

Verfahren zur automatischen Steuerung der Belüftung von Heu und anderen landwirtschaftlichen Schütt- und Stapelgütern

Dr. A. Schrader/Dipl.-Ing. R. Scharf, Institut für Futterproduktion Paulinenaue der AdL der DDR

1. Zielstellung

Ein wesentlicher Faktor zur Erhöhung der Effektivität landwirtschaftlicher Produktionsprozesse ist die Automatisierung. Einen Beitrag auf diesem Gebiet leistet die automatische Steuerung von Belüftungseinrichtungen bei der Belüftungstrocknung. Im Institut für Futterproduktion Paulinenaue wurden zur Problematik der Belüftungstrocknung, vor allem unter Ausnutzung der Energie der Außenluft, umfangreiche Untersuchungen und Versuche durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war die Entwicklung eines Verfahrens und einer Einrichtung zur automatischen Steuerung der Belüftung, wodurch eine schnelle, qualitätserhaltende und energiesparende Belüftungstrocknung bei einem minimalen Einsatz an Arbeitskräften gewährleistet wird. Das Verfahren und die Einrichtungen müssen universell bei der Belüftung aller landwirtschaftlichen Schütt- und Stapelgüter, z. B. Heu, Getreide, Pellets, Gras- und Leguminosensaatgut, einsetzbar sein. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten lag auf der Entwicklung eines kompletten Verfahrens zur automatischen Belüftungstrocknung von Welkheu mit Kaltluft. Über die erzielten Ergebnisse wird nachfolgend berichtet.

2. Lösung der Aufgabenstellung

2.1. Aufnahme von Sorptionsisothermen

Zur Erfüllung der o. g. Forderungen nach einer

schnellen, qualitätserhaltenden und energiesparenden Belüftungstrocknung wurden umfangreiche Grundlagenuntersuchungen zum Sorptionsverhalten von Heu durchgeführt. Das Sorptionsverhalten eines Stoffes wird durch Sorptionsisothermen gekennzeichnet. Die Sorptionsisothermen beschreiben für eine konstante Temperatur die Beziehung zwischen Materialfeuchte und Feuchte der umgebenden Luft im Gleichgewichtsfall. Dazu wurde eine größere Anzahl von Heuproben (verschiedener Herkunft, unterschiedlichen Entwicklungszustands und mit unterschiedlichem Leguminosenanteil) auf ihr Wasseraufnahme- bzw. Wasserabgabeverhalten untersucht. Aus den Ergebnissen aller geprüften Serien wurde eine mittlere allgemeingültige Sorptionsisotherme für Heu aus Gras und Gras-Leguminosen-Gemisch (Bild 1) abgeleitet. [1 bis 4]

2.2. Erarbeitung einer Belüftungstabelle als Grundlage für die automatische Steuerung der Belüftung

Auf der Basis dieser allgemeingültigen Sorptionsisotherme und unter Einbeziehung des Mollier-i,x-Diagramms wurde eine Belüftungstabelle für Heu aus Gras und Gras-Leguminosen-Gemisch erarbeitet (Tafel 1). Das Grundprinzip einer Belüftungstabelle ist, daß ein Grenzwert für die relative Feuchte der Belüftungsluft in Abhängigkeit von der Gutfeuchte des Belüftungsgutes und der Differenz zwischen der Temperatur im Stapel und der

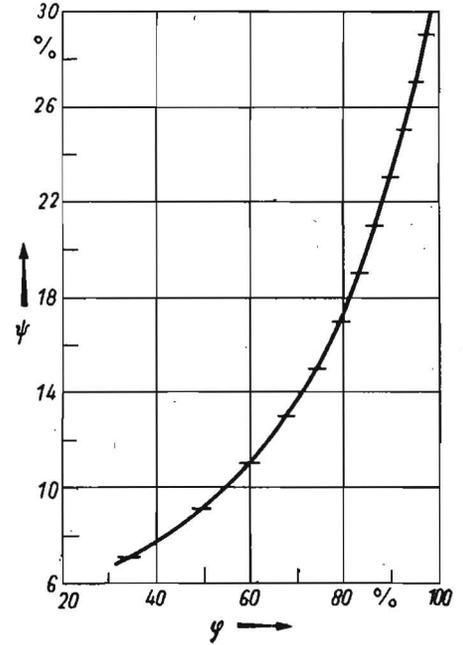


Bild 1. Sorptionsisotherme für Heu aus Gras und Gras-Leguminosen-Gemisch bei 22°C (Paulinenaue 1982); ψ Gutfeuchte, φ relative Luftfeuchte

Tafel 1. Belüftungstabelle für Heu aus Gras und Gras-Leguminosen-Gemisch (Paulinenaue 1982)

Gutfeuchte ¹⁾ in %	Belüftungsluft kälter als das Gut Temperaturdifferenz in K								Belüftungsluft wärmer als das Gut Temperaturdifferenz in K									
	8	7	6	5	4	3	2	1	±0	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Höchstwerte der rel. Luftfeuchte der Belüftungsluft in %																	
≥ 31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	94	88	83	79	74	70	65	61
30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	88	83	78	73	69	65	61
29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	92	87	82	77	73	68	64	60
28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	86	81	77	72	68	64	59
27	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	90	85	80	76	71	67	63	59
26	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	89	84	79	75	70	66	62	58
25	100	100	100	100	100	100	100	100	99	93	88	83	78	74	69	65	61	58
24	100	100	100	100	100	100	100	100	98	92	87	82	77	73	68	64	60	57
23	100	100	100	100	100	100	100	100	95	90	85	80	76	71	67	63	59	56
22	100	100	100	100	100	100	100	94	89	84	79	75	70	66	62	58	55	55
21	100	100	100	100	100	100	98	92	87	82	78	73	69	65	61	57	54	54
20	100	100	100	100	100	100	96	91	86	81	76	72	68	64	59	56	53	53
19	100	100	100	100	100	100	94	89	84	79	74	70	66	62	58	55	52	52
18	100	100	100	100	100	97	92	87	82	77	72	68	64	60	57	54	50	50
17	100	100	100	100	94	89	84	79	75	70	66	62	59	55	52	49	49	49
16	100	100	100	100	98	92	87	82	77	73	68	64	61	57	54	51	48	48
15	100	100	100	100	94	89	84	79	74	70	66	62	59	55	52	49	46	46
14	100	100	100	98	92	87	82	77	72	68	64	60	57	53	50	48	45	45
13	100	100	99	93	88	83	78	73	68	65	60	57	54	50	48	45	42	42
12	100	100	94	89	83	78	73	69	65	61	58	54	51	48	45	42	40	40
11	99	93	88	82	77	72	68	64	60	57	54	50	48	45	42	40	38	38
10	92	87	81	76	71	67	63	59	56	53	49	47	44	42	39	37	35	35

1) Gutfeuchte:

- über 20%: nicht lagerfähig
- 16 bis 20%: begrenzt lagerfähig
- unter 16%: lagerfähig

Temperatur der Belüftungsluft gebildet und mit dem Wert der relativen Feuchte der Belüftungsluft verglichen wird. Solange der Istwert für die relative Feuchte der Belüftungsluft unter dem Grenzwertwert liegt, ist der Betrieb der Belüftungsanlage zulässig.

Nach der Belüftungstabelle ist die Belüftungstrocknung mit einer Luft möglich, die bis 8 K kälter oder bis 8 K wärmer als das Belüftungsgut ist. Damit sind die für eine Belüftung relevanten Außenluftzustände im wesentlichen erfaßt. Die Belüftungstabelle zeigt auch gleichzeitig, bei welcher Gutfeuchte das Heu lagerfähig, begrenzt lagerfähig oder nicht lagerfähig ist. Nicht lagerfähig bedeutet, daß hier neben Schimmelbildung auch Selbsterhitzungs- und Selbstentzündungsvorgänge auftreten können. Die Heubelüftungstabelle kann bei der Belüftung von Langgut, Häckselgut sowie bei gepreßtem Gut in gebundenem oder ungebundenem Zustand angewendet werden. Das Belüften nach Belüftungstabelle gewährleistet eine schnelle Trocknung, da die Belüftung nur dann erfolgt, wenn aufgrund günstiger Außenluftzustände dem Belüftungsgut Feuchtigkeit entzogen wird. Durch die effektive Ausnutzung der Belüftungszeit wird der Verbrauch an Elektroenergie zum Betrieb der Belüftungsanlage minimiert. Da unter bestimmten Bedingungen das Belüften nach Belüftungstabelle auch nachts möglich ist, wird der Stapel abgekühlt und damit die Qualitätserhaltung des Belüftungsgutes begünstigt. Die vorliegende Belüftungstabelle wurde erfolgreich unter Praxisbedingungen erprobt. Eine Belüftungs-

tabelle für Luzerneheu wird gegenwärtig erarbeitet. Neben der in diesem Beitrag enthaltenen erweiterten Belüftungstabelle (Tafel 1) wurde auch eine vereinfachte Belüftungstabelle mit nur sechs Gutfeuchtegruppen entwickelt. Bei dieser Tabelle wird mit sog. Zielgutfeuchten gearbeitet; die Tabelle ist speziell für die Handsteuerung der Lüfter geeignet [5]. Die Belüftungstrocknung von Welkheu nach Grenzwerten und Parametern der Belüftungstabelle bringt auch bei Handsteuerung der Lüfter zweifellos Vorteile. Nicht unerwähnt bleiben darf aber, daß die Handsteuerung der Lüfter einen hohen personellen Einsatz erfordert. Das Belüftungsgut, die Meßinstrumente und die Belüftungsanlage müssen ständig beobachtet werden. Auch subjektiv bedingte Steuerungsfehler können nicht ausgeschlossen werden. Daraus ergab sich ein zwingendes Erfordernis für die Entwicklung einer automatischen Belüftungssteuerung, die unter den industriemäßigen Bedingungen der Heuproduktion eingesetzt werden kann und mit der ein Beitrag zur Energieeinsparung in der Landwirtschaft geleistet wird.

2.3. Verfahren zur automatischen Steuerung der Belüftung

Zur automatischen Steuerung der Belüftung nach Belüftungstabellen und/oder -diagrammen müssen ständig proportionale Signale folgender Einflußgrößen vorliegen:

- Temperatur des Belüftungsgutes
- Gutfeuchte des Belüftungsgutes
- Temperatur der Belüftungsluft
- relative Feuchte der Belüftungsluft.

Im Bild 2 ist der prinzipielle Aufbau zur Durchführung des Verfahrens der automatischen Steuerung der Belüftung dargestellt. Die Temperaturmessung in den zu belüftenden Heustapeln erfolgt durch einsteckbare Temperaturmeßsonden. Für die kontinuierliche Temperaturmessung sind je Belüftungseinheit bzw. Stapel ein bis sechs Temperaturmeßsonden erforderlich. Die Gutfeuchte des Belüftungsgutes wird über ein Stellglied am Steuergerät eingestellt. Die Probenahme und die Gutfeuchtebestimmung werden nach dem entsprechenden Standard vorgenommen. Der Belüftungsverantwortliche nimmt täglich die erforderlichen repräsentativen Proben. Die Belüftungssteuereinrichtung ist so konzipiert, daß anstelle des Stellgliedes das der Gutfeuchte entsprechende Signal von einem Geber kontinuierlich bereitgestellt werden kann. Die Temperatur und die relative Feuchte der Belüftungsluft werden über entsprechende Meßwertgeber kontinuierlich erfaßt. Die Informationen werden an das Steuergerät weitergeleitet. Diese Meßwertgeber werden zweckmäßigerweise — vor störenden Einflußfaktoren geschützt — in einer Wetterhütte untergebracht. Die Wetterhütte wird in unmittelbarer Nähe der Lüfter aufgestellt.

2.4. Aufbau und Wirkungsweise der Steuereinrichtung

Der Grenzwert für die relative Feuchte der Belüftungsluft wird von der Steuereinrichtung nach folgender Beziehung gebildet:

$$\varphi_G = \varphi_0 + K (\vartheta_S - \vartheta_L);$$

- φ_G Grenzwert der relativen Feuchte (Grenzfeuchtwert)
- φ_0 Gleichgewichtsfeuchtwert entsprechend der Gutfeuchte
- K Einflußfaktor der Temperaturdifferenz
- ϑ_S Stapeltemperatur
- ϑ_L Temperatur der Belüftungsluft.

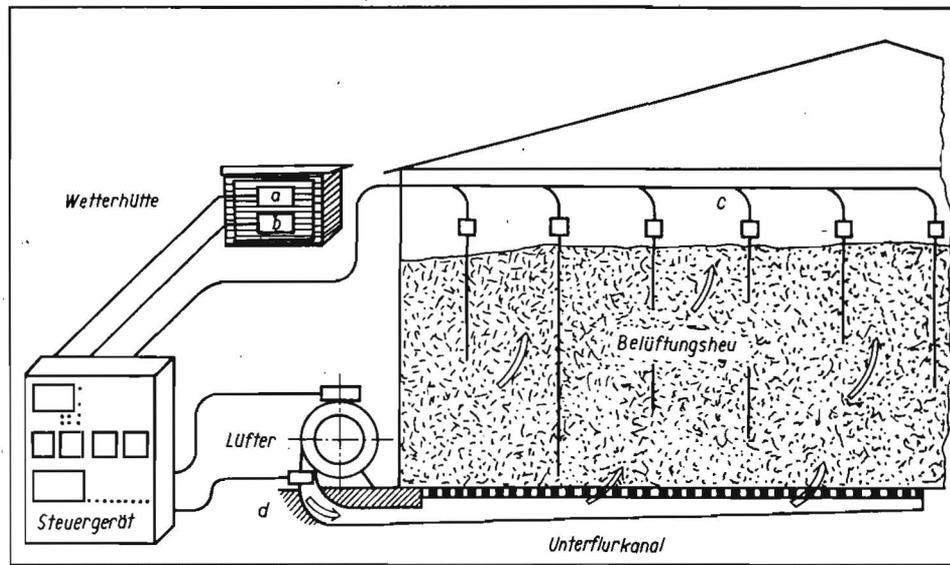


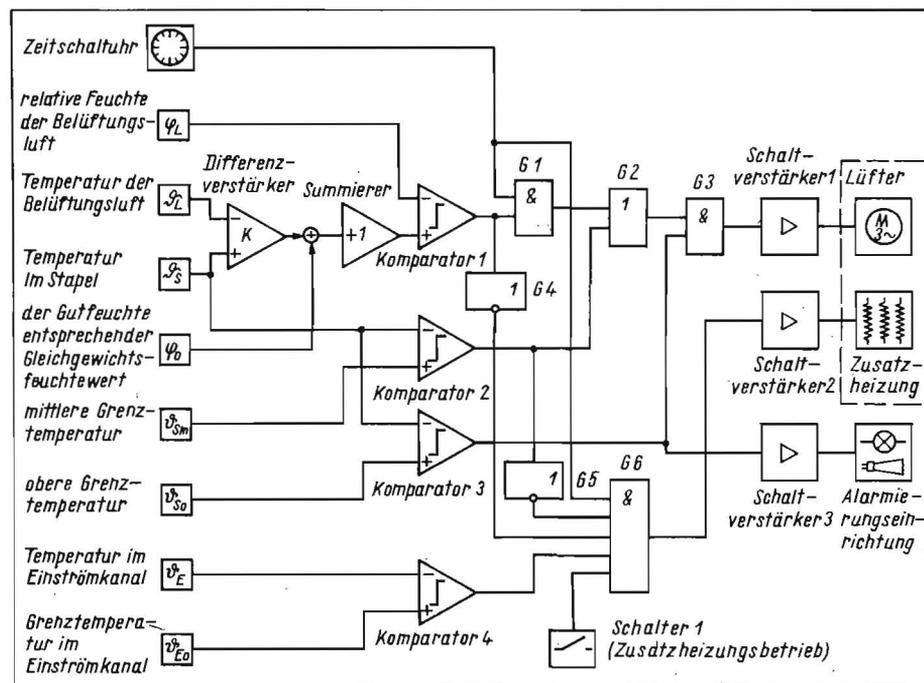
Bild 2. Verfahren zur automatischen Steuerung der Belüftung von Heu; a Temperaturfühler der Belüftungsluft, b Fühler für relative Luftfeuchte der Belüftungsluft, c Temperaturfühler für Belüftungshau, d Temperaturfühler im Lufteströmkanal

Die prinzipielle Arbeitsweise der Einrichtung zur automatischen Steuerung der Belüftung soll anhand von Bild 3 erläutert werden. Das von einem Differenzverstärker gebildete Signal zwischen der Stapeltemperatur ϑ_S und der Belüftungslufttemperatur ϑ_L wird mit dem der Gleichgewichtsfeuchte des Gutes proportionales Signal einem Summierer zugeführt, dessen Ausgangssignal von einem Komparator 1 mit dem Meßsignal der relativen Feuchte der Belüftungsluft (Istwert) verglichen wird. Das Stapeltemperaturmeßsignal wird gleichzeitig zwei Komparatoren 2 und 3 zum Vergleich mit einer mittleren und oberen Grenztemperatur zugeführt. Beim Anschluß einer Zusatzheizeinrichtung wird die Überwachung der Temperatur im Einströmkanal des Lüfters ϑ_E vom Komparator 4 übernommen. Die Ausgangssignale der Komparatoren und das Ausgangssignal einer Zeitschaltuhr sind mit einer logischen Verknüpfungsschaltung verbunden,

die über Schaltverstärker die Belüftungseinrichtung, die Zusatzheizeinrichtung und eine Alarmierungseinrichtung ansteuert [6]. Nachfolgend werden die technischen Möglichkeiten und Vorteile genannt, die die Steuereinrichtung bietet:

- Die Steuereinrichtung ermöglicht das Ein- und Ausschalten der Lüfter nach Belüftungstabelle. Mit dem Gerät können die Lüfter mehrerer Heustapel nach verschiedenen Belüftungsregimen angesteuert werden.
- Durch die Einstellung eines mittleren Temperaturgrenzwerts (z. B. 40°C) wird der Selbsterwärmung des Belüftungsgutes vorgebeugt. Wenn an einer Meßstelle des Stapels dieser Grenzwert überschritten wird, erfolgt der Befehl zum ständigen Belüften.
- Ein weiterer über dem mittleren Temperaturgrenzwert liegender oberer Tem-

Bild 3. Schaltschema der Belüftungssteuereinrichtung



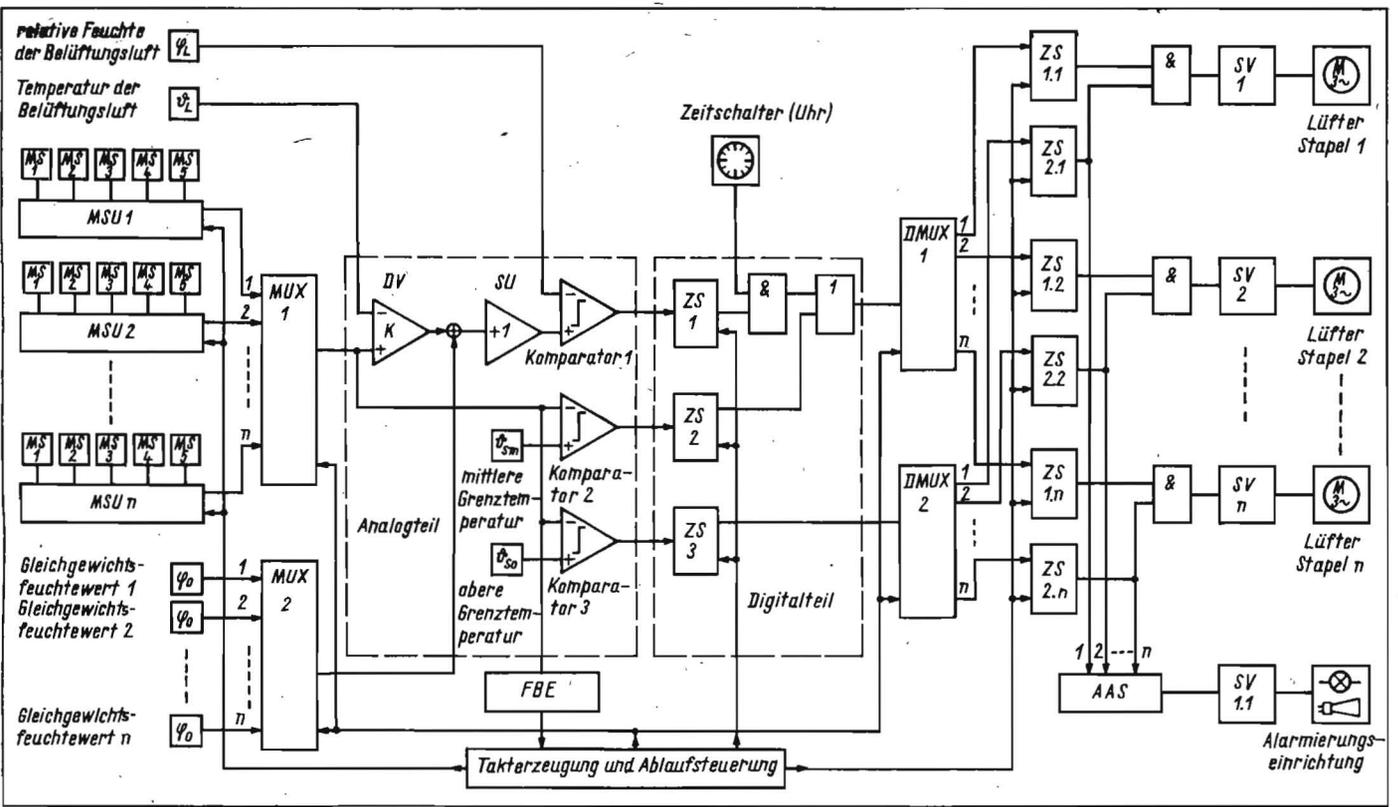


Bild 4. Prinzipieller Aufbau einer automatischen Belüftungssteuereinrichtung mit je 5 Stapelmeßstellen und n Stapeln; AAS Alarmauswerteschaltung, DV Differenzverstärker, DMUX Demultiplexer, FBE Fühlerbrucherkenung, MS Meßstelle, MSU Meßstellenumschalter, MUX Multiplexer, SU Summierer, SV Schaltverstärker, ZS Zustandsspeicher

peraturgrenzwert (z. B. 65°C) dient der Brandüberwachung des Gutes. Wird diese Grenztemperatur von nur einer Meßstelle im Stapel überschritten, wird unabhängig von allen anderen Steuerbefehlen die Belüftungseinrichtung für diesen Stapel abgeschaltet und es wird Alarm ausgelöst.

Bei ungünstigen Belüftungsbedingungen kann das Gerät beim Einsatz einer Zusatzheizungseinrichtung ebenfalls die automatische Steuerung der Belüftung übernehmen. Die Zusatzheizungseinrichtung ist dabei nur in dem unbedingt notwendigen Maß eingeschaltet. Sobald die meteorologischen Bedingungen ein Belüften ohne Zusatzheizung gestatten, wird die Zusatzheizung sofort automatisch abgeschaltet. Diese Variante kann beispielsweise bei Belüftungssilos für die Saatgutrocknung angewendet werden.

Der prinzipielle Aufbau einer Belüftung mit einer beliebigen Anzahl von Stapeln bzw. Belüftungseinheiten mit bis zu 5 Temperaturmeßfühlern im Gut ist im Bild 4 dargestellt. Die

Abfrage der Temperaturmeßwerte der einzelnen Stapel und die Abfrage der Stapel erfolgen zeitlich hintereinander, so auch die Ausgabe der Stellsignale für die Lüfter. Dadurch wird ein gleichzeitiges Anlaufen mehrerer Lüfter verhindert. Nicht belegte Meßstellen (z. B. Fühlerbruch) verursachen keine Fehlsteuerungen. Die Taktfrequenz wird so festgelegt, daß ein Steuerzyklus innerhalb von 5 bis 10 min abgeschlossen wird. Kurzfristige Änderungen der Einflußgrößen werden hierbei hinreichend genau erfaßt. Eine zu hohe Schaltbelastung der Lüftermotoren bei Übergangszuständen tritt nicht auf.

3. Zusammenfassung
 Auf der Basis von Sorptionsisothermen wurde eine Belüftungstabelle für Heu aus Gras und Gras-Leguminosen-Gemisch erarbeitet. Ein neu entwickeltes Verfahren und eine Einrichtung zur automatischen Steuerung der Belüftung arbeitet nach den Parametern und Grenzwerten dieser Belüftungstabelle. Mit dem

Steuergerät können auch andere landwirtschaftliche Schütt- und Stapelgüter entsprechend Belüftungstabellen oder -diagrammen belüftet werden.

Literatur

- [1] Berliner, M. A.: Feuchtemessung. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
- [2] Krischer, O.; Kast, W.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin / Heidelberg/New York: Springer Verlag 1978.
- [3] Lück, W.: Feuchtigkeit, Grundlagen, Messen, Regeln. München/Wien: Verlag R. Oldenbourg 1964.
- [4] Schimpfky, S.: Das hyroskopische Verhalten ausgewählter Futtermittelkomponenten. Getreidewirtschaft 10 (1976) H. 10, S. 225—228.
- [5] Schrader, A.; Knabe, O.: Eine Belüftungstabelle für Heu und ihre Anwendung in der Praxis. Feldwirtschaft 23 (1982) H. 4, S. 154—156.
- [6] Schrader, A.; Scharf, R.; Seyfarth, L.; Blume, D.: Verfahren und Einrichtung zur automatischen Steuerung der Belüftung. DDR-Patentschrift WP Nr. 146 087, IPK: F 26 B 21/00, vom 21. September 1979. A 3391

Folgende Fachzeitschriften des Maschinenbaus erscheinen im VEB Verlag Technik:
 agrartechnik; Die Eisenbahntechnik; Feingerätetechnik;
 Fertigungstechnik und Betrieb; Hebezeuge und Fördermittel; Kraftfahrzeugtechnik;
 Luft- und Kältetechnik; Maschinenbautechnik; Metallverarbeitung; Schmierungstechnik;
 Schweißtechnik; Seewirtschaft