

# Automatisierung von industriemäßigen Gewächshausanlagen, dargestellt am Beispiel der BMSR-Pilotanlage Vockerode

Dr.-Ing. E. Schmock, VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow

## 1. Einleitung

Die Steigerung der Gemüseproduktion in der DDR zur kontinuierlichen Versorgung der Bevölkerung in den Frühjahrs- und Herbstmonaten zwingt auch zur Einführung von industriemäßigen Produktionsmethoden in den Gewächshauswirtschaften. Der damit verbundene hohe Aufwand an Investitionen für industriemäßige Gewächshausanlagen mit einer Fläche von mehr als 25 ha erfordert zur Sicherung einer ertragreichen Gemüseproduktion die Einhaltung optimaler Wachstumsbedingungen für den Pflanzenbestand durch den Einsatz moderner Betriebsmeß-, Steuer- und Regelungstechnik. Eine den Erfordernissen angepaßte BMSR-Technik trägt dazu bei, den Ernteertrag zu steigern, die benötigte Wärme- und Elektroenergie zu verringern, die Zahl der technischen Arbeitskräfte herabzusetzen und das Risiko eines Produktionsausfalls zu senken.

Speziell für Großgewächshäuser wurde eine neuartige Regeleinrichtung entwickelt, die die Wachstumsfaktoren Licht, Lufttemperatur, Luftfeuchte, CO<sub>2</sub>-Gehalt, Bodentemperatur und Nährstoffgehalt zur Erzeugung optimaler klimatischer Bedingungen im Gewächshaus auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse berücksichtigt. Diese in abgerüsteter Variante auch für andere Gewächshausstypen anwendbare Regeleinrichtung wurde erstmalig als Prototyp im Rahmen einer BMSR-Pilotanlage im VEG Gewächshausanlage Vockerode, Bezirk Halle, eingesetzt (Bild 1).

Der in der Anlage verwendete 4schiffige Stahl-Plast-Gewächshausblock G 300 (Grundfläche 96 m × 37,4 m ≈ 3 600 m<sup>2</sup>) stellt für die Regelung ein abgeschlossenes System dar, in dem vorgegebene Werte der Lufttemperatur und -feuchte, der Bodentemperatur und des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Luft die günstigsten Wachstumsbedingungen für die Pflanzen gewährleisten.

Die Gesamtanlage, bestehend aus den durch die BMSR-Pilotanlage geregelten 54 Gewächshauseinheiten G 300 sowie aus der nachfolgenden Erweiterung, ist ausschließlich auf die Produktion von Tomaten und Gurken sowie auf die dazu notwendige Jungpflanzenaufzucht ausgelegt.

Die BMSR-Anlage regelt das Klima im Gewächshaus nach den von Meßfühlern ermittelten Zustandswerten über die Stellglieder des Systems:

- Ventile in Stehwandrohrheizung und Bodenheizung
- in 2 Gruppen schaltbare Lufterhitzer (Heizlüfter)
- Lüftungsklappen
- Ventile der Beregnungsanlage bzw. der CO<sub>2</sub>-Begasungsanlage.

## 2. Aufgabenstellung

Die Gewächshausanlage Vockerode gilt als Beispiel für weitere Anlagen gleicher Größenordnung zur industriemäßigen Gemüseproduktion. Ein zuverlässiges BMSR-System ist für die Produktionszuverlässigkeit un-

umgänglich. Es hat dabei folgende prinzipielle Forderungen zu erfüllen:

- Regelung wichtiger klimatischer Wachstumsfaktoren im Gewächshaus (Lufttemperatur und -feuchte, Bodentemperatur, CO<sub>2</sub>-Gehalt) in Abhängigkeit von den Außenklimagrößen (Außenlufttemperatur, Lichtstärke und Windgeschwindigkeit)
- Überwachung wichtiger Grenzwerte und Meldung von Grenzwertüberschreitungen
- Kontrolle wichtiger Betriebswerte aus allen Anlagenteilen
- übergeordnete Eingriffsmöglichkeit in kritische Stellen der Gewächshausanlage.

Die Automatisierungsanlage war so aufzubauen, daß jede Gewächshauseinheit G 300 unabhängig voneinander automatisch nach den vorgegebenen und zeitlich veränderbaren Sollwerten geregelt werden konnte.

Unter Berücksichtigung der neuesten pflanzenphysiologischen Erkenntnisse wurden die in Tafel 1 zusammengefaßten Forderungen an die Regelanlage gestellt.

Weitere Funktionen, die durch technische Entwicklungen realisiert werden müssen, sind:

- Nährlösungstemperaturregelung sowie Ansteuerungs- und Füllstandsregelung des Nährlösungsbehälters (in Gewächshäusern auf Hydroponik-Basis)
- Steuerung der Zusatzbeleuchtung in Jungpflanzenhäusern
- Beregnungsautomatik mit Langzeitberegnung zur Bewässerung des Bodens und mit Kurzzeitberegnung zur Blattkühlung bei Überschreitung der maximalen Lufttemperatur bzw. bei Unterschreitung der minimalen Luftfeuchte
- Regelung und Überwachung des Mischungsverhältnisses der Flüssigdüngung
- Überwachungs- und Meldeeinrichtungen für Elektroenergie- und Wärmeenergieanlagen, Wasserversorgung u. a. zentrale Einrichtungen des Gewächshauskomplexes.

## 3. Gerätetechnische Realisierung der BMSR-Anlage

Der Aufbau der BMSR-Anlage erfolgte nach dem Prinzip der zentralisierten Steuerung und Überwachung der Prozesse in den Gewächshäusern. Ausgehend von einer Zentraleinrichtung in Einheitsgefäß-Systemtechnik (EGS-Technik), die entsprechend den Produktionsbereichen im Brigadestützpunkt der zugehörigen Gewächshausgruppe stationiert ist, wird die Einzelregelung der Gewächshauseinheiten durchgeführt (Bild 2). Über Kabelstrecken und Zwischenverteiler ist die Zentraleinrichtung mit den örtlichen Meßfühlern und -gebern sowie mit den Stellgliedern der BMSR-Anlage verbunden.

### 3.1. Zentraleinrichtung

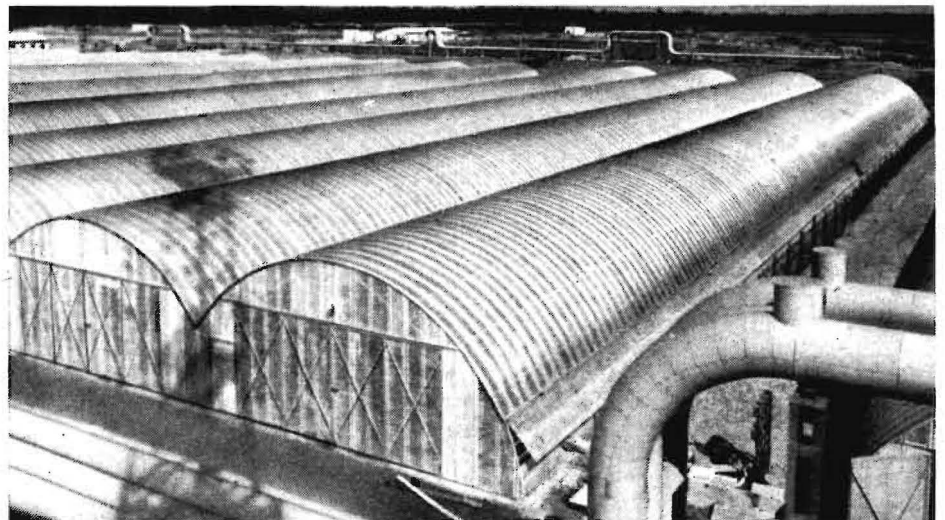
Die Regeleinrichtung G 100 besteht aus unsteuerten elektrischen Reglern, elektronischen Führungs- und Steuereinrichtungen, Grenzwertmeldern und elektromechanischen Ausgabegliedern in EGS-Technik mit Einzelbausteinen, Baugruppen (Kassetten) und einer EGS-Schrankeinheit mit 3 Ebenen (Bild 3).

Zu den Baugruppen gehören Wandler GW 10, Überwachung GU 10, Bedienung GB 10, Stromversorgung GH 10 und Regler GR 10 mit den entsprechenden Ausgabereleis und Anschlußklemmen. Je nach Anwendungsfall kann die Grundausführung auf maximal 10 Regler GR 10 mit Zubehör für die Regelung in 10 Gewächshäusern G 300 erhöht werden.

Diese genannten Baueinheiten wurden in einer EGS-Schrankeinheit untergebracht, wobei der vordere Schwenkrahmen mit den o. g. Baugruppen und der hintere Schwenkrahmen mit Relaisbahnen und zugehörigen Ausgabereleis bestückt ist.

In der Regeleinrichtung G 100 wurde konsequent das Prinzip der Einzelregelung angewendet. Jedem Stellglied ist ein spezieller Regler und jeder Regelgröße (z. B. Lufttemperatur, Bodentemperatur und Vorlauftemperatur) ein

Bild 1. Gewächshausblock G 300 im VEG Gewächshausanlage Vockerode



Tafel 1. Forderungen an die Regelanlage von Gewächshausanlagen

Funktion	Forderungen an die Regelanlage	Ursache
Regelung der Lufttemperatur	— Sollwertführung direkt proportional zur Beleuchtungsstärke (lichtabhängige Regelung)	— Einsparung von Wärmeenergie, Beschleunigung des Reifeprozesses
	— Begrenzung des Sollwerts bei Beleuchtungsstärken über 30 klx	
	— stetige lineare Sollwertanhebung von 2 K je 10 klx	
Regelung der Bodentemperatur	— Begrenzung des Öffnungsgrades der Lüftungsklappen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur	— Vermeidung einer starken Abkühlung der Pflanzen durch Lüften
	— Schließen der Lüftungsklappen unterhalb eines Grenzwerts (2 bis 15°C)	
	— lineare Abhängigkeit des Öffnungswinkels von der Außenlufttemperatur oberhalb eines Grenzwerts	
Regelung der CO <sub>2</sub> -Konzentration der Luft	— einstellbare Differenz der Temperatursollwerte für Heizen und Lüften	— Forderung nach optimalem Zusammenwirken von Heizung und Lüftung
	— Regelung der Bodentemperatur über die Hilfsregelgröße Vorlauftemperatur des Bodenheizungssystems (Kaskadenregelung)	— Vermeidung stärkerer Temperaturschwankungen durch Trägheit der Regelstrecke
	— CO <sub>2</sub> -Begasung über Propanbrenner bei Konzentration unter dem Sollwert	— besseres Wachstum der Pflanzen bei ausreichender CO <sub>2</sub> -Konzentration im Gewächshaus
Regelung der relativen Luftfeuchte	— unterhalb vorgegebener Beleuchtungsstärke erfolgt keine Begasung	— Einhaltung von Grenzwerten der Luftfeuchte für ein optimales Pflanzenwachstum
	— Unterbrechung der Begasung beim Öffnen der Lüftungsklappen infolge zu hoher Temperatur bzw. Luftfeuchte	
	— SollwertEinstellung zwischen 50 % und 90 %	
Luftklappenzwangsschluß	— Absenkung der Luftfeuchte durch Öffnen der Lüftungsklappen	— Vermeidung von Schäden der Luftklappen bei Wind
	— Begrenzung des Öffnungswinkels der Klappen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur	
Steuerung der Berechnung	— Erhöhung der Luftfeuchte durch Beregnung	— Erzielung eines optimalen Wasserzustands des Pflanzenbestands
	— Schließung bei Überschreitung einstellbarer Grenzwerte der Windgeschwindigkeit von 3 bis 20 m/s	
Grenzwert-signalisation	— Auslösung der Kurzzeitberegnung (Blatt- und Luftbefeuchtung) in Abhängigkeit von den Bedingungen der Temperatur bzw. der relativen Luftfeuchte;	— Forderung nach höherer Sicherheit der Anlage
	— <i>Tomaten</i> Überschreiten eines Schwellwerts der Temperatur	
Signalisation des Betriebszustands	— <i>Gurken</i> Überschreiten eines von der Beleuchtungsstärke abhängigen Schwellwerts der relativen Luftfeuchte	— Forderung nach höherer Sicherheit der Anlage und für Kontrollzwecke
	— Überwachung der Über- bzw. Unterschreitungen von eingestellten Maximal- bzw. Minimalwerten der Lufttemperatur und der Vorlauftemperatur	
	— Ein- und Ausschaltung des Automatikbetriebs	
eigener Meßumformer zugeordnet. Eine Ausnahme bilden die Regelung des CO <sub>2</sub> -Gehalts und die Regelung der relativen Luftfeuchte. Die hierfür erforderlichen Meßumformer sind nicht Bestandteil der Regeleinrichtung G 100 und müssen im jeweiligen Gewächshaus installiert werden.	— Extern-Intern-Umschaltung zum Eingriff auf den Sollwert der Lufttemperatur von außen	— Forderung nach höherer Sicherheit der Anlage und für Kontrollzwecke
	— Anzeige des Zustands „Luftklappe offen“	
	— analoge Anzeigemöglichkeit für Lufttemperatur, Regelabweichung der Lufttemperatur, Stellung der Lüftungsklappe u. ä.	

eigener Meßumformer zugeordnet. Eine Ausnahme bilden die Regelung des CO<sub>2</sub>-Gehalts und die Regelung der relativen Luftfeuchte. Die hierfür erforderlichen Meßumformer sind nicht Bestandteil der Regeleinrichtung G 100 und müssen im jeweiligen Gewächshaus installiert werden.

#### Wandlerbaugruppe GW 10

Umweltbedingungen, wie Licht, Außenlufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Regen, Schnee usw., spielen bei der Aufrechterhaltung des geforderten Mikroklimas im Gewächshaus eine bedeutende Rolle. Um diese Zustandsgrößen direkt oder indirekt erfassen zu können, wurden in der Baugruppe GW 10 folgende Funktionen realisiert:

— Sturmsicherung, d. h. Luftklappenzwangsteuerung

— außenlufttemperaturabhängige Luftklappensteuerung, um Pflanzenschäden in unmittelbarer Nähe der Luftklappen durch den Eintritt kalter Luft bei niedrigen Außenlufttemperaturen zu verhindern

— Anhebung der Sollwerte für Lufttemperatur und Luftfeuchte mit zunehmender Beleuchtungsstärke aufgrund erhöhter Assimilation der Pflanze.

#### Reglerbaugruppe GR 10

Zur Regelung des Gewächshausklimas ist entsprechend der Konzeption der Einzelregelung nicht nur jeder Regelgröße, sondern speziell bei der Lufttemperatur jedem Stellglied ein eigener Regler zugeordnet, wodurch eine optimale Anpassung an die jeweilige Regelstrecke ermöglicht wird. Zur Messung der

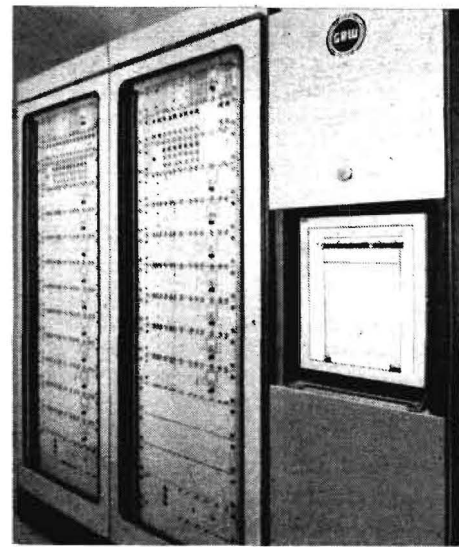


Bild 2. Von diesen beiden Regeleinrichtungen eines Brigadestützpunkts in der Gewächshausanlage Vockerode wird das Klima in 17 Gewächshauseinheiten für eine industrielle Produktion (Typ G 300) geregelt

Lufttemperatur und zur Messung der relativen Luftfeuchte werden Transmitter eingesetzt. Dem Summierverstärker zur Bildung der Regelabweichung sind die eigentlichen Regler, wie Zweipunktregler, unetstige PI-Regler und Dreipunktregler, nachgeschaltet.

Als Regler für die vorbereitete Regelung der CO<sub>2</sub>-Konzentration dient ein Zweipunktregler mit 2 Schaltstufen. Der Istwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration wird mit Hilfe des Gasanalytators Infralyt IV erfaßt.

#### Bedienbaugruppe GB 10

Diese Baugruppe ermöglicht das Ein- und Ausschalten des Automatikbetriebs sowie die Extern-Intern-Umschaltung, mit der ein externer Sollwert zur Wirkung gebracht werden kann. Jedem Gewächshaus und damit jedem Regler GR 10 eines Reglerschranks sind innerhalb der Baugruppe GB 10 entsprechende Tasten zugeordnet. Der eingeschaltete Zustand wird optisch angezeigt. Auch das Quittieren von Störungsmeldungen, die mit Blinklicht angezeigt werden, gehört zu den zentralen Bedienfunktionen.

#### Überwachungsbaugruppe GU 10

Auch in einer gut funktionierenden Regelanlage können Störungen auftreten, die unterschiedliche Ursachen haben. Wichtig ist, diese Störungen zu erfassen und zu signalisieren. Je Gewächshaus ist ein Baustein vorgesehen, der durch Blinklicht folgende Störungen anzeigen kann:

- Unterschreitung der Minimaltemperatur
- Überschreitung der Maximaltemperatur
- geöffnete Luftklappen trotz Grenzwertüberschreitung der Windgeschwindigkeit
- geöffnete Luftklappen trotz Unterschreitung des Außenlufttemperaturgrenzwerts.

Betriebsspannungsausfälle der Regeleinrichtung werden zentral signalisiert. Sammelstörungsmeldungen nach außen sind möglich. Blinklichter können quittiert werden. Zur Überprüfung der Einzelkanäle und damit gleichzeitig der Sammelkanäle dienen Prüftasten.

#### 3.2. Meß- und Steuereinrichtungen

Die Meß- und Steuerkabel verlaufen in

Betonkabelkanälen bis zu den maximal 300 m vom zugehörigen Brigadestützpunkt entfernten Gewächshäusern. Für jeweils 3 Gewächshäuser wurde ein Verteilerknotenpunkt aufgebaut, an dem die Einzelkabel aus den Gewächshäusern zu den Sammelkabeln zum Brigadestützpunkt zusammengefaßt werden. An diesem Verteilerknotenpunkt erfolgt auch die Übergabe der Meß- und Stellsignale zwischen der BMSR-Anlage und der Elektroanlage. Zur Temperaturmessung sind die Gewächshäuser mit je 4 Widerstandsthermometern in Mittelwertschaltung ausgerüstet.

Die relative Luftfeuchte wird über zwei Feuchtetransmitter mit den Meßbereichen von 47 bis 83 % (Kurzzeitberegung) und von 62 bis 98 % (Trockenlüften) erfaßt.

Zur Rückmeldung über den Stand der Lüftungsklappen ist eine Pilotklappe mit einem Doppelwiderstands-Ferngeber ausgerüstet.

Die Steuerung der 4 Lüftungsklappen-Stellmotoren erfolgt dagegen parallel über einen Schaltbefehl der Regeleinrichtung.

In einem festgelegten Gewächshaus je Regeleinrichtung wurde zur Realisierung einer lichtabhängigen Sollwertführung ein Lichtwandler WL 1 mit einer der Beleuchtungsstärke von 0 bis 50 klx proportionalen Ausgangsspannung angebracht.

Interessierende Außenklimagrößen sind die mit einem Widerstandsthermometer je Regeleinrichtung gemessene Außenlufttemperatur und die mit einem Fernanemometer je Regeleinrichtung gemessene Windgeschwindigkeit. Alle Stellimpulse der BMSR-Regeleinrichtung gehen auf die nicht zur BMSR-Anlage gehörenden Stellglieder, die von der Elektroanlage aus auch von Hand ohne Automatik zu betätigen sind:

- 4 Stellmotoren der Lüftungsklappen
- in 2 Gruppen einschaltbare Heizlüfter (6 bzw. 12 Lüfter je Gruppe)
- stetig veränderbares Stellventil für die Stehwandrohrheizung
- stetig veränderbares Stellventil für die Bodenheizung
- Steuerautomatik der Magnetventile der Beregnungskreise.

#### 4. Anlagenmontage und Probetrieb

Innerhalb der Gewächshäuser erfolgte die Kabel- und Leitungsverlegung an Spannseilen, in PVC-Schutzrohren und mit Kabelbefesti-

gungsbändern. Die Geräte der Feuchtemessung (Raumklimaregler, Potentialtrenner) sind vor Ort in beheizte Verteilerkästen eingebaut, die Feuchtegeber erhielten zum Schutz gegen direktes Spritzwasser eine Plastabdeckung. In gleicher Weise eingebaut sind die Widerstandsthermometer, die, an flexiblen Bändern hängend, in der Höhe dem Pflanzenwuchs angepaßt werden können.

In der Kuppel eines Gewächshauschiffs ist der Lichtwandler zur Messung der Innenbeleuchtungsstärke montiert. Die Schnüffelstelle für den CO<sub>2</sub>-Gasanalysator Infralyt IV befindet sich zusammen mit Elektrogaskühler und Netzgerät im Gewächshausinneren (Bild 4).

Die Verteilerkästen für 3 Gewächshäuser werden auf einem Gestell zwischen den Gewächshausblöcken zusammengefaßt.

Die Erprobung der Regeleinrichtung G 100 erfolgte in der BMSR-Pilotanlage des VEG Gewächshausanlage Vockerode. Nach einer 4monatigen Industrieprobung in einem Gewächshaus wurde ein 1jähriger Probetrieb in einem rd. 30 Gewächshäuser umfassenden Teilkomplex durchgeführt. Die Auswertungen wurden auf der Basis von Messungen der leistungsbestimmenden Einflußfaktoren, wie Lufttemperatur, Luftfeuchte, Außenlufttemperatur, Beleuchtungsstärke und Windgeschwindigkeit, unter verschiedenen Bedingungen des Außenklimas mit und ohne Lichtführung der Gewächshausstemperatur vorgenommen.

Durch die Meßergebnisse und durch die statistischen Ermittlungen zur Ausfallhäufigkeit von BMSR-Teilen im Probetrieb konnte nachgewiesen werden, daß

- die Ermittlung einer optimalen Einstellung der Regler möglich ist
- die optimalen Wachstumsbedingungen im Gewächshaus weitestgehend erreicht werden
- eine Ertragsstabilisierung und Ertragssteigerung erzielt wird
- eine Energieeinsparung durch eine geringe Regelabweichung zum Sollwert spürbar wird.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß die in der Aufgabenstellung geforderten Parameter erreicht werden. Die bisherigen Ergebnisse der Erprobung unter industriemäßigen Bedingungen zeigen, daß durch den Einsatz der Regeleinrichtung G 100 des VEB Geräte- und

Regler-Werke Teltow in Verbindung mit der gesamten BMSR-Anlage eine weitgehende Annäherung an optimale Wachstumsbedingungen im Gewächshaus erreicht werden kann. Die technischen, pflanzenbaulichen und ökonomischen Untersuchungen in der Gewächshausanlage Vockerode werden fortgesetzt. Aus der dabei geführten Störstatistik werden die Betriebsstunden des Automatikbetriebs, die Instandhaltungsbedingten Ausfallzeiten sowie Anzahl, Art und Ursachen der Störungsmeldungen ermittelt. Diese Kennwerte sind die Grundlage für Zuverlässigkeitsaussagen der BMSR-Anlage unter Betriebsbedingungen. Die BMSR-Anlage wird vom Nutzerbetrieb nach einer Bedienanweisung gefahren, die Hinweise für den Automatikbetrieb, das Einstellen der Sollwerte und Grenzwerte, die Anzeige von Parametern sowie das Verhalten bei Störungen enthält. Eine umfangreiche Schulung des Anlagenpersonals sowie von Mitarbeitern pflanzenbaulicher Produktionsbereiche garantiert eine gute Betriebsführung.

#### 5. Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden technische Parameter und Leistungen der auf der Grundlage neuer pflanzenbaulicher Erkenntnisse entwickelten Regeleinrichtung G 100 des VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow mitgeteilt. Bemerkenswert für die BMSR-Pilotanlage im Gewächshauskomplex Vockerode ist der frühzeitige Einsatz eines in der Entwicklung befindlichen Erzeugnisses, der Zentraleinrichtung zur Gewächshausklimatisierung in durchgängiger EGS-Technik. Damit konnte ein Entwicklungsvorlauf von rd. 3 Jahren erzielt werden.

Notwendige Änderungen des Erzeugnisses lassen sich aus den Erkenntnissen der Industrieprobung in der Gewächshausanlage Vockerode ableiten, in der laufenden Entwicklung noch berücksichtigen und erhöhen somit die Qualität des Serienprodukts. Die Erprobungsergebnisse zeigen, daß die Regeleinrichtung den gestellten Anforderungen entspricht. Für Gruppen mit je 10 Gewächshäusern ist die Regeleinrichtung G 100 hauptsächlich in industriemäßigen Gewächshauskomplexen einsetzbar.

A 1633

Bild 3. Rückseite der Reglerschränke G 100 mit Blick auf die Versuchsmeßeinrichtung

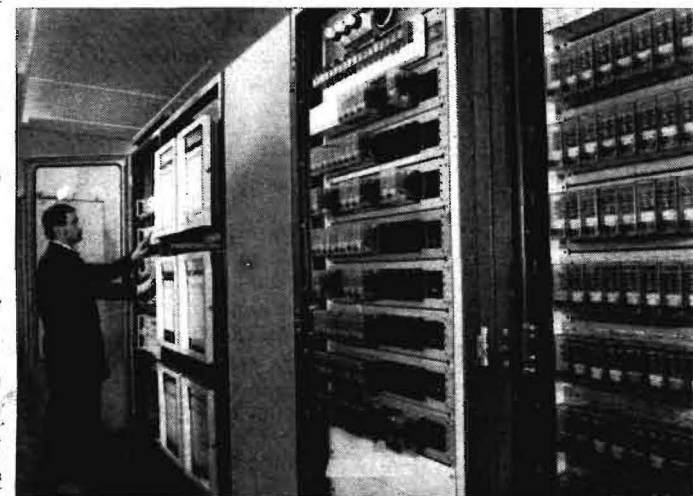


Bild 4. Installation von Kabelverteilerkästen (unten) und örtlichen Armaturen des CO<sub>2</sub>-Gasanalysators im Gewächshaus

