de los fenómenos del secado y de las pérdidas que se producen por la ventilación de montones de heno con aire frío. Se describe la forma de efectuar los ensayos y el método de medición, describiéndose a continuación el modo de calcular, emplado para valorar los resultados. De los resultados se dan los valores más importantes, p.e. de la capacidad de secado del aire y del aumento posible de absorción de humedad, debidos al calentamiento biológico del aire. Para terminar se presentan unos diagramas que indican la influencia que ejerce el contenido de humedad en el heno y la cantidad específica del aire sobre la producción biológica de calor.*