

Untersuchung der unsteady Raumtemperaturregelung in Gewächshäusern (I)

1. Einleitung

In luftbeheizten Gewächshäusern kann die Regelung der Raumtemperatur dadurch erfolgen, daß die Motoren der Luftheizer in Abhängigkeit von vorgegebenen Sollwerten ein- und ausgeschaltet werden [1] [2] [3]. Die Vorlauf-temperatur wird hierbei entweder auf einem konstanten Wert gehalten oder z. B. in Abhängigkeit von der Außen-temperatur variiert. Die Vorteile einer solchen unsteady Temperaturregelung bestehen in dem geringen gerätetechnischen Aufwand, so daß die Investitionskosten für die Errichtung der Temperaturregelanlage im allgemeinen die Grenze von 5 MDN/m² Gewächshausfläche nicht überschreiten. Je nach zur Verfügung stehenden Geräten kann eine Zweipunktregelung oder eine Mehrpunktregelung aufgebaut werden. Während bei der Zweipunktregelung sämtliche Luftheizer auf einmal ein- und ausgeschaltet werden, erfolgt bei der Mehrpunktregelung ein gruppenweises Zu- und Abschalten der Stellglieder.

Nachteile der unsteady Temperaturregelung sind das Auftreten von Dauerschwingungen und die dadurch bedingte Schalthäufigkeit, wodurch die Stellglieder — im Falle der Luftheizung die Luftheizermotore — stark beansprucht werden.

Ziel der Untersuchungen ist es, die charakteristischen Größen der entstehenden Dauerschwingungen,

- die Regelschwankung ϑ_{ss}
- die bleibende Regelabweichung ϑ_{Bl} und
- die Schwingungsdauer T_S

auf Grund von experimentell ermittelten Kennwerten der Regelstrecke durch Simulation des Regelvorgangs zu bestimmen.

2. Kennwerte der Regelstrecke

Die Untersuchung des dynamischen Verhaltens der Regelstrecke stellt die Grundlage für die Simulation des Regelvorgangs dar. Zur Ermittlung von Kennwerten wird das Verfahren der Aufnahme von Übergangsfunktionen gewählt. Die Regelstrecke besteht im wesentlichen aus dem Gewächshaus und dem Meßfühler. Da durch den Temperaturfühler das dynamische Verhalten der Regelstrecke wesentlich beeinflußt werden kann, soll im folgenden das Übergangsverhalten beider Glieder getrennt untersucht werden.

Untersucht wurden folgende Temperaturfühler:

- Widerstandsthermometer Pt 100 ohne Schutzrohr
- Widerstandsthermometer Pt 100 im Eisenschutzhohr
- Quecksilberkontaktthermometer

Aus den aufgenommenen Übergangsfunktionen (Bild 1) geht hervor, daß die Zeitkonstante des Widerstandsthermometers Pt 100 im Eisenschutzhohr bei nicht bewegter Luft fast 10 min beträgt. Durch Ventilation wird das Übergangsverhalten nicht wesentlich verbessert. Der Einsatz dieses Temperaturgebers kann deshalb nicht empfohlen werden. Auch Quecksilberkontaktthermometer weisen eine relativ hohe Zeitkonstante auf, die sich allerdings durch Ventilation bis auf etwa 1 min verringert. Ein sehr günstiges Zeitverhalten besitzen die Widerstandsthermometer Pt 100 ohne Schutzrohr. Im Luftstrom mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s beträgt die Zeitkonstante 0,3 min

Zur versuchsmäßigen Aufnahme der Übergangsfunktion des Gewächshauses werden eine bestimmte Zahl von Luftheizern an- bzw. abgestellt und der Temperaturverlauf durch Ablesen am Anzeigergerät erfaßt, bis sich der neue Beharungszustand eingestellt hat. Als Temperaturfühler werden aus Haardrähten gefertigte Kupfer-Konstantanthermometerelemente verwendet. Als Anzeigergerät dient ein Lichtmarkengalvanometer, mit dem eine Meßgenauigkeit von $\pm 0,1$ grad erreicht wird. Diese Meßanordnung besitzt eine Zeitkonstante, die kleiner als 5 s ist. Die Temperaturablesungen erfolgen in Abständen von 15 s. Die Meßstellen befinden sich jeweils in der Mitte des Gewächshauses in etwa 1 m Höhe. Die Untersuchungen erstrecken sich auf die in Tafel 1 genannten Gewächshäuser bzw. Teile von Gewächshausanlagen.

Tafel 1. Für die Kennwertermittlung ausgewählte Gewächshausanlagen

Bezeichnung	Standort	Größe [m ²]	Heizung	Wärmelastg. [kcal/h]
12-m-Glasgewächshaus	Institut für Gemüsebau Großbeeren	576	Wandluftheizer D 10×3×19 VEB NEMA Netzschkau	401 · 10 ³
12-m-Polyester-gewächshaus ¹	Institut für Gemüsebau Großbeeren	288	Wandluftheizer AD 50×3×19, VEB NEMA Netzschkau	134 · 10 ³
18-m-Polyester-gewächshaus ¹	Institut für Gemüsebau Großbeeren	432	Luftheizer BP 50 MNN 3405, VEB NEMA Netzschkau	200 · 10 ³
Mehrzweck-gewächshaus MZG 0/55	GPG „Immergrün“ Teltow Gemüsekombinat Kulkwitz	1344 2500	Wandluftheizer Größe 3, VEB VENTA Erfurt	511 · 10 ³ 949 · 10 ³

¹ Gewächshauskonstruktion: selbsttragende Schalenelemente aus glasfaserverstärktem Polyester

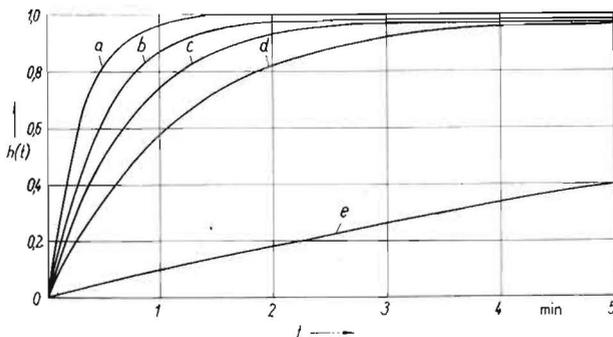


Bild 1. Übergangsfunktionen der Temperaturfühler; a Widerstandsthermometer Pt 100 ohne Schutzrohr — $w = 2$ m/s, b do. m. $w = 1$ m/s, c do. m. $w = 0$ m/s, d Quecksilberkontaktthermometer $w = 2$ m/s, e Widerstandsthermometer Pt 100 mit Eisenschutzhohr $w = 0$ m/s

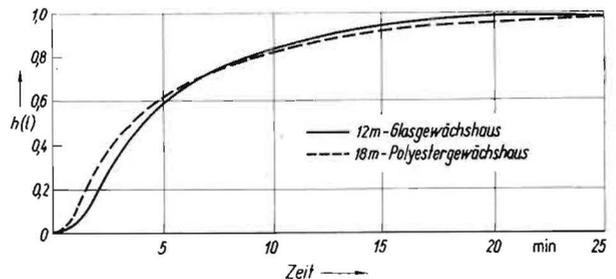


Bild 2. Stellübergangsfunktion für die Luftheizung

* Institut für Gemüsebau Großbeeren der DAL zu Berlin
** VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow, Betriebsteil Berlin

Aus den experimentell aufgenommenen Übergangsfunktionen für das luftbeheizte Gewächshaus (Bild 2) geht hervor, daß es sich um eine Strecke mit Ausgleich und dominierender Zeitkonstante mit der Übertragungsfunktion

$$F_s(p) = \frac{1}{(1 + Tp)(1 + \alpha Tp)^2} \quad \text{mit } \alpha < 1 \quad (1)$$

handelt. Diese Struktur der Strecke wird für die Simulation auf dem Analogrechner zugrunde gelegt. Zwischen den einzelnen Gewächshäusern besteht hinsichtlich der beiden Streckenparameter weitgehende Übereinstimmung (Tafel 2). Größenordnungsmäßig ergibt sich für die Aufheizung

$$T = 10 \text{ min}$$

$$\alpha = 0,1$$

Für die Abkühlung gelten annähernd die gleichen Werte.

3. Aufstellen eines Ersatzschaltbildes

Grundlage für die Aufstellung eines Modells des Temperaturverhaltens ist die mathematische Beschreibung der Vorgänge der Wärmeübertragung am Gewächshaus [4].

Zur Herleitung der Beziehungen werden folgende Abkürzungen und Bezeichnungen eingeführt:

- q Wärmestrom
- ϑ_i Temperatur im Gewächshaus
- ϑ_a Temperatur im Freiland
- ϑ_s Temperatursollwert
- Δx Differenz der Feuchtegrade der Luft im Gewächshaus und Freiland
- V Gewächshausvolumen
- F Gewächshausgrundfläche
- O Gewächshausoberfläche
- ρ Dichte der Luft
- c_p spezifische Wärme der Luft
- C Gewächshauskonstante
- Λ_i innerer Wärmeübergangswiderstand
- Λ_L Wärmeübergangswiderstand infolge Wärmeleitung
- Λ_a äußerer Wärmeübergangswiderstand
- z Lüftungskoeffizient
- r Verdampfungswärme von Wasser
- k Wärmedurchgangszahl
- k_H Wärmedurchgangszahl infolge Wärmeübertragung an der Gewächshauschülle
- k_Z Wärmedurchgangszahl infolge Luftaustausch

Es gelten folgende Beziehungen:

$$C = \frac{1}{V \cdot \rho \cdot c_p} \quad (2)$$

$$k = k_H + k_Z \quad (3)$$

$$k_H = \frac{1}{\Lambda_i + \Lambda_L + \Lambda_a} \quad (4)$$

$$k_Z = \frac{V \cdot \rho \cdot z}{O} \left(c_p + \frac{r \cdot \Delta x}{\vartheta_i - \vartheta_a} \right) \quad (5)$$

Tafel 2. Verzugszeit und Zeitkonstante für das Übergangverhalten im luftbeheizten Gewächshaus (Mittelwerte)

Gewächshaus	Stellgliedveränderung	T [min]	α
12-m-Glasgewächshaus	an	7,0	0,07
	aus	9,0	0,05
12-m-Polycestergewächshaus	an	8,5	0,35
	aus	10,0	0,05
18-m-Polycestergewächshaus	an	8,8	0,11
	aus	8,8	0,11
Mehrzweckgewächshaus MZG 0/55	an	7,5	0,20
	aus	10,5	0,095

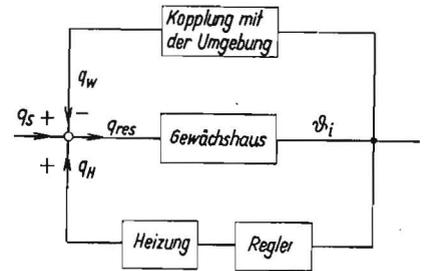


Bild 3. Blockschaltbild des Wärmeverhaltens

Um ein möglichst einfaches Ersatzschaltbild zu erhalten, wird eine homogene Temperaturverteilung angenommen. Die Wärmeübertragung wird durch die Wärmeströme q_s , q_H und q_w dargestellt, wobei q_s dem durch die Globalstrahlung und q_H dem durch die Gewächshausheizung verursachten Wärmestrom entsprechen soll und q_w durch die Wärmeabgabe des Gewächshaus an die Umgebung bedingt ist. Die drei Komponenten der Wärmeübertragung werden, wie das schon aus dem Ersatzschaltbild ersichtlich ist (Bild 3), zu dem resultierenden Wärmestrom

$$q_{res} = q_s + q_H - q_w \quad (6)$$

zusammengefaßt, der die Temperaturänderung

$$\frac{d\vartheta_i}{dt} = C \cdot q_{res} \quad (7)$$

im Gewächshaus hervorruft. Der Wärmestrom durch die Gewächshauschülle ist durch den Ausdruck

$$q_w = k \cdot O \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad (8)$$

gegeben, woraus mit Gl. (2), (3) und (4)

$$q_w = \frac{O}{\Lambda_i + \Lambda_L + \Lambda_a} (\vartheta_i - \vartheta_a) + [c_p \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) + r \cdot \Delta x] \cdot V \cdot \rho \cdot z \quad (9)$$

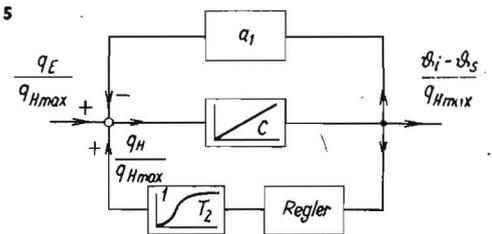
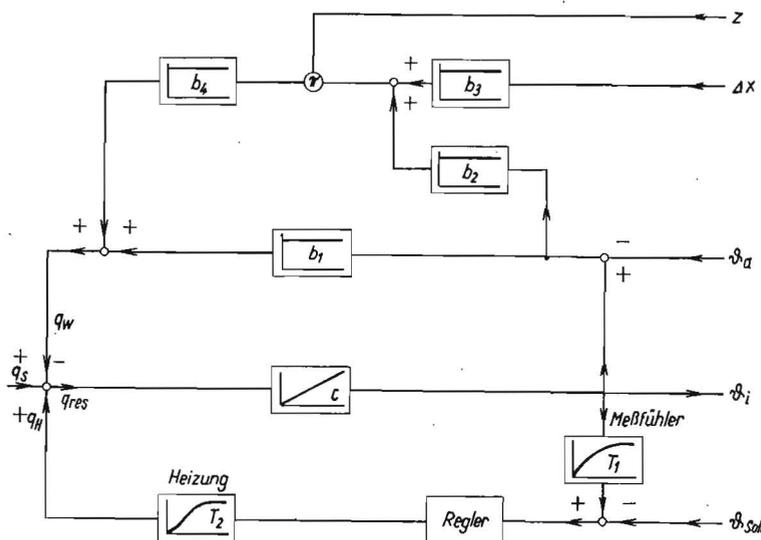
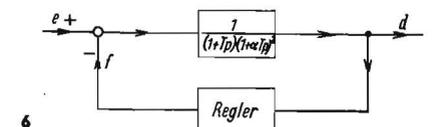


Bild 4. Signalflußbild des beheizten Gewächshaus

Bild 5. Vereinfachtes Signalflußbild

Bild 6. Signalflußbild mit normierten physikalischen Größen



folgt oder, wenn die Bezeichnungen

$$b_1 = \frac{O}{A_i + A_L + A_a}, b_2 = c_P, b_3 = r \text{ und } b_4 = V \cdot \rho$$

eingeführt werden,

$$q_w = b_1 \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) + [b_2 \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) + b_3 \cdot \Delta x] \cdot b_4 \cdot z \quad (10)$$

Diese Beziehung ermöglicht es, die Wärmeabgabe des Gewächshauses an die Umgebung auf Grund der Differenz von Temperatur und Feuchte zwischen Gewächshaus und Freiland sowie der Luftwechselszahl zu berechnen. Der Faktor b_1 ist abhängig von den meteorologischen Bedingungen, insbesondere von der Windgeschwindigkeit, die Faktoren b_2 , b_3 und b_4 können als weitgehend konstant angesehen werden. Das erweiterte Blockschaltbild für die Simulation des Temperaturverhaltens ergibt sich dann aus Gl. (6), (7) und (10), wobei T_1 und T_2 die Zeitkonstanten für den Meßfühler und die Heizung darstellen (Bild 4).

Der durch die Globalstrahlung verursachte Wärmestrom wird näherungsweise durch Multiplikation der Gewächshausgrundfläche mit der mittleren Strahlungsbilanz S berechnet:

$$q_S = F \cdot S. \quad (11)$$

Zur Simulation des Regelvorgangs auf dem Analogrechner „Endim 2000“ ist es zweckmäßig, die physikalischen Größen zu normieren und das Blockschaltbild weiter zu vereinfachen. Durch Umformung und Einführung der Solltemperatur ϑ_s folgt aus Gl. (9):

$$q_w = a_1 \cdot (\vartheta_i - \vartheta_s) + a_1 \cdot (\vartheta_s - \vartheta_a) + V \cdot \rho \cdot z \cdot r \cdot \Delta x \quad (12)$$

mit

$$a_1 = b_1 + V \cdot \rho \cdot z \cdot c_P. \quad (13)$$

Weiterhin ergibt sich aus Gl. (12) mit

$$q_1 = a_1 \cdot (\vartheta_s - \vartheta_a) + V \cdot \rho \cdot z \cdot r \cdot \Delta x \quad (14)$$

für den Wärmestrom zur Umgebung

$$q_w = a_1 \cdot (\vartheta_i - \vartheta_s) + q_1 \quad (15)$$

Der Wärmestrom, der dem Gewächshaus durch Heizen zugeführt werden muß, um einen vorgegebenen Sollwert zu erreichen, beträgt

$$q_E = q_S - q_1. \quad (16)$$

Durch Normierung auf die maximale Heizleistung q_{Hmax} erhält man das in Bild 5 dargestellte Signalflußdiagramm.

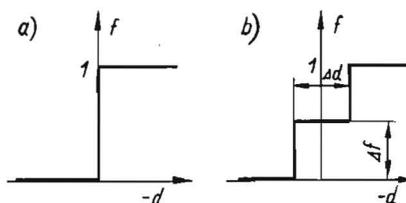


Bild 7. Kennlinie der untersuchten un stetigen Regler; a) Zweipunktregler, b) Dreipunktregler

Vereinfachend wird angenommen, daß die Außentemperatur im Vergleich zur Gewächshausatemperatur als eine langsam veränderliche Größe aufgefaßt werden kann. Damit folgt als endgültiges Signalflußdiagramm Bild 6 mit folgenden normierten Größen:

$$e = - \frac{q_E}{q_{Hmax}} \quad (17)$$

$$f = \frac{q_H}{q_{Hmax}} \quad (18)$$

$$d = \frac{(\vartheta_i - \vartheta_a) \cdot a_1}{q_{Hmax}} \quad (19)$$

$$T_0 = \frac{1}{C \cdot a_1} \quad (20)$$

Entsprechend der Möglichkeit, die Luftheizer gruppenweise zu schalten, erstrecken sich die Untersuchungen mit dem Analogrechner auf Zwei- und Dreipunktregler mit äquidistanter Anordnung der Schaltpunkte und konstanten Amplitudensprüngen (Bild 7).

(Fortsetzung folgt im nächsten Heft)

Literatur

- [1] FÜRSTCH, CH. / A. HEISSNER: Der Einsatz von Re-Reglern zur Temperaturregelung in Gewächshausanlagen. Deutscher Gartenbau 12 (1965) Nr. 11, S. 296 bis 298
- [2] Autorenkollektiv: Anwendung der Regeltechnik im Gewächshaus. Deutsche Agrarwissenschaftliche Gesellschaft, Internationale Gartenbauausstellung, Erfurt 1966, 92 S.
- [3] HEISSNER, A. / CH. FÜRSTCH / R. SAHRMÜLLER: Anwendungsmöglichkeiten der Steuer- und Regeltechnik im Treibgemüsebau. Fortschrittsbericht für die Landwirtschaft, DAL zu Berlin 1967 (im Druck)
- [4] KRASPER, P. / W. WILHELMI: Variantenvergleich für die Regelung der Lufttemperatur im Gewächshaus auf dem Analogrechner. Abschlußbericht, VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow, 1965 (unveröffentlicht) A 7031/1

Prof. Dr. E. SEIDEL, Direktor des Instituts für Gärtnersche Betriebsökonomik der Humboldt-Universität zu Berlin

Zum betriebswirtschaftlichen Nutzen der Anwendung der BMSR-Technik im sozialistischen Gartenbau

Mit der auf dem VII. Parteitag der SED beschlossenen Aufgabe, das entwickelte gesellschaftliche System des Sozialismus zu gestalten, fällt uns allen bei der Entwicklung seines Kernstückes, des ökonomischen Systems des Sozialismus, eine umfassende Arbeit zu. Es gilt, im Kampf der weltweiten Auseinandersetzung zwischen Imperialismus und Sozialismus einen entscheidenden Beitrag zur Stärkung unserer Republik zu leisten, indem dem Gesetz der Ökonomie der Zeit immer besser Rechnung getragen wird. Das aber erfordert die Meisterung der wissenschaftlich-technischen Revolution, die Intensivierung des gesellschaftlichen Reproduktionsprozesses, die komplexe sozialistische Rationalisierung, die Steigerung der Arbeitsproduktivität, die Senkung der Kosten [1].

Nachdem sich unter den Bedingungen der sozialistischen gärtnerischen Produktion in den letzten Monaten in zunehmendem Maße die vertikale Kooperation als unabdingbare Voraussetzung zur Anwendung industriemäßiger Prozesse abzeichnet, sind in Form von Kooperationsketten, die ihren organisatorischen Ausdruck in Kooperationsverbänden finden, die entscheidenden Bedingungen für eine rationelle Organisation der Produktion, der Verarbeitung und des Handels von Gemüse und Obst, und damit die entscheidenden Voraussetzungen für die Erfüllung der auf dem VII. Parteitag genannten Bedingungen geschaffen.

Die zunehmende Konzentration führte über die Arbeitsteilung zur Spezialisierung in Verbindung mit der Heraus-