

mit einer elastischen Oberfläche vielfach aufzuquetschen. Erste Versuche (Bild 3) haben gezeigt, daß die Abtrocknungsgeschwindigkeit von derart aufbereitetem Futter größer ist als nach der Bearbeitung mit schlagenden Werkzeugen, wie sie heute in Mähauflberei- tern zu finden sind.

In einer Vielzahl von früheren Versuchen hat sich herausgestellt, daß breit abgelegtes Mähgut, das mit herkömmlichen Mähauflberei- tern bearbeitet wurde, wesentlich schneller abtrocknet als das in Schwaden abgelegte (Bild 4).

Es ist wesentlich effektiver, die gesamte Feld-

fläche zur Abtrocknung zu nutzen und nicht nur etwa die Hälfte, wie das bei Schwad- und Mattenablage der Fall wäre. Bis es gelingt, der extremen Aufbereitung mit dem Matten- verfahren Eingang in die Praxis zu verschaf- fen, wird vorgeschlagen, einen Zwischen- weg zu gehen und das Erntegut, wie oben beschrieben, zwar intensiv zu bearbeiten, aber in seiner Struktur nicht zu zerstören. Die Pflanzenoberfläche ist mit angepaßten Aufbereitungswerkzeugen zu öffnen, ohne daß Bröckelverluste entstehen. Dabei wird die Pflanzenstruktur erhalten, und es ergibt sich eine lockere Ablage, und zwar breitflä-

chig unter Nutzung der gesamten Ernteflä- che zur Abtrocknung.

Sobald das Erntegut ausreichend abgetrock- net ist (am Abend des ersten Tages), erfolgt das Schwaden mit einem Frontschwader. Die Gutschwaden trocknen am Vormittag des zweiten Tages an der Oberfläche ausrei- chend ab und werden gegen Mittag mit ei- nem speziellen Schwadwender um 180° ge- dreht, so daß die dann nach oben gelan- gende Unterseite des Schwadens ebenfalls ausreichend abtrocknet. Damit kann am Nachmittag des zweiten Tages nach dem Mähen Belüftungshau eingefahren werden.

A 6094

Kühlkonservierung von Futtergetreide

Dr. agr. H.-G. Kirschbaum, Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Verwendete Formelzeichen

AA	m	Stützenabstand der Gebäu- dehülle
	m	Abstand der Belüftungs- kanäle
c_G	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	spezifische Wärme des Gutes
F_G	%	Feuchte des Gutes
H, h_s	m	Höhe des Gutstapels
Δh_G	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Enthalpiedifferenz des Gutes bei der Abkühlung
Δh_L	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Enthalpiedifferenz der durch den Gutstapel strömenden Luft
m_G	kg, t	Masse des Gutes
m_L	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	spezifische Masse der Luft
Q	kJ	Wärmemenge
Q_{sp}	$\text{kJ} \cdot \text{t}^{-1}$	spezifischer Energiebedarf
q	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	Wärmequellendichte
SB	m	Systembreite der Gebäude- hülle
t_k	h	Abkühlzeit des Gutes
t_L	d	zulässige Lagerzeit
t_{KO}	h	Abkühlzeit des Gutes ohne Korrekturfaktoren
t_w	d	Wiedererwärmungszeit des Gutes
t_{w_2}	d	Wiedererwärmungszeit des Gutes für ein Temperatur- intervall von 2 K
	m	Abstand
x_a	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	absolute Feuchte der Luft beim Austritt aus dem Gut- stapel
x_e	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	absolute Feuchte der Luft beim Eintritt in den Gut- stapel
α_1, α_2		Korrekturfaktoren
τ_G	°C	Guttemperatur
τ_{Ge}	°C	Guttemperatur zu Beginn der Abkühlung
τ_G^*	°C	Guttemperatur in der oberen Stapelschicht bei Abschluß der Abkühlung
τ_{La}	°C	Lufttemperatur am Ausgang des Gutstapels
τ_{Le}	°C	Lufttemperatur am Eingang des Gutstapels
τ_{LK}		Temperatur der Kühlluft
$\Delta \tau_G$	K	Temperaturdifferenz des Gutes bei der Abkühlung
$\Delta \tau_{Gmax}$	K	maximale Temperaturdiffe- renz des Gutes bei der Abkühlung
ϱ_s	$\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	Schüttdichte des Gutes

1. Aufgabenstellung

Gegenwärtig wird der überwiegende Teil des Futtergetreides, das mit einem Feuchtegehalt > 16 % geerntet wird, vor der Einlage-

rung technisch getrocknet. Dieses Konser- vierungsverfahren erfordert jedoch einen re- lativ hohen Energieaufwand und führt dann, wenn die Trocknung nicht im eigenen Be- trieb möglich ist, zu zusätzlichen Transport- kosten. Mit dem Verfahren der Kühlkonservierung können im Vergleich zur techni- schen Trocknung der Energieaufwand und auch die Konservierungskosten gesenkt wer- den. Das Verfahren wird deshalb besonders in kleineren landwirtschaftlichen Betrieben, in denen die Lagerung des Getreides bevor- zugt in Behältern (Silos) erfolgt, angewen- det [1, 2].

In den landwirtschaftlichen Betrieben auf dem Gebiet der ehemaligen DDR erfolgt die Lagerung des Futtergetreides vor allem in Haufenlagern (ebenerdige Lagerhallen), und die Lagermengen je Lagereinheit sind bedeu- tend größer als in kleinbäuerlichen Betrie- ben [3]. Nachfolgend wird untersucht, ob eine Kühlagerung von Futtergetreide auch unter diesen Bedingungen Bedeutung hat.

2. Berechnungsgrundlagen

Es erfolgte die Berechnung der Abkühlzeit und der Anzahl der notwendigen Kühlgänge für eine vorgegebene Schüttgutmenge. Au- ßerdem wurden die Reduzierung des Feuch- tegehalts des Getreides bei der Abkühlung und der spezifische Energieaufwand im Ver-

gleich zur Konservierung durch technische Trocknung ermittelt. In [4] wird zur Berechnung der Abkühlzeit von der Wärmebilanz- gleichung

$$Q_{\text{abgegeben (Gut)}} = Q_{\text{aufgenommen (Luft)}} \quad (1)$$

ausgegangen und die Beziehung

$$t_k = \frac{\alpha_1 \alpha_2 m_G \Delta h_G}{m_L \Delta h_L} \quad (2)$$

angegeben. Darin stellen α_1 und α_2 Korrek- turfaktoren dar, die experimentell bestimmt wurden.

Mit α_1 wird der sog. Kühlschwanz bei der Ab- kühlung der Getreideschüttung berücksich- tigt, d. h. die Tatsache, daß dann, wenn die durch den Gutstapel wandernde Kühlzone aus dem Stapel austritt, die Enthalpiediffe- renz der durch den Stapel strömenden Luft Δh_L abnimmt und sich die Getreidetempe- ratur in der oberen Schicht der Schüttung nur sehr langsam der Kühltemperatur annähert (Bild 1). Für den Fall, daß die Abkühlung bei einer Guttemperatur in der oberen Stapel- schicht von $\vartheta_G^* = \vartheta_{LK} + 0,15 \Delta \vartheta_{Gmax}$ beendet wird, konnte im zu berücksichtigenden Schütthöhenbereich für α_1 ein Wert von 1,35 bis 1,40 bestimmt werden.

Mit α_2 wird berücksichtigt, daß sich bei vor- handenen Luftverteilkämen im Gutstapel keine horizontale Kühlfrost ausbildet, wo-

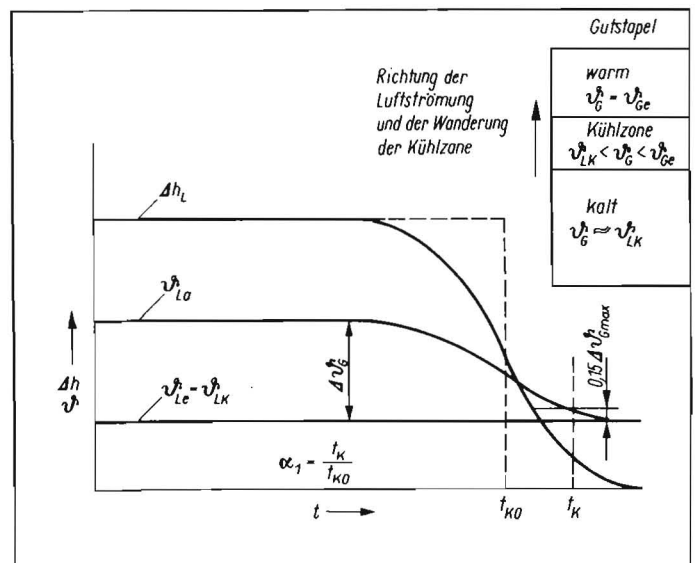


Bild 1 Verlauf der Enthalpiedifferenz sowie der Ein- gangs- und Ausgangs- temperatur der Luft beim Wandern der Kühlzone durch den Getreidestapel

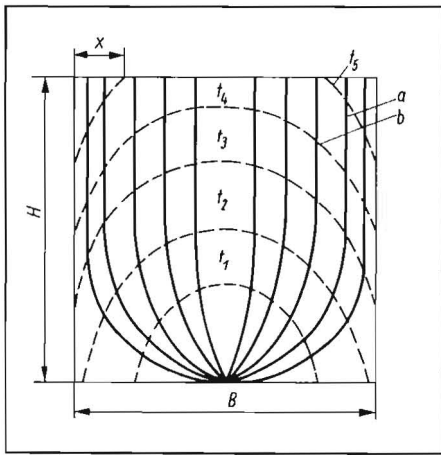


Bild 2. Verlauf der Kühlfront im Getreidestapel; a Stromlinien, b Kühlfront
Werte für den Korrekturfaktor α_2 (nach [4]):

B/H	X/H	0,1	0,15
0,75	1,25	1,05	1,00
1,00	1,40	1,25	1,12
1,25	1,55	1,26	1,12

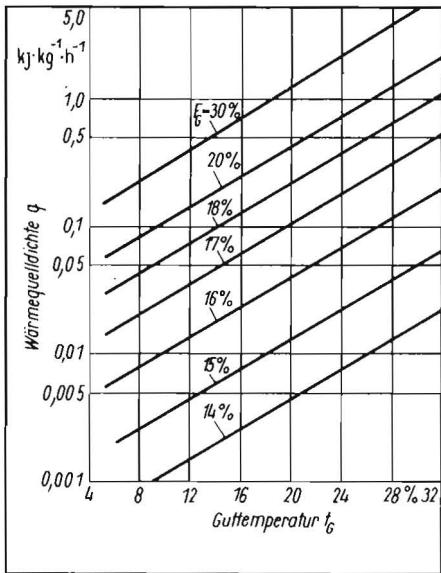


Bild 3. Wärmeentwicklung bei der Getreidelagerung in Abhängigkeit von der Temperatur und der Feuchtigkeit des Gutes (nach [5])

durch die oberen Ecken des dem Kanal zugeordneten Getreidestapels zuletzt abkühlen (Bild 2). Zur Berechnung der Anzahl der Kühlgänge mußte die Wiedererwärmungszeit des abgekühlten Getreidestapels infolge Selbsterwärmung bestimmt werden. Das erfolgte nach der Formel

$$t_w = \sum_{i=1}^n t_{wi} \quad \text{mit } n = 6, \quad (3)$$

wobei t_{wi} die Erwärmungszeit für ein Temperaturintervall von jeweils 2 K bedeutet, da die Wärmequellichte q des Gutes von der Guttemperatur abhängig ist (Bild 3).

Die Berechnung von t_{wi} erfolgte nach der Beziehung

$$t_{wi} = \frac{C_p}{12q} \quad (4)$$

Zur Berechnung der Feuchtereduzierung des Gutes während der Abkühlung diente die Gleichung

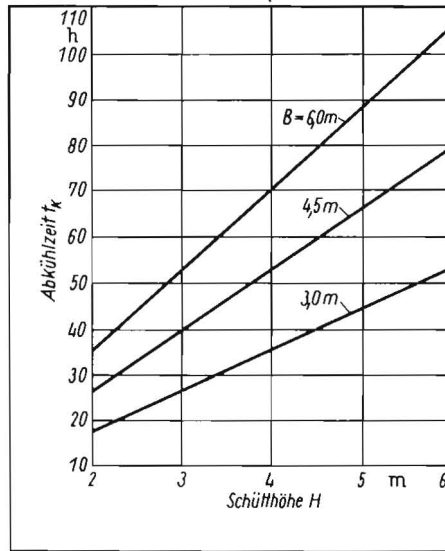


Bild 4. Abkühlzeit von Futtergetreide (Weizen) in Abhängigkeit von der Schütthöhe und vom Abstand der Belüftungskanäle (SB = 18,0 m); $m_c = AA \cdot SB \cdot h_s \cdot \rho_s$; eingesetztes Kühlaggregat: Kältesatz KL-A50/2, $\dot{m}_L = 5715 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$, $\vartheta_{Le} = 8^\circ\text{C}$, $\vartheta_G = 20^\circ\text{C}$

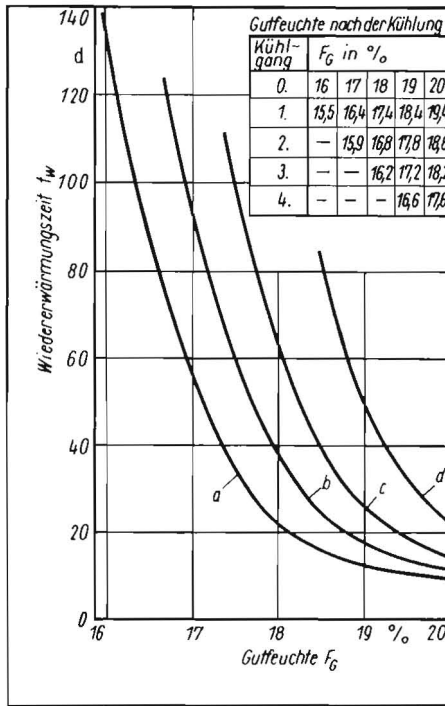


Bild 5. Wiedererwärmungszeit von Futtergetreide in Abhängigkeit von der Gutfeuchte und von der Anzahl der Kühlgänge; a nach 1. Kühlgang, b nach 2. Kühlgang, c nach 3. Kühlgang, d nach 4. Kühlgang
Guttemperaturen: 8°C (nach der Kühlung) und 20°C (nach der Wiedererwärmung)

$$\Delta F_G = \frac{\dot{m}_L (x_a - x_e) t_{ko}}{m_c} \quad (5)$$

Da im Kühlschwanz aufgrund der abnehmenden Temperaturdifferenz der Luft zwischen Stapelausgang und -eingang auch deren Wasseraufnahmekapazität absinkt, wurde hier mit der nicht korrigierten Kühlzeit t_{ko} gerechnet.

Die Bestimmung des spezifischen Energieaufwands für die untersuchten Konservierungsverfahren erfolgte auf der Grundlage

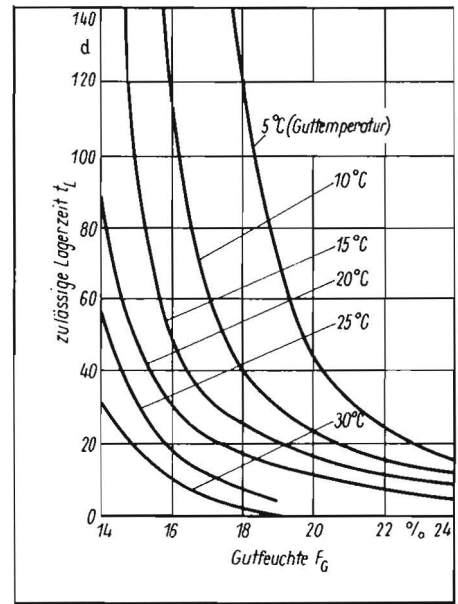


Bild 6. Zulässige Lagerdauer für Saatgetreide (nach [6])

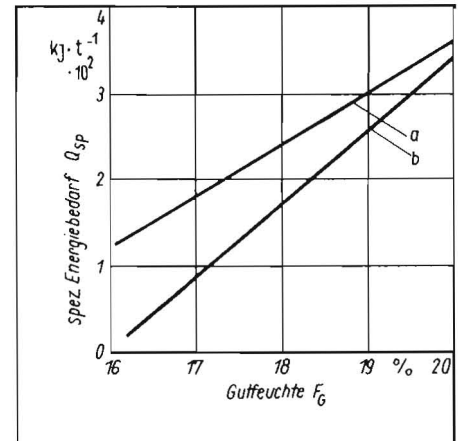


Bild 7. Spezifischer Energieaufwand für die Futtergetreidekonservierung durch technische Trocknung und Kühlung; a technische Trocknung mit Dächer-schichttrockner DK 25, b Kühlung mit Kältesatz KL-A50/2

des Primärenergiebedarfs, wobei bei der technischen Trocknung der Energiebedarf für die Wasserverdampfung und für die elektrischen Antriebe der Trocknungseinrichtung und bei der Kühlung der Energiebedarf des Kühlers in die Berechnung eingingen.

3. Ergebnisse

Die Berechnungen erfolgten für eine ebenerdige Lagerhalle mit einer Systembreite von 18,0 m, einem Abstand der Belüftungskanäle von 3,0, 4,5 und 6,0 m und einer Schütthöhe des Futtergetreides von 3,0 bis 6,0 m. Zur Abkühlung wurde ein Kältesatz vom Typ KL-A50/2 der Firma Kühlanlagenbau Zwickau GmbH vorgesehen, der außerhalb der Lagerhalle verfahrbar angeordnet und über eine flexible Rohrleitung den Belüftungskanälen nacheinander zugeschaltet werden kann. Die Temperatur des Gutes bei der Einlagerung wurde mit 20°C , die Gutfeuchte mit 16 bis 20% und die Eingangstemperatur der Kühlluft in den Gutstapel mit 8°C angenommen. Die für die Abkühlung vorgesehene stündliche Luftmenge beträgt 5715 kg und

entspricht der Luftmenge des Kühlers bei einer Austrittstemperatur von 5,5 °C.

Die Berechnungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Mit dem KL-A50/2 können in 24 h 102,7 t Futtergetreide mit einem Feuchtegehalt zwischen 16 % und 20 % von 20 auf 8 °C abgekühlt werden (Bild 4). Beträgt z. B. der Kanalabstand 4,5 m und die Schütthöhe 4,0 m, so ist die in einer Lagerhalle mit der Systembreite von 18,0 m einem Belüftungskanal zugeordnete Futtergetreidemenge in 53,0 h vollständig, d. h. auch in der oberen Schicht und in den Randbereichen abgekühlt.
- Die Wiedererwärmungszeit des Futtergetreides nach der Abkühlung ist von der Gutfeuchte und von der Anzahl der bereits durchgeführten Kühlgänge abhängig (Bild 5).
- Auf die Anzahl der erforderlichen Kühlgänge hat die Anfangsfeuchte des Gutes großen Einfluß (Bild 5). Wird davon ausgegangen, daß das Futtergetreide in den ersten 60 Tagen der Lagerung ausschließlich durch den Einsatz technischer Kälte abgekühlt werden muß, so ergibt sich die Anzahl n der Kühlgänge in Abhängigkeit von der Gutfeuchte bei der Einlagerung wie folgt:

- bei Gutfeuchte 17 % $n = 1$
- bei Gutfeuchte 18 % $n = 2$
- bei Gutfeuchte 19 % $n = 3$
- bei Gutfeuchte 20 % $n = 4$.

Das trifft jedoch nur für den Teil des Futtergetreides zu, der bereits Mitte Juli, d. h. gleich am Anfang der Getreideernte, eingelagert wird, denn ab Mitte September kann, wie eine Auswertung der langjährigen Tagestemperaturverläufe der Wetterdienststelle Potsdam zeigte, die Kühlkonservierung ausschließlich durch Nutzung kühler Außenluft in den Nachtstunden abgesichert werden.

- Mit der Abkühlung ist gleichzeitig eine Trocknung des Futtergetreides verbunden (Bild 5). Sie beträgt beim Einsatz des Kältesatzes KL-A50/2 je Kühlgang etwa 0,5 bis

0,6 %. Das bedeutet, daß z. B. Futtergetreide mit einer Einlagerungsfeuchte von 18,0 % nach 3 Kühlgängen auf 16,2 % getrocknet ist und damit die weitere Qualitätserhaltung durch Belüftung mit unbehandelter Außenluft gewährleistet werden kann.

- Für die Berechnung der Anzahl der Kühlgänge wurde angenommen, daß sich das Getreide zwischen den Kühlgängen auf 20 °C wiedererwärmt. Aus Bild 6 geht hervor, daß während der Wiedererwärmung bei allen untersuchten Gutfeuchten keine Qualitätsminderung des Gutes auftritt.
- Der spezifische Energieaufwand für die Kühlkonservierung liegt auch dann, wenn der ungünstigste Einsatzfall (Ernte Mitte Juli) angenommen wird, bei Gutfeuchten zwischen 16 % und 20 % unter dem für die technische Trocknung in einem Schachttrockner (Bild 7). Mit steigender Gutfeuchte nehmen die Unterschiede zwischen beiden Konservierungsverfahren jedoch ab. Bei Gutfeuchten über 20 % wird mit der technischen Trocknung ein niedrigerer spezifischer Energieaufwand realisiert.

4. Schlußfolgerungen

Die Berechnungen zeigen, daß das Verfahren der Kühlkonservierung auch bei der Lagerung von Futtergetreide in ebenerdigen Lagerhallen anwendbar ist. Die Feuchtigkeit des Getreides sollte jedoch 20 % nicht übersteigen. Mit einem Kältesatz KL-A50/2 kann die Kühlkonservierung in einer Lagerhalle mit einer Lagerkapazität von 2 500 bis 3 000 t abgesichert werden. Der zum Einsatz kommende Kältesatz muß bei der Getreidekühlung in ebenerdigen Lagerhallen verfahrbar und über eine flexible Rohrleitung einfach an die Belüftungskanäle ankoppelbar sein. Außer für die Futtergetreidekühlung kann er auch für weitere Kühlaufgaben im landwirtschaftlichen Betrieb, z. B. zur Kühlung von Nahrungsmittel- bzw. Saatgetreide, Kartoffeln oder Gemüse, eingesetzt werden.

Zur Kühlkonservierung von Futtergetreide in ebenerdigen Lagerhallen (Schütthöhe

$\geq 3,0$ m) liegen bisher keine praktischen Erfahrungen vor. Bevor eine Anwendung in den landwirtschaftlichen Betrieben empfohlen werden kann, müssen die hier durchgeführten theoretischen Untersuchungen durch Praxisuntersuchungen bestätigt werden.

5. Zusammenfassung

Der überwiegende Teil des Futtergetreides in den landwirtschaftlichen Betrieben wird technisch getrocknet. Anhand theoretischer Untersuchungen wird gezeigt, daß mit dem Verfahren der Kühlkonservierung der spezifische Energieaufwand gegenüber der technischen Trocknung gesenkt werden kann. Die Kühlkonservierung von Futtergetreide ist auch in ebenerdigen Lagerhallen mit Schütthöhen $\geq 3,0$ m bei einer Gutfeuchte von ≤ 20 % anwendbar. Dazu eignet sich der Kältesatz KL-A50/2 der Firma Kühlanlagenbau Zwickau GmbH bzw. ein vergleichbares anderes Kühlgerät. Mit einem solchen Gerät kann die Kühlkonservierung für eine Lagerhalle mit einer Lagerkapazität von 2500 bis 3000 t abgesichert werden. Das Kühlgerät ist auch für weitere Kühlaufgaben im landwirtschaftlichen Betrieb einsetzbar.

Literatur

- [1] Plesse, H. J.: Energie sparen bei hofeigener Getreidekonservierung. Landtechnik, Lehrte 36(1981)6, S. 285–288.
- [2] Kühlung läßt Körner langsamer atmen. dlz, München 38(1987)8, S. 1096–1099.
- [3] Erfassung der Gebäude und baulichen Anlagen der Pflanzen- und Tierproduktion (BSE). Institut für Agrarökonomie Berlin, 1986.
- [4] Enkelmann, W.: Untersuchungen zur wirtschaftlichen Gestaltung des Kaltkonservierungsprozesses von feuchtem Getreide. TU Dresden, Dissertation 1969.
- [5] Jouin, C.: Grundlegende Kalkulation für die Belüftung des Getreides. Getreide und Mehl, Detmold 14(1964)6, S. 64–70.
- [6] Agena, M. U.: Untersuchungen über die Kältewirkungen auf lagernde Getreidefrüchte mit verschiedenem Wassergehalt. Universität Bonn, Dissertation 1961.

A 6087

Landtechnische Dissertationen

Am 4. April 1990 verteidigte Dr. oec. Klaus Kühnast an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg seine Dissertation B zum Thema „Gestaltung eines modularen komplexen Hard- und Softwaresystems für die rechnergestützte Instandhaltung maschinentechnischer Ausrüstungen“

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. E. Rast, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Prof. Dr. sc. techn. P. Jakob, Humboldt-Universität Berlin

Prof. Dr. sc. techn. K. Röbner, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg.

Die mit wachsender Automatisierung, Robo-

terisierung und Verkettung steigenden Anforderungen an Zuverlässigkeitsparameter maschinentechnischer Ausrüstungen erfordern zunehmend rechnergestützte Instandhaltungssysteme. Die Nutzung der dezentralen Rechentechnik ist damit eine Voraussetzung, um den in den letzten Jahren immer offensichtlicher gewordenen Widerspruch zwischen dem theoretischen Erkenntnisstand der Wissenschaftsdisziplin Instandhaltung und dessen Applikation zu überwinden. Mit der vorliegenden Dissertationsschrift werden Grundlagen und Anwendungsbedingungen eines komplexen vernetzten Hard- und Softwaresystems für die rechnerunter-

stützte Instandhaltung erarbeitet und wissenschaftlich begründet. Am Beispiel einer ALV-Anlage für Speisekartoffeln sowie eines Maschinenbaubetriebes werden das in 4 Ebenen entwickelte spezifische Hardwarekonzept sowie das modulare Softwaresystem mit den Hauptkomplexen

- INSTRUK (Anlagen- und Maschinenstrukturierung)

- PRIMAER (on-line- bzw. dialoggeführte off-line Primärdatenerfassung)

- INPLAN (Instandhaltungsplanung)

erprobt und die erreichbaren zuverlässigkeitsspezifischen und ökonomischen Effekte nachgewiesen.