

# Energieeinsparung in beheizten Ställen durch den Einsatz speicherprogrammierbarer Steuerungen

Dr. rer. nat. H. Dittmann, Ingenieurbetrieb für Tierproduktions- und Verarbeitungsanlagen GmbH Berlin-Kaulsdorf

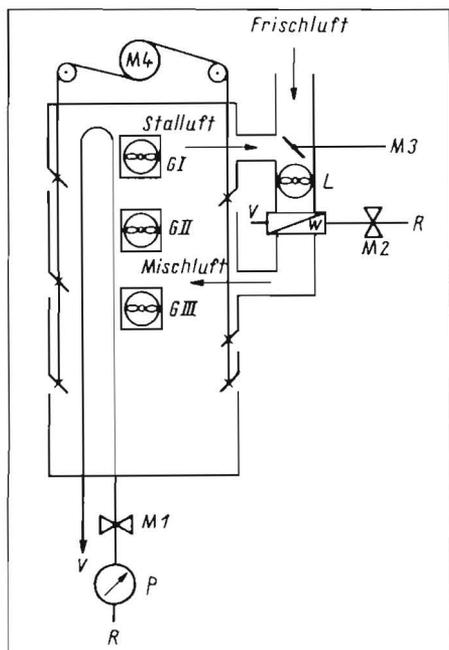
## 1. Einleitung

Die Untersuchung einer Vielzahl von beheizten Ställen – vor allem in der Geflügelhaltung – ergab, daß große Energieeinsparungen oft durch einfache Maßnahmen erreicht werden können. Dazu gehören u. a.:

- Verbesserung der vorhandenen Wärmedämmung
- Beseitigung von Undichtigkeiten im Stall, durch die unkontrolliert Frischluft in den Stall eindringen kann
- einstellbare Frischluftzufuhr.

Für den Verfasser ist die Bedingung für einen heiztechnisch optimalen Stall allgemein immer dann erfüllt, wenn sich die Frage bejahen läßt: „Sind alle Energieeinsparungen ausgeschöpft, wenn der Stall sich in der Phase ‚Anheizen‘ befindet?“ Diese Phase ist dadurch gekennzeichnet, daß noch keine

- Bild 1. Stellglieder für das Heizungs- und Lüftungssystem und deren Wirkungsweise zur Regelung des Stallklimas:
- G I Gruppe I der Firstventilatoren (wird in ihrer Geschwindigkeit von der SPS eingestellt)
  - G II Gruppe II der Firstventilatoren (wird nur ein- bzw. ausgeschaltet)
  - G III Gruppe III der Firstventilatoren (wird nur ein- bzw. ausgeschaltet)
  - L zentraler Lüfter zur Förderung der Umluft/Frischluft
  - M 1 Motorstellventil zur Einstellung der Heizleistung der örtlichen Heizung (Rohrregister) im Stall
  - M 2 Motorstellventil, mit dem die Heizleistung des Wärmeübertragers eingestellt wird
  - M 3 Motorstellantrieb für die Einstellung des Umluft-Frischluft-Verhältnisses
  - M 4 Motorstellantrieb für die Einstellung der an beiden Seiten des Stalles befindlichen Klappen
  - P Pumpe für Rohrregister
  - W Wärmeübertrager (R Rücklauf, V Vorlauf)



Tiere im Stall sind, aber die Einstellung vorbereitet wird und die Stalltemperatur auf den Anfangswert gebracht werden soll. Im Sinn einer hohen Energieökonomie müßten alle Ställe so umgebaut werden, daß die o. g. Frage positiv beantwortet werden kann. Für einen Stall, der die Bedingungen erfüllt, sind weitere Energieeinsparungen vor allem durch den Einsatz moderner regelungs- und steuerungstechnischer Methoden möglich. Diese Methoden werden international mit speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) realisiert. Ist eine solche Steuerung für den Einsatz zur Regelung des Stallklimas programmiert, so spricht man auch von einem Stallklimacomputer.

## 2. Aufgaben von speicherprogrammierbaren Steuerungen

Eine speicherprogrammierbare Steuerung im beheizten Stall hat folgende Aufgaben:

- geringster Energieeinsatz bei Einhaltung des Stallklimas (Temperatur, Feuchte, Schadgase); dabei ist das zu sichernde Stallklima vom Lebensalter der Tiere abhängig
- umfangreiches Alarmierungssystem zum Erkennen von Anlagenfehlern (z. B. Alarmtemperaturen)
- Zusatzaufgaben (Licht-, Fütterungs- und Entmistungsregime, Ausdruck von Prozeßwerten).

## 3. Programm für den beheizten Geflügelstall

Die Anwendung der speicherprogrammierbaren Steuerungen soll am Beispiel eines 3etägigen Geflügelstalls für die Junghennenanzucht demonstriert werden. Das Heizungs- und Lüftungssystem für diesen Stall und damit auch die im Rechner installierte Software gestalten sich relativ aufwendig. Jeder Anwender kann aber durch Änderung einiger Parameter in der speicherprogrammierbaren Steuerung das Programm auch für einfachere Heizungs- und Lüftungssysteme verwenden.

### 3.1. Ausstattung des Stalles

Das verwendete Heizungs- und Lüftungssystem für den maximalen Anwendungsfall ist im Bild 1 dargestellt. Die Stellglieder dienen der Gestaltung des Stallklimas und werden von der verwendeten SPS direkt angesteuert.

### 3.2. Meßgrößen

Zur Stallklimagestaltung werden folgende Meßgrößen erfaßt und von der SPS verarbeitet:

- Stalllufttemperatur (Widerstandsthermometer Pt 100)
- Stallluftfeuchte (relative Feuchte); nur wenn der Anwender auch eine Steuerung der Stallluftfeuchte wünscht
- Außenlufttemperatur
- Vor- und Rücklauftemperatur am Wärmeübertrager (nur wenn Frostgefahr für den Wärmeübertrager besteht).

Von den Stellgliedern werden folgende Informationen in der speicherprogrammierbaren Steuerung verarbeitet:

- Geschwindigkeit der Lüfter G I
- Stellung der Motorstellventile M 1, M 2 (serienmäßig eingebaute Potentiometer)
- Stellung der Motorstellantriebe M 3, M 4, (über serienmäßig eingebaute Potentiometer) als Maß der Klappenstellung.

### 3.3. Schalter

In die speicherprogrammierbaren Steuerungen lassen sich über Schalter nachgenannte Befehle eingeben:

- Anlage befindet sich im Zustand „Anheizen“  
Alle Stellglieder lassen keine Frischluft in den Stall, und die Heizungsanlage reg auf die Anheiztemperatur (in der SPS gespeichert)
- Serviceperiode  
Die für diesen Zustand notwendige Luftmenge und Temperatur werden gesichert.
- Regelung „Aus“  
Alle Stellglieder sind geschlossen.
- Regelung „Ein“  
Das Stallklima wird entsprechend den lebensalterabhängigen Sollwerten eingeregelt.

Wenn vom Nutzer gewünscht, können über Drehwiderstände folgende Informationen in die speicherprogrammierbare Steuerung eingegeben werden:

- Belegungsdichte des Stalles
- Nachtabsenkung der Temperatur.

### 3.4. Sollwerte

Die Aufzählung der wichtigsten Sollwerte zeigt, welches umfangreiche tierphysiologische Wissen von der speicherprogrammierbaren Steuerung gespeichert ist und da zur Regelung und Steuerung des Stallklimas verwendet wird. Diese tierphysiologischen Sollwerte sind in Abhängigkeit vom Lebensalter der Tiere gespeichert und werden zu jeder Stunde neu berechnet. Diese Abhängigkeiten können aus beliebigen Geradenstücken zusammengesetzt sein (Bild 2).

Die wichtigsten lebensalterabhängigen Sollwerte sind:

- Heizungssolltemperatur (Sollwert, der von der Regelung eingehalten wird, wenn der Stall geheizt wird, d. h. M 1 oder M 2 befinden sich im Arbeitsbereich)
- Lüftungssolltemperatur (Sollwert, der von der Regelung eingehalten wird, wenn der Stall nicht geheizt wird; Lüftergruppe G 1 läuft, M 1 und M 2 sind geschlossen) Die Lüftungssolltemperatur liegt entsprechend Bild 2 immer über der Heizungssolltemperatur, wobei die Differenz zwischen beiden Werten der im Standard TGL 29 084 (Stallklimagestaltung; Rinder, Schafe, Schweine und Geflügel) bezeichnete optimale Temperaturbereich ist. Je größer dieser Bereich gewählt werden kann, um so bedeutsamer sind die Energieeinsparungen.  
Im regelungstechnischen Prozeß wird bei

sehr jungen Tieren nur die Heizungssolltemperatur verwendet, während bei älteren Tieren nur die Lüftungssolltemperatur zur Anwendung kommt.

– relative Feuchte

Dazu wird die Feuchte der Stallluft gemessen, und bei Überschreitung des Sollwertes wird die überschüssige Luftfeuchtigkeit durch zusätzliche Außenluftzuführung abgebaut.

– minimale Lüfrate (entsprechend Standard TGL 29 084 definierte Winterlüfrate)

Diese Lüfrate wird in jedem Fall von der speicherprogrammierbaren Steuerung gesichert, um die Schadgase aus dem Stall abzutransportieren.

– obere und untere Alarmtemperatur

Werden diese Temperaturen im Stall überschritten, so schaltet die SPS die Alarmanlage ein. Die obere Alarmtemperatur führt dabei nur zum Einschalten des Alarms, wenn die Außenlufttemperatur nicht zu hoch ist.

3.5. Regelung

Die Realisierung des lebensaltersabhängigen Stallklimas, das durch die Sollwerte eindeutig beschrieben wird, ist eine regelungstechnisch aufwendige Aufgabe. Die Beschreibung soll hier nur soweit erfolgen, wie es zum Grundverständnis nötig ist. Hat die Regelung mehrere Möglichkeiten, das Stallklima zu realisieren, so wählt sie immer die mit dem geringsten Energieaufwand. Dabei wird zur Vereinfachung die Regelung der Luftfeuchtigkeit nicht betrachtet. Die Regelung wird dabei von sehr tiefen Außenlufttemperaturen zu hohen Außenlufttemperaturen skizziert.

Die Anlage befinde sich im Zustand „Heizen“ (M 1 ist voll geöffnet, mit M 2 wird die Stalllufttemperatur geregelt, M 3 ist von der speicherprogrammierbaren Steuerung entsprechend dem Lebensalter der Tiere so eingestellt, daß die Minimalluft gesichert wird), die Luftfeuchtigkeit liege unter dem entsprechenden Sollwert. Steigt nun die Außenlufttemperatur, so wird Motorstellventil M 2 langsam geschlossen. Daraus ergeben sich folgende Zusammenhänge:

- zentraler Lüfter L abgeschaltet (Stromeinsparung)
- Lüfter G I auf Minimalluft gefahren
- Motorstellantrieb M 3 geschlossen (keine Frischluft gelangt über M 3 in den Stall, Sicherung des Wärmeübertragers gegenüber Frost)
- Regelung der Temperatur durch das Motorstellventil M 1.

Bei einem weiteren Ansteigen der Außenlufttemperatur wird M 1 langsam geschlossen. Nach vollständiger Schließung wird die Pumpe abgestellt (Stromeinsparung), und die Lüfter G I laufen mit alter Geschwindigkeit weiter.

Ein weiteres Ansteigen der Außenlufttemperaturen bewirkt erst wieder einen regelungstechnischen Eingriff, wenn die Innenlufttemperatur von der Heizungssolltemperatur auf die Lüftungssolltemperatur angestiegen ist. Während der gesamten Zeit dieser Innenlufttemperaturerhöhung wird nur die Elektroenergie verbraucht, die die Lüfter G I zur Förderung der Minimalluft benötigen. Es wird keine überschüssige Wärme aus dem Stall entfernt.

Hat die Innenlufttemperatur durch ein weiteres Ansteigen der Außenlufttemperatur die Lüftungssolltemperatur überschritten, wird

die Drehzahl der Lüfter G I so geregelt, daß diese Solltemperatur eingehalten wird. Ein weiterer Anstieg der Außenlufttemperatur führt zu einem Anwachsen der Drehzahl der Lüfter G I.

Haben die Lüfter G I ihre Höchstgeschwindigkeit erreicht, werden die Lüfter G II eingeschaltet (nicht regelbar). Zur Sicherung einer gleichbleibenden Luftzufuhr werden die Lüfter G I auf eine solche Geschwindigkeit heruntergefahren, daß für die Luftzufuhr gilt:  $G II + G I$  (reduzierte Drehzahl) =  $G I$  (Höchst-drehzahl).

Mit wachsender Außenlufttemperatur steigt die Geschwindigkeit der Lüfter G I wieder an. Bei Erreichen der Höchstgeschwindigkeit werden die Lüfter G III zugeschaltet, und die Geschwindigkeit der Lüfter G I wird um den entsprechenden Wert reduziert. Die maximale Lüfterleistung ist erreicht, wenn G I auf Höchstgeschwindigkeit fährt und G II sowie G III eingeschaltet sind. Bei der Erhöhung des Luftdurchsatzes werden die Lüftungs-kappen durch den Motorstellantrieb M 4 stückweise geöffnet. Beim Absinken der Außenlufttemperaturen läuft die beschriebene Regelung in der entgegengesetzten Reihenfolge ab. In jedem Zustand, in dem sich die Regelung gerade befindet, regelt sie natürlich in die entsprechende Richtung.

4. Signalsystem

Von der zentralen Alarmanlage werden folgende Überwachungsfunktionen wahrgenommen:

- Stalllufttemperatur liegt über der oberen Alarmtemperatur  
Dieser Alarm wird nur ausgelöst, wenn die Alarmtemperatur nicht auf eine zu hohe Außenlufttemperatur zurückzuführen ist.
- Stalllufttemperatur liegt unter der unteren Alarmtemperatur  
Dabei sind obere und untere Alarmtemperaturen vom Tieralter abhängige Größen.
- zentraler Lüfter läuft nicht, obwohl er von der speicherprogrammierbaren Steuerung eingeschaltet wurde  
Der Test wird durch einen Luftdruckschalter vor dem Lüfter L und zeitverzögert durchgeführt, da der Luftdruckschalter erst nach vollem Lauf des Lüfters L anspricht.
- Überwachung der Thermorelais der Lüftergruppe G I
- Frostgefahr für den Wärmeübertrager  
Dazu werden zusätzlich zu den angegebenen Größen die Parameter Lufttemperatur

vor dem Wärmeübertrager sowie Wassertemperatur des Vorlaufs und des Rücklaufs des Wärmeübertragers gemessen.

- Bei ausgeschaltetem Lüfter L müssen die Lüfter G I wenigstens auf „Minimalluft“ laufen (bei ausgeschalteten Lüftern G II und G III).
- Fehler eines Luftfeuchtefühlers, wenn mit zwei Feuchtefühlern gearbeitet wird (bei zu hoher Differenz der beiden Fühler wird Alarm ausgelöst).

Diese Alarmierungen kann der Anlagenbetreiber entsprechend seinen Wünschen nutzen. Fest programmiert sind folgende Alarme:

- Ausfall der Versorgungsspannung der speicherprogrammierbaren Steuerung
- Defekt in der speicherprogrammierbaren Steuerung
- Kurzschluß zu den Meßfühlern
- Leitungsbruch zu den Meßfühlern.

5. Zusatzaufgaben

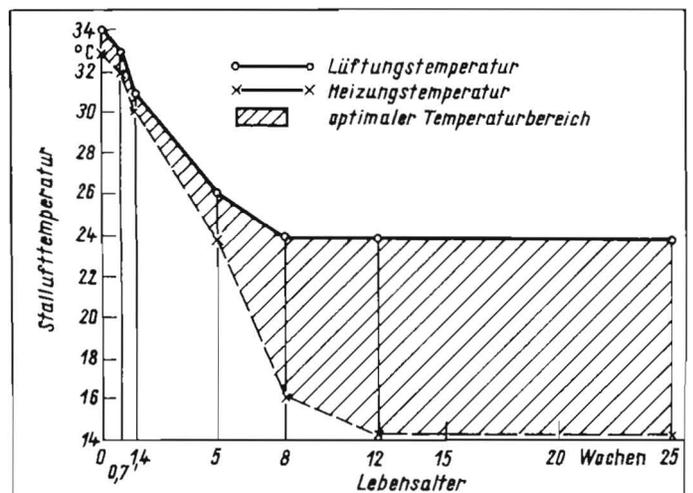
Für die beschriebene Regelung muß die speicherprogrammierbare Steuerung über eine interne Uhr verfügen, um das Alter der Tiere jederzeit ermitteln und daraus die Sollwerte berechnen zu können. Aus dieser Sicht lassen sich mit der Uhr der SPS auch andere Zeitvorgänge steuern. Im vorliegenden Fall betrifft das folgende Parameter:

- Lichttaglänge  
Zu einer vom Rechner vorgegebenen Zeit wird die Beleuchtung eingeschaltet. Dieser Lichttag kann zyklisch durch Dunkelphasen unterbrochen werden.
- Fütterungszeit  
Die Fütterung muß innerhalb des Lichttages so erfolgen, daß die letzte Fütterung mindestens eine Stunde vor Beendigung des Lichttages abgeschlossen ist.
- Entmistungszeit  
Das zeitliche Steuerungsregime richtet sich nach der konkreten Entmistungsanlage und der Technologie des Betreibers.
- Festhalten der Uhrzeit, wenn eine Kontrollperson bei ihren Rundgängen einen Kontrollknopf drückt.

6. Realisierung

Die o. g. Steuerungs- und Regelungsaufgabe wurde auf dem RK 80 von Wetron Weida realisiert. Für diese speicherprogrammierbare Steuerung steht eine ausgereifte Entwicklungssoftware (Marco) zur Verfügung, mit der analoge Steuerungs- und Regelungsaufgaben relativ leicht programmiert werden können. Kurzfristig kann diese Regelung ent-

Bild 2  
Verwendete Sollwerte für die Heizung und Lüftung in einem 3etägigen Geflügelstall für die Junghennenaufzucht



sprechend den Kundenwünschen an andere Stalltypen angepaßt werden.

In Vorbereitung befindet sich die Softwareentwicklung für Broilerställe unter Einsatz der freien Lüftung, d. h. nur eine örtliche Heizung, und veränderliche Klappenstellungen dienen zur Steuerung des Stallklimas. Nur bei sehr hohen Außenlufttemperaturen werden Lüfter zur Unterstützung der freien Lüftung eingesetzt.

## 7. Ergebnisse

Die im Abschn. 3.5. erläuterte Steuerung und Regelung bringt hauptsächlich Vorteile auf dem Gebiet der Energieeinsparung. Diese Effekte wurden in einem Stall ermittelt, dessen Heizungs- und Lüftungssystem entsprechend Bild 1 aufgebaut ist (nur die Seitenklappensteuerung wurde über den Motorstellantrieb M 4 manuell betätigt). Neben diesem wurde ein mit gleicher Tierbelegung ausgestatteter Stall betrieben, der nicht mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung ausgerüstet war. In diesem Stall wurde vom Stallpersonal bzw. von der Nachtwache an den Motorstellventilen M 1, M 2 manuell maximal alle zwei Stunden eingegriffen. Die Lüftung wurde über einen Lüftungsregler geregelt. Der Motorstellantrieb M 3 sollte vom Bedienpersonal jede Woche manuell nachgestellt werden. Der unterschiedliche Energieverbrauch hängt dann aber vom Geschick des Stallpersonals ab. Als entscheidender Heizenergiefaktor erwies sich die Stellung des Motorstellantriebs M 3. In dem mit SPS ausgestatteten Stall wurde die Frischluft entsprechend dem vorgeschriebenen Haltungsprogramm eingebracht, während bei der manuellen Verstellung des Motorstellantriebs M 3 die subjektive Luftqualität Berücksichtigung fand und kaum eine Verstellung vorgenommen wurde. Im einzelnen resultieren aus diesem Vergleich folgende Ergebnisse:

- keine vom Stall- und Bewachungspersonal subjektiv beurteilbare Einstellung von Soll-lufttemperatur, Sollluftfeuchte und Umluft/Frischluft-Anteil  
Die speicherprogrammierbare Steuerung ist verschlossen. Änderungen von Sollwerten können nur von autorisierten Personen vorgenommen werden.
- keine subjektive Entscheidung beim Umschalten von Heizungs- auf Lüftungsbetrieb  
Im Stall mit speicherprogrammierbarer Steuerung wird die Umschaltung nach energiesparenden Kriterien vorgenommen.
- Ausnutzung der inneren Stallenergieerzeugung

Nachts schlafen die Küken in ihren Käfigen dicht gedrängt. Mit Beginn des Lichttages (rd. 7.00 Uhr) und der einsetzenden Fütterung löst sich dieses Bündel schnell auf. Es entstehen innerhalb von Minuten Energiequellen Licht, größere Tieroberfläche mit der Stallluft, Bewegungsaktivität der Tiere. Diese innere Energie bringt die Heizung in kurzer Zeit zum Schließen. Die Lüftungsanlage läuft dann nur auf Minimalluft. Die innere Energie wird dabei kaum abtransportiert, da die Lüftungssolltemperatur über der Heizungssolltemperatur liegt. Die Anlage läuft somit wenigstens mehrere Stunden am Tag ohne Heizung nur mit der Minimalfruchte über die Lüfter G I. Über zwei Haltungsperioden wurde täglich wenigstens 7 Stunden dieser energetisch optimale Zustand beobachtet (7.30 bis 14.30 Uhr). Dieser Zustand erweist sich im Tagesverlauf deshalb so stabil, da die Außenlufttemperaturen in dieser Zeit normalerweise ansteigen und damit die innere Energie für die Aufrechterhaltung der Stalllufttemperatur ausreicht.

- Mit der Schließung des Motorstellventils M 2 wird auch der Lüfter L ausgeschaltet und die Frischluftversorgung über die Lüfter G I realisiert. Sie benötigen wesentlich weniger Elektroenergie als die Lüfter L für die Förderung derselben Frischluftmenge.
- Mit dem Ausschalten der Heizungsanlage wird auch die Pumpe abgeschaltet.
- Verbesserung des Stallklimas durch Beseitigung zu hoher Stallluftfeuchte (auf Kundenwunsch)
- Schonung der Lüfter vor der Phasenschrittsteuerung bei niedrigen Drehzahlen  
Durch die Gruppeneinteilung wird die Phasenschrittsteuerung nur auf die Lüfter G I angewendet. Dadurch entstehen für die Mindestfrischluftversorgung hohe Drehzahlen. Bei Kundenwunsch kann das Einschalten der Lüfter G I kurzfristig mit voller Drehzahl realisiert werden. Es kann auch ganz auf die Phasenschrittsteuerung verzichtet werden, indem die Lüfter G I nur intervallmäßig mit voller Drehzahl betrieben werden.
- genaue Einhaltung der vom Betreiber vorgegebenen Mindestfrischluftfruchte, einfache Reduzierung derselben durch Werteänderung in der SPS und damit Energieeinsparung (diese Werteänderung kann vom Betreiber vorgenommen werden)
- gutes Alarmierungssystem zur Erkennung von Anlagenfehlern und Alarmierung bei zu hoher Stalllufttemperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur

- auf Kundenwunsch ist eine Absenkung der Nachtluft und eine Berücksichtigung der Tierbelegungsichte möglich
- minutengenaue Einstellung der Fütterungslänge (dadurch Energieeinsparung gegenüber herkömmlichen Schaltuhren mit 15-Minuten-Takt)
- Sicherung einer gleichmäßigen Frischluftzufuhr bei Einschalten der Lüfter G II und G III durch entsprechende Drehzahlreduzierung des Lüfters G I
- durch Gruppenfahrweise der Lüfter geringer Energieverlust aufgrund der Phasenschrittsteuerung
- Realisierung von bewährtem Regler-Know-how für Heizung und Lüftung in der Software der speicherprogrammierbaren Steuerung (geregelt werden Temperatur und Feuchtigkeit)
- Vereinfachung des Regelungsverhaltens bei einfacheren Heizungs- und Lüftungsanlagen
- Drosselung der jede Stunde zugeführten Heizungs- und Elektroenergie durch die SPS (nur wenn die Temperatur den optimalen Temperaturbereich unterschreitet, wird die Energiezufuhr wieder erhöht).

## 8. Protokollierung

An die meisten SPS lassen sich Drucker anschließen, mit denen Kontrollen bzw. Überwachungen wichtiger Betriebsgrößen vorgenommen werden können. Wichtige Kontrollen sind:

- Ausdruck der wichtigsten Größen (Uhrzeit, Temperatur, Stellung der Motorstellventile/Motorstellantriebe M 1, M 2/M 3 usw. für den Fall der Alarmierung durch die SPS)
- Ausdruck der Uhrzeit bei Kontrollgängen des Personals (Kontrolle wird durch Knopfdruck an der speicherprogrammierbaren Steuerung vorgenommen).

## 9. Zusammenfassung

Speicherprogrammierbare Steuerungen werden unter dem Druck hoher Energiekosten zur Regelung und Steuerung des Stallklimas zunehmend eingesetzt. Ziele sind die radikale Senkung der Energiekosten (Heizungs- und Elektroenergie) und eine Verbesserung des Stallklimas durch eine Begrenzung der relativen Feuchte (Stallluftfeuchte) im Stall. Wichtige zusätzliche Aufgaben übernehmen die speicherprogrammierbaren Steuerungen für die Alarmierung bei Fehlern in der Heizungs- und Lüftungsanlage und für weitere zusätzliche Funktionen im technologischen Prozeß.

A 6009

Folgende Fachzeitschriften der Elektrotechnik erscheinen im Verlag Technik:

**Elektrie; Elektropraktiker; messen–steuern–regeln; Nachrichtentechnik-Elektronik; radio – fernsehen – elektronik; Mikroprozessortechnik**