

Zur technischen Konzeption des Automatisierungssystems LAR 81 im Kartoffellagerhaus Weidendorf

Dipl.-Ing. R. Treyße, KDT

Dipl.-Ing. E. Kaufhold, KDT, VEB Geräte- und Reglerwerke „Wilhelm Pieck“ Teltow, Außenstelle Erfurt

Dr. agr. J. Witte, KDT, VEB Ingenieurbüro für Lagerwirtschaft Obst, Gemüse und Speisekartoffeln Groß Lüsewitz

1. Aufgabenstellung

Im November 1982 wurde im Kartoffellagerhaus Weidendorf (Bezirk Karl-Marx-Stadt) ein System zur automatischen Belüftung der Kartoffeln unter Verwendung eines Mikrorechners in Betrieb genommen [1]. Nachfolgend soll die technische Konzeption dieser Meß-, Steuer- und Regelanlage näher erläutert werden.¹⁾

Die Anlage arbeitet nach Regelalgorithmen, die einen optimalen Lüftungsbetrieb unter weitgehender Berücksichtigung der biologischen Anforderungen des Lagerguts garantieren. Diese Regelalgorithmen, die als Grundlage für die technische Konzipierung dienen, umfassen folgende Aufgabenstellung:

Programm Abtrocknung (ohne Einsatz von Feuchtefühlern)

- Dauerlüftung
- Außentemperatur über Stapeltemperatur: Klappen zu
- Außentemperatur unter Stapeltemperatur: Klappen auf
- Zulufttemperatur maximal 6 K unter Stapeltemperatur

Programm Wundheilung

- Intervall-Lüftung (bei Stapeltemperaturen über 12 °C 3 Stunden Pause und 3 Stunden Lüftung, bei Stapeltemperaturen unter 12 °C 4 Stunden Pause und 2 Stunden Lüftung)
- Außentemperatur über Stapeltemperatur: Klappen zu
- Außentemperatur unter Stapeltemperatur: Klappen auf
- Zulufttemperatur maximal 3 K unter Stapeltemperatur

Programm Abkühlung

- Außentemperatur weniger als 2 K unter Stapeltemperatur: Lüfter aus
- Außentemperatur mehr als 3 K unter Stapeltemperatur: Lüfter an, Klappen auf
- Zulufttemperatur maximal 6 K unter Stapeltemperatur
- nach Erreichen des Stapeltemperatur-Sollwerts von 3 bis 5 °C: Lüfter aus, Klappen zu

Zusätzliche Bedingungen

Die absolute untere Grenze der Zulufttemperatur beträgt 1 °C. Die Begrenzungen der Zulufttemperatur werden durch Mischluftbetrieb eingehalten. Bei Lüfterstillstand werden die Zu- und Abluftklappen geschlossen. Die Lüfter können nur bei geschlossenen Klappen anlaufen. Ist das Abkühlungsprogramm eingeschaltet, wird täglich eine Stunde zur CO₂-Abführung und zum Ausgleich von Temperatur- und Feuchteschichtungen im Stapel gelüftet, wenn zu dieser Zeit nicht gerade die normale Abkühlungslüftung lt. Programm läuft.

2. Hardware des Automatisierungssystems LAR 81

2.1. Steuerrechner

Die Forderung, 32 Lagersektionen als getrennte klimatische Regeleinheiten zu steuern, und die Komplexität der im Abschn. 1 vorgestellten Regelalgorithmen legte den Einsatz eines Mikrorechners als Steuereinheit für den Lüftungsautomaten nahe. Eine Lösung auf der Basis der bisher eingesetzten Lüftungsautomaten (LA 178 – Relaisablaufsteuerung, LAE 277 – fest verdrahtete elektronische Ablaufsteuerung) wird sehr aufwendig und ist damit sowohl aus der Sicht der Ökonomie als auch der Zuverlässigkeit nicht sinnvoll.

Als mögliche Steuerrechner standen die z. Z. in der DDR verfügbaren Mikrorechnersysteme K 1510 und K 1520 (VEB Robotron) sowie Mikrokombi und Ursalog 5020 zur Wahl. Alle 4 Systeme sind technisch in der Lage, die Steuerung des Automaten zu übernehmen. Das Baugruppensystem K 1520 stellt bezüglich der Leistungsfähigkeit und der Beschaffungskosten die Optimalvariante für diesen Anwendungsfall dar.

Aus dem K 1520-System kommen im LAR 81 folgende Baugruppen zum Einsatz (Bild 1):

- ZRE K 2521 zentrale Recheneinheit
- OFS K 3621 Operativ-Festwertspeicher
- ABS K 7023 Anschlußsteuerung Bildschirm
- Monitor K 7221 Bildschirmmonitor.

Der in dieser Konfiguration enthaltene Programmspeicher von 9 kByte (E-PROM) ist für die Aufgabenstellung ausreichend. Für eventuelle Erweiterungen der Regelprogramme läßt sich der Speicher problemlos durch den Einsatz weiterer K 1520-Baugruppen vergrößern.

2.2. LAR-Busumsetzer

Das im K 1520 benutzte Bussystem (Bus: Gesamtheit der Informationsleitungen, über die die einzelnen Baugruppen Informationen untereinander austauschen) eignet sich nicht für die Ansteuerung der LAR 81-Baugruppen. Speziell der hohe Aufwand, der zur Dekodierung der Ein- und Ausgabeadressen notwendig ist, und die begrenzte Länge des K 1520-Busses ohne zusätzliche Treiberschaltungen führte zu der Entscheidung, einen eigenen internen LAR-Bus zu realisieren. Der Bus führt nur noch die Signale, die für Ein- und Ausgabeoperationen notwendig sind und ist so gestaltet, daß jede der über 130 benötigten Ein- und Ausgabeadressen über eine einfache NAND-Schaltung mit 3 Eingängen dekodiert werden kann.

Die zeitliche Zuordnung und die Belastbarkeit der Signale werden auf der Leiterkarte „LAR-Busumsetzer“ so verändert, daß die Buslänge bis zu 2 m betragen kann.

Diese Leiterkarte organisiert zusätzlich ein zweites Adressierungssystem, das die direkte Adressierung einer Lagersektion und damit verbunden die Umschaltung aller lagerspezifischen Adressen auf diese Sektion zuläßt. Die Adressierung einer bestimmten

Baugruppe, die einer Sektion zugeordnet ist, erfolgt damit in folgenden zwei Schritten:

- Anwahl der Sektionsnummer
- Adressierung der Baugruppe.

Die zuletzt angewählte Sektionsnummer bleibt gespeichert und braucht bei der Adressierung einer anderen Baugruppe der gleichen Sektion nicht noch einmal gesendet zu werden. Durch diese Adressierung vereinfacht sich der Aufbau der Software erheblich. Alle Programme können dadurch von der Sektionsadresse vollkommen unabhängig gestaltet werden. Bei nachträglichen Erweiterungen des Lagerhauses ist eine unkomplizierte Anpassung der Software an die veränderte Anzahl von Sektionen möglich.

Eine weitere Schaltungsanordnung auf der Leiterkarte „LAR-Busumsetzer“ überwacht den regulären Ablauf des Steuerprogramms. Innerhalb eines Rechensystems ist es möglich, daß der Programmablauf durch eine zufällige Fehlfunktion des Rechners oder durch einen über den Netzanschluß eingekoppelten Impuls gestört wird. Unter ungünstigen Bedingungen kann dabei eine ungewollte, endlose Programmschleife angelaufen werden, die zu erheblichen Fehlsteuerungen des Kartoffellagers führt. Die LAR 81-Software ist so aufgebaut, daß die Überwachungsschaltung in regelmäßigen Zeitintervallen adressiert wird, wenn bestimmte Kontrollprogramme mit positivem Ergebnis enden. Unterbleibt diese regelmäßige Adressierung, wird automatisch ein RESET-Signal für den Rechner erzeugt und der Programmablauf wieder ordnungsgemäß gestartet. Läuft das Programm auch nach diesem Neustart nicht, wird ein akustischer Alarm ausgelöst.

2.3. Temperaturmeßanlage

2.3.1. Aufbau

Innerhalb des Systems LAR 81 stellt die Meßanlage zur Ermittlung der Temperaturwerte den umfangreichsten Komplex dar. Für jede der 32 Lagersektionen sind 5 Temperaturmeßstellen vorgesehen (Meßfühler Pt 100). In der Meßanlage wurden einige bisher in Lagerhäusern noch nicht angewendete technische Lösungen eingesetzt. Ziel dieser Entwicklungen war es, den Verbrauch an Kupferkabeln bei der Installation wesentlich zu senken sowie die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Meßanlage zu erhöhen [1].

Die Verkabelung der Meßanlage erfordert bei Leitungslängen bis zu 200 m einen erheblichen Aufwand an Kupferkabeln. Um den Einsatz dieser Kupferkabel zu minimieren, werden im LAR 81 die Meßfühler nacheinander über eine dezentrale Multiplexeinrichtung auf eine gemeinsame Meßleitung geschaltet. Unmittelbar in jeder Sektion des Kartoffellagers ist eine Multiplexleiterkarte installiert. Jeweils ein Relais mit vier geschützten Kontakten schaltet einen über den Lagerbus (s. Abschn. 2.5.) adressierten Meßfühler auf die Meßleitung. Durch den Aufbau der Adressierung ist gewährleistet, daß immer nur ein Fühler auf die Meßleitung geschaltet werden kann. Die 5 Temperatur-

1) Aufträge für Projektierung, Lieferung und Montage des Automatisierungssystems LAR 81 nimmt der VEB Geräte- und Reglerwerke „Wilhelm Pieck“ Teltow, Außenstelle Erfurt, 5087 Erfurt, Haarbergstr. 47, entgegen.

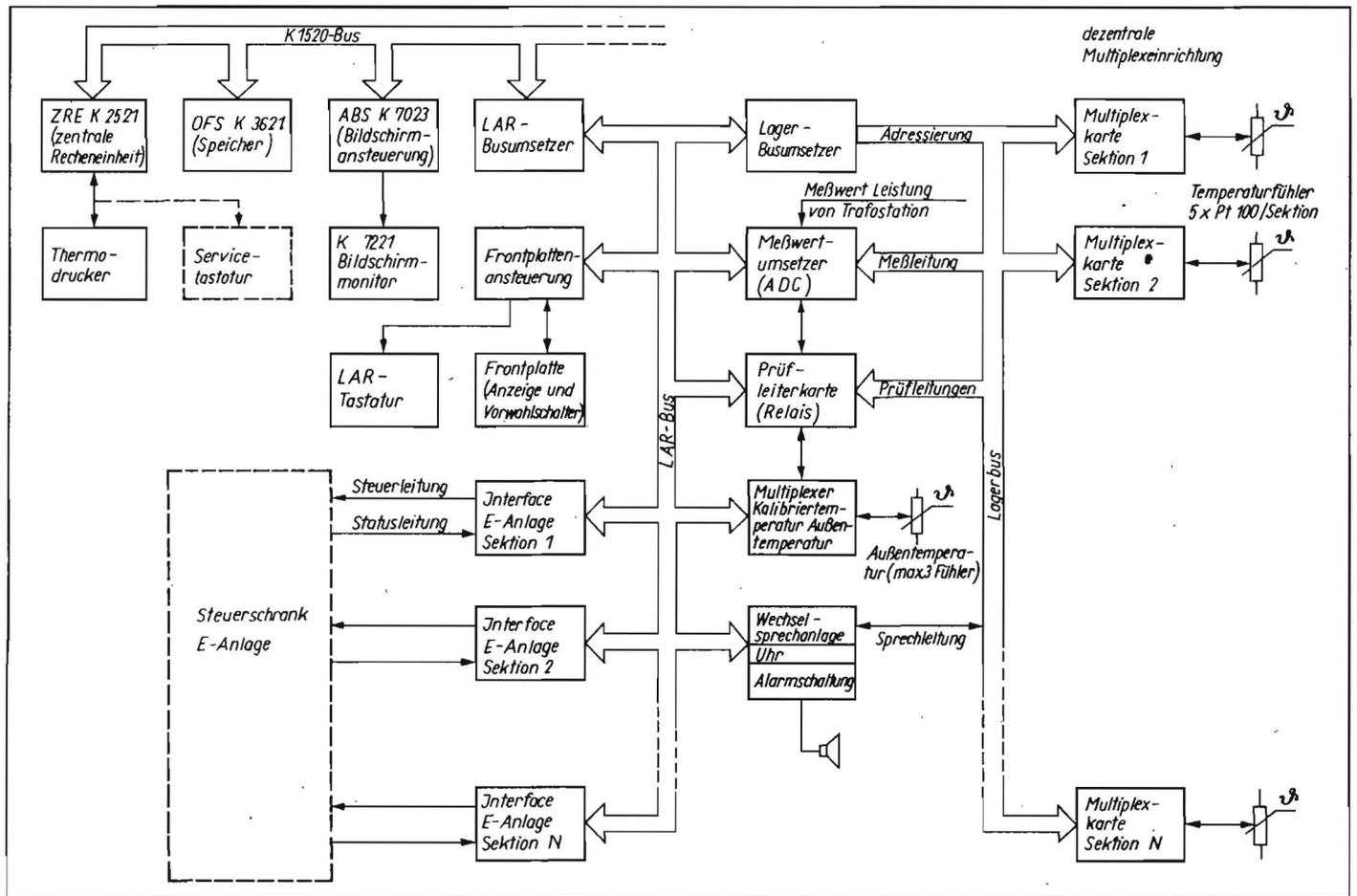


Bild 1. Blockschaltbild des Automatisierungssystems LAR 81

werte einer Sektion (dreimal Stapel-, zweimal Zulufttemperatur) werden zeitlich nacheinander gemessen und zur Weiterverarbeitung im Rechner gespeichert. Durch die dezentrale Multiplexeinrichtung konnte der Kabelverbrauch im Kartoffellagerhaus Weidensdorf, im Vergleich zum Automatisierungssystem LA 178 um rd. 11 000 m reduziert werden.

Die bisher in den Lagerhäusern häufig eingesetzte Zweileiterschaltung für die Temperaturmessung hat den Nachteil, daß der durch die Temperaturabhängigkeit des Meßkabelwiderstands verursachte Meßfehler (Kabeltemperatur und Fühlertemperatur sind nicht gleich) nicht kompensierbar ist. Um diesen Fehler in Grenzen zu halten, muß folgende Bedingung erfüllt sein:

$$R_{\text{Kabel}} \ll R_{\text{Fühler}} \quad (1)$$

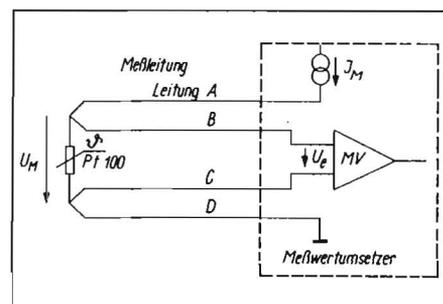
Beim Einsatz des Fühlers Pt 100 bedeutet das, daß der Widerstand des Meßkabels wesentlich kleiner als 100 Ω sein muß. Bei den bisher als ausreichend betrachteten Kabelwiderständen $R_{\text{Kabel}} < 10 \Omega$ ist bei Leitungslängen von ungefähr 200 m eine Leitung mit einem Kupferquerschnitt von mindestens 0,75 mm² einzusetzen. Ein weiterer Nachteil der Zweileiterschaltung liegt darin, daß die zeitlich nicht stabilen Klemmverbindungen als nicht korrigierbare Meßfehler in das Ergebnis eingehen. Speziell in der aggressiven Atmosphäre der Lagerhäuser unterliegen die Klemmverbindungen einer starken Korrosion und verursachen unzulässig hohe Meßfehler. Aus diesem Grund sind alle Leitungsverbindungen unbedingt zu löten. Bei der Installation und bei Reparaturarbeiten (Wechseln

defekter Fühler) verursachen diese Lötverbindungen erheblichen Arbeitsaufwand. Die in den Lagerhäusern teilweise eingesetzte Dreileiterschaltung kompensiert den durch die Temperaturabhängigkeit des Meßkabelwiderstands verursachten Meßfehler, so daß geringere Leitungsquerschnitte eingesetzt werden können. Die durch Klemmverbindungen entstehenden Fehler können unter ungünstigen Bedingungen aber größer sein als bei der Zweileiterschaltung.

Mit der im Automatisierungssystem LAR 81 eingesetzten Vierleiterschaltung (Kelvinkontaktierung) werden beide Meßfehlerarten kompensiert.

Das Prinzip der Vierleiterschaltung ist im Bild 2 dargestellt. Der von der Leiterkarte „Meßwertumsetzer“ erzeugte Meßstrom I_M fließt über die Leitung A, den Meßfühler Pt 100 und die Leitung D zum Meßwertumsetzer zurück. Die über dem Meßfühler entstehende Meßspannung U_M wird unmittelbar an den Anschlußklemmen des Fühlers abgegriffen

Bild 2. Prinzip der Vierleiterschaltung



und über die Leitungen C und B dem Meßeingang des Verstärkers MV zugeführt. Da der Meßstrom von einer Konstantstromquelle aufgebracht wird, haben die Leitungswiderstände R_A und R_D keinen Einfluß auf die Größe der Meßspannung U_M . Die am Meßverstärker anliegende Spannung U_e ergibt sich aus

$$U_e = U_M - (R_B + R_C) I_e \quad (2)$$

Dabei ist nach Gl. (3)

$$I_e = \frac{U_e}{R_e} \quad (3)$$

R_e Eingangswiderstand des Meßverstärkers MV.

Nach Einsetzen von Gl. (3) in Gl. (2) und entsprechender Umformung erhält man

$$U_e = \frac{U_M}{1 + \frac{R_B + R_C}{R_e}} \quad (4)$$

Wird schaltungstechnisch dafür gesorgt, daß die Bedingung

$$R_e \gg R_B + R_C \quad (5)$$

erfüllt ist, wird aus Gl. (4)

$$U_e = U_M \quad (6)$$

Damit wird für alle praktischen Fehlerbetrachtungen die Meßgröße U_e von den Meßleitungswiderständen unabhängig. Eine zeitliche Änderung des Übergangswiderstands

von Klemmstellen führt somit nicht mehr zu Meßfehlern. Der maximal zulässige Gesamtwiderstand der Leitungen A und C wird lediglich durch den maximalen Spannungshub, den die Meßstromquelle erzeugen kann, begrenzt.

2.3.2. Modifizierter Betrieb der Meßfühler Pt 100

Der maximal zulässige Meßstrom wird für den Meßfühler Pt 100 vom Hersteller mit 5 mA angegeben. Dieser Grenzwert wird gefordert, um den durch eine Eigenerwärmung des Meßfühlers verursachten Meßfehler gering zu halten. Mit dem für den Pt 100 angegebenen Temperaturkoeffizienten und einem Meßstrom von 5 mA erhält man eine Meßspannung von

$$\frac{dU}{d\vartheta} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ V/K.} \quad (7)$$

Unter den in den Lagerhäusern gegebenen Bedingungen ist eine Verarbeitung dieser kleinen Meßspannung problematisch. Die zu erwartenden induktiven und kapazitiven Störungseinstreuungen in die Meßleitung (vorwiegend durch Schaltvorgänge in der Elektroanlage des Lagerhauses) verursachen unzulässig große Fehler. Eine besonders störungsarme Verlegung der Meßleitungen kann diese Meßfehler zwar reduzieren, trägt aber mehr empirischen Charakter und ist nicht von einem Lagerhaus auf ein anderes zu übertragen. Das Ausfiltern der Störungen durch Integrationsglieder reduziert die Meßgeschwindigkeit, so daß aufgrund einer vorgegebenen Zykluszeit eine Begrenzung der Anzahl der von einem Automaten zu bedienenden Regelkreise erfolgt.

Im LAR 81 wird die zur Verfügung stehende Meßspannung durch die Erhöhung des Meßstroms auf 100 mA von $1,9 \cdot 10^{-3} \text{ V/K}$ auf $38 \cdot 10^{-3} \text{ V/K}$ vergrößert. Dieser Wert ist problemlos elektronisch verarbeitbar. Dem Problem der Eigenerwärmung des Fühlers wird durch eine Taktung des Meßstroms begegnet. Legt man die bei einem statischen Meßstrom von 5 mA im Fühler umgesetzte elektrische Leistung zugrunde, muß der Meßstrom von 100 mA mit einem Tastverhältnis von 1:300 getaktet werden (d. h., der Meßstrom darf nur für 1 Zeiteinheit eingeschaltet sein und muß dann für 299 Zeiteinheiten ausgeschaltet sein).

Aus regeltechnischen Gründen (Anpaßzeit der Zulufttemperaturfühler) beträgt beim LAR 81 die Zykluszeit, d. h. die Zeit zwischen 2 Regelschritten, rd. 30 s. Rechnet man diese Zykluszeit mit dem vorgegebenen Tastverhältnis von 1:300 auf die Einschaltedauer für den Meßstrom um, ergibt sich eine Zeit von 0,1 s. Innerhalb dieser Einschaltzeit wird im LAR 81 der Temperaturwert für eine Meßstelle ermittelt.

Das dynamische Verhalten der Eigenerwärmung in diesem Zeitintervall wurde theoretisch betrachtet und meßtechnisch untersucht. Der Temperaturanstieg erfolgt in dieser Zeit linear. Die Anstiegsgeschwindigkeit war bei allen im Kartoffellagerhaus Weidensdorf eingesetzten Bauformen der Fühler gleich. Der Temperaturanstieg wird vom Steuerrechner durch eine Korrekturgröße berücksichtigt.

Vergleichende Messungen mit Meßströmen von 5 mA und getakteten Meßströmen von 100 mA ergaben eine sehr gute Übereinstimmung der Meßwerte.

2.4. Meßwertumsetzer

Die Leiterkarte „Meßwertumsetzer“ setzt den analogen temperaturabhängigen Widerstandswert der Meßfühler in eine digitale Information um, die vom Steuerrechner weiterverarbeitet werden kann. Über eine Spannungs-Frequenz-Wandlung wird die Umsetzung realisiert. Die Schaltung erhält keine Maßnahmen zur Stabilisierung gegenüber von Temperatur- und Betriebsspannungsschwankungen. Lediglich die Linearität der Umsetzung wird durch den Schaltungsaufbau gewährleistet. Durch eine zyklisch wiederholte Selbstkalibrierung wird die Meßgenauigkeit des Systems erreicht. Die Selbstkalibrierung erfolgt mit zwei hochgenauen Festwiderständen, die wie ein Temperaturmeßfühler an den Meßwertumsetzer geschaltet werden können. Diese beiden Festwiderstände repräsentieren zwei bekannte Kalibriertemperaturen. Sie und die zugehörigen digitalen Meßwerte bilden zwei Punkte auf der linearen Umsetzungsfunktion, die dadurch eindeutig festgelegt ist. Die Berechnung der Temperatur eines Meßfühlers erfolgt nach Gl. (8):

$$T_x = \frac{(T_1 - T_2)(N_x - N_2)}{N_1 - N_2} + T_2; \quad (8)$$

T_x Temperatur des Meßfühlers X
 N_x digitalisierter Meßwert zum Fühler X
 T_1, N_1 Temperaturwert und Meßwert zum Kalibrierpunkt 1
 T_2, N_2 Temperaturwert und Meßwert zum Kalibrierpunkt 2.

Vor jedem Meßumlauf erfolgt die Kalibrierung, d. h. die Ermittlung der Werte N_1 und N_2 .

2.5. Lagerbusumsetzer

Die Ansteuerung der Multiplexleiterkarten in den einzelnen Lagersektionen erfolgt über Kabellängen von über 200 m. Die im LAR 81 benutzten TTL-Signale sind für eine Übertragung über solche Entfernungen ungeeignet. Die Leiterkarte „Lagerbusumsetzer“ bereitet die Adressiersignale für die Multiplexleiterkarten auf und setzt sie auf 12-V-Pegel um. Diese Signale bilden mit der Meßleitung, zwei Relaisprüfleitungen und mit der Leitung für eine Wechselsprechanlage den Lagerbus, an den alle Sektionen parallel angeschlossen sind.

2.6. Relaisprüfschaltung

Innerhalb des Gesamtsystems stellen die Multiplexrelais die Bauelemente mit der höchsten Ausfallwahrscheinlichkeit dar. Da die Funktionsfähigkeit der Anlage wesentlich von diesen Relais abhängt, bestimmen sie hauptsächlich die Gesamtzuverlässigkeit. Über die Relaisprüfschaltung werden alle Multiplexrelais in regelmäßigen Abständen auf die Zustände „Kontakt geöffnet“ und „Kontakt geschlossen“ und die Temperaturmeßfühler auf den häufigsten Fehler „Unterbrechung“ getestet. Beim Auftreten eines Fehlers wird dieser weitgehend automatisch lokalisiert und entsprechend der Fehlerart softwaremäßig verarbeitet.

2.7. Interface zur Elektroanlage des Lagerhauses

Zum Informationsaustausch mit der Elektroanlage des Lagerhauses enthält das Automatisierungssystem LAR 81 für jede Sektion eine separate Interfaceschaltung (Anpaßschaltung). Diese Schaltung erlaubt die

Tafel 1. Steuersignale und Abfragesignale im Kartoffellagerhaus Weidensdorf

Steuersignal	Abfragesignal
Lüfter ein/aus	Lüfter laufen
Klappe 1 auf	Klappe 1 geschlossen
Klappe 1 zu	Klappe 2 geschlossen
Klappe 2 auf	Frosteinbruch in der Sektion
Klappe 2 zu	Sektion auf Handsteuerung geschaltet

Steuerung von 5 Lagerfunktionen und die Abfrage von 5 Lagerzuständen je Sektion (Tafel 1). Der Informationsaustausch mit der Elektroanlage erfolgt grundsätzlich über potentialfreie Relaiskontakte in der Steuerung der Elektroanlage.

2.8. Leistungsmessung

Die Messung der elektrischen Leistungsaufnahme (Energieverbrauch) des Gesamtbetriebs erfolgt über einen Meßgrößenumformer mit einer Ausgangsgröße von 0 bis 5 mA Gleichstrom. Dieser Wert wird von der Leiterkarte „Meßwertumsetzer“ digitalisiert und dem Rechner zur Weiterverarbeitung bereitgestellt.

2.9. Bedienungselemente des LAR 81

Die Bedienung des LAR 81 erfolgt über Schalter und Anzeigeelemente auf der Frontplatte des Geräts. Je Sektion sind 4 Anzeigelampen und 2 Vorwahlschalter (Rändelschalter mit 10 Schaltstellungen) vorgesehen. Die Anzeigen haben folgende Bedeutung:

Grün

Regelziel der Sektion erreicht, d. h., die Sektion befindet sich in dem vom Regelprogramm vorgegebenen Sollzustand.

Gelb

Warnung! In der Sektion ist ein Fehler aufgetreten, der aber nicht zum Ausfall der Sektion führt.

Rot

Handsteuerung! Die Sektion wurde von der Elektroanlage auf Handsteuerung umgeschaltet.

Rot

Alarm! In der Sektion ist ein Fehler aufgetreten, der eine Regelung der Sektion nicht mehr zuläßt. Beim Auftreten eines Lageralarms, d. h. beim Ausfall der gesamten Anlage, wird die Alarminformation für alle Sektionen gleichzeitig gesetzt.

Die Vorwahlschalter haben die Funktion:

Programmwahl

Über den Schalter wird das für die Sektion gewünschte Regelprogramm angewählt.

Fühlerauswahl

Die Schalterstellung legt fest, wie die Regeltemperatur, d. h. die Istgröße für die Regelung, gebildet wird (entweder Auswahl eines bestimmten Fühlers, Bildung des Mittelwerts aus mehreren Meßstellen oder automatische Auswahl der Meßstellen mit der höchsten Temperatur).

Die auf der Frontplatte des Automaten vorhandenen Bedien- und Anzeigeelemente sind für die Grundfunktionen des LAR 81 ausreichend. Für eine erweiterte Informationsausgabe und Bedienung sind ein Bildschirmsichtgerät und eine kleine Eingabetastatur (LAR-Tastatur) vorgesehen. Über das Sichtgerät können der Zustand des gesamten Lagers, die Außentemperatur, die Uhrzeit, das Datum, die aktuelle Energiesituation und alle notwendigen Fehlerinformationen ausgegeben werden.

Zur Ausgabe von Daten über einen Drucker ist ein Anschluß für einen Thermodrucker vom VEB Funkwerk Erfurt vorgesehen.

3. Software

3.1. Steuerprogramm LAR 81

Der Programmablauf des LAR-Steuerprogramms ist im Bild 3 dargestellt. Nach dem Löschen des Bildschirms verzweigt das Programm zu einem Programmsystem „Service“, wenn dieses im LAR 81 geladen ist (s. Abschn. 3.3.). Ist dies nicht der Fall, wird der Inhalt des Programmspeichers auf Richtigkeit geprüft und im Fehlerfall die Adresse des fehlerhaften Speicherbauelements (EPROM) ausgegeben und Lageralarm ausgelöst. Als nächstes erfolgt die Prüfung aller Kontakte der Multiplexrelais in 2 Etappen:

Im *ersten* Schritt werden die Kontakte auf den Zustand „Kontakt geöffnet“ getestet. Wird hierbei ein Fehler ermittelt (hängender Relaiskontakt oder Fehler in der Relaissteuerung), ist das gesamte Multiplexsystem nicht mehr betriebsfähig. Das Prüfprogramm lokalisiert in diesem Fall den Fehler und löst Lageralarm aus.

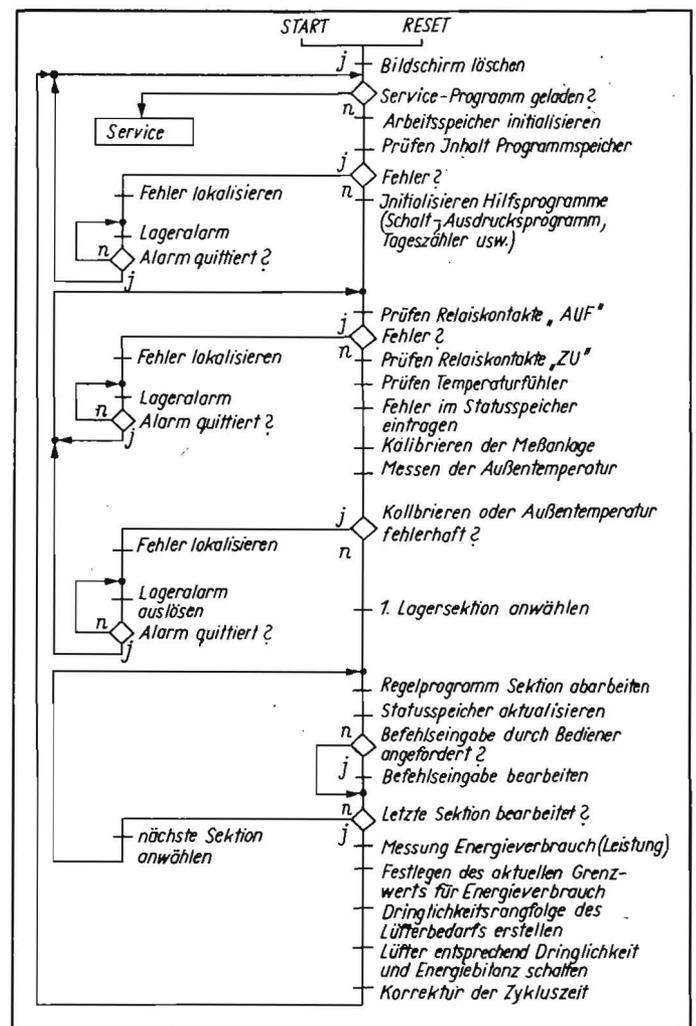
Im *zweiten* Schritt erfolgt die Testung aller Relaiskontakte auf den Zustand „Kontakt geschlossen“. Da die hierbei ermittelten Fehler lediglich zum Ausfall einzelner Meßstellen führen, werden die Fehlerinformationen in dem für jede Sektion angelegten Statusspeicher abgelegt und erst bei der Bearbeitung der entsprechenden Sektion ausgewertet („Sektionsalarm“ oder „Warnung“).

Nach Abschluß der Relaisprüfung wird die Meßanlage kalibriert und die Außentemperatur gemessen. Tritt hierbei ein Fehler auf, ist das Gesamtsystem nicht betriebsfähig. Die Meldung an das Bedienungspersonal erfolgt über Lageralarm.

Nach diesen vorbereiteten Programmabläufen wird die erste Lagersektion ausgewählt und das über den Schalter „Programm“ von der Frontplatte aus vorgewählte Regelprogramm gestartet. Entsprechend den Regelalgorithmen werden die Lüfter und die Lüfterklappen der Sektion angesteuert. Das Einschalten der Lüfter kann jedoch durch das Regelprogramm nicht direkt erfolgen. Über eine Information im Statusspeicher meldet das Programm Lüfterbedarf, die eigentliche Lüfterschaltung erfolgt durch das Schaltungsprogramm am Ende eines jeden Programmumschlages unter Berücksichtigung der aktuellen Energiebilanz des Betriebs. Das Regelprogramm führt innerhalb der Sektion eine Reihe von Prüfungen der Funktionsfähigkeit der Hardware durch. Ermittelte Fehler werden zu den Zuständen „Sektionsalarm“ oder „Warnung“ verarbeitet.

Nach Abarbeiten der ersten Lagersektion wird die 2. Sektion ausgewählt und analog bearbeitet. Dieser Vorgang wiederholt sich sooft, bis die letzte Lagersektion bearbeitet ist. Danach erfolgen die Beurteilung der Energiebilanz des Gesamtbetriebs, die Festlegung einer Dringlichkeitsrangfolge der Sektionen, die Lüfterbedarf gemeldet haben, und das Schalten der Lüfter entsprechend der Energiesituation und der Dringlichkeit. Mit dieser Aktion ist ein Regelzyklus durchlaufen. Nach der Korrektur der Umlaufzeit (Einschalten einer Wartezeit) beginnt der nächste Regelzyklus wieder mit der Prüfung des Programmspeicherinhalts.

Bild 3
Programmablauf des
LAR-Steuerprogramms



3.2. Aufbau der Regelprogramme

Die Regelprogramme sind so aufgebaut, daß sie keine direkten Verknüpfungen mit dem Steuerprogramm und keinen Bezug zu den Sektionsadressen haben. Die von den Regelprogrammen benötigten Informationen werden über den für jede Sektion angelegten Statusspeicher (für sektionsbezogene Daten) oder über feste Speicherplätze (für lagerbezogene Daten) ausgetauscht. Auf diese Weise ist es möglich, Regelprogramme ohne detaillierte Kenntnis des Steuerprogramms und der LAR 81-Hardware zu erstellen. Dem Programmierer müssen nur die relativ wenigen Übergabeschnittstellen bekannt sein. Der Aufruf der Regelprogramme erfolgt über eine Liste, die durch den Vorwahlschalter „Programm“ an der Frontplatte adressiert wird. Neue Regelprogramme müssen damit nur in die Liste eingetragen werden und können dann vom Steuerprogramm automatisch aufgerufen werden.

3.3. Serviceprogramme

Die Serviceprogramme sind auf einer getrennten Speicherkarte OFS K 3620 gespeichert. Diese Leiterkarte wird nur im Service-Betrieb, d. h. bei Reparaturen oder Programm-erprobungen, in den Lüftungsautomaten gesteckt. Wenn sich diese Leiterkarte im Rechner befindet, erfolgt nach dem Einschalten der Anlage automatisch der Aufruf dieses Programmpakets.

Das Programmpaket wird über eine anstelle des Thermodruckers anschließbare alphanumerische Tastatur bedient. Mit dem Pro-

grammteil „Monitor“ können Speicherinhalte dargestellt und geändert werden, Softwarebreakpoints gesetzt, die CPU-Registerinhalte ausgegeben und geändert sowie beliebige Programme bzw. Unterprogramme gestartet werden. Damit ist eine Erprobung neuer Regelprogramme ohne zusätzliche Hilfsmittel möglich.

Das Programmsystem enthält weiterhin eine Reihe von Reparaturhilfsprogrammen, mit denen die Fehlersuche im Havariefall wesentlich erleichtert wird.

4. Zusammenfassung

Hard- und Software des Automatisierungssystems LAR 81 sind so aufgebaut, daß folgende Betriebsbedingungen realisiert werden können:

- einfache Bedienbarkeit
- hohe Funktionssicherheit
- Überschaubarkeit des Betriebsablaufs
- im Störfall einfache Fehlererkennung und -lokalisation
- umfangreiche Informationsausgabe
- große Genauigkeit der Temperaturerfassung
- geringer Energieverbrauch
- geringer Materialaufwand bei der Installation.

Literatur

- [1] Witte, J.: Einsatz eines Mikrorechners für die Lüftungsautomatisierung in der ZBE Kartoffellagerhaus Weidensdorf. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 5, S. 213-215.