

Workshop

Information & Kommunikation

Komplexe Steuerungs- und Regelungssysteme am Beispiel einer Gewächshausregelung

Stefan Schlöpker
Wolfgang Hohnhorst

Heft 1/00

Herausgeber:

Technik - Unterricht: Forum eV

Verband der Techniklehrer für die gymnasiale Oberstufe in NRW

Memelstraße 75
<http://www.tuf-ev.de>

47057 Dulsburg

Tel/Fax 0203 - 354992
Email: info@tuf-ev.de

1. Kurzbeschreibung

Vorgestellt wird eine Modellanlage, anhand derer einige ausgewählte Regelungsvorgänge aus der Gewächshausregelung abgebildet werden. An der Universität Münster wird die Anlage im Rahmen der Ausbildung von Techniklehrerinnen und -lehrern verwendet.

Zunächst erfolgen Erläuterungen zu den betrachteten Regelgrößen, den verwendeten Baugliedern und den für die Regelung erforderlichen versorgungstechnischen Prozessen. Der Regelungsprozess wird durch einen Einplatinencomputer überwacht. Die Kenndaten des Kleinrechners werden dargelegt und die Art der Programmierung wird skizziert. Abschließend werden charakteristische Kenn diagrams betrachten, die das Zeitverhalten ausgewählter Regeleinrichtungen und Regelstrecken abbilden.

2. Regelgrößen, Bauglieder, versorgungstechnische Prozesse

Aus der Vielzahl der Einflussgrößen auf die Pflanzenproduktion in einem Gewächshaus (**Abb. 1**) werden Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Beleuchtungsstärke als Regelgrößen ausgewählt. Als reine Messgröße wird zudem der Luftdruck erfasst.

Der Regelung der drei genannten Größen kommt in Gartenbaubetrieben auch in der Realität eine wichtige Bedeutung zu. Da eine genaue Einhaltung des idealen Temperaturbereichs für das Pflanzenwachstum besonders entscheidend ist, und da es unter den technischen Gegebenheiten ökonomisch sinnvoll war, wurde in vielen Betrieben zunächst die Regelung der Heizungs- und Lüftungsanlage automatisiert¹. Die Regelung der Luftfeuchte ist dagegen weit schwieriger, da es sehr aufwendig ist, der Luft den notwendigen Wasserdampf zuzuführen bzw. zu entziehen.

Zudem war ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen geregelter Luftfeuchte und steigender Ertragsausbringung lange nicht eindeutig nachgewiesen, so dass mit der Automatisierung dieser Abläufe erst später begonnen wurde².

Die gezielte Beeinflussung der Regelgrößen wird erreicht durch das Auslösen versorgungstechnischer Prozesse. Das sind hier: Heizen und Lüften (bzw. Kühlen) zur Temperaturregelung, Befeuchten und Austrocknen der Luft zur Luftfeuchterege lung sowie Zu- bzw. Abschalten von zwei Leuchtstofflampen zur Regelung der Beleuchtungsstärke. Die erforderlichen Bauglieder und die Signalflüsse zeigt **Abb. 2**. Der Aufbau der Modellanlage wird mit **Abb. 3** dokumentiert.

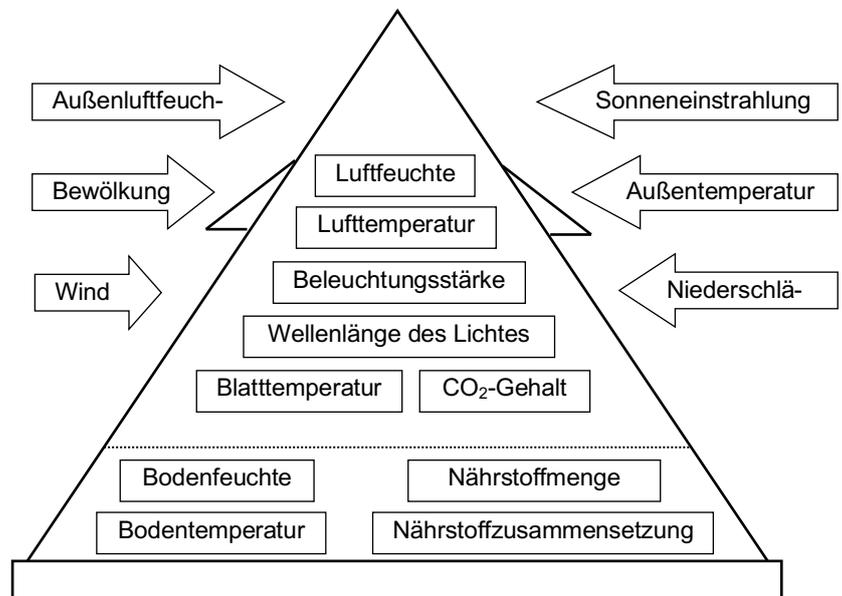


Abb. 1: Wichtige Einflussgrößen auf die Pflanzenproduktion in einem Gewächshaus

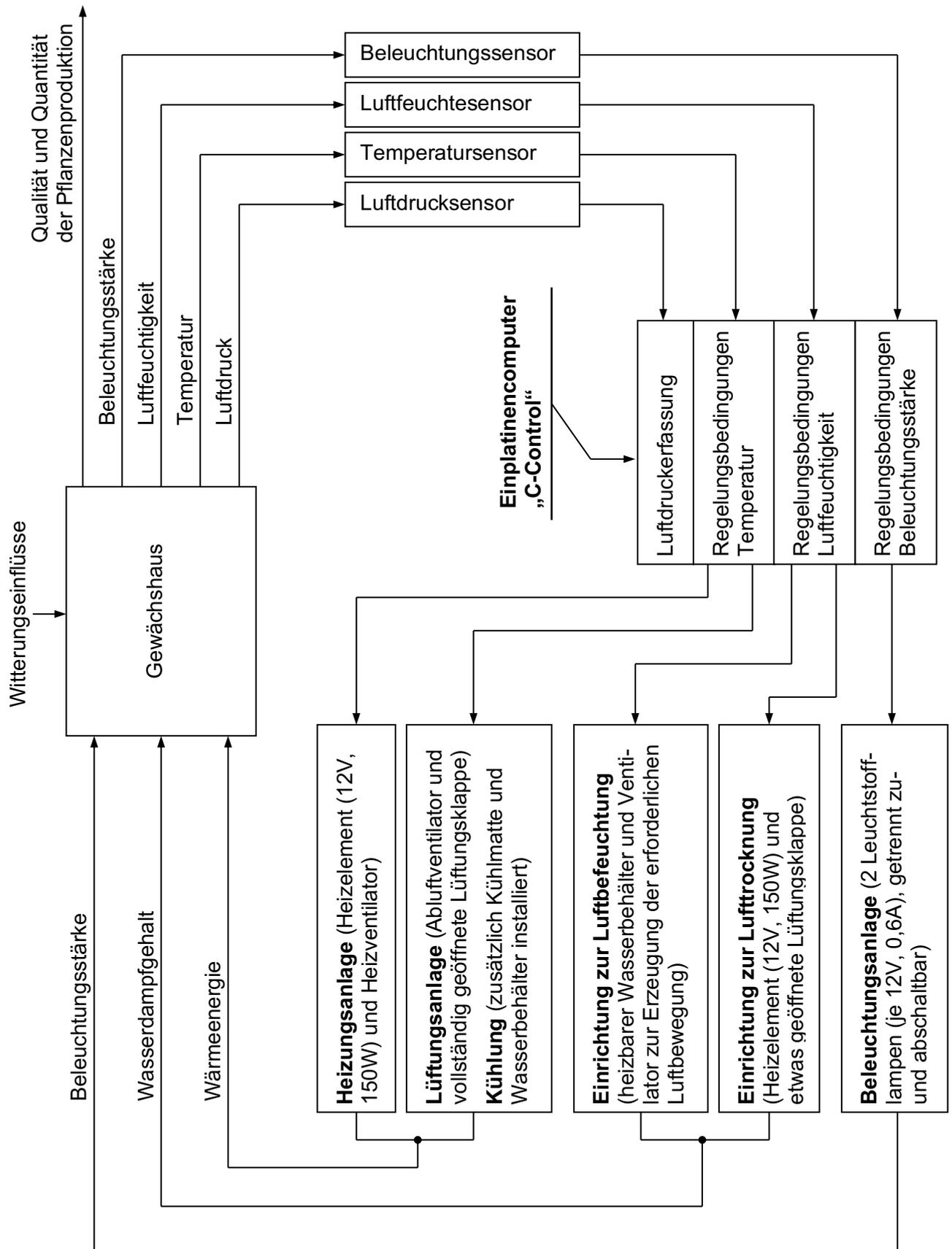


Abb. 2: Bauglieder und Signalflüsse der Regelungsanlage

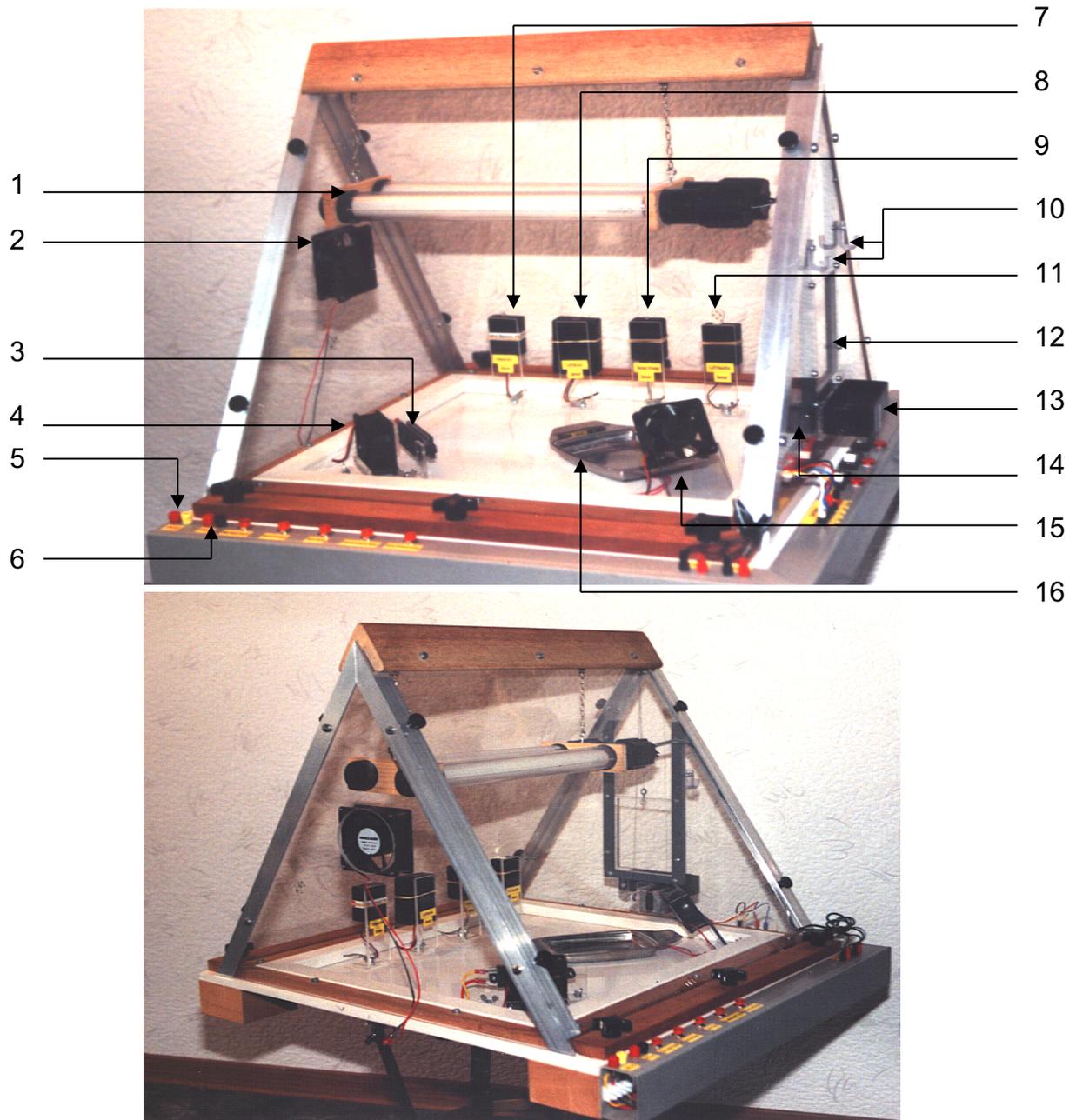


Abb. 3: Aufbau der Modellanlage

- | | |
|--|--|
| 1. Beleuchtung | 9. Beleuchtungssensor |
| 2. Abluftventilator | 10. Halterung für Kühlmatte |
| 3. Heizelement | 11. Luftfeuchtesensor |
| 4. Heizventilator | 12. Lüftungsclappe |
| 5. Anschlussbuchsen für Versorgungsspannung (12V AC nur zum Betrieb des Heizelementes) | 13. Wasserbehälter für Mattenkühlung |
| 6. Anschlussbuchsen für Versorgungsspannung (12V DC) | 14. Schrittmotor zur Positionierung der Lüftungsclappe |
| 7. Temperatursensor | 15. Feuchteventilator |
| 8. Luftdrucksensor | 16. Wasserbehälter mit Heizfolie |

3. Der Einplatinencomputer „C-Control“

3.1 Technische Daten und Aufbau des Einplatinencomputers

Die Überwachung sämtlicher Prozessabläufe erfolgt durch einen Einplatinencomputer. Verwendet wird ein Kleinrechner von der Firma Conrad Electronic („C-Control“) in Verbindung mit einer passenden Trägerplatine („Starterboard“, ebenfalls über Conrad Electronic zu beziehen). Die folgende Übersicht gibt wichtige technische Daten des Kleinrechners wieder.

Systemvoraussetzungen:	ab Windows 95 oder Windows NT 4.0
C-Control:	<ul style="list-style-type: none">- 4 MHz Mikroprozessor (Typ: MC68HC05B6)- 8 AD-Wandlereingänge zu 8 Bit- 16 Digitalports, jeweils wahlweise als Eingang oder Ausgang (5V, 10mA) programmierbar- 2 DA-Ausgänge, pulsweitenmoduliert, 8 Bit- 8 kB EEPROM-Speicher (Typ: 24C65)
Starterboard:	<ul style="list-style-type: none">- $U_B = 8V \dots 12V$ (empfohlen 9V)- liefert eine stabilisierte 5V Betriebsspannung für den Controller und die erforderlichen Versorgungs- und Referenzspannungen zum Betrieb von Sensoren- 2 Relais (Schließer, max. 24 V, 3A) als Leistungstreiber zum Anschluss von Aktoren- mechanische und elektrische Verbindung zum Controller über 2 Stiftleisten
Programmierung:	<ul style="list-style-type: none">- erfolgt am PC- Übertragung des Programms in das EEPROM über serielle Schnittstelle- erhältlich wahlweise mit einer graphischen Programmieroberfläche („CC-Plus“) oder Programmierung in einem BASIC-Dialekt
Preis:	149,95 DM (C-Control, Starterboard und Software)

3.2 Programmierung

Ausgewählt wurde die graphisch programmierbare Variante des Einplatinencomputers („CC-Plus“). Sie erscheint im Hinblick auf die Zielgruppe geeignet, denn einerseits sind die Programmiersymbole einprägsam und für den Anwender schnell zu erschließen. Der Zeitaufwand zum Erlernen der Sprache, die ja ein Werkzeug zur Bewältigung des eigentlichen regelungstechnischen Problems ist, ist somit verhältnismäßig gering. Andererseits können typische elementare Programmiertechniken (Verwenden von Endlosschleifen, Verzweigungen, Unterprogrammen, etc.) auch unter CC-Plus angewandt werden.

Ein CC-Plus-Programm besteht aus einzelnen Programmzellen, die in dem einfachen Fall, dass keine Programmsprünge oder Verzweigungen vorgegeben werden, nacheinander abgearbeitet werden. Die Programmierbefehle sind als graphische Symbolblöcke in einem Menü abgelegt. In den einzelnen Programmzellen können Quellblöcke (Digital- oder AD-Eingänge, Variablen- und Konstantenspeicher, Zeitgeberblöcke u.a.) und Mündungsblöcke (Digital- und DA-Ausgänge, Variablenblöcke, Programmablaufbefehle u.a.) durch Berechnungen, Größenvergleiche, logische Funktionen miteinander verknüpft werden.

Die Bildschirmoberfläche bei der Programmierung mit CC-Plus zeigt Abb. 4. Links im Bild zu sehen ist ein Ausschnitt aus dem geöffneten Programmzellenbaum eines Programms zur Temperaturregelung, rechts im Bild eine geöffnete Programmzelle. In dieser Zelle (Zelle 11, Bezeichnung: „Temp Abfrage 1“) werden die Bedingungen zum Ein- und Ausschalten einer Heizungsanlage bestimmt. Der Analogeingang AD1, an dem extern ein Temperatursensor angeschlossen ist, wird abgefragt. Als Ausgang wird der Digitalport P3 angesprochen, der als Schalter für ein Heizelement dient. Die Heizung ist genau dann zugeschaltet, wenn AD1 einen Wert kleiner oder gleich 85 liefert (was einer Temperatur von 23°C entspricht; programmierseitig sind diese Werte durch eine Umsetzungstabelle einander zugeordnet) oder wenn der AD1-Wert echt kleiner als 87 ist (entspricht 24°C) und die Heizung bereits eingeschaltet ist. Auf diese Weise wird die Schalthysterese eines Zweipunktreglers festgelegt.

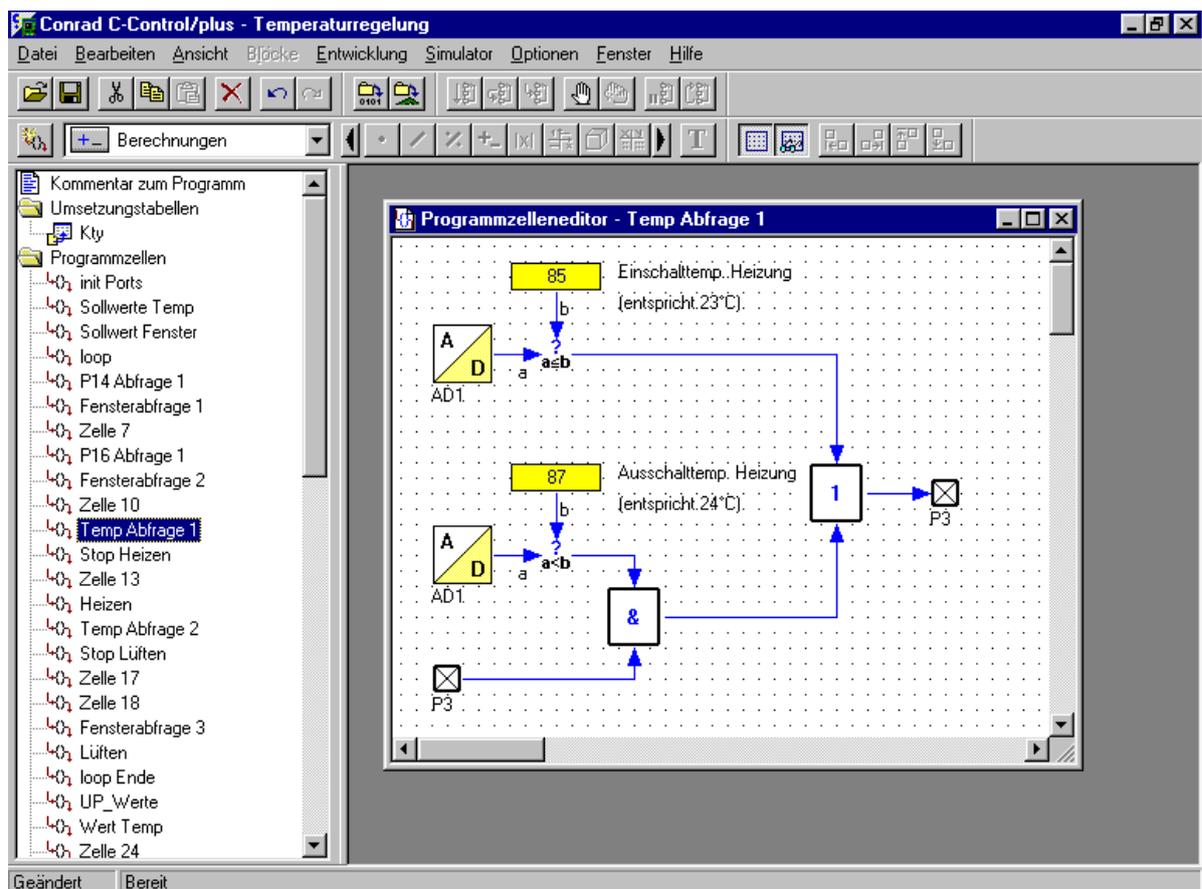


Abb. 4: Bildschirmoberfläche bei der Programmierung unter CC-Plus

4. Kenndiagramme einiger Regler und Regelstrecken

Betrachtet wird hier das Regelverhalten der Modellanlage bzgl. der Größen Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

Durch die Programmierung wurde festgelegt, dass die Messdaten und die Betriebszustände der Anlage in regelmäßigen Intervallen von 10s vom Kleinrechner über die serielle Schnittstelle an einen angeschlossenen PC übertragen werden. Dort können die Werte mit dem unter „Windows 95“ installierten Programm „Hyperterminal“ empfangen und anschließend mit „MS Excel“ weiterbearbeitet werden. Auf diese Weise sind die folgenden Kenndiagramme entstanden.

Zunächst wird beispielhaft das Betriebsverhalten des Zweipunktreglers zur Befeuchtung der Luft dargestellt (Abb. 5). Die Werte wurden bei folgenden Parametern aufgezeichnet:

Temperatur: $\vartheta = 21^{\circ}\text{C}$

Außenluftfeuchte: $\varphi = 43\%$

Unterer Schaltpunkt:

$\varphi_{\text{Ein}} = 81\%$

Oberer Schaltpunkt:

$\varphi_{\text{Aus}} = 83\%$

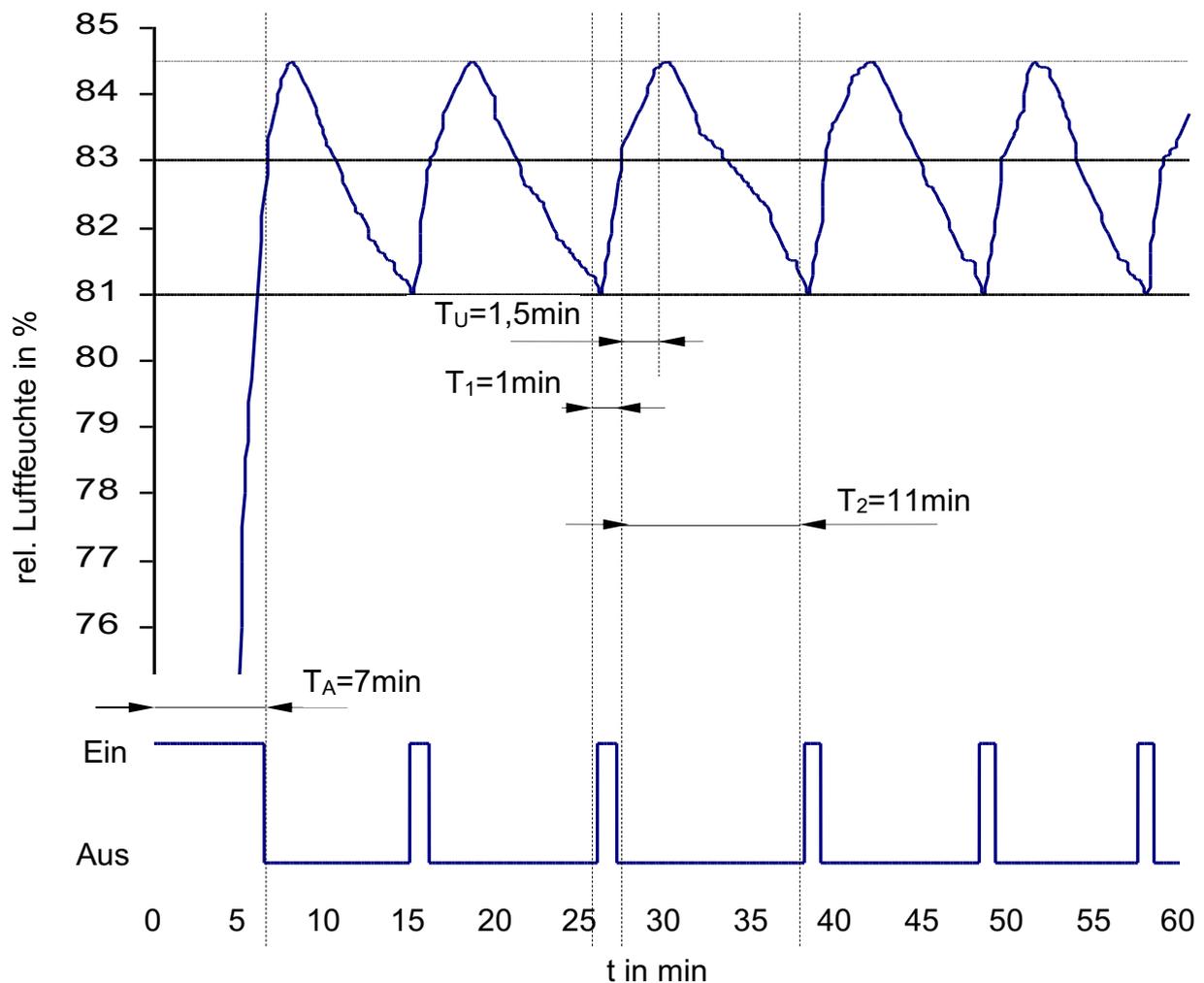


Abb.5: Zeitverhalten der Einrichtung zur Luftbefeuchtung

Folgende Kenndaten zum Zeitverhalten des Reglers werden aus dem Kurvenverlauf ermittelt:

- Anregelzeit: $T_A = 7\text{min}$
- Ausschaltzeit: $T_2 = 11\text{min}$
- Periodendauer: $T = T_1 + T_2 = 12\text{min}$
- Einschaltzeit: $T_1 = 1\text{min}$
- Verzugszeit: $T_U = 1,5\text{min}$

Die absolute Überschwingweite der Regelgröße liegt um 1,5% relativer Luftfeuchte über dem Ausschaltpunkt des Reglers.

Durch das Betätigen externer Schalter kann das Eingreifen von Störgrößen in den Regelungsprozess simuliert werden. Es sind drei unterschiedliche Störprozesse ausführbar: „Stören durch Heizen“, „Stören durch Befeuchten“ und „Stören durch Lüften“.

Betrachtet wird hier das „Stören durch Befeuchten“. Die Befeuchtungseinrichtung wird mit Volllast betrieben. Die Luftfeuchtigkeit im Gewächshaus kann auf diese Weise zur Sättigung gebracht werden. Das folgende Diagramm zeigt das Verhalten von Luftfeuchtigkeit (φ) und Temperatur (ϑ) während des Eingreifens der Störung und das anschließende Einregelungsverhalten der Anlage.

Ausgangswerte: $\vartheta = 17^\circ\text{C}$, $\varphi = 65\%$

Sollwerte: $\vartheta = 23,5^\circ\text{C}$ bis $24,5^\circ\text{C}$

$\varphi = 81\%$ bis 85%

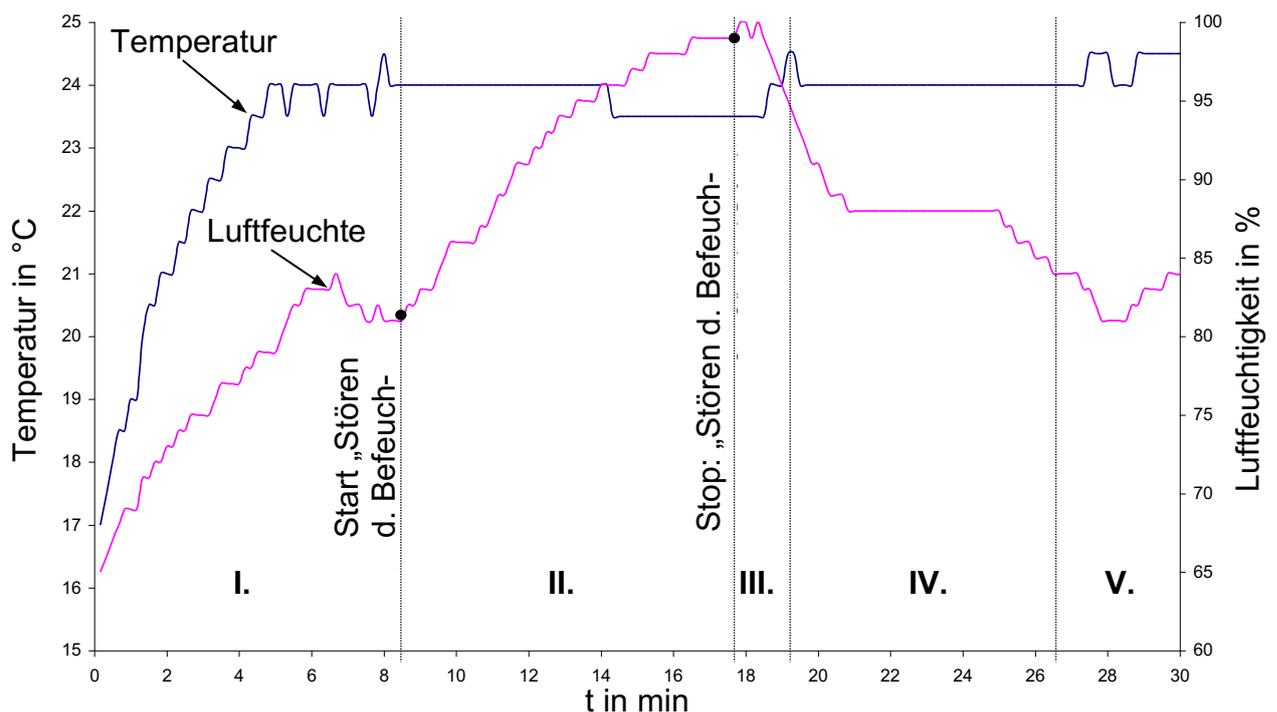


Abb. 6: Verhalten von Temperatur und Luftfeuchtigkeit beim „Stören durch Befeuchten“

Zeitphase I:

Die Größen ϑ und φ werden eingeregelt. Die Anregelzeit beträgt für ϑ etwa 5 min, für φ etwa 6 min.

Zeitphase II:

Der Störprozess wird ausgelöst. Die Regelung der Temperatur ist währenddessen ausgeschaltet. Die Luftfeuchtigkeit steigt innerhalb von 9 min auf 100%. Die Temperatur fällt dabei um $0,5^{\circ}\text{C}$.

Zeitphase III:

Nach Beendigung des Störens durch Befeuchten wird zunächst die Temperatur in ca. 1,5 min auf den Sollwert gebracht. Dadurch sinkt φ auf 95%. (Solange die Temperatur unter dem Sollwert liegt wird der Trocknungsprozess nicht ausgelöst, da bei konstantem absoluten Wasserdampfgehalt der Luft die relative Luftfeuchtigkeit mit steigender Temperatur ohnehin sinkt.)

Zeitphase IV:

Da der Temperatursollwert nun erreicht ist, die Luftfeuchtigkeit jedoch noch nicht weit genug abgesenkt wurde, beginnt der Austrocknungsprozess. Das Heizelement wird bei geöffnetem Fenster betrieben, so dass die zusätzliche Wärme an die Umgebung abgeführt wird. Nach etwa 7,5 min ist die Luft auf den Sollwert ($\varphi = 85\%$) ausgetrocknet, ohne dass die Temperatur dabei ansteigt. Auffallend ist der relativ lange Zeitraum (etwa 4 min), währenddessen φ konstant den Wert 88% beibehält. Während dieser Zeit wird das Wasser abgeführt, das sich als Tau an den Außenwänden niedergeschlagen hat.

Zeitphase V:

Die Größen befinden sich im eingeregelter Zustand.

5. Schluss

Wie bereits erwähnt wurde, wird die Modellanlage an der Universität Münster im Rahmen der Ausbildung von Techniklehrerinnen und -lehrern eingesetzt. Zum einen können daran Grundkenntnisse und -fertigkeiten in der Programmierung erworben werden. Zum anderen lassen sich wichtige regelungstechnische Zusammenhänge verdeutlichen. Das sind insbesondere das Schaltverhalten un stetiger Regler (Zweipunkt- und Mehrpunktregler, mit und ohne Grundlast) und das Zeitverhalten von Regelstrecken (Beleuchtung: P-Strecke ohne Verzögerung; Temperatur: P-Strecke mit Verzögerung; Luftfeuchtigkeit: I-Strecke). Darüber hinaus ergeben sich vielerlei Anknüpfungspunkte zu weiteren Gebieten aus der Technik, wie zum Beispiel zur Sensor- und Messtechnik, zur Verstärkertechnik und zu den Gesetzmäßigkeiten der Feuchten Luft.

Bezogen auf Schule, insbesondere mit Blick auf die Sekundarstufe 2, sind ein Unterrichtsprojekt „Bau und Regelung eines Gewächshausmodells“ und die Verwendung der Modellanlage zu Experimentierzwecken, d.h. dem Ermitteln, Darstellen, Auswerten und Vergleichen von Kenndaten, sicherlich denkbar. Sollte Interesse bestehen, können Konstruktionsunterlagen und weitergehende Informationen bei den Verfassern angefragt werden. Kontakt vermittelt das Institut für Technik und ihre Didaktik an der Universität Münster.



Anmerkungen:

¹ Vgl.: Kanthak, P.: Klima und Klimatisierung von Gewächshäusern. 66f. Berlin (West)/Hamburg, 1973

² ebd.: 133f

Literatur:

Busch, P.: Elementare Regelungstechnik – Allgemeingültige Darstellung ohne höhere Mathematik. Würzburg, 1991

Kainka, B.: Messen – Steuern – Regeln mit dem C-Control/BASIC-System. Poing, 1998

Kanthak, P.: Klima und Klimatisierung von Gewächshäusern. Berlin (West)/Hamburg, 1973

Mierswa, D. & Jacobi, K.-H.: Gärtnern unter Glas und Folie. München, Bern, Wien, 1977