

Dr. A. HEISSNER, KDT*
Ing. P. KRASPER, KDT**

Untersuchung der un stetigen Raumtemperaturregelung in Gewächshäusern (II)¹

4. Ergebnisse der Untersuchung auf dem Analogrechner

Für den gegebenen Streckentyp nach Gl. (1) in Verbindung mit Mehrpunktreglern werden die im Beharrungszustand auftretenden Dauerschwingungen auf dem Analogrechner untersucht, indem an einem aufgebauten Modell (entsprechend Bild 6) die Dauerschwingungen direkt gemessen werden. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, werden charakteristische Größen der Dauerschwingung in normierter Form benutzt:

- Regelschwankung d_{ss}
- bleibende Regelabweichung d_{BL}
- Schwingungsdauer τ .

Die Abhängigkeit dieser Größen von e (Gl. 17) mit dem Parameter α wurden für Zwei- und Dreipunktregelungen in [4] und [5] dargestellt. Beispiele für die ermittelten Kennlinien zeigen Bild 8 und 9.

Die Funktion $d_{ss} = f_1(e)$ und $\tau = f_2(e)$ sind zu $e = 0,5$ symmetrisch, während $d_{BL} = f_3(e)$ zu $e = 0,5$ asymmetrisch ist. Wie aus den Diagrammen hervorgeht, führt das System bei der Zweipunktregelung im ganzen Bereich Dauerschwingungen aus, während Mehrpunktregelungen bestimmte Bereiche besitzen, in denen sich das System in Ruhe befindet. Die Breite Δe des Unempfindlichkeitsbereiches ist gleich dem normierten Schaltungspunkt Δd . Weiterhin folgt aus diesen Untersuchungen, daß die Regelschwankung durch Anwendung von Dreipunkt- anstelle von Zweipunktreglern verringert wird.

5. Beispiel für die Anwendung der normierten Kennwerte

Für das 12-m-Glasgewächshaus erfolgt eine Berechnung der drei Kennwerte, wobei unterschiedliche meteorologische Verhältnisse zugrunde gelegt werden und für α der Wert 0,1 eingesetzt wird [6].

Für die Rücktransformation sind folgende Gleichungen zu benutzen:

$$\vartheta_{ss} = d_{ss} \cdot \frac{q_{H \max}}{a_1} \quad (21)$$

$$\vartheta_{BL} = d_{BL} \cdot \frac{q_{H \max}}{a_1} \quad (22)$$

$$T_S = \tau \cdot T_0. \quad (23)$$

Die Ergebnisse dieser Berechnungen (Tafel 3) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Bei Anwendung eines Zweipunktreglers beträgt die maximale Regelschwankung 3 bis 4 grad. Im Mittel ergibt sich eine

Bild 9. Bleibende Regelabweichung für die Zweipunktregelung

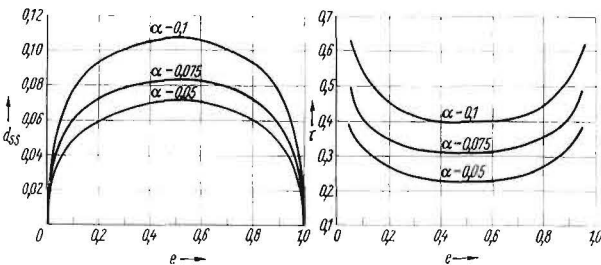
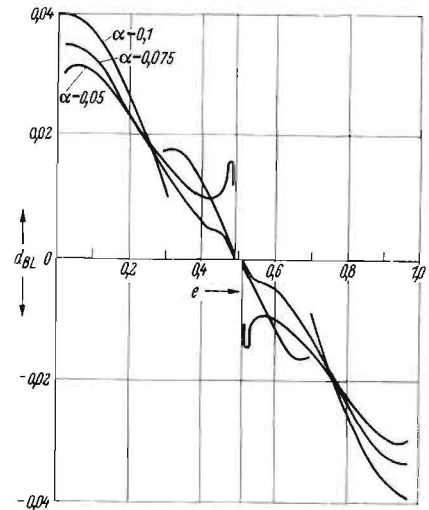


Bild 8
Schwingungsdauer und
Regelschwankung für die
Zweipunktregelung

Tafel 3. Theoretisch ermittelte
Regelschwankung, bleibende
Regelabweichung und Schwin-
gungsdauer im 12-m-Glas-
gewächshaus [6]

Temperatur [°C]	relative Feuchte [%]		Wind [m/s]	Bedeckungs- grad	Strahlungs- bilanz [kcal/m ² · h]	Zweipunktregler			Dreipunktregler				
	innen	außen				ϑ_{ss} [grad]	ϑ_{BL} [grad]	T_S [min]	Schaltpunkt- abstand [grad]	ϑ_{ss} [grad]	ϑ_{BL} [grad]	T_S [min]	
10	0	60	100	1	0/10	0	2,58	0,99	3,17	1,0	1,30	1,03	2,40
10	-10	60	100	1	10/10	0	3,24	1,06	2,85	1,1	1,57	0,78	2,24
10	-20	60	100	1	10/10	0	3,60	0,85	2,61	1,1	1,67	0,49	2,20
20	10	60	100	2	0/10	0	2,33	0,91	2,76	0,9	1,22	0,90	2,11
20	0	90	80	2	0/10	0	3,03	0,78	2,27	0,9	1,41	0,42	1,89
20	-10	90	90	2	10/10	0	3,29	0,48	2,14	1,0	2,33	0,41	1,91
20	-20	90	95	2	10/10	0	3,40	0,08	2,10	1,0	2,53	0,08	1,97
30	10	90	60	3	0/10	0	2,93	0,44	1,94	0,9	2,04	0,40	1,70
30	0	90	80	3	0/10	0	2,87	0,05	1,88	0,9	2,18	0,05	1,96
30	-10	90	90	3	10/10	0	3,02	-0,34	1,94	0,9	2,16	-0,30	1,72
30	-20	90	95	3	10/10	0	2,85	-0,69	2,11	0,9	1,27	-0,33	1,73
10	0	60	100	1	0/10	120	—	—	—	—	—	—	—
10	-10	60	100	1	10/10	120	1,40	0,41	> 5	1,1	0,81	1,10	> 4
10	-20	60	100	1	10/10	120	2,78	1,09	3,35	1,1	1,44	1,07	2,52
20	10	60	100	2	0/10	120	—	—	—	—	—	—	—
20	0	90	80	2	0/10	120	2,19	0,89	3,00	0,9	1,16	1,00	2,25
20	-10	90	90	2	10/10	120	2,81	0,93	2,51	1,0	1,39	0,66	1,97
20	-20	90	95	2	10/10	120	3,21	0,69	2,24	1,0	1,47	0,29	1,92
30	10	90	60	3	0/10	120	2,99	0,22	1,86	0,8	2,23	0,19	1,70
30	0	90	80	3	0/10	120	2,86	0,60	2,00	0,9	1,80	0,47	1,72
30	-10	90	90	3	10/10	120	3,06	0,22	1,89	0,9	2,27	0,20	1,72
30	-20	90	95	3	10/10	120	3,07	0,19	1,90	0,9	2,33	-0,14	1,73

* Institut für Gemüsebau Groß-
beeren der DAL zu Berlin

** VEB Geräte- und Regler-
Werke Teltow, Betriebsteil
Berlin

¹ Teil I s. H. 11/1967, S. 509

Regelschwankung von etwa 2 bis 3 grd. Durch den Einsatz eines Dreipunktreglers mit einem Schaltpunktabstand von 1 grd ist es möglich, die Regelschwankungen um etwa 1 grd herabzusetzen. Die bleibende Regelabweichung ist im allgemeinen sehr niedrig. Sie beträgt maximal etwa 1 grd und durchschnittlich etwa 0,5 grd, wobei die Abweichung vom Sollwert je nach der Größe der Regellast positiv oder negativ sein kann. Durch die Anwendung eines Dreipunktreglers anstelle eines Zweipunktreglers wird die bleibende Regelabweichung nicht merklich verändert. Für die Schwingungsdauer ergibt sich im Durchschnitt ein Wert von etwa 2 min, d. h. eine Schalthäufigkeit von etwa 30 h⁻¹.

6. Experimentelle Überprüfung der ermittelten Kennwerte

Die experimentellen Untersuchungen werden im 12-m-Glasgewächshaus durchgeführt, das mit einer aus Quecksilberkontaktthermometern und Schaltrelais aufgebauten Zweipunktregelung mit Schalthysterese ausgestattet ist [6]. Durch Registrierung der Temperatur mit einem Kompensationsbandschreiber erfolgt die Prüfung des Regelverhaltens. Untersucht wird die Abhängigkeit der Dauerschwingung von den Witterungsbedingungen. Dieser Einfluß läßt sich nachweisen. Jedoch ist es nicht möglich, anhand der vorliegenden Meßreihen allgemeine Beziehungen aufzustellen, wie sie auf Grund theoretischer Untersuchungen oder durch sehr umfangreiche Meßreihen gewonnen werden können. Erhöhter Wärmebedarf führt grundsätzlich zu einer Verkleinerung der Schwingungsdauer, sei es dadurch, daß z. B. das Gewächshaus durch luvseitigen Wind (im Falle des geprüften Gewächshauses: SW-Wind) stärker abgekühlt wird (vergleiche Bild 10 und 11, Tafel 4) oder die Außentemperatur niedriger liegt (Bild 12 und 13, Tafel 4). Ein Einfluß der Witterungsbedingungen auf die Regelschwankung läßt sich nicht nachweisen. Die im Laufe der Überprüfung beobachteten Regelschwankungen liegen zwischen 3 und 4 grd. Sie sind somit um etwa 1 grd größer als die theoretisch ermittelten (Tafel 3). Die Schwingungsdauer schwankt zwischen 5 und 20 min und liegt somit ebenfalls über den Werten, die sich aus der Simulation der Regelstrecke ergeben. Die Unterschiede sind im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß die Regelung im 12-m-Glasgewächshaus zeitweise als Zweipunktregelung mit Schalthysterese betrieben wurde und daß die als Temperaturregeber verwendeten Kontaktthermometer eine nicht zu vernachlässigende Zeitkonstante aufweisen. Weiterhin muß die bei der Aufstellung des Modells vorgenommene Idealisierung berücksichtigt werden.

7. Schlußfolgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen bestätigten, daß die Anwendung von unstetigen Reglern zur Temperaturregelung in luftbeheizten Gewächshäusern zweckmäßig ist. Der gerätetechnische Aufwand ist gering und die vom pflanzenbaulichen Standpunkt geforderte Regelgenauigkeit wird im wesentlichen erreicht. Diese wird mit etwa $\pm 1,5$ bis 2 grd angegeben [6]. Zur Schalthäufigkeit ist zu bemerken, daß mit der kleinsten ermittelten Schwingungsdauer von etwa 2 min gerade die Grenze der Belastbarkeit der Stellglieder erreicht sein dürfte. Um einen schnellen Verschleiß der Stell-

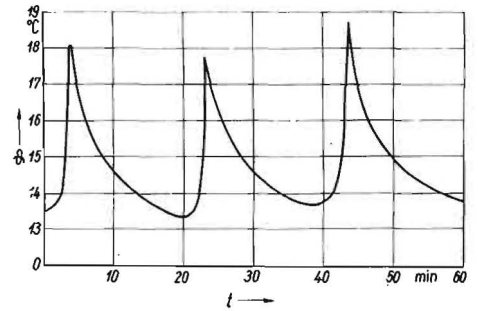


Bild 10. Temperaturverlauf im 12-m-Glasgewächshaus bei Meßreihe I am 22. Febr. 1965 (s. Tafel 4)

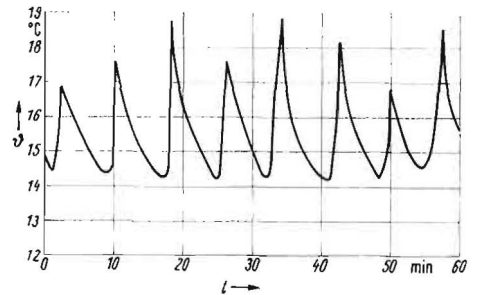


Bild 11. Temperaturverlauf im 12-m-Glasgewächshaus bei Meßreihe II am 23. Febr. 1965 (s. Tafel 4)

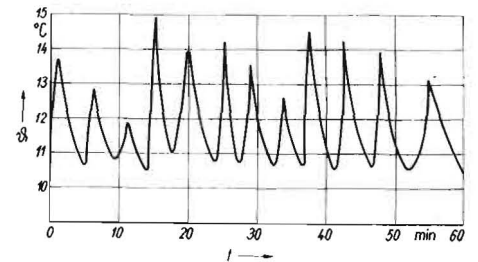


Bild 12. Temperaturverlauf im 12-m-Glasgewächshaus bei Meßreihe III am 28. Febr. 1965 (s. Tafel 4)

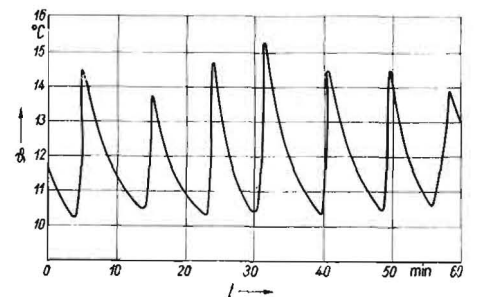


Bild 13. Temperaturverlauf im 12-m-Glasgewächshaus bei Meßreihe IV am 3. März 1965 (s. Tafel 4)

glieder durch zu häufiges Schalten zu verhindern, ist eine Kombination der unstetigen Regelung der Lufttemperatur durch An- und Abschalten der Lufttheizer mit einer Regelung der Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der jeweiligen Größe des Wärmeverlustes des Gewächshauses, z. B. in

	I	Meßreihe II	III	IV
Tag der Messung	22. Febr. 1965	23. Febr. 1965	28. Febr. 1965	3. März 1965
Uhrzeit	21.00 ... 22.00 Uhr	4.00 ... 5.00 Uhr	4.00 ... 5.00 Uhr	2.00 ... 3.00 Uhr
Außentemperatur	- 0,6 °C	- 3,0 °C	- 13,0 °C	- 2,0 °C
Bedeckungsgrad	10/10	10/10	0/10	10/10
Wind ¹	N 2	SW 2	SO 2	N 2
Niederschlag	0,0	0,0	0,0	0,0
Einstellung der Sollwerte	max. 16 °C ² min. 15 °C	max. 16 °C ² min. 15 °C	12 °C	12 °C

Tafel 4. Versuchstechnische Angaben zur Prüfung der Temperaturregeleinrichtung im 12-m-Glasgewächshaus

¹ Richtung und Stärke

² max.: Lufttheizer schalten ab, min.: Lufttheizer schalten an

Abhängigkeit von der Außentemperatur, empfehlenswert. In diesem System von zwei gekoppelten Regelkreisen hat die Vorlauf-temperaturregelung die Funktion einer Grund- oder Vorregelung. Mit der unstetigen Regelung der Lufttemperatur erfolgt die Feinregelung.

Durch die bei der Simulation des Regelvorgangs vorgenommene Normierung der physikalischen Größen erlangen die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen für die Anwendung von Mehrpunktregelungen allgemeine Bedeutung. Für beliebig vorgegebene Gewächshausanlagen und Bedingungen können die Eigenschaften der Dauerschwingung bei Zwei- und Dreipunktregelungen aus den erarbeiteten Diagrammen ermittelt werden. Anhand der Diagramme kann festgestellt werden, wie sich die charakteristischen Größen der Dauerschwingung mit den dynamischen Eigenschaften der Strecke und der Einstellung der unstetigen Regler ändern.

Die größenordnungsmäßige Übereinstimmung theoretisch und experimentell ermittelter Kennwerte der betrachteten unstetigen Regelungen zeigt, daß das gewählte Modell der Regelstrecke des luftbeheizten Gewächshauses eine praktisch brauchbare Näherung darstellt. Eine weitere Verfeinerung des Modells ist nur dann sinnvoll, wenn bezüglich der Regelgröße Lufttemperatur exaktere Angaben über das Störverhalten eines Gewächshauses gemacht werden können.

8. Zusammenfassung

Als Grundlage für die Projektierung von Einrichtungen zur Regelung der Lufttemperatur in Gewächshäusern werden theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Ausgehend von Kennwerten der Regelstrecke, die sich aus den aufgenommenen Stellübergangsfunktionen ergeben, erfolgt eine Simulation des Regelvorgangs auf dem Analogrechner „Endim 2000“. Gegenstand der Untersuchungen sind Zwei- und Dreipunktregelungen, die eine einfache gerätetechnische Realisierung ermöglichen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in generalisierter Form. Sie werden für eine Gewächshausanlage und speziell vorgegebene Bedingungen ausgewertet. Aus den berechneten charakteristischen Kennwerten, der Regelschwankung, bleibenden Regelabweichung und Schwingungsdauer, ergibt sich, daß die an die Regelung gestellten Anforderungen erfüllt werden. Durch Temperaturmessungen in einem mit einer Zweipunktregelung ausgestatteten Gewächshaus werden Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen größenordnungsmäßig bestätigt.

Literatur

- [5] WILHELMI, W. / P. KRASPER: Auslegung von einschleifigen Regelkreisen mit Relaisreglern an einfachen Strecken. Technische Information (VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow) 5 (1967) Nr. 1/2, S. 58 bis 62
- [6] HEISSNER, A.: Erfassung und Regulierung des Gewächshausklimas. Forschungs-Abschlußbericht, Institut für Gemüsebau Großbecken der DAL zu Berlin 1966 (unveröffentlicht) A 7031

Aus der Forschungsarbeit

des Instituts für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim

Dipl.-Ing. A. KLUG
Dipl.-Landw. R. ZILLIG

Die Erhöhung der Leistung von Dämpfmaschinen durch Kurzdämpfen der Futterkartoffeln*

Die Aufnahme von rohen Kartoffeln durch das Schwein ist ungenügend und wirkt sich entsprechend auf die Mastzunahme aus. Um die Futteraufnahme und -verdaulichkeit zu verbessern, werden die Kartoffeln vor dem Einsäuern oder täglich vor dem Verfüttern bei der Temperatur von etwa 100 °C gedämpft. Der eigentliche Zweck des Dämpfens für Futterzwecke ist der Aufschluß der Stärke in den Kartoffeln, d. h. die Überführung der Stärkekörner in den gequollenen bzw. verkleisterten Zustand, in dem sie vollständig enzymatisch abgebaut und vom tierischen Organismus am besten verwertet werden können.

Die Quellung im Wasser beginnt beim isolierten Kartoffelstärkekorn bereits bei etwa 60 °C [1] und ist bei etwa 65 bis 70 °C vollständig beendet. Das trifft auch auf die Verhältnisse in der Kartoffelknolle zu, in der der Quellungsbereich, d. h. die Temperaturdifferenz zwischen Beginn und Ende der Quellung, noch kleiner ist. Um die Stärke der Kartoffeln in eine gut verdauliche Form zu überführen, sind Temperaturen um 70 °C ausreichend. Lediglich die Garung der übrigen Kartoffelsubstanz erfolgt bei höheren Temperaturen (95 °C), wobei man unter Garung den Aufschluß der Zellsubstanz, d. h. das Weichwerden der Kartoffel im üblichen küchentechnischen Sinne versteht. Als äußeres Kennzeichen der vollständigen Garung wird die weiche und mehlig Beschaffenheit der Kartoffel angesehen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Übertragung der beim diskontinuierlichen Dämpfen in Kippdämpfmaschinen erzielten Ergebnisse [2] auf die Verhältnisse bei kontinuierlichen Dämpfmaschinen und die Feststellung der möglichen Erhöhung der Dämpfleistung.

Dämpfversuche im Labor

Zur quantitativen Messung des Garzustandes diente ein Schalenhärteprüfer (Hersteller: Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim). Mit diesem Gerät mißt man die Kraft, die aufgewendet werden muß, um einen Dorn von 3 mm Dnr. in einen Körper zu drücken. Der Dämpfvorgang wurde nach festgelegten Zeitabständen abgebrochen, um den Garzustand der Kartoffeln festzustellen.

Der Temperaturverlauf in der Kartoffel veranschaulicht gut den Dämpfvorgang. Die Temperatur wurde an zwei Stellen gemessen (Bild 1), in der Nähe des Zentrums (Meßpunkt 1) und etwa 5 mm unter der Schale (Meßpunkt 2).

Die Temperatur steigt unmittelbar unter der Schale nach dem Einbringen in den Dampf schnell und nähert sich der Dampftemperatur. Im Zentrum erwärmt sich die Kartoffel nur langsam. Nach Unterbrechen der Dampferzeugung sinkt die Temperatur unter der Schale. Es genügt eine geringe Temperaturenkung der wärmeren Außenschicht, die mit rd. 70% am Gesamtvolumen beteiligt ist, um einen Temperaturausgleich mit den kälteren Innenschichten herbeizuführen. Eine nur 10 min dauernde Erwärmung reicht aus, um auch die Temperatur im Zentrum der 300 g schweren

* Unter Mitarbeit von:
Dr. F. SCHIERBAUM / Dr. M. RICHTER, Institut für Ernährung Potsdam-Rehbrücke der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin,
Dr. habil. GÖRLITZ, Institut für Landwirtschaftliches Untersuchungswesen Potsdam der DAL zu Berlin