

Erst wenn die Störgrößen oder Stellgrößen in ihrem durch den Prozeß begrenzten Änderungsbereich bewirken, daß die untersuchte Meßgröße mit festgelegter statistischer Sicherheit die ermittelten Toleranzgrenzen überschreitet, ist die Meßgröße für Steuermaßnahmen (On-line-Optimierung) zu verwenden.

Damit sind als Folgeaufgabe der Änderungsbereich der Störgrößen und Stellgrößen und die damit erreichbaren Auswirkungen auf

die Meßgröße abzuschätzen, um die Aufgaben für eine On-line-Optimierung festzulegen.

Der Änderungsbereich der Störgrößen und Stellgrößen wird entscheidend vom Stand der Off-line-Optimierung und von den dort festgelegten Aufgaben bestimmt. Daraus ist abzuleiten, daß für den Mähdruschprozeß die Aufgaben einer On-line-Optimierung erst beurteilt werden können, wenn aufgrund der Off-line-Optimierung der Einflußbereich der

Stellgrößen und Störgrößen auf die gewählten Meßgrößen abgeschätzt worden ist. Mit den Untersuchungen wurden Möglichkeiten der Abschätzung der Toleranzbereiche für die Meßgröße „Schüttlerverluste“ gezeigt. Mit diesen Ergebnissen sind in Verbindung mit den erreichbaren Verluständerungen innerhalb vorgegebener Bereiche von Stellgrößen die Effekte einer On-line-Optimierung abzuschätzen.

A 4762

Computersimulation der Belüftungskonservierung – eine Methode zur optimalen Konstruktion und Bewirtschaftung von Trocknungsanlagen

Dr.-Ing. A. Spittel, KDT, Institut für Futterproduktion Paulinenaue der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

a		Vorwelloeffizient, Konstante
A	m ² /kg	spezifische Oberfläche der Trockensubstanz
b		Infektionskoeffizient, Konstante
c	J/kg · K	spezifische Wärme
f	m ²	Flächenelement
h	m	Höhe des Belüftungsgutes
ṁ	kg/s	Massestrom
p	Pa	Druck
P	W	Leistung
r	J/kg	Verdampfungswärme
R	mgCO ₂ /gTS · h	Respirationsrate
t	s	Zeit
T	K	Temperatur
u	%	Gutfeuchte auf nasser Basis
v	m/s	Geschwindigkeit im freien Querschnitt
V̇	m ³ /s	Volumenstrom
W	Nm	Energie
x	kg/kg	Feuchtegrad der Luft
X	kg/kg	Gutfeuchte auf trockener Basis
z	m	Höhe
α	W/m ² · K	Wärmeübergangszahl
η		Wirkungsgrad
θ	°C	Temperatur
Θ	K/h	Temperaturgradient der enzymatischen Selbsterwärmung
ξ		Stadium der Schimmelbildung
ρ	kg/m ³	Dichte
τ	h	schimmelfreie Konservierungszeit
φ	%	relative Luftfeuchte

Indizes

e	im Gleichgewicht
EWP	Entfeuchtungswärmepumpe
f	feucht
F	Frischgut Gras
ges	gesamt
G	Belüftungsgut
H	Welkgut Gras
K	Getreide
L	Luft
s	gesättigt
t	trocken

1. Einleitung

Die notwendige Weiterentwicklung der Verfahren der Belüftungskonservierung von Heu, Getreide, Saatgut und vielen Sonderkulturen erfordert die Aufdeckung bislang ungenutzter Gesetzmäßigkeiten und kausaler

Zusammenhänge. Durch die gezielte Anwendung des in den letzten Jahren erweiterten Grundlagenwissens und der am Arbeitsplatz installierten Mikrorechenteknik ist die Computersimulation zu einer möglichen und sehr nutzbringenden Methode für die Forschung und Prozeßautomatisierung geworden. Sie ermöglicht ein qualitativ spürbar höheres Niveau der Optimierung von relevanten Einflußparametern.

Mit der Computersimulation sind die örtliche und zeitliche Berechnung der Temperatur- und Feuchteprofile, der Trockensubstanzverluste, der Schimmelbildung, des Energieaufwands und der Verfahrenskosten in praktischer Adäquatheit möglich. Damit verfügt man über alle erforderlichen Bewertungsgrößen zur Optimierung der Konstruktion und Bewirtschaftung von Trocknungsanlagen.

Über experimentelle Untersuchungen beispielsweise die Optimierung von Algorithmen zur Belüftungssteuerung vorzunehmen oder Wechselwirkungen zu begründen, ist nicht möglich, da einerseits der Versuchsaufwand viel zu hoch ist und andererseits die experimentelle Forschung stets nicht auszuschließenden Störeinflüssen unterliegt.

Die Simulation dauert im Gegensatz zum Experiment nur einige Minuten oder Stunden und gestattet zu jeder Jahreszeit und Stunde beliebige Simulationsbedingungen. Die Aufwendungen an Arbeitskraftstunden, Material und Energie betragen nur einen Bruchteil der experimentellen Aufwendungen.

Nachfolgend wird über die thermodynamischen und pflanzenphysiologischen Grundlagen und deren Anwendung zur Computersimulation der Belüftungskonservierung berichtet.

2. Wasser- und Wärmeaustausch zwischen Luft und Gut

Zur analytischen Darstellung des gekoppelten Wasser- und Wärmeaustausches bei der Belüftungskonservierung sind das Differentialgleichungsmodell oder das Gleichgewichtsmodell bevorzugt anzuwenden. Das logarithmische Modell und das adiabate Modell sind wegen notwendiger konstanter Luft Eintrittsbedingungen bzw. wegen unzulässiger Vereinfachungen zur Simulation der Belüftungskonservierung mit wechselnden Witterungsbedingungen ungeeignet.

2.1. Differentialgleichungsmodell

Die Berechnungsgleichungen werden an einem in z-Richtung von Luft durchströmten Volumenelement des Belüftungsgutes hergeleitet. Erstens ist eine *Energiebilanz* formulierbar. Die von der strömenden Luft abgegebene Wärmemenge dient der Erhöhung der fühlbaren Speicherwärme des Gutes sowie der Verdunstung der abgeführten Gutfeuchtigkeit abzüglich der Eigenerwärmung des Gutes:

$$\alpha A \varrho_{Gf} (\vartheta_L - \vartheta_G) f dz dt = \varrho_{Gf} c_{Gf} \frac{\partial \vartheta_G}{\partial t} f dz dt + r \frac{\partial X}{\partial t} \varrho_{Gf} f dz dt - \Theta \varrho_{Gf} c_{Gf} f dz dt. \quad (1)$$

Zweitens ergibt die *Stoffbilanz*, daß die vom Luftstrom aufgenommene Dampfmenge der Wasserabgabe des Belüftungsgutes im Volumenelement entspricht:

$$v_L f dt \varrho_{Lf} \frac{\partial x}{\partial z} dz = f dz \varrho_{Gf} \frac{\partial X}{\partial t} dt. \quad (2)$$

Drittens besagt die *dynamische Betrachtung der Energiebilanz*, daß die in einer Zeiteinheit von der Luft abgegebene Wärmemenge in der gleichen Zeiteinheit vom Gut aufgenommen wird und umgekehrt:

$$\frac{\partial \vartheta_L}{\partial t} \varrho_{Lf} c_{Lf} f dz + \frac{\partial \vartheta_G}{\partial t} \varrho_{Gf} c_{Gf} f dz = 0. \quad (3)$$

Mit einer vierten, zweckmäßigerweise experimentell ermittelten Gleichung für das *Trocknungs- und Befeuchtungsverhalten* des Belüftungsgutes steht ein System von 4 partiellen Differentialgleichungen zur Berechnung der Feuchtegrade und Temperaturen von Gut und Luft in Abhängigkeit von Zeit und Ort zur Verfügung.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial X}{\partial t} (X, x, \vartheta_G, \vartheta_L) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \vartheta_G}{\partial t} = \frac{\alpha A \varrho_{Gf} (\vartheta_L - \vartheta_G)}{\varrho_{Gf} c_{Gf}} + \Theta - r \frac{\varrho_{Gf}}{\varrho_{Gf} c_{Gf}} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (5)$$

$$\frac{\partial x}{\partial z} = \frac{\varrho_{Gf}}{\varrho_{Lf} v_L} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \vartheta_L}{\partial z} = - \frac{\partial \vartheta_G}{\partial t} \frac{\varrho_{Gf}}{\varrho_{Lf}} \frac{c_{Gf}}{c_{Lf}} \frac{1}{v_L} \quad (7)$$

Das Gleichungssystem ist rechenstechnisch im impliziten Verfahren mit kleinen Schritten von t und z numerisch lösbar.

Die theoretischen Grundlagen zur mathematischen Formulierung des gekoppelten Wasser- und Wärmeaustausches wurden erstmals von Klapp [1] geschlossen dargelegt. Erste Veröffentlichungen über die praktische Anwendung des Differentialgleichungssystems zur Trocknung von Getreide wurden an der Michigan State University (USA) [2] und an der Newcastle University (Großbritannien) [3] erarbeitet. Diese Arbeiten waren Vorbild für eine Vielzahl von Autoren, die vier Differentialgleichungen vorrangig zur Computersimulation der Warmlufttrocknung anzuwenden.

2.2. Gleichgewichtsmodell

Das Gleichgewichtsmodell ist eine Vereinfachung des Differentialgleichungssystems. Das Belüftungsgut wird längs der Strömungsrichtung in mehrere Einzelschichten unterteilt. Gleichzeitig wird unterstellt, daß die durchströmende Luft völligen Temperatur- und Feuchteausgleich mit dem Belüftungsgut erfährt [4, 5].

Die vier Differentialgleichungen reduzieren sich zu einer Energiebilanzgleichung, einer Feuchtebilanzgleichung und dem Ausdruck für das Sorptionsgleichgewicht:

$$\dot{m}_{L1} c_{L1} \vartheta_{L1} \Delta t + m_{G1} c_{G1} \vartheta_{G1} + \theta c_{G1} \Delta t$$

$$= \dot{m}_{L2} c_{L2} \vartheta_{L2} \Delta t + m_{G2} c_{G2} \vartheta_{G2} \quad (8)$$

$$x_2 - x_1 = (X_1 - X_2) \frac{\varrho_{G1}}{\varrho_{L1} v_L \Delta t} \quad (9)$$

$$x_2 = \varphi_e x_1 \quad (10)$$

$$X_e = X_e(\vartheta, \varphi) \quad (11)$$

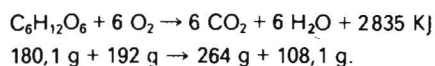
$$\varphi_e = \varphi_e(\vartheta, X). \quad (11a)$$

Die Gültigkeit des Modells wird verbessert, indem die Zeitabhängigkeit des Feuchteausgleichs durch Einbeziehung der integrierten Form von Gl. (4) berücksichtigt wird. Die gegenüber dem Differentialgleichungssystem geringere notwendige Rechenzeit – bei hinreichender Genauigkeit für Trocknungsvorgänge mit niedrigen Luftgeschwindigkeiten und Temperaturen – hat zu einer verbreiteten Anwendung des Gleichgewichtsmodells geführt.

3. Trockensubstanzverluste und Eigenerwärmung

Den Grundsätzen der Physiologie des Stoff- und Energiewechsels beim Abbau von organischer Substanz folgend, sind sowohl die Trockensubstanzverluste als auch die Eigenerwärmung über die CO_2 -Entbindung modellierbar.

Der Hauptabbauweg wird mit guter Näherung durch die Reaktionsgleichung von Glukose und Sauerstoff beschrieben:



Die freiwerdende Reaktionswärme trägt einen beachtlichen Anteil der zur Trocknung erforderlichen Energie bei. Bei der Belüftungstrocknung von Heu steigt der Anteil im ungünstigsten Fall bis 80%. Der Anteil sinkt mit steigenden Luftfraten und kurzen Belüftungspausen bis auf 10%.

Umfassende Auswertungen der CO_2 -Entbindung von gewelktem Gras und Getreide führten zu folgenden Regressionsgleichungen der Respirationsrate in Abhängigkeit von Gutfeuchte und Temperatur:

$$R_H = \vartheta (2,7 \cdot 10^{-5} u^2 - 1,24 \cdot 10^{-3} u + 2,23 \cdot 10^{-2}) \quad (12)$$

für $5^\circ\text{C} < \vartheta < 30^\circ\text{C}$ und $20\% < u$ [6]

$$R_H = 8,1 \cdot 10^{-4} u^2 - 3,72 \cdot 10^{-2} u + 0,67 \quad (13)$$

für $30^\circ\text{C} < \vartheta$ und $20\% < u$

$$R_K = 8,12 \cdot 10^{-2} - 1,074 \cdot 10^{-2} \vartheta - 4,01 \cdot 10^{-3} u + 5,264 \cdot 10^{-4} \vartheta u + 7,07 \cdot 10^{-5} \vartheta^2 \quad (14)$$

für $10^\circ\text{C} < \vartheta < 40^\circ\text{C}$ und $14\% < u < 30\%$ [7].

Die CO_2 -Entbindung von Halbheu und Getreide entspricht bei einer Gutfeuchte von 22% und 20°C einem täglichen Trockensubstanzverlust von 0,26% bzw. 0,06% sowie 22 K bzw. 4,7 K Temperaturerhöhung.

4. Verderb

In der landwirtschaftlichen Praxis wird der Beginn des Verderbs von Futtermitteln am Auftreten des ersten sichtbaren Schimmels ermittelt. In der Modellierung der Belüftungskonservierung von Futtermitteln ist die Dynamik der Schimmelbildung ein notwendiger Bestandteil, da einerseits Schimmelbildung in jedem Fall zu unterbinden ist und es andererseits aus energetischen Gründen gilt, die verderbfreie Konservierungszeit auszuerschöpfen.

Eine Literaturlauswertung und vor allem die analytische Auswertung der Arbeiten von Eimer [8] und Kreyger [9] führten zu Regressionsgleichungen der schimmelfreien Konservierungszeit von frischem Gras und Getreide:

$$\tau_F = 72762 + 1200 \exp [8(1 - \varphi)] - 18,24 \vartheta_G \exp [8(1 - \varphi)] + 0,32 \vartheta_G^2 \exp [8(1 - \varphi)] - 40240 \varphi^{-1} - 33387 \varphi \quad (15)$$

$$\tau_K = 67 + \exp \{5,124 + (39,6 - 0,8107 \vartheta_G) [1/(u - 12) - 0,0315 \exp 0,0579 \vartheta_G]\} \quad (16)$$

Die verderbfreien Konservierungszeiten von frischem Gras und Halbheu sind über Koeffizienten für das Vorwelken und die Infektionsbedingungen auf dem Feld verbunden [8]:

$$\tau_H = \frac{a}{b} \tau_F \quad (17)$$

Für Zeitabschnitte Δt_i mit näherungsweise konstanten Bedingungen der Schimmelbildung werden die verderbfreien Konservierungszeiten τ_i berechnet und zueinander ins Verhältnis gesetzt.

Durch Addition der einzelnen Zeitraten über die gesamte Konservierungszeit wird das Stadium der Schimmelbildung ξ errechnet:

$$\xi = \sum \Delta t_i / \tau_i \quad (18)$$

Schimmelbildung beginnt bei $\xi = 1$.

5. Energieaufwand

Zur Belüftungskonservierung sind Aufwendungen an Energie für die Erzeugung des Luftstroms durch das Belüftungsgut und für mögliche Erwärmung, Kühlung oder Entfeuchtung des Luftstroms erforderlich:

$$W = \sum (P_{Li} + P \Delta \vartheta + P_{EWP}) t_i \quad (19)$$

$$P_L = \frac{\dot{V}_L p_{ges}}{\eta} \quad (20)$$

Der in Gl. (20) enthaltene Gesamtdruck p_{ges} des Lüfters setzt sich aus dem dynamischen Druck sowie den Strömungswiderständen der Belüftungsanlage, der Übergangsstelle von der Anlage in das Belüftungsgut und des Belüftungsgutes zusammen.

Aus der Gesetzmäßigkeit, daß der Strömungswiderstand von Heu über die gesamte Konservierungszeit nahezu konstant ist, und

aus Literaturwerten wurde folgende näherungsweise Berechnungsgleichung abgeleitet:

$$\Delta p = 45 z \varrho_G v_L^{1,5} \quad (21)$$

Da proportional zum Setzen des Heustapels die Dichte an Trockenmasse ansteigt, bleibt der Strömungswiderstand konstant.

Der Strömungswiderstand von Getreide und anderen körnigen Gütern ist ausschließlich von der Lagerhöhe und der Anströmgeschwindigkeit abhängig [10]:

$$\Delta p = z (a_1 v_L + a_2 v_L^2) \quad (22)$$

Bei Heu ergibt sich der Gesamtdruck p_{ges} , indem Gl. (21) je nach Anlage und Rostsystem mit dem Faktor 1,2 bis 2,7 multipliziert wird. Bei Belüftung von Getreide ist der Strömungswiderstand des Getreides dominierend, der Faktor für Gl. (22) beträgt nur 1,1 bis 1,3.

6. Notwendige Stoffparameter zur Simulation

Zur Anwendung der Gln. (1) bis (22) sind konkrete Beträge der enthaltenen Stoffparameter erforderlich, um die Simulationsrechnung einer konkreten Gutart anzupassen.

In Gl. (5) wird das Produkt aus spezifischer Oberfläche und Wärmeübergangszahl benötigt. Die Differenziertheit der Abmessungen von Halmgut und Getreide erlaubt es nicht, diese Größen analytisch zu berechnen.

In praktischen Rechnungen ist es deshalb üblich, den genauen Betrag von αA entsprechend dem erforderlichen Ergebnis festzulegen. Dem Einfluß variabler Luftgeschwindigkeiten folgend, setzt man

$$\alpha A = a v_L^{0,66} \quad (23)$$

Die Lagerdichte der Trockensubstanz von Heu wird durch die Einlagerungstechnologie, die Gutart und Gutstruktur sowie die Lagerhöhe und Lagerzeit beeinflusst. Für eine spezielle Kalkulation sind aus der umfangreichen Literatur konkrete Werte der Lagerdichte zu entnehmen.

Für die Getreidearten, für Grassaatgut und verschiedene Feinsaatens sind durch Matthies [11] Werte der Stoffdichte und des Hohlraumvolumens veröffentlicht.

Die spezifische Wärme von feuchtem Gut ergibt sich gewichtsanteilig aus den spezifischen Wärmen des trockenen Gutes und des gebundenen Wassers. Für Halmgut von Gräsern, Luzerne und Rotklee sowie für Körner von Getreide, Mais und großkörnigen Leguminosen liegen gesicherte Ergebnisse vor [12, 13].

Das Sorptionsgleichgewicht zwischen Gras und Luft wird durch Gl. (24) beschrieben:

$$\varphi_e = 1 - \exp(-0,026 T X) \quad (24)$$

Entgegen verschiedenen Veröffentlichungen ist die Hysteresis zwischen Desorption und Adsorption praktisch vernachlässigbar.

Sorptionsisothermen der Getreidearten und verschiedener Körnerfrüchte hat beispielsweise Kreyger [9] veröffentlicht.

Das mit Gl. (4) benötigte Trocknungs- und Befeuchtungsverhalten des Belüftungsgutes wird experimentell durch das Trocknen von Einzelteilen oder dünnen Schichten im definierten Luftstrom ermittelt. Für Halmgut konnte bisher keine allgemeingültige Beziehung aufgestellt werden, da die Vielzahl der Arten und Sorten, der morphologischen Eigenschaften und der Behandlung des Belüftungsgutes beeinflussend wirken. Getreide verhält sich sehr viel ausgeglichener. Alle

verfügbaren Daten der Trocknung und Befeuchtung von Mais in dünnen Schichten verrechnete Misra [14] zu je einer Gleichung der Trocknungsgeschwindigkeit.

7. Gesamtstrategie

Die Folge der rechtechnischen Bearbeitung ist im Bild 1 dargestellt. Beim Einlesen der Startbedingungen der Gutfeuchte und der Guttemperatur ist eine schichtweise Differenzierung entsprechend praktischen Trocknungsbedingungen möglich.

Der Tagesgang des natürlichen Luftzustands ist durch Einlesen der Stundenwerte von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte charakterisiert. Bei Sonnenkollektorbelüftung sind zusätzlich die Globalstrahlung, die Fläche, der Wirkungsgrad und die Ausrichtung des Kollektors einzugeben.

Die zulässigen Schrittweiten von z und t sind durch die Lufttrittbedingungen sowie die Wahl des Teilmodells des Wasser- und Wärmeaustausches zwischen Luft und Gut bestimmt.

Das Gleichgewichtsmodell ermöglicht ein Vielfaches der zulässigen Schrittweiten des Differentialgleichungsmodells.

Die Berechnung der Schimmelbildung, der Trockensubstanzverluste und des Energiebedarfs ist nicht bei jedem Weg- und Zeitinkrement erforderlich, da ihre Dynamik gering ist.

Abbruchkriterien für die Programmroutine

sind die Überschreitung der zulässigen Trocknungszeit, die Überschreitung der zulässigen Schimmelbildung oder die Erreichung der geforderten Gutfeuchte und Guttemperatur. Die Computersimulation liefert zunächst einzelne Bewertungsgrößen, die zu einem Optimalitätskriterium zusammenzufassen sind. Dem dient ein Kostenmodell, das die Trockensubstanzverluste, die verbrauchte Elektro- und Wärmeenergie sowie die Amortisationen der Anlage in Kosten zusammenfaßt. Die errechneten Kosten sind neben der Optimierung der Belüftungskonservernung zur optimalen Einordnung dieses Verfahrensabschnitts in das Gesamtverfahren verwendbar.

8. Zusammenfassung

Im Beitrag werden die thermodynamischen und pflanzenphysiologischen Grundlagen zur Computersimulation der Belüftungskonservernung dargestellt. Hervorgehoben werden die Zusammenhänge und Berechnungsgleichungen für die Kalkulation der örtlichen und zeitlichen Temperatur- und Feuchteprofile, der Trockensubstanzverluste, der Schimmelbildung und des Energieaufwands. Für die Belüftungsgüter Gras-Welkgut und Getreide werden konkrete Berechnungsgleichungen bzw. Hinweise auf entsprechende Veröffentlichungen gegeben. Eine ausführliche Literaturliste zum Sachgebiet liegt beim Autor vor.

Literatur

- [1] Klapp, E.: Ein Beitrag zur analytischen Behandlung von gekoppelten Wärme- und Stoffaustauschvorgängen in durchströmten Schüttgütern. Universität Bonn, Dissertation A 1961.
- [2] Bakker-Arkema, F. W.; Bickert, W. G.; Morey, R. V.: Gekoppelter Wärme- und Stoffaustausch während des Trocknungsvorgangs in einem Behälter mit Getreide. Landtechnische Forschung, Düsseldorf 17 (1967) 6, S. 175–180.
- [3] O'Callaghan, J. R.; Menzies, D. J.; Bailey, P. H.: Digital simulation of agricultural drier performance (Digitale Simulation der Leistung von landwirtschaftlichen Trocknern). J. agric. Engng. Res., Silsoe 16 (1971) 3, S. 223–244.
- [4] Thompson, T. L.: Temporary storage of high-moisture shelled corn using continuous aeration (Zwischenlagerung von feuchtem Getreide mit Dauerlüftung). Trans. ASAE, St. Joseph 15 (1972) 2, S. 333–337.
- [5] Bloome, P. D.; Shove, G. C.: Near equilibrium simulation of shelled corn drying (Simulation der Getreidetrocknung mit dem Gleichgewichtsmodell). Trans. ASAE, St. Joseph 14 (1971) 4, S. 709–712.
- [6] Honig, H.: Mechanical and respiration losses during prewilting of grass (Mechanische Verluste und Atmungsverluste während des Vorwelkens von Gras). Occasional Symp., Hurley, Maidenhead, Berkshire, British Grassland Society 11 (1980).
- [7] Jacobi, H., u. a.: Getreidebearbeitung und -lagerung. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag 1982.
- [8] Eimer, M.; Hartmann, D.; Prigge, H.: Verderb durch Schimmel als Grenzbedingung für die Regelung von Halmgut – Satz Trocknungsanlagen. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 31 (1981) 1, S. 29–36.
- [9] Kreyger, J.: Drying and storing grains, seeds and pulses in temperature climates (Trocknung und Lagerung von Getreide, Saatgut und Hülsenfrüchten unter verschiedenen Klimaten). Inst. Storage Processing agric. Prod. Wageningen, Bull. 205, 1972.
- [10] Holz, G.: Flachbelüftungsanlagen richtig dimensionieren. Getreidewirtschaft, Berlin 17 (1983) 8, S. 183–185.
- [11] Matthies, H. J.; Peterson, H.: New data for calculating the resistance to air flow of stored granular materials (Neue Daten für die Berechnung des Strömungswiderstands von gelagertem körnigem Gut). Trans. ASAE, St. Joseph 17 (1974) 6, S. 1144–1149.
- [12] Koschatzky, R.: Experimentelle Untersuchungen über die spezifische Wärme von Körnermais, Gräsern und Leguminosen. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 23 (1973) 4, S. 99–105.
- [13] Mühlbauer, W.; Scherer, R.: Die spezifische Wärme von Körnerfrüchten. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 27 (1977) 2, S. 33–40.
- [14] Misra, M. K.; Brooker, D. B.: Thin-layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn (Dünnschicht-Trocknungs- und Befeuchtungsgleichungen für Mais). Trans. ASAE, St. Joseph 23 (1980) 5, S. 1254–1260. A 4755

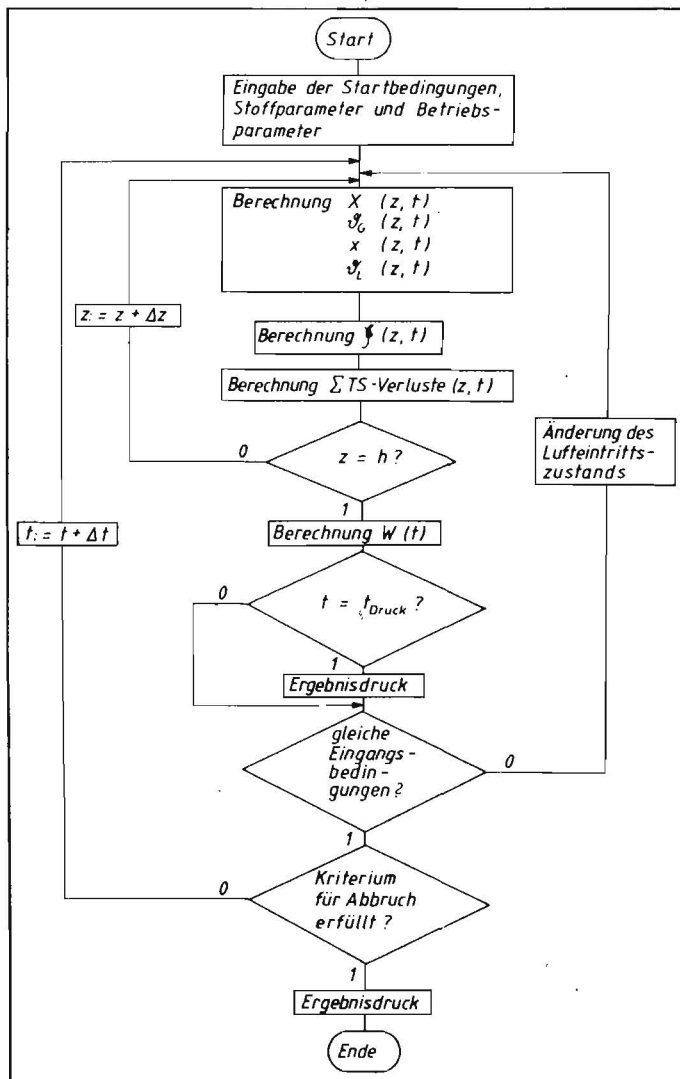


Bild 1
Flußdiagramm zur
Computersimulation
der Belüftungskonservernung