



Das Lebensministerium



Energieeinsparung durch Licht- und Windkorrektur

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Heft 24/2009

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Entwicklung neuer Methoden zur Energieeinsparung bei der Steuerung des Gewächshaus-
klimas unter Einbeziehung der Einstrahlung und Windgeschwindigkeit
(Gewächshaussteuerung zur Energieeinsparung im Zierpflanzenbau II)**

2007 bis 2009

Stephan Wartenberg

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung und Problemstellung | 1 |
| 2 | Material und Methoden | 3 |
| 2.1 | Gewächshäuser | 3 |
| 2.2 | Steuerungsmodelle | 4 |
| 2.2.1 | Standard Nachtabenkung | 4 |
| 2.2.2 | Standard cool morning | 5 |
| 2.2.3 | Dynamische Außentemperaturkorrektur | 5 |
| 2.2.4 | Dynamische Lichtkorrektur | 6 |
| 2.2.5 | Windkorrektur | 7 |
| 2.2.6 | Temperatursummenkontrolle | 8 |
| 2.3 | Pflanzenarten und -sorten | 9 |
| 2.4 | Datenerfassungen | 10 |
| 2.4.1 | Klimadaten Gewächshäuser und Außen | 10 |
| 2.4.2 | Wärmeverbrauchsmessungen | 10 |
| 2.4.3 | Merkmalerfassungen an den Pflanzen | 11 |
| 2.4.4 | Biometrische Auswertungen | 13 |
| 3 | Versuche und Ergebnisse | 13 |
| 3.1 | Poinsettien 2007 | 13 |
| 3.2 | Schnittcyclamen 2007 - 2008 | 17 |
| 3.3 | Beet- und Balkonpflanzen 2008 | 20 |
| 3.4 | Topfcyclamen 2008 | 24 |
| 3.5 | Poinsettien 2008 | 27 |
| 3.6 | Pelargonien 2009 | 32 |
| 4 | Zusammenfassung und Schlussfolgerungen | 35 |
| 4.1 | Energieeinsparung | 35 |
| 4.2 | Kulturdauer, Ertrag und Qualität | 37 |
| 4.3 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | 37 |
| 4.4 | Schlussfolgerungen | 39 |
| 5 | Literaturhinweise | 41 |

1 Einleitung und Problemstellung

Seit mehr als zwei Jahrhunderten wird durch Gewächshäuser Solarenergie für die Kultur von Pflanzen genutzt. In Tageszeiten mit unzureichender Einstrahlung oder niedrigen Außentemperaturen muss bisher jedoch Heizenergie zugeführt werden, um die für die Pflanzen erforderlichen Temperaturen zu halten. Dieser Energiebedarf konnte im Laufe der Zeit durch eine Reihe technischer Entwicklungen wie pflanzennahe Heizungen, Mehrfachverglasung und Doppelfolien, automatisierte Steuerungen der Heizungs- und Lüftungssysteme sowie den Einbau von Energieschirmen verringert werden.

Die Energiepreiskrise der letzten Jahre forcierte die Anstrengungen für eine weitere Senkung des Heizenergieeinsatzes in Gewächshäusern. Um die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gezielt vorantreiben zu können, wurden die Modelle für die Wärmebilanzierung von Gewächshäusern qualifiziert. Aktuelle Modelle, wie zum Beispiel MEYER 2008 (siehe Abbildung 1) beschreiben die Wärmeverluste von Gewächshäusern als dynamische Prozesse mit den Komponenten Wärmeleitung, Wärmeströmung und Strahlungsbilanz beziehungsweise Abstrahlung.



Abbildung 1: Wärmeübergänge an Gewächshäusern nach MEYER 2008

Die Verluste durch Wärmeleitung zum Beispiel in den Untergrund oder durch das Bedachungsma-
terial hängen danach neben der Fläche und Schichtdicke sowie deren Wärmeleitfähigkeit von der
Temperaturdifferenz ab. Der Wärmeübergang durch Strahlung ist die Differenz zwischen der Ener-
giezufuhr durch Einstrahlung und der Energieabgabe durch Abstrahlung. Der Wärmeübergang
durch Wärmeströmung an der Gewächshausaußenhaut wird neben dem Wärmeübergangskoeffi-
zienten und der Fläche wesentlich durch die Differenz zwischen der Oberflächen- und Umge-
bungstemperatur sowie die Windgeschwindigkeit bestimmt.

Wesentliche Parameter für die Verluste durch Wärmeleitung, Wärmeströmung und Abstrahlung
werden durch die Gewächshauskonstruktion bestimmt und sind bei einem bestehenden Gewächs-
haus mehr oder minder festgelegt. Für eine Energieeinsparung über die Steuerung des Gewächs-
hausklimas sind dagegen jene Faktoren der Wärmeverluste von Bedeutung, die bei bestehender
Konstruktion variieren. Diese sind

- die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen,
- die wesentlich durch die Einstrahlung bestimmte Strahlungsbilanz sowie
- die Windgeschwindigkeit.

Der Ansatzpunkt der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen wurde mit dem Konzept der
Außentemperaturkorrektur des Heizungssollwertes verfolgt. Dadurch sind Energieeinsparungen in
der Größenordnung von 10 bis 20 % erzielbar (WARTENBERG 2007). Ziel der hier dargestellten Ar-
beiten war die Nutzung der Variation der Einstrahlung sowie der Windgeschwindigkeit für eine
Energieeinsparung über eine Dynamisierung der Klimasteuerung.

Die Möglichkeit zu einer Energieeinsparung durch eine Dynamisierung der Klimasteuerung, in
erster Linie eine Anpassung des Heizungssollwertes an die konkrete energetische Situation, wird
dabei erst durch das Wärmeintegrationsvermögen der Pflanzen gegeben. In gewissen Grenzen
sind Pflanzen in der Lage, ein geringeres Wachstum aus Zeiten mit niedrigerer Temperatur oder
auch niedrigerer Einstrahlung durch ein stärkeres Wachstum in Zeiten mit höherer Temperatur oder
auch höherer Einstrahlung auszugleichen (MENNE 1992). Insbesondere bei Zierpflanzen besteht
dafür Spielraum, da für eine Qualitätsproduktion die Klimasteuerung nicht ausschließlich auf maxi-
male Photosynthese, maximales Wachstum ausgerichtet ist. Das Wärmeintegrationsvermögen der
Pflanzen ermöglicht so, den Wärmebedarf zu höheren Anteilen in energetisch günstigen Situatio-
nen zu decken sowie in energetisch ungünstigen Situationen Heizenergie einzusparen, beispiele-
weise durch Temperaturabsenkungen.

Die Grenzen für eine Energieeinsparung durch eine Dynamisierung der Klimasteuerung werden
dabei durch die Vorgabe gesetzt, dass weder eine wesentliche Verlängerung der Kulturdauer noch
Qualitätsverluste toleriert werden. Diese pflanzenbaulichen Grenzen waren für wichtige Hauptkultu-
ren zu ermitteln. Ein Werkzeug zur Sicherung dieser Grenzen kann die Einbindung einer Tempe-
ratursummenüberwachung in das Steuerungsmodell sein. Die Vor- und Nachteile einer Tempe-
ratursummenüberwachung beispielsweise im Hinblick auf Jahre mit besonderen Witterungsabläufen
oder die Flexibilität bei der Nutzung der Gewächshäuser sollten ebenfalls ermittelt und bewertet
werden.

2 Material und Methoden

2.1 Gewächshäuser

Die Versuche wurden in den Gewächshäusern 10 und 11 der Versuchsgärtnerei des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz durchgeführt. Die in Südost-Nordwest-Richtung aufgestellten Breitschiffgewächshäuser entsprechen der Grundkonstruktion Deutsches Normgewächshaus. Jedes Haus ist in drei Kabinen zu 185 m² Grundfläche unterteilt. Die Verglasung besteht im Dachbereich aus Gartenblankglas und im Stehwandbereich aus Isolierglas (Doppelverglasung). Die einzelnen Kabinen sind jeweils mit sechs Rolltischen á 20 m² ausgestattet. Die Bewässerung erfolgt über eine Anstaubewässerung. Jede der Kabinen ist separat klimatisierbar.

Die Wärmeversorgung erfolgt über eine Zufuhr von der zentralen Heizungsanlage (Erdgas). Jede Kabine ist mit einer Untertisch-, Stehwand- und hohen Rohrheizung ausgestattet, wobei jeder Heizungskreislauf einzeln steuerbar ist. Die Lüftung erfolgt über zweiseitige durchgehende Firstlüftungen sowie über Seitenlüftungen in beiden Stehwänden. Für den Energiehaushalt ist weiterhin der trapezförmig in Traufenhöhe angebrachte Schattier-/Energieschirm von wesentlicher Bedeutung. Das weiße Acrylgewebe (Isocryl) hat einen Schattier-Nennwert von 60 % und einen Energiedämmwert von 40 %. Bei der Kultur von Poinsettien wurde zusätzlich die Verdunklungsanlage eingesetzt. Der aus schwarzem Gewebe bestehende Verdunklungsschirm läuft unterhalb der hohen Rohrheizung und schließt mit senkrechten Vorhängen seitlich bis zum Boden ab.



Abbildung 2: Lage der für die Versuche zu den Heizungssteuerungsprogrammen genutzten Abteile in der Pillnitzer Versuchsgewächshausanlage

2.2 Steuerungsmodelle

Die Pillnitzer Versuchsgewächshäuser sind mit Steuerungs- und Regelungstechnik der Firma RAM, Herrsching vom Typ CC 600 ausgestattet. Die Standard-Steuerungsprogramme sind in den Produktunterlagen „CC 600 Computeranlage K1511“ der RAM Elektronische Regelsysteme Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik Herrsching (RAM 2003) beschrieben. Die neuen Steuerungsmodelle für die Energieeinsparung wurden auf dem Bedienungs-PC in einer speziellen ACCESS-Runtime-Umgebung programmiert. Über die ODBC-Schnittstelle erfolgten die Einbindung und Umsetzung in die RAM-Gewächshaussteuerung.

Im Folgenden werden die in den Versuchen angewendeten Steuerungsmodelle kurz vorgestellt. Die konkreten Programmvarianten der einzelnen Versuche sowie deren Einstellwerte sind jeweils unter Punkt 3 Versuche und Ergebnisse zu finden. Sehr häufig wurden in den Versuchen mehrere Steuerungsmodelle als Programmbausteine kombiniert, um eine maximale Energieeinsparung zu erzielen und gleichzeitig die Kulturdauer und die Pflanzenqualität zu sichern.

2.2.1 Standard Nachtabsenkung

Die konventionelle Strategie der Nachtabsenkung hat von jeher die Einsparung an Heizenergie zum Ziel. Fehlende Einstrahlung und die im Regelfall absinkende Außentemperatur verschlechtern nachts die energetische Situation des Gewächshauses. Durch eine Absenkung des Heizungswertes um 2 bis 3 K wird dem Anwachsen des Energiebedarfs in der Nacht entgegengewirkt. Der damit erreichbaren Energieeinsparung steht eine Reihe von Nachteilen entgegen:

- Es kommt zu einer Kulturzeitverlängerung beziehungsweise die Tagtemperatur muss angehoben werden, um in etwa die gleiche reale Tagesmitteltemperatur zu erreichen.
- Hohe Tages- und niedrige Nachttemperaturen fördern ein starkes Streckungswachstum, was bei vielen Topfkulturen unerwünscht ist. Dem muss durch einen erhöhten Aufwand in der chemischen Wachstumsregulierung entgegengesteuert werden oder es kommt zu Qualitätsverlusten.
- Das Risiko hoher Luftfeuchte oder auch von Niederschlag wird stark erhöht. Dies fördert vor allem den Befall mit Pilzkrankheiten.

Der energetische Vorteil einer Nachtabsenkung ist in modernen Gewächshäusern mit dichten Energieschirmen stark reduziert. Die Energieschirme vermindern den nächtlichen Energiebedarf um 40 bis 60 %, sodass heute bei vielen Kulturen zur Vermeidung der oben genannten Nachteile auf eine Nachtabsenkung verzichtet wird.

In den Versuchen wurde eine Nachtabsenkung bei der Kultur von Schnittcyclamen angewendet, da hier eine Förderung des Streckungswachstums erwünscht ist.

2.2.2 Standard cool morning

Die Temperaturstrategie cool morning (= CM, synonym drop) wurde ursprünglich zur Verminderung des Einsatzes chemischer Wachstumsregulatoren bei der Topfpflanzenproduktion entwickelt. Eine drastische Temperaturabsenkung in den frühen Morgenstunden fördert ein kompaktes Pflanzenwachstum. Dieses Programm ist ein guter Standard hinsichtlich der Pflanzenqualität. Gleichzeitig bietet diese Regelstrategie von Haus aus ein Grundpotenzial zur Energieeinsparung, weil in den frühen Morgenstunden auch die Außentemperatur ihren niedrigsten Punkt erreicht. Allerdings geht dieser Einspareffekt durch die zeitweise Öffnung der Lüftung sowie einen notwendigen Temperaturengleich während anderer Tagesstunden teilweise wieder verloren. Zur Minimierung der Wärmeverluste hat sich folgende Vorgehensweise zur Erreichung des cool morning bewährt, die auch in den Versuchen zur Anwendung kam:

Tabelle 1: Ablauf cool morning

| Zeitpunkt relativ zum Sonnenaufgang | Schritt |
|-------------------------------------|---|
| -1 h | Absenkung des Heizungssollwertes (zum Beispiel auf 8 °C) |
| -30 min | Öffnen des Energieschirmes |
| ±0 min | Absenken des Lüftungssollwertes (zum Beispiel auf 10 °C) |
| +2 h | Anheben des Lüftungssollwertes auf den normalen Tagessollwert |
| +3 h | Anheben des Heizungssollwertes auf den normalen Tagessollwert |

In den Versuchen wurde cool morning sowohl bei der Kultur von Beet- und Balkonpflanzen als auch von Poinsettien angewendet.

2.2.3 Dynamische Außentemperaturkorrektur

Die dynamische Außentemperaturkorrektur (= dAT) ist eine neuere Heizungssteuerungsstrategie zur Energieeinsparung (siehe WARTENBERG 2007). Es erfolgt eine Korrektur des Heizungssollwertes in Abhängigkeit von den Schwankungen der Außentemperatur als einer der wesentlichen Einflussgrößen auf den Verbrauch an Heizenergie. Dabei wird ein Basis-Heizungssollwert nach der Abweichung der realen Außentemperatur von ihrem Erwartungswert (= langjähriges Stundenmittel) korrigiert. Ist es für die konkrete Jahres- und Tageszeit zu kalt beziehungsweise zu warm, erfolgt eine Absenkung beziehungsweise Anhebung des Heizungssollwertes. Ziel ist es, die Wärmeintegration durch die Pflanze weniger über die Tag/Nacht-Wechsel als über mehrtägige Witterungsschwankungen durchzuführen.

Der mathematische Modellbaustein für die dynamische Außentemperaturkorrektur lautet:

$$HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll})$$

| | |
|--------------|--|
| HT_{akt} | = aktualisierter Heizungssollwert in °C |
| HT_{Basis} | = Basis-Heizungssollwert in °C |
| k | = Schalterfaktor für Anhebung bzw. Absenkung |
| F_{AT} | = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur (= 0,2 bei „Pillnitz sanft“ bzw. = 0,3 bei „Pillnitz stark“) |
| AT_{Ist} | = Istwert Außentemperatur in °C |
| AT_{Soll} | = Erwartungswert Außentemperatur in °C (langjähriges Mittel) |

Durch die Schalterfunktionen

WENN $AT_{Ist} > HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0$
 WENN $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0,2$ bzw. $0,3$ für „Pillnitz sanft“ bzw. „Pillnitz stark“
 WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} > 0$, DANN $k = 1$ (Anhebung)
 WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} < 0$, DANN $k = 2$ (Absenkung)

werden die Abschaltung der Außentemperaturkorrektur bei einer über dem Basis-Heizungssollwert liegenden Außentemperatur sowie die gegenüber der Anhebung doppelt so starke Absenkung realisiert.

Der Lüftungssollwert wird durch folgenden Baustein bei einer Anhebung des Heizungssollwertes ebenfalls angehoben, um ein gleichzeitiges Heizen und Lüften zu vermeiden.

WENN $(HT_{akt} - HT_{Basis}) \geq 0$, DANN $LT_{akt} = HT_{akt} + \Delta t$

LT_{akt} = aktualisierter Lüftungssollwert in °C
 HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C
 HT_{akt} = aktualisierter Heizungssollwert in °C
 Δt = Abstand Heizungs-/Lüftungssollwert (z. B. 2 bis 4 K)

Die dynamische Außentemperaturkorrektur verringert die Wärmeverluste durch Wärmeleitung und Wärmeströmung, indem die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen verkleinert beziehungsweise der Gradient der Oberflächentemperaturen am Gewächshaus von innen nach außen verringert wird.

2.2.4 Dynamische Lichtkorrektur

Eine Lichtkorrektur des Heizungssollwertes ist nichts Neues. Viele Regelprogramme zur Gewächshausklimatisierung enthalten entsprechende Bausteine. Die direkte, meist lineare Abhängigkeit des Heizungssollwertes von der Beleuchtungsstärke führt dabei zwangsläufig zu erheblichen Tag-/Nacht-Schwankungen, die das Streckungswachstum unerwünscht stark fördern.

Bei der dynamischen Lichtkorrektur (= dLK) dagegen wird der Heizungssollwert nach der Abweichung der aktuellen Einstrahlung vom langjährigen Mittel korrigiert. Der normale Tagesverlauf und

die durchschnittliche Änderung des Lichtangebotes durch die Jahreszeit werden so als Einflussfaktoren weitgehend ausgeschlossen. Nur wenn die aktuelle Einstrahlung unter dem langjährigen Mittel für den konkreten Kalendertag und die konkrete Tageszeit liegt, erfolgt eine Korrektur des Basis-Heizungssollwertes nach unten. Auf eine Korrektur des Basis-Heizungssollwertes nach oben wurde verzichtet, da eine starke Einstrahlung die energetische Situation des Gewächshauses ohnehin rasch verbessert und häufig die Gewächshautemperatur den Heizungssollwert überschreitet.

Der Programmbaustein für die dynamische Lichtkorrektur lautet:

$$HT_{akt} = HT_{Basis} + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll})$$

| | |
|--------------|--|
| HT_{akt} | = aktualisierter Heizungssollwert in °C |
| HT_{Basis} | = Basis-Heizungssollwert in °C |
| F_L | = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur |
| BS_{Ist} | = Istwert Beleuchtungsstärke in klx |
| BS_{Soll} | = Erwartungswert Beleuchtungsstärke in klx (langjähriges Mittel) |

Für die Skalierung der Absenkung des Basis-Heizungssollwertes in Abhängigkeit von der Differenz zwischen der aktuellen Beleuchtungsstärke und dem langjährigen Mittel wurde der Faktor 0,2 gewählt. Liegt die aktuelle Einstrahlung beispielsweise 10 klx unter dem langjährigen Mittel, wird der Heizungssollwert um 2 K abgesenkt.

Durch die Schalterfunktionen

WENN $BS_{Ist} < BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0,2$
WENN $BS_{Ist} \geq BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0$

wird die Abschaltung der Lichtkorrektur bei einer aktuellen Einstrahlung gleich oder über dem langjährigen Mittel realisiert.

Die dynamische Lichtkorrektur verringert die Wärmeverluste durch eine Verbesserung der Strahlungsbilanz. Bei relativ niedriger Einstrahlung erfolgt eine Absenkung des Heizungssollwertes und damit eine Reduzierung der Abstrahlung.

2.2.5 Windkorrektur

Bei der Windkorrektur (WK) wird auf hohe Windgeschwindigkeiten mit einer Absenkung des Heizungssollwertes reagiert. Dieser Programmbaustein wurde als einfacher Schalter realisiert, der bei Windgeschwindigkeiten von mehr als 3,5 m/s den Basis-Heizungssollwert pauschal um 1 K abgesenkt.

Der Programmbaustein für die Windkorrektur lautet:

$$HT_{akt} = HT_{Basis} - W$$

mit WENN $v_w > 3,5$ m/s, DANN $W = 1$ K

| | |
|--------------|---|
| HT_{akt} | = aktualisierter Heizungssollwert in °C |
| HT_{Basis} | = Basis-Heizungssollwert in °C |
| v_w | = Windgeschwindigkeit im m/s |
| W | = Windkorrektur (z. B. 1 K) |

Die Windkorrektur verringert die Wärmeverluste durch Wärmeströmung, die direkt von der Windgeschwindigkeit abhängt. In Starkwindsituationen erfolgt eine Absenkung des Heizungssollwertes. Die damit verbundene Reduzierung der Differenz zwischen der Oberflächentemperatur des Gewächshauses und der Umgebungstemperatur führt zu einem geringeren Wärmeübergang durch Wärmeströmung.

2.2.6 Temperatursummenkontrolle

Die oben beschriebenen Programmbausteine zur Energieeinsparung setzen auf die Fähigkeit der Pflanzen zur Wärmeintegration. Bei zu starken Abweichungen vom normalen, bisher üblichen Wärmeangebot kommt es zu Kulturzeitverlängerungen oder Qualitätsverlusten. Um das sicher zu vermeiden, kann eine Temperatursummenkontrolle (TSK) angewendet werden. Dabei geht es nicht nur um die Temperatursumme zum Kulturrende, auch während der Kultur toleriert die Pflanze nur Abweichungen in einem bestimmten Korridor, wenn eine bestimmte Kulturdauer und Zielqualität eingehalten werden soll. Die Temperatursummenkontrolle wurde deshalb als offene Lösung entwickelt, die während der laufenden Kultur einerseits Schwankungen zulässt, andererseits extremen Abweichungen entgegensteuert.

Bezugsgröße für die Temperatursummenkontrolle ist der Tagesmitteltemperatursollwert. Um die Kulturdauer und Qualität wie bisher beizubehalten, sollte dieser der bisherigen realen Durchschnittstemperatur für die konkrete Kultur entsprechen. Wo dafür keine aufgezeichneten Werte vorliegen, kann zunächst mit dem Mittelwert zwischen dem Basis-Heizungssollwert und dem Basis-Lüftungssollwert gearbeitet werden.

Der Programmbaustein für eine Temperatursummenkontrolle lautet:

$$HT_{akt} = HT_{Basis} - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$$

mit $TS_{Soll} = TM_{Soll} * n$

| | |
|--------------|--|
| HT_{akt} | = aktualisierter Heizungssollwert in °C |
| HT_{Basis} | = Basis-Heizungssollwert in °C |
| F_{TS} | = Skalierungsfaktor Temperatursummenkorrektur (z. B. 5×10^{-6} bis 5×10^{-9}) |
| TS_{Ist} | = Istwert Temperatursumme |

| | |
|--------------------|---------------------------------------|
| TS_{Soll} | = Sollwert Temperatursumme |
| TM_{Soll} | = Tagesmitteltemperatursollwert in °C |
| n | = bisherige Anzahl Kulturtage |

In die Temperatursummenkontrolle geht die Abweichung des Istwertes vom Sollwert der Temperatursumme in der dritten Potenz ein. Dadurch sind „in Nähe“ der Soll-Temperatursumme Schwankungen gut möglich. Dies ist der Spielraum für die Wärmeintegration der Pflanzen. Werden die Abweichungen größer, nimmt exponentiell die Korrektur durch die Temperatursummenkontrolle zu, wird weiteren Korrekturen durch andere Programmbausteine immer stärker entgegengesteuert.

Herbstkulturen kommen teilweise mit extrem großen Temperatursummenpolstern aus dem Sommer und Frühjahrskulturen bauen zu Kulturrende zu sehr große Temperatursummenpolster auf. Dies kann dazu führen, dass die Temperatursummenkontrolle die Wirkung aller andern Programmbausteine zur Energieeinsparung aushebelt. Deshalb wurde teilweise eine Begrenzung der in die Kalkulation einfließenden Temperatursummenabweichung auf maximal 1.000 K x h erprobt.

Nachteil dieses Modells der Temperatursummenkontrolle ist, dass, wenn auch sanft und langfristig, stets in Richtung der Soll-Temperatursumme zurückgesteuert wird. Auch möglicherweise tolerierbare Abweichungen von der Soll-Temperatursumme werden im ungünstigen Fall durch unnötigen Heizaufwand langfristig abgebaut.

Die Anwendung der Temperatursummenkontrolle ist praktisch nur in solchen Gewächshäusern möglich, in denen eine Pflanzenart und möglichst auch nur ein Satz konsequent durchkultiviert werden. In Gewächshäusern mit Mischnutzung, bei der häufig zwischenzeitliche Eingriffe in die Temperaturführung nötig sind, stören diese die normale Entwicklung der Temperatursumme und es kommt schnell zu unsinnigen Steuerungssituationen.

Zusätzlich zur Temperatursummenkontrolle sollte zur Vermeidung akuter Schäden das gesamte Steuerungspaket mit einer Begrenzung der Absenkung des Heizungssollwertes nach unten versehen werden. Sowohl bei Beet- und Balkonpflanzen als auch bei Cyclamen und Poinsettien hat sich eine untere Grenze von 6 °C bewährt.

2.3 Pflanzenarten und -sorten

Für die Versuche wurden Pflanzenarten gewählt, die in der Praxis die Frühjahrs- beziehungsweise Herbstnutzung von Gewächshäusern bestimmen.

In den Versuchen zur Frühjahrssaison waren dies im Jahr 2008 (Topfen in KW 9): *Pelargonium* Cv. Zonale-Grp. 'Bergpalais', *Nemesia* Cv. 'Citron', *Petunia* Cv. 'Surfinia Patio Red', *Impatiens* Cv. Neuguinea-Grp. 'Paradise Papete', *Fuchsia* Cv. 'Sunfilipe' und im Jahr 2009 (Topfen in KW 6) die *Pelargonium* Cv. Zonale-Grp. 'Bergpalais', 'Anthony', 'Survivor Dark Red' sowie *Pelargonium* Cv. Peltatum-Grp. 'Lilac', 'Pacific White', 'Atlantic White'.

In der Herbst-/Wintersaison wurden die Versuche mit Poinsettien und Topfcyclamen durchgeführt. Bei *Euphorbia pulcherrima* handelte es sich im Herbst 2007 um 'Alreddy Red', 'Mars', 'Metro Red', und 'Jester Red', im Jahr 2008 um 'Premium White', 'Cortez', 'Primer Red', 'Christmas Feelings' und 'Estrella Red'. Bei Topfcyclamen fanden im Herbst 2008 'Latinia Premium Rouge Vif', 'Super Serie XL F1 Violet Flamed', 'SWAN Compact Salmon 1775', 'Concerto F1 Red' und 'Maxora F1 White' Verwendung.

Im Winter 2007/2008 wurden die Steuerungsmodelle mit Licht- und Windkorrektur auch bei Schnittcyclamen getestet, eine Kultur, die bis Ende Februar des Folgejahres praktisch die gesamte Winterperiode durchläuft und damit einen insgesamt hohen Energiebedarf hat. Hierbei wurden Pflanzen aus einem anderen Forschungsprojekt zur In-vitro-Vermehrung von Schnittcyclamen eingesetzt. Das Ausgangsmaterial für diese Klone stammte aus verschiedenen Herkünften der Rassen 'Luckenwalder Schnitt', 'Decora Schott', 'Mini-Schnitt Wirz', 'Halios F1' sowie den Einzelsorten 'Victoria', 'Barbarossa', 'Beethoven' und 'Striata'.

2.4 Datenerfassungen

2.4.1 Klimadaten Gewächshäuser und Außen

Die Klimadaten in den Gewächshäusern wurden praxisüblich mit belüfteten und strahlungsgeschützten Temperatur- und Luftfeuchtesensoren ermittelt, die pflanzennah über den Kulturflächen angebracht waren. Nach diesen Sensoren erfolgte auch die Regelung. Für die Klimadaten außen wurde die Klimastation im Südosten der Pillnitzer Versuchsgewächshausanlage genutzt. Die Protokollierung und Verdichtung aller Klimadaten erfolgte über das Programmpaket VISUDATA in Verbindung mit der Gewächshaussteuerung RAM CC 600. Diese verdichteten Daten konnten nach EXCEL übertragen und dort weiter bearbeitet werden.

2.4.2 Wärmeverbrauchsmessungen

Für die Bewertung der verschiedenen Heizungssteuerungsprogramme wurde der Energieverbrauch je Gewächshauskabine gemessen. Dies erfolgte über bauseitig installierte Temperatursonden im Vor- und Rücklauf sowie einen Warmwasserzähler im Rücklauf. Im Gewächshauscomputer wurde der aus diesen Messungen ermittelte Wärmeverbrauch mit einer zeitlichen Auflösung von 12 min aufgezeichnet und zu einer Tagessumme aufaddiert, die jeweils um Mitternacht zurückgesetzt wurde.



Abbildung 3: Technik für die Wärmeverbrauchsmessungen in den Gewächshausabteilen

Diese Messergebnisse waren für eine vergleichende Bewertung der durch die verschiedenen Heizungssteuerungsprogramme bedingten Unterschiede im Energieverbrauch der Kabinen nicht direkt verwendbar. Die unterschiedliche bauliche Situation der Gewächshauskabinen (innere, mittlere oder äußere Positionen mit unterschiedlichen Anteilen Außenfläche) verursachte systematische Messfehler, die jedoch über eine Kalibrierung der Wärmeverbrauchsmessungen korrigiert werden konnten. Vor und nach jedem Versuch erfolgten Messungen des Verbrauchs der Kabinen bei gleichen Regeleinstellungen und gleichen Kulturen. Auf diese Weise wurden für jeden Versuch empirische Korrekturfaktoren für den Vergleich des Wärmeverbrauchs der verschiedenen Gewächshauskabinen ermittelt. Zusätzlich erfolgte eine wechselnde Verteilung der Varianten auf die Gewächshauskabinen. Alle in dieser Arbeit aufgeführten Wärmeverbrauchswerte wurden so auf die Situation der inneren Gewächshausabteile 10.1 beziehungsweise 11.1 kalibriert. Der so ermittelte Wärmebedarf je Gewächshauskabine wurde auf die Nettofläche bezogen in kWh/Netto-m² dargestellt. Der Nettoflächeanteil beträgt bei den Versuchsgewächshauskabinen 65 %.

2.4.3 Merkmalerfassungen an den Pflanzen

Zur Ermittlung der Auswirkungen der verschiedenen Heizungssteuerungsprogramme auf die Kulturdauer und die Pflanzenqualität wurde eine Reihe von Merkmalen bestimmt.

Beet- und Balkonpflanzen (Erfassung je Pflanze zum Tag des Blühbeginns)

- Datum Blühbeginn (bei Nemesia mind. 3, bei allen anderen mind. 1 offene Blüte)
- Kulturdauer ab Topfen in Tagen
- Anteil Nichtblüher in % zum Versuchsende
- Pflanzenhöhe in cm
- Pflanzenbreite in cm
- Anzahl Triebe (Nemesia ab 10 cm Länge, Fuchsia ab 20 cm Länge)
- Anzahl Blüten und Knospen über dem Laub je Pflanze
- Bonitur Laubfarbe (1 = stark hellgrün, 3 = hellgrün, 5 = mittelgrün, 7 = dunkelgrün, 9 = stark dunkelgrün)
- Bonitur Gesamteindruck (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Bonitur Durchwurzlung (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Bonitur Wurzelqualität (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Sprossmasse in g

Poinsettien (Erfassung je Pflanze zu einem Stichtag am Kulturende)

- Bonitur Cyathienstadium (als Maß für die physiologische Reife)
 - 1 = Knospenstadium; Cyathien sind geschlossen, grün und 2 bis 4 mm groß
 - 2 = endendes Knospenstadium; Cyathien überwiegend noch geschlossen, grün, Oberseite gelb und verdickt mit einer roten Cyathienspitze
 - 5 = Cyathien sind leicht geöffnet; erste Staubfäden und Nektardrüsen sind sichtbar
 - 7 = Vollblüte; Staubfäden voll entwickelt; Nektardrüsen seitlich gut sichtbar; grüner Fruchtknoten
 - 9 = Cyathien sind abgefallen
- Pflanzenhöhe in cm
- Pflanzenbreite in cm
- Brakteendurchmesser in cm
- Anzahl Triebe
- Bonitur Durchwurzlung (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Bonitur Wurzelqualität (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Bonitur Gesamteindruck (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Sprossmasse in g

Schnittcyclamen (Erfassung wöchentlich je Pflanze)

- Anzahl Blütenstiele

Topfcyclamen (Erfassung je Pflanze zum Tag des Blühbeginns)

- Datum Blühbeginn (mind. 3 offene Blüten)
- Kulturdauer ab Topfen in Tagen
- Laubhöhe in cm
- Pflanzenhöhe in cm

- Pflanzenbreite in cm
- Blütengröße in cm
- Bonitur Blattanzahl (1 = sehr wenig, 3 = wenig, 5 = mittel, 7 = viel, 9 = sehr viel)
- Bonitur Laubgröße (1 = sehr klein, 3 = klein, 5 = mittel, 7 = groß, 9 = sehr groß)
- Bonitur Durchwurzelung (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Bonitur Wurzelqualität (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Bonitur Gesamteindruck (1 = sehr schlecht, 3 = schlecht, 5 = mittel, 7 = gut, 9 = sehr gut)
- Sprossmasse in g

2.4.4 Biometrische Auswertungen

Die Versuchsanlagen waren in der Regel Spaltanlagen, deren Großteilstücke die Gewächshäuser mit den verschiedenen Heizungssteuerungsprogrammen darstellten. Durch Einbeziehung mehrerer Arten bzw. Sorten sowie die Kombination mit anderen Faktoren wie Substrat, Düngung und Wachstumsregulierung konnten gleichzeitig weitere Fragestellungen bearbeitet werden. Außerdem sollte eine bessere Treffsicherheit sowie Allgemeingültigkeit der Aussagen zu den Heizungssteuerungsprogrammen erreicht werden. Es wurde jeweils mit mindestens drei Wiederholungen gearbeitet. Die Parzellengröße betrug in der Regel 1 m² mit folgenden Pflanzenanzahlen: bei Poinsettien 8 bis 12, bei Beet- und Balkonpflanzen 16 bis 20, bei Schnittcyclamen 10 und bei Topfcyclamen 20. Die Messungen erfolgten jeweils an den Kernpflanzen der Parzellen wie bei den Pflanzenmerkmalen angegeben.

Die biometrischen Auswertungen wurden mit Hilfe des Statistikpaketes SPSS 14.0 durchgeführt. Nach varianzanalytischer Auswertung (univariate Varianzanalysen) erfolgten die Mittelwertvergleiche mittels TUCKEY-B-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$. Für die grafischen Darstellungen wurde EXCEL genutzt.

3 Versuche und Ergebnisse

3.1 Poinsettien 2007

Im Herbst 2007 wurde in einem Versuch mit Poinsettien der Programmbaustein zur dynamischen Lichtkorrektur zusätzlich zur dynamischen Außentemperaturkorrektur getestet. Als Vergleich diente ein konventionelles Steuerungsprogramm mit cool morning. Alle Programmvarianten liefen ohne Temperatursummenkontrolle. Details sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

In der Startphase erhielten alle Varianten die gleiche Temperaturbehandlung: Zum Einwurzeln wurde für 10 Tage Heizen Tag/Nacht 20 °C und Lüften Tag/Nacht 23 °C gefahren, nach einer kurzen Phase Heizen 17 °C und Lüften 19 °C wurde zur Förderung des Neuaustriebes nach dem Stutzen in KW 31 wieder auf Heizen 21 °C und Lüften 25 °C angehoben. Die Differenzbehandlung der Programmvarianten begann ab KW 33. Das Kulturverfahren entsprach ansonsten dem für Standardware im 12er Topf üblichen: Nach Topfen in KW 29 wurde in KW 31 auf 6 Blätter gestutzt. Mit ca. 80 ml/m² 0,15 % Cycocel 720 erfolgte in KW 32 und 34 eine zweimalige chemische Wachstumsregulierung. Ab KW 33 standen die Pflanzen mit 12 St/m² im Endstand. Für einen vorgezogenen Kurztag wurde ab KW 38 verdunkelt. In KW 47/48 waren die Pflanzen vermarktungsfähig.

Tabelle 2: Energiesparprogramme Poinsettien 2007

| Programm | Standard CM | CM+dAT (Pillnitz stark) | CM+dAT+dLK |
|---|--|----------------------------------|------------|
| Abteil | 10.3 | 10.2 | 10.1 |
| Basis-Heizungssollwert Tag/Nacht in °C | 18/18 | 18/18 | 18/18 |
| Basis-Lüftungssollwert Tag/Nacht in °C | 21/21 | 21/21 | 21/21 |
| cool morning (bis 29.10.07) | Heizung: 1 h vor Sonnenaufgang für 4 h auf 8 °C abgesenkt Lüftung: mit Sonnenaufgang für 2 h auf 10 °C abgesenkt | | |
| Weitere Einstellungen | Schattiersollwert 65 klx; Mindesttemperatur 6 °C, ab 21.09.07 bis 28.10.07 Verdunklung ab 17:00 Uhr bis 45 min vor Sonnenaufgang ab 29.10.07 CM abgeschaltet; Verdunklung von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang; Energieschirm von 30 min vor Sonnenuntergang bis 30 min nach Sonnenaufgang. | | |
| Steuerung | CC 600 | ACCESS | ACCESS |
| dAT | | dLK | |
| $HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll})$ | | $+ F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll})$ | |
| <p>mit folgenden Bedingungen:</p> <p>WENN $AT_{Ist} > HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0$</p> <p>WENN $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0,3$</p> <p>WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} > 0$, DANN $k = 1$</p> <p>WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} < 0$, DANN $k = 2$</p> <p>WENN $BS_{Ist} > BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0$</p> <p>WENN $BS_{Ist} \leq BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0,2$</p> <p>HT_{akt} = aktualisierter Heizungssollwert in °C HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C k = Faktor für Absenkung bzw. Anhebung F_{AT} = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur (hier 0,3) AT_{Ist} = Istwert Außentemperatur in °C AT_{Soll} = Erwartungswert Außentemperatur in °C (langjähr. Mittel) F_L = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur (hier 0,2) BS_{Ist} = Istwert Außen-Beleuchtungsstärke in klx BS_{Soll} = Erwartungswert Außen-Beleuchtungsstärke in klx</p> | | | |

Der anfangs nur geringe Bedarf an Heizenergie wuchs mit fortschreitender Jahreszeit immer rascher an (Abbildung 4). Mehr als die Hälfte des Gesamtbedarfes an Heizenergie wurde in den letzten drei Wochen benötigt. Bis zum Kulturende bauten sich deutliche Unterschiede zwischen den Programmvarianten auf. Unter den konkreten Witterungsbedingungen im Herbst 2007 wurden gegenüber dem Standard cool morning durch dAT 15,7 % und durch dAT+dLK 22,8 % Einsparung an Heizenergie erzielt (Tabelle 3). Das heißt, der dLK-Baustein brachte zusätzlich zu dAT eine Einsparung von 7,1 % (= 6,8 kWh/Netto-m²).

Demgegenüber stiegen die Kurven der Temperatursummen bei allen drei Programmvarianten fast linear an und lagen bis zum Kulturende dicht beieinander. Dabei blieben die Varianten mit dAT und dLK etwas hinter dem Standard CM zurück, mit nur 2,5 bzw. 1,6 % jedoch deutlich geringer als der Heizenergieverbrauch (Tabelle 3). Bezogen auf den Temperatursummenzuwachs wurde die Heizenergie bei dAT und dAT+dLK also wesentlich effektiver eingesetzt.

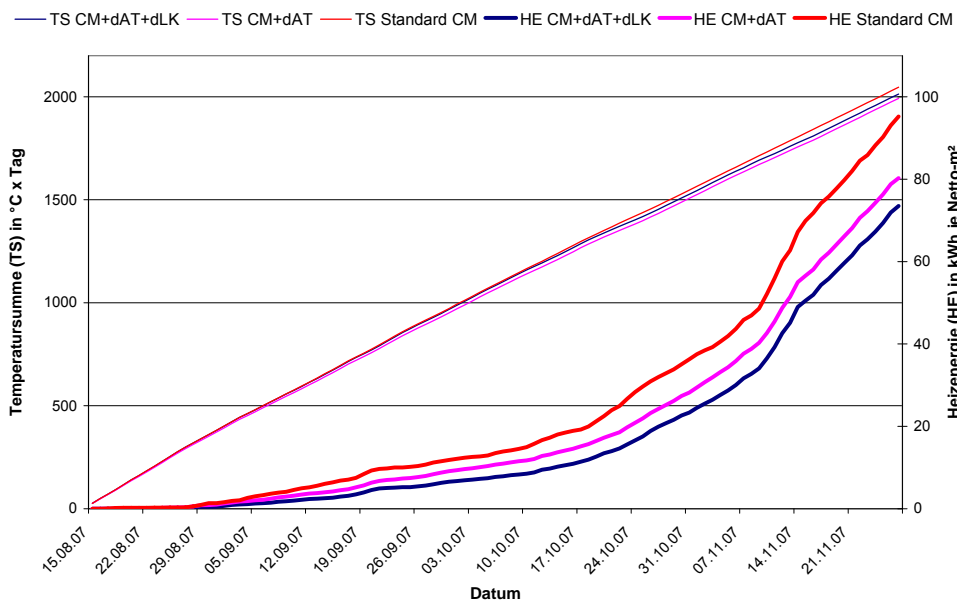


Abbildung 4: Entwicklung der Temperatursumme und des Heizenergieverbrauches bei Poinsettien 2007

Tabelle 3: Energiedaten und Pflanzenmerkmale Poinsettien 2007

| Programm | Standard CM | CM+dAT (Pillnitz stark) | CM+dAT+dLK |
|--|--------------------|----------------------------|--------------------|
| Temperatursumme in °C x Tag (15.08 – 27.11.07) | 2046 | 1992 | 2013 |
| Abweichung Temperatur- summe in % | | - 2,6 | - 1,6 |
| Durchschnittstemperatur in °C | 19,5 | 19,0 | 19,2 |
| Heizenergiebedarf in kWh/ Netto-m ² | 95,2 | 80,3 | 73,5 |
| Energieeinsparung in kWh/Netto-m ² | | 14,9 | 21,7 |
| Energieeinsparung in % | | 15,7 | 22,8 |
| | | | |
| Pflanzenhöhe in cm | 26,3 ^a | 26,5 ^a | 26,7 ^a |
| Pflanzenbreite in cm | 47,8 ^a | 49,0 ^b | 50,8 ^c |
| Brakteendurchmesser in cm | 23,7 ^a | 24,2 ^a | 25,3 ^b |
| Anzahl Triebe | 4,9 ^a | 4,7 ^a | 5,1 ^b |
| Cyathienstadium | 5,3 ^b | 5,9 ^c | 4,8 ^a |
| Gesamteindruck | 7,6 ^a | 7,6 ^a | 7,9 ^a |
| Sprossmasse in g | 109,9 ^a | 106,7 ^a | 115,6 ^b |

^{a, b, c} Signifikanzgruppen TUCKEY B mit $\alpha = 0,05$

Die Auswirkungen auf die Pflanzenmerkmale waren gering (Tabelle 3). Die Pflanzenhöhe und der Gesamteindruck blieben gleich. Hinsichtlich der Triebanzahl und Sprossmasse lag dAT+dLK statistisch gesichert über den beiden anderen Programmvarianten, auch bei der Pflanzenbreite und Brakteengröße gab es gesicherte Unterschiede. Diese waren jedoch eher Qualitätsverbesserungen und durchweg so gering, dass sie keine wirtschaftliche Bedeutung haben.

Beim Cyathienstadium als Maß für die physiologische Reife zeigte sich ein uneinheitliches Bild (Tabelle 3). Die Variante dAT+dLK lag etwas zurück gegenüber dem Standard CM, während die Cyathien bei dAT etwas weiter entwickelt waren. Aber auch hier waren die Unterschiede gering und für die Vermarktung nicht relevant.

Die Ziele der Einhaltung der Kulturdauer und der Qualitätssicherung wurde also bei den Poinsettien im Herbst 2007 auch ohne Temperatursummenkontrolle erreicht.



Abbildung 5: Keine wesentlichen Veränderungen der Pflanzengröße oder -qualität nach der Kultur mit dAT oder dLK bei Poinsettien 2007

3.2 Schnittcyclamen 2007 - 2008

Schnittcyclamen sind eine Kultur, die fast durch den gesamten Winter bis Ende Februar des Folgejahres läuft. Da sich akzeptable Erträge nur bei relativ hohen Heizungssollwerten von 16 bis 18 °C erzielen lassen, ist der Energiebedarf hoch. Beide Tatsachen machen die Kultur interessant für die Anwendung von Energiesparprogrammen.

In der Saison 2007 - 2008 erfolgte ein Versuch mit Schnittcyclamen, die mit Programmvarianten dAT sowie dAT+dLK+WK im Vergleich zu einem Standard kultiviert wurden (Details siehe Tabelle 4). Alle Programmvarianten liefen ohne Temperatursummenkontrolle. Als Standard beziehungsweise Basisprogramm fand anfangs eine Nachtabsenkung mit Heizungssollwerten Tag/Nacht 16/14 °C Anwendung. Nach zunehmenden Botrytisproblemen wurde zur Vermeidung hoher Luftfeuchten ab KW 46-2007 auf Tag/Nacht 15/15 °C als Standard und Basisprogramm umgestellt. Die Differenzbehandlung der Programmvarianten erfolgte ab KW 38-2007 bis zum Kulturende in KW 08-2008.

Die für diesen Versuch eingesetzten Jungpflanzen stammten aus In-vitro-Vermehrung in mehreren Sätzen und Größensortierungen. Dies schränkte die Auswertbarkeit hinsichtlich des Ertrages und

der Qualität stark ein. Getopft wurde in KW 19 und KW 32-2007 in 16-cm-Töpfe mit Substrat Stender D400 mit Xylit. Es erfolgte eine Bewässerungsdüngung mit 0,03 - 0,05 % Ferty 3 grün (15-10-15). Die mit 10 Stück pro Quadratmeter stehenden Pflanzen wurden bis KW 08-2008 wöchentlich beerntet. Zur Schattierungssteuerung fand ein Programm Anwendung, bei dem ein Grundschatier-sollwert um eine „Abhärtung“ ergänzt wird, deren Größe vom Lichtangebot der letzten Tage abhängt.

Tabelle 4: Energiesparprogramme Schnittcyclamen 2007 - 2008

| | Standard | dAT (Pillnitz stark) | dAT+dLK+WK |
|---|---|-------------------------|-------------------------|
| Abteil | 11.3 | 11.1 | 11.2 |
| Basis-Heizungssollwert Tag/Nacht in °C | 16/14 ab KW 46 15/15 | 16/14 ab KW 46 15/15 | 16/14 ab KW 46 15/15 |
| Basis-Lüftungssollwert Tag/Nacht in °C | 19/17 ab KW 46 18/18 | 19/17 ab KW 46 18/18 | 19/17 ab KW 46 18/18 |
| Weitere Einstellungen | Schattiersollwert 30 klx + bis zu 30 klx Abhärtung; Mindesttemperatur 6 °C | | |
| Steuerung | CC 600 | ACCESS | ACCESS |

| | dAT | dLK | WK |
|--|---|----------------------------------|-------|
| $HT_{akt} = HT_{Basis}$ | $+ k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll})$ | $+ F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll})$ | $- W$ |
| <p>mit folgenden Bedingungen:</p> <p>WENN $AT_{Ist} > HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0$</p> <p>WENN $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0,3$</p> <p>WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} > 0$, DANN $k = 1$</p> <p>WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} < 0$, DANN $k = 2$</p> <p>WENN $BS_{Ist} \leq BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0,2$</p> <p>WENN $BS_{Ist} > BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0$</p> <p>WENN $v_w > 3,5$ m/s, DANN $W = 1$ K</p> <p>HT_{akt} = aktualisierter Heizungssollwert in °C</p> <p>HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C</p> <p>k = Faktor für Absenkung bzw. Anhebung</p> <p>F_{AT} = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur (hier 0,3)</p> <p>AT_{Ist} = Istwert Außentemperatur in °C</p> <p>AT_{Soll} = Erwartungswert Außentemperatur in °C (langjähr. Mittel)</p> <p>F_L = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur (hier 0,2)</p> <p>BS_{Ist} = Istwert Außen-Beleuchtungsstärke in klx</p> <p>BS_{Soll} = Erwartungswert Außen-Beleuchtungsstärke in klx</p> <p>v_w = Windgeschwindigkeit im m/s</p> <p>W = Windkorrektur (hier 1 K)</p> | | | |

In Abbildung 6 ist der kumulative Verbrauch der eingesetzten Heizenergie wiedergegeben. Nach einem anfangs flachen Anstieg wuchs dieser ab Mitte November mehr oder weniger kontinuierlich an. Die Schwankungen insbesondere bei der Standardvariante wurden durch Witterungsperioden verursacht. Die Kurven für dAT und dAT+dLK+WK verlaufen sichtbar flacher, da hier auf relativ niedrige Außentemperaturen, niedrige Einstrahlung und hohe Windgeschwindigkeiten mit Absenkungen des Heizungssollwertes reagiert wurde.

Um den Jahreswechsel herum kam es dadurch zu einem Zurückbleiben der Temperatursummen der dAT- sowie dAT+dLK+WK-Varianten gegenüber dem Standard. Dies war jedoch bis zum Kulturrende zum Teil wieder abgebaut. Die Abweichungen der Temperatursumme betragen am Kulturrende bei dAT -1,0 % und bei dAT+dLK+WK -1,4 %, was Abweichungen in der Durchschnittstemperatur von -0,1 beziehungsweise -0,2 K entsprach (Tab. 5). Dem stehen Einsparungen an Heizenergie von 7,1 % bei dAT und 14,5 % bei dAT+dLK+WK gegenüber. Das heißt, durch die dynamische Licht- und Windkorrektur wurden gegenüber der dynamischen Außentemperaturkorrektur nochmals 7,4 % Heizenergie (= 19,6 kWh/Netto-m²) eingespart.

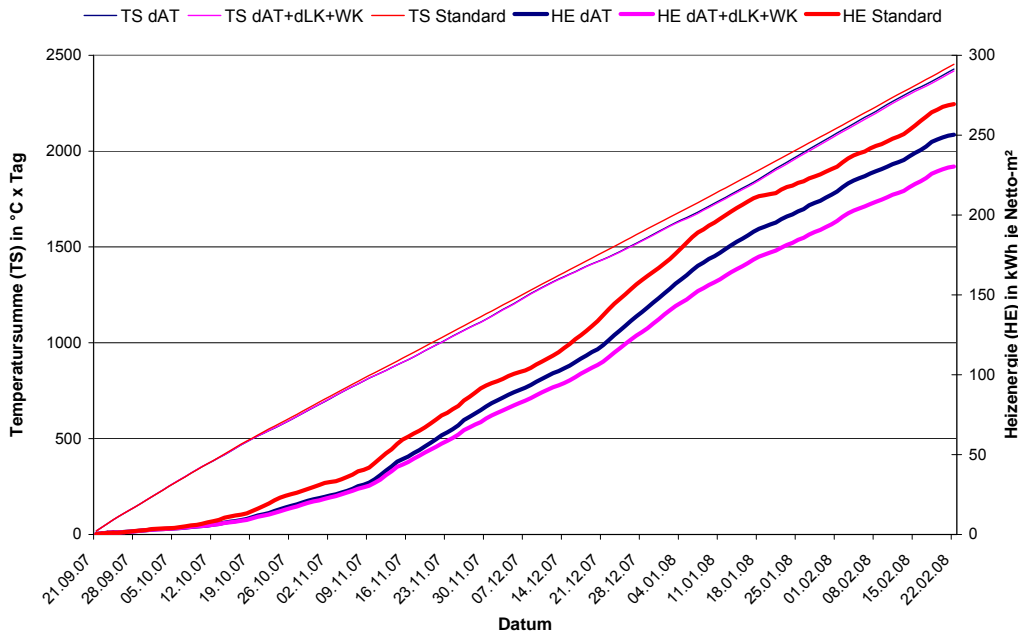


Abbildung 6: Entwicklung der Temperatursumme und des Heizenergieverbrauches bei Schnittcyclamen 2007 - 2008

Tabelle 5: Energiedaten und Pflanzenmerkmale Schnittcyclamen 2007 - 2008

| Programm | Standard | dAT (Pillnitz stark) | dAT+dLK+WK |
|--|-------------------|-------------------------|-------------------|
| Temperatursumme in °C x Tag (21.09.07 - 22.02.08) | 2453 | 2428 | 2418 |
| Abweichung Temperatursumme in % | | - 1,0 | - 1,4 |
| Durchschnittstemperatur in °C | 15,8 | 15,7 | 15,6 |
| Heizenergiebedarf in kWh/ Netto-m ² | 269,46 | 250,31 | 230,36 |
| Energieeinsparung in kWh/Netto-m ² | | 19,5 | 39,1 |
| Energieeinsparung in % | | 7,1 | 14,5 |
| | | | |
| Mittlerer Ertrag in Stiele je Pflanze | 38,1 ^a | 33,3 ^a | 37,1 ^a |
| Abweichung Ertrag in % | | - 13 % | - 2,6 % |

^aSignifikanzgruppe TUCKEY B $\alpha= 5 \%$

Die pflanzenbaulichen Auswirkungen waren mit Ertragseinbußen von 13 % bei dAT und 2,6 % bei dAT+dLK+WK unorientiert und statistisch nicht zu sichern. Dies ist ebenso wie das allgemein niedrigere Ertragsniveau auf das stark uneinheitliche Pflanzenmaterial aus den Sätzen der In-vitro-Vermehrung zurückzuführen.

3.3 Beet- und Balkonpflanzen 2008

Zur Trennung der Effekte der dynamischen Lichtkorrektur und der Windkorrektur wurden im Frühjahr 2008 bei der Kultur von Beet- und Balkonpflanzen die Programmvarianten CM+dAT+dLK und CM+dAT+dLK+WK mit dem neuen Standard CM+dAT verglichen. Alle Programmvarianten liefen wieder ohne Temperatursummenkontrolle. Die Details sind in Tabelle 6 wiedergegeben.

Getopft wurde in KW 09 in 11er-Töpfe mit Substrat Stender E910 mit Xylit. Nach einer Startphase mit höheren Temperaturen zum Einwurzeln erfolgte ab KW 12 die Differenzbehandlung in den Programmvarianten. Gleichzeitig wurde auf den Endstand mit 20 Pfl/m² gerückt.

Als Pflanzenarten wurden mit Nemesien eine ausgesprochen Kühle verträgliche und mit Neuguinea-Impatiens eine ausgesprochen Wärme liebende einbezogen. Pelargonien, Petunien und Fuchsien sind dagegen als relativ temperaturtolerant einzustufen.

Tabelle 6: Energiesparprogramme Beet- und Balkonpflanzen 2008

| Programm | CM+dAT (neuer Standard) | CM+dAT+dLK | CM+dAT+dLK+WK |
|---|--|----------------------------------|---------------|
| Abteil | 11.2 | 11.1 | 11.3 |
| Basis-Heizungssollwert Tag/Nacht in °C | 16/17 | 16/17 | 16/17 |
| Basis-Lüftungssollwert Tag/Nacht in °C | 18/19 | 18/19 | 18/19 |
| cool morning | Heizung: 1 h vor Sonnenaufgang für 4 h 8 °C Lüftung: mit Sonnenaufgang für 2h 10 °C | | |
| Weitere Einstellungen | Schattiersollwert 60 klx; Mindesttemperatur 6 °C | | |
| Steuerung | ACCESS | ACCESS | ACCESS |
| | dAT | dLK | WK |
| $HT_{akt} = HT_{Basis}$ | $+ k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll})$ | $+ F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll})$ | $- W$ |
| mit folgenden Bedingungen: | | | |
| WENN $AT_{Ist} > HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0$ | | | |
| WENN $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0,3$ | | | |
| WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} > 0$, DANN $k = 1$ | | | |
| WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} < 0$, DANN $k = 2$ | | | |
| WENN $BS_{Ist} > BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0$ | | | |
| WENN $BS_{Ist} \leq BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0,2$ | | | |
| WENN $v_w > 3,5$ m/s, DANN $W = 1$ K | | | |
| HT_{akt} = aktualisierter Heizungssollwert in °C | | | |
| HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C | | | |
| k = Faktor für Absenkung bzw. Anhebung | | | |
| F_{AT} = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur (hier 0,3) | | | |
| AT_{Ist} = Istwert Außentemperatur in °C | | | |
| AT_{Soll} = Erwartungswert Außentemperatur in °C (langjähr. Mittel) | | | |
| F_L = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur (hier 0,2) | | | |
| BS_{Ist} = Istwert Außen-Beleuchtungsstärke in klx | | | |
| BS_{Soll} = Erwartungswert Außen-Beleuchtungsstärke in klx | | | |
| v_w = Windgeschwindigkeit im m/s | | | |
| W = Windkorrektur (hier 1 K) | | | |

Der anfangs höhere tägliche Energiebedarf nahm bei der Frühjahrskultur mit zunehmender Außentemperatur und zunehmender Einstrahlung ab (siehe Abbildung 7). Durch den relativ späten Kulturbeginn und die erst Mitte März beginnende Differenzbehandlung der Programmvarianten blieb

der Gesamtbedarf an Heizenergie relativ niedrig. Die Unterschiede zwischen den Programmvarianten waren gering. Gegenüber CM+dAT wurden bei zusätzlicher Anwendung von dLK 3,4 % und bei zusätzlicher Anwendung von dLK+WK 4,8 % der Heizenergie eingespart (Tabelle 7). Dies entsprach Einsparungen von nur 1,5 beziehungsweise 2,1 kWh/Netto-m². Die Abweichungen in der Temperatursumme beziehungsweise der Durchschnittstemperatur waren minimal.

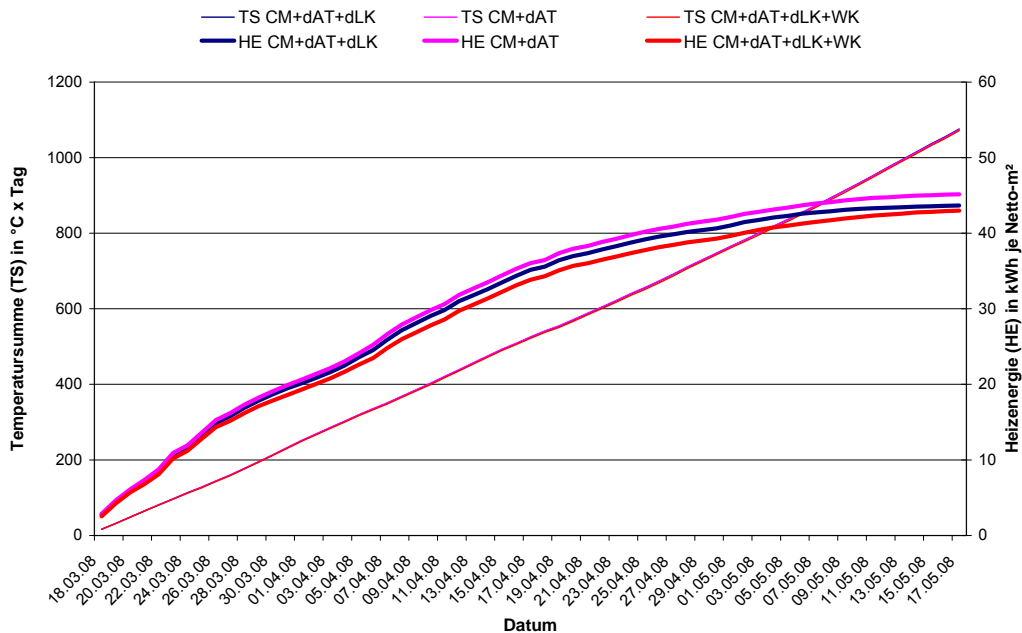


Abbildung 7: Entwicklung der Temperatursumme und des Heizenergieverbrauches bei Beet- und Balkonpflanzen 2008

Tabelle 7: Energiedaten und Pflanzenmerkmale Beet- und Balkonpflanzen 2008

| Programm | | CM+dAT | CM+dAT+dLK | CM+dAT+dLK+WK |
|---|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Temperatursumme in °C x Tag (18.03. – 18.05.08) | | 1092 | 1094 | 1089 |
| Abweichung Temperatursumme in % | | | + 0,2 | - 0,2 |
| Durchschnittstemperatur in °C | | 17,61 | 17,64 | 17,56 |
| Heizenergiebedarf in kWh/ Netto-m ² | | 45,3 | 43,8 | 43,2 |
| Energieeinsparung in kWh/Netto-m ² | | | 1,5 | 2,1 |
| Energieeinsparung in % | | | 3,4 | 4,8 |
| Merkmal | Art | | | |
| Kulturdauer in Tagen | Pelargonium | 63 ^a | 61 ^a | 61 ^a |
| | Nemesia | 49 ^a | 49 ^a | 48 ^a |
| | Petunia | 48 ^a | 50 ^b | 48 ^a |
| | NGI | 53 ^a | 63 ^b | 62 ^b |
| | Fuchsia | 66 ^a | 65 ^a | 66 ^a |

| Programm | | CM+dAT | CM+dAT+dLK | CM+dAT+dLK+WK |
|----------------------|-------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| Pflanzenhöhe in cm | Pelargonium | 29,8 ^a | 29,0 ^a | 28,5 ^a |
| | Nemesia | 13,8 ^c | 11,4 ^a | 12,4 ^b |
| | Petunia | 10,4 ^a | 10,5 ^a | 10,0 ^a |
| | NGI | 14,2 ^a | 14,8 ^b | 14,5 ^{a,b} |
| | Fuchsia | 21,9 ^b | 21,7 ^b | 20,8 ^a |
| Pflanzenbreite in cm | Pelargonium | 32,4 ^a | 32,0 ^a | 31,8 ^a |
| | Nemesia | 41,2 ^a | 41,6 ^a | 40,5 ^a |
| | Petunia | 32,0 ^a | 34,8 ^b | 32,3 ^a |
| | NGI | 30,8 ^a | 33,0 ^b | 32,3 ^b |
| | Fuchsia | 33,1 ^a | 33,8 ^a | 33,3 ^a |
| Anzahl Triebe | Pelargonium | 3,2 ^a | 3,3 ^a | 3,2 ^a |
| | Nemesia | 9,0 ^b | 8,0 ^a | 8,4 ^{a,b} |
| | Petunia | 9,8 ^b | 10,7 ^a | 10,8 ^a |
| | NGI | 4,0 ^a | 4,2 ^a | 4,2 ^a |
| | Fuchsia | 5,1 ^a | 5,5 ^b | 5,8 ^c |
| Sprossmasse in g | Pelargonium | 97,9 ^a | 92,3 ^a | 93,4 ^a |
| | Nemesia | 49,7 ^b | 44,9 ^a | 45,1 ^a |
| | Petunia | 53,8 ^a | 59,4 ^b | 55,0 ^a |
| | NGI | 65,3 ^a | 84,4 ^b | 83,1 ^b |
| | Fuchsia | 56,1 ^a | 58,8 ^a | 57,8 ^a |
| Laubfarbe | Pelargonium | 4,78 ^{a,b} | 4,70 ^a | 4,90 ^b |
| | Nemesia | 5,03 ^a | 5,02 ^a | 5,03 ^a |
| | Petunia | 5,34 ^a | 5,62 ^b | 5,66 ^b |
| | NGI | 4,70 ^a | 5,02 ^b | 5,19 ^b |
| | Fuchsia | 5,02 ^{a,b} | 4,97 ^a | 5,05 ^b |
| Gesamteindruck | Pelargonium | 8,42 ^a | 8,28 ^a | 8,53 ^a |
| | Nemesia | 7,14 ^a | 7,03 ^a | 7,24 ^a |
| | Petunia | 8,79 ^a | 8,94 ^b | 8,89 ^{a,b} |
| | NGI | 8,21 ^a | 8,47 ^b | 8,33 ^{a,b} |
| | Fuchsia | 7,89 ^a | 8,13 ^b | 8,11 ^b |
| Durchwurzung | Pelargonium | 4,85 ^a | 4,88 ^a | 4,70 ^a |
| | Nemesia | 8,30 ^b | 7,84 ^a | 7,93 ^a |
| | Petunia | 8,70 ^a | 8,79 ^a | 8,76 ^a |
| | NGI | 7,77 ^a | 8,37 ^b | 8,29 ^b |
| | Fuchsia | 5,29 ^b | 4,78 ^a | 4,83 ^a |
| Wurzelqualität | Pelargonium | 5,60 ^a | 5,77 ^a | 5,75 ^a |
| | Nemesia | 8,02 ^b | 7,79 ^b | 7,26 ^a |
| | Petunia | 8,56 ^b | 8,27 ^a | 8,60 ^b |
| | NGI | 8,10 ^a | 7,91 ^a | 8,10 ^a |
| | Fuchsia | 8,19 ^a | 8,28 ^a | 8,35 ^a |

^{a,b,c} Signifikanzgruppen TUCKEY B, $\alpha = 0,05$

Trotz der sehr geringen Unterschiede in der Temperatursumme beziehungsweise in der Durchschnittstemperatur hatten die Programmvarianten je nach Pflanzenart Auswirkungen auf die Kulturdauer und Pflanzenqualität (siehe Tabelle 7). So kam es bei Neuguinea-Impatiens durch dLK und dLK+WK zu einer deutlichen Verlängerung der Kulturdauer um 9 - 10 Tage. Obwohl die zeitweise niedrigeren Temperaturen hinsichtlich der Temperatursummen ausgeglichen wurden, kam es also bei dieser Pflanzenart zu einer nachhaltigen Verzögerung der Blütenentwicklung. Zum Blühtermin

waren diese Pflanzen dafür geringfügig größer und wiesen auch eine deutlich größere Sprossmasse auf. Die vegetative Entwicklung war also offensichtlich durch die zeitweise niedrigen Temperaturen weniger stark beeinträchtigt als die Blütenentwicklung. Umgekehrt blieb bei den Nemesien zwar die Kulturdauer annähernd gleich, jedoch waren die Pflanzen der dLK- und dLK+WK-Varianten etwas kleiner und leichter. Bei Pelargonien, Petunien und Fuchsien waren keine Unterschiede feststellbar oder so gering, dass sie ohne wirtschaftliche Bedeutung sind.

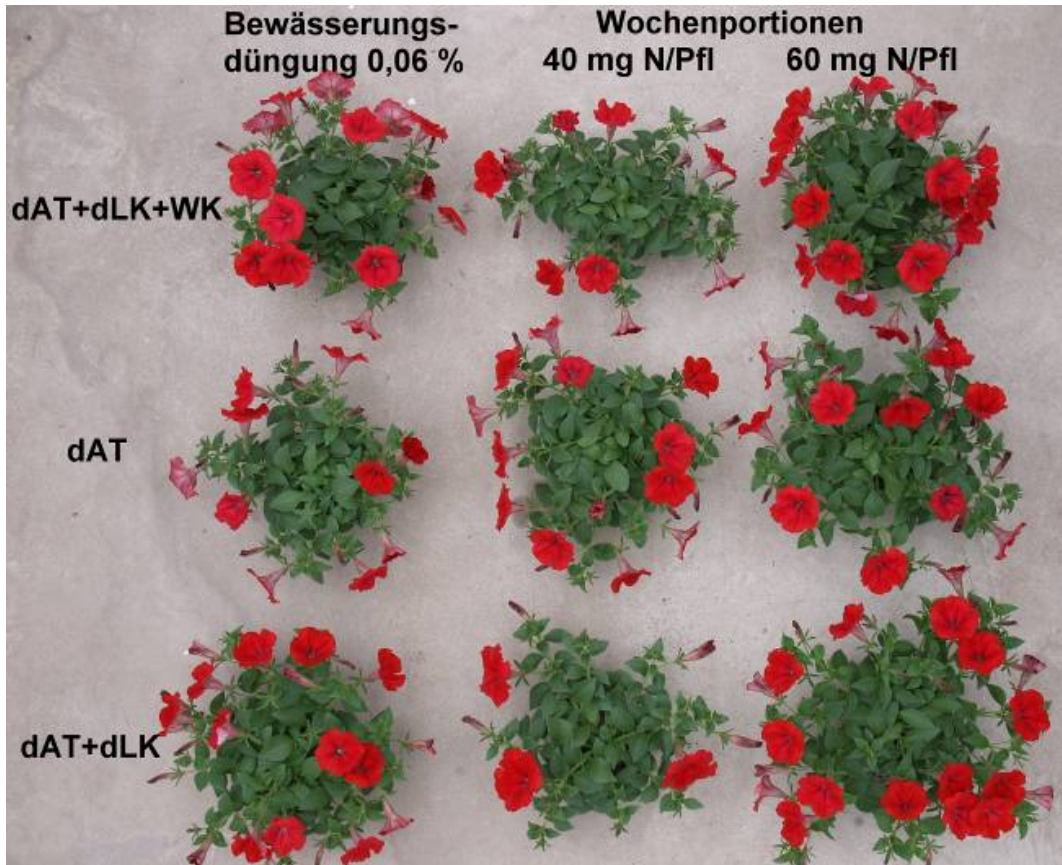


Abbildung 8: Keine Auswirkungen von dLK und WK auf die Pflanzengröße und -qualität bei Petunien 2008

3.4 Topfcyclamen 2008

Die in KW 25-2008 in 11-cm-Töpfe gepflanzten Topfcyclamen wurden zunächst einheitlich bei Heizen Tag/Nacht 14/14 °C und Lüften Tag/Nacht 16/17 °C kultiviert. Ab KW 34 erfolgte dann die Differenzbehandlung in den Programmvarianten (siehe Tabelle 8). Verglichen wurden dAT+dLK+TSK sowie dAT+dLK+WK+TSK mit einem Standard dAT+TSK. Alle Programme einschließlich des Standards enthielten eine Temperatursummenkontrolle (TSK), die auf einen Tagesmitteltemperatursollwert von 16 °C ausgerichtet war.

Zur Schattierungssteuerung fand ein Programm Anwendung, bei dem ein Grundschatteersollwert um eine „Abhärtung“ ergänzt wird, deren Größe vom Lichtangebot der letzten Tage abhängt.

Tabelle 8: Energiesparprogramme Topfyclamen 2008

| Programm | dAT+TSK | dAT+dLK+TSK | dAT+dLK+WK+TSK | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------|----------------|-----|-----|-----|----|-----|--|--|--|--|--|
| Abteil | 11.3 | 11.2 | 11.1 | | | | | | | | | | |
| Basis-Heizungssollwert Tag/Nacht in °C | 14/16 | 14/16 | 14/16 | | | | | | | | | | |
| Tagesmitteltemperatur- Sollwert in °C | 16 | 16 | 16 | | | | | | | | | | |
| Basis-Lüftungssollwert Tag/Nacht in °C | 16/19 | 16/19 | 16/19 | | | | | | | | | | |
| Weitere Einstellungen | Schattiersollwert 30 klx + bis zu 30 klx Abhärtung; Mindesttemperatur 6 °C | | | | | | | | | | | | |
| Steuerung | ACCESS | ACCESS | ACCESS | | | | | | | | | | |
| <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%; text-align: center;">dAT</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">dLK</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">WK</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">TSK</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="4" style="text-align: center;"> $HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll}) - W - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$ </td> </tr> </table> | | | | | dAT | dLK | WK | TSK | | $HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll}) - W - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$ | | | |
| | dAT | dLK | WK | TSK | | | | | | | | | |
| | $HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll}) - W - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$ | | | | | | | | | | | | |
| <p>mit folgenden Bedingungen:</p> <p>WENN $AT_{Ist} > HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0$ WENN $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0,3$ WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} > 0$, DANN $k = 1$ WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} < 0$, DANN $k = 2$ WENN $BS_{Ist} > BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0$ WENN $BS_{Ist} \leq BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0,2$ WENN $v_w > 3,5$ m/s, DANN $W = 1$ K $TS_{Soll} = TM_{Soll} * n$</p> <p>HT_{akt} = aktualisierter Heizungssollwert in °C HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C k = Faktor für Absenkung bzw. Anhebung F_{AT} = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur (hier 0,3) AT_{Ist} = Istwert Außentemperatur in °C AT_{Soll} = Erwartungswert Außentemperatur in °C (langjähr. Mittel) F_L = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur (hier 0,2) BS_{Ist} = Istwert Außen-Beleuchtungsstärke in klx BS_{Soll} = Erwartungswert Außen-Beleuchtungsstärke in klx v_w = Windgeschwindigkeit im m/s W = Windkorrektur (hier 1 K) TS_{Ist} = Istwert Temperatursumme in °C x d TS_{Soll} = Sollwert Temperatursumme in °C x d TM_{Soll} = Tagesmitteltemperatursollwert in °C n = bisherige Anzahl Kulturtage F_{TS} = Skalierungsfaktor Temperatursummenkontrolle (hier 5×10^{-9})</p> | | | | | | | | | | | | | |

Die Temperatursummenkontrolle führte in den Sommermonaten rasch zu sehr großen Temperatursummenpolstern. Infolgedessen wurde der Heizungssollwert ständig sehr stark nach unten korrigiert, was auch am Verlauf des Heizenergieverbrauches in Abbildung 9 zu erkennen ist. Zweimal, in KW 36 und 40, mussten die Temperatursummendifferenzen auf Null zurückgesetzt werden, um überhaupt noch eine dynamische Lichtkorrektur und Windkorrektur zu ermöglichen.

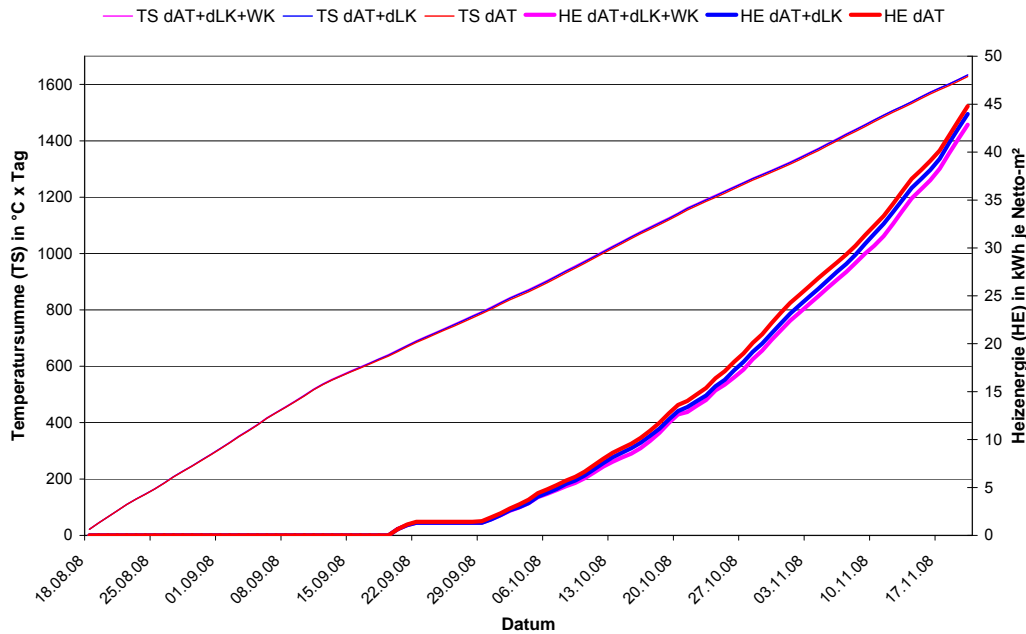


Abbildung 9: Entwicklung der Temperatursumme und des Heizenergieverbrauches bei Topfyclamen 2008

Gegenüber der dynamischen Außentemperaturkorrektur wurden nur geringe Einsparungen an Heizenergie von 2,0 % bei dLK sowie 4,5 % bei dLK+WK erzielt (siehe Tabelle 9). Bei dem insgesamt relativ niedrigen Energieaufwand entsprach dies Einsparungen von 0,8 bzw. 1,9 kWh/Netto-m². Die realen Temperatursummen lagen wie auch die Durchschnittstemperaturen dicht beieinander. Die Kulturdauer und Pflanzenmerkmale blieben weitgehend unbeeinflusst.

Tabelle 9: Energiedaten und Pflanzenmerkmale Topfyclamen 2008

| Programm | dAT+TSK | dAT+dLK+TSK | dAT+dLK+WK+TSK |
|--|---------|-------------|----------------|
| Temperatursumme in °C x Tag (18.08.-24.11.08) | 1595 | 1601 | 1602 |
| Abweichung Temperatursumme in % | | + 0,4 | + 0,4 |
| Durchschnittstemperatur in °C | 16,1 | 16,2 | 16,2 |
| Heizenergiebedarf in kWh/ Netto-m ² | 41,7 | 40,9 | 39,8 |

| Programm | dAT+TSK | dAT+dLK+TSK | dAT+dLK+WK+TSK |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| Energieeinsparung in kWh/Netto-m ² | | 0,8 | 1,9 |
| Energieeinsparung in % | | 2,0 | 4,5 |
| | | | |
| Kulturdauer ab Topfen in Tagen | 133,5 ^b | 130,4 ^a | 134,6 ^b |
| Pflanzendurchmesser in cm | 27,4 ^a | 29,5 ^c | 28,3 ^b |
| Pflanzenhöhe in cm | 20,9 ^a | 22,1 ^b | 21,8 ^b |
| Laubhöhe in cm | 11,0 ^a | 11,8 ^b | 11,1 ^a |
| Blütengröße in cm | 5,1 ^a | 5,3 ^a | 5,2 ^a |
| Bonitur Blattanzahl | 7,8 ^a | 8,0 ^a | 8,0 ^a |
| Bonitur Laubgröße | 5,1 ^a | 5,3 ^a | 5,2 ^a |
| Durchwurzelung | 4,6 ^a | 4,6 ^a | 4,8 ^a |
| Wurzelqualität | 7,9 ^a | 7,8 ^a | 7,9 ^a |
| Gesamteindruck | 8,6 ^a | 8,7 ^{a,b} | 8,8 ^b |
| Sprossmasse in g | 149,2 ^a | 164,8 ^b | 149,7 ^a |

^{a,b,c} Signifikanzgruppen TUCKEY B, $\alpha=0,05$

Die Temperatursummenüberwachung war in der hier eingesetzten Form nicht zufrieden stellend, da im Übergang von den Sommerbedingungen zusätzlich Eingriffe von Hand erforderlich waren, um eine drastische Überlagerung der anderen Programmbausteine zu vermeiden.

3.5 Poinsettien 2008

Im Herbst 2008 wurde an Poinsettien die dynamische Lichtkorrektur und Windkorrektur zusätzlich und im Vergleich zu einem Standardprogramm mit cool morning, dynamischer Außentemperaturkorrektur und Temperatursummenkontrolle erprobt.

Nach dem Topfen in KW 30 wurden zum Einwurzeln und zur Förderung des Neuaustriebes nach dem Stutzen zunächst höhere Temperaturen mit Heizen Tag/Nacht 20 °C und Lüften Tag/Nacht 23 °C gegeben. Die Differenzbehandlung in der Temperaturführung erfolgte ab KW 34 mit den in Tabelle 10 dargestellten Programmvarianten. Da sich aufgrund der warmen Sommerwitterung sehr rasch ein großes Temperatursummenpolster aufbaute, wurde am 01.09.08 (KW 36) die Temperatursumme nochmals auf Null zurückgesetzt.

Wie für Standardpflanzen mit 3 bis 5 Brakteen in der Praxis üblich, erfolgte die Kultur im 12-cm-Topf. In Zusammenhang mit einem in Kombination durchgeführten Düngungsversuch wurden zwei verschiedene Substrate (Putzer GS 90 und Stender D400 mit Xylit) eingesetzt. Alle Klimaprogrammvarianten enthielten die gleichen Substrat/Düngungsvarianten. Gestutzt wurde in KW 32 auf 6 Blätter. Mit ca. 80 ml/m² 0,15 % Cycocel 720 erfolgte in KW 33, 35 und 36 dreimal eine chemische Wachstumsregulierung. Ab KW 34 standen die Pflanzen mit 12 St/m² im Endstand. Für einen ge-

ringförmig vorgezogenen Kurztag wurde ab KW 38 verdunkelt. In KW 47/48 waren die Pflanzen vermarktungsfähig.

Tabelle 10: Energiesparprogramme Poinsettien 2008

| Programm | CM+dAT+TSK | CM+dAT+dLK+TSK | CM+dAT+dLK+WK+TSK | | | | | | | | | | |
|---|---|----------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|----|-----|--|--|--|--|--|
| Abteil | 10.3 | 10.2 | 10.1 | | | | | | | | | | |
| Basis-Heizungssollwert Tag/Nacht in °C | 16/16 ab 8.10.08: 18/18 | 16/16 ab 8.10.08: 18/18 | 16/16 ab 8.10.08: 18/18 | | | | | | | | | | |
| Tagesmitteltemperatursollwert in °C | 18 | 18 | 18 | | | | | | | | | | |
| Basis-Lüftungssollwert Tag/Nacht in °C | 19/19 ab 8.10.08: 21/21 | 19/19 ab 8.10.08: 21/21 | 19/19 ab 8.10.08: 21/21 | | | | | | | | | | |
| cool morning | Heizung: 1 h vor Sonnenaufgang für 4 h auf 8 °C; Lüftung: mit Sonnenaufgang für 2 h auf 10 °C | | | | | | | | | | | | |
| Weitere Einstellungen | Schattiersollwert 45 klx, Mindesttemperatur 6 °C ab 16.09.08 bis 7.10.07 Verdunklung ab 17:00 Uhr bis 45:00 min vor Sonnenaufgang ab 8.10.08 CM abgeschaltet; Verdunklung von 30 min vor Sonnenuntergang bis 30 min nach Sonnenaufgang; Energieschirm von 60 min vor Sonnenuntergang bis 60 min nach Sonnenaufgang. ab 13.10.08 Änderung Schirmeinstellungen, da in den Morgenstunden hoher Energieverbrauch: Energieschirm: Schaltpunkt unabhängig von AT auf 4 klx gesetzt, Nachtfunktion von 60 min vor Sonnenuntergang bis 90 min nach Sonnenaufgang; Verdunklung von 30 min vor Sonnenuntergang bis 45 min nach Sonnenaufgang | | | | | | | | | | | | |
| Steuerung | ACCESS | ACCESS | ACCESS | | | | | | | | | | |
| <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%; text-align: center;">dAT</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">dLK</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">WK</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">TSK</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="3" style="text-align: center;"> $HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll}) - W - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$ </td> <td></td> </tr> </table> | | | | | dAT | dLK | WK | TSK | | $HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll}) - W - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$ | | | |
| | dAT | dLK | WK | TSK | | | | | | | | | |
| | $HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll}) - W - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$ | | | | | | | | | | | | |
| <p>mit folgenden Bedingungen:</p> <p>WENN $AT_{Ist} > HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0$</p> <p>WENN $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0,3$</p> <p>WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} > 0$, DANN $k = 1$</p> <p>WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} < 0$, DANN $k = 2$</p> <p>WENN $BS_{Ist} > BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0$</p> <p>WENN $BS_{Ist} \leq BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0,2$</p> <p>WENN $v_w > 3,5$ m/s, DANN $W = 1$ K</p> <p>$TS_{Soll} = TM_{Soll} * n$</p> <p>$HT_{akt}$ = aktualisierter Heizungssollwert in °C HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C k = Faktor für Absenkung bzw. Anhebung</p> | | | | | | | | | | | | | |

| | |
|-------------|--|
| F_{AT} | = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur (hier 0,3) |
| AT_{Ist} | = Istwert Außentemperatur in °C |
| AT_{Soll} | = Erwartungswert Außentemperatur in °C (langjähr. Mittel) |
| F_L | = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur (hier 0,2) |
| BS_{Ist} | = Istwert Außen-Beleuchtungsstärke in klx |
| BS_{Soll} | = Erwartungswert Außen-Beleuchtungsstärke in klx |
| v_w | = Windgeschwindigkeit im m/s |
| W | = Windkorrektur (hier 1 K) |
| TS_{Ist} | = Istwert Temperatursumme in °C x d |
| TS_{Soll} | = Sollwert Temperatursumme in °C x d |
| TM_{Soll} | = Tagesmitteltemperatursollwert in °C |
| n | = bisherige Anzahl Kulturtage |
| F_{TS} | = Skalierungsfaktor Temperatursummenkontrolle (hier 5×10^{-9}) |

Wie aus Abbildung 10 zu ersehen ist, benötigten alle Programmvarianten im Spätsommer lange Zeit keinerlei Heizenergie. Erst ab Anfang Oktober kam es zu nennenswerten täglichen Verbräuchen. Die Ursachen dafür liegen in der warmen und strahlungsreichen Witterung und in dem in dieser Phase (bis 08.10.08) niedriger angesetzten Basis-Heizungssollwert mit Heizen Tag/Nacht 16/16 °C. Einerseits wurde dadurch der Energieverbrauch direkt reduziert, andererseits führte das sich rasch aufbauende Temperatursummenpolster in allen Programmvarianten zu weiteren Absenkungen der Heizungssollwerte. Auch über die gesamte Kulturdauer blieb der Bedarf an Heizenergie niedrig, im Vergleich zum Vorjahr betrug er nur ca. 50 bis 60 %. Die Temperatursummen der Programmvarianten lagen in allen Kulturanschnitten sehr dicht beieinander und am Kulturende in der Größenordnung des Vorjahres.

Trotz des insgesamt niedrigen Bedarfs an Heizenergie und des starken Einflusses der Temperatursummenkontrolle waren Unterschiede zwischen den Programmvarianten (siehe Tabelle 11) festzustellen. Gegenüber dem neuen Standardprogramm CM+dAT+TSK erzielte die zusätzliche dynamische Lichtkorrektur eine Einsparung von 2 kWh/Netto-m² (= 3,8 %). Die Programmvariante CM+dAT+dLK+WK reduzierte gegenüber dem Standard den Verbrauch an Heizenergie um 6,1 % (= 3,2 kWh/Netto-m²).

Durch die dynamische Lichtkorrektur wurde also eine zusätzliche Einsparung an Heizenergie von 3,8 %, durch die Windkorrektur um 2,3 % erzielt.

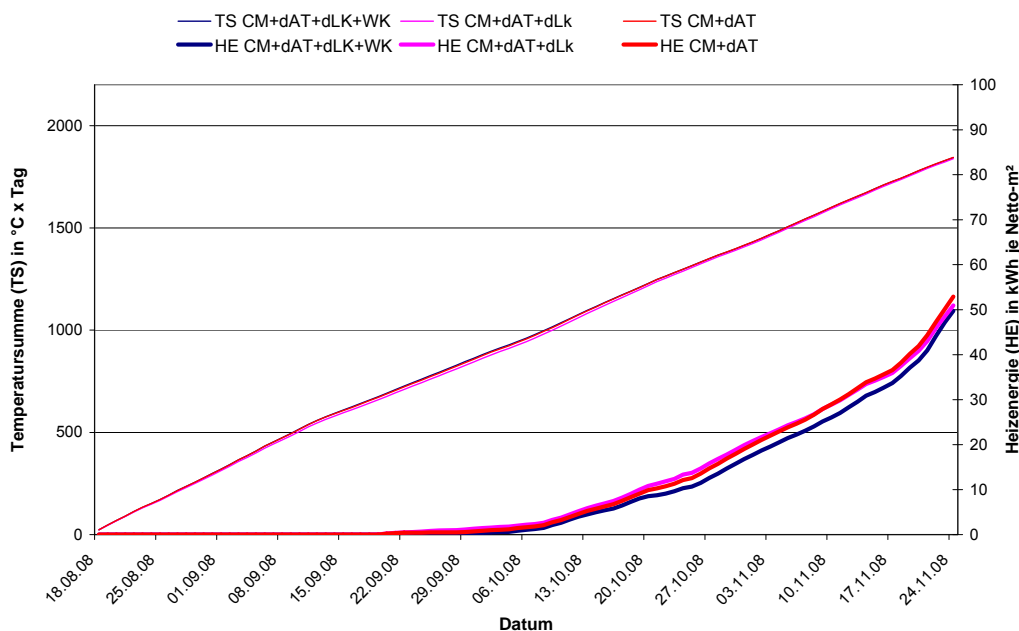


Abbildung 10: Entwicklung der Temperatursumme und des Heizenergieverbrauches bei Poinsettien 2008

Tabelle 11: Energiedaten und Pflanzenmerkmale Poinsettien 2008

| Programm | CM+dAT+TSK | CM+dAT+dLk+TSK | CM+dAT+dLK+WK+TSK |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Temperatursumme in °C x Tag (18.08. – 24.11.08) | 1845 | 1838 | 1843 |
| Abweichung Temperatursumme in % | | - 0,4 | - 0,1 |
| Durchschnittstemperatur in °C | 18,6 | 18,6 | 18,6 |
| Heizenergiebedarf in kWh/ Netto-m ² | 52,9 | 50,9 | 49,7 |
| Energieeinsparung in kWh/Netto-m ² | | 2,0 | 3,2 |
| Energieeinsparung in % | | 3,8 | 6,1 |
| Pflanzenhöhe in cm | 22,5 ^a | 23,5 ^b | 23,7 ^b |
| Pflanzenbreite in cm | 39,4 ^a | 41,1 ^b | 41,3 ^b |
| Anzahl Triebe | 3,5 ^a | 3,5 ^a | 3,4 ^a |
| Brakteendurchmesser in cm | 23,5 ^a | 24,2 ^b | 24,4 ^b |
| Cyathienstadium | 3,2 ^a | 3,2 ^a | 3,5 ^b |

| Programm | CM+dAT+TSK | CM+dAT+dLk+TSK | CM+dAT+dLk+Wk+TSK |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Durchwurzelung | 3,8 ^c | 3,1 ^a | 3,5 ^b |
| Wurzelqualität | 7,0 ^a | 7,2 ^a | 7,8 ^b |
| Gesamteindruck | 8,0 ^a | 8,4 ^b | 8,0 ^a |
| Sprossmasse in g | 90,6 ^a | 92,4 ^a | 89,7 ^a |

^{a,b,c} Signifikanzgruppen TUCKEY B, $\alpha = 0,05$

Die Auswertung der Pflanzenmerkmale (Tabelle 11) zeigt, dass die Programmvarianten mit dLK und WK zu geringfügig größeren Pflanzen mit etwas größeren Brakteen führt. Diese Unterschiede waren zwar statistisch abzusichern, in der Größenordnung jedoch ohne wirtschaftliche Bedeutung. Optisch sahen die Pflanzen aus allen Programmvarianten sehr ähnlich aus und wiesen eine gute Qualität auf.

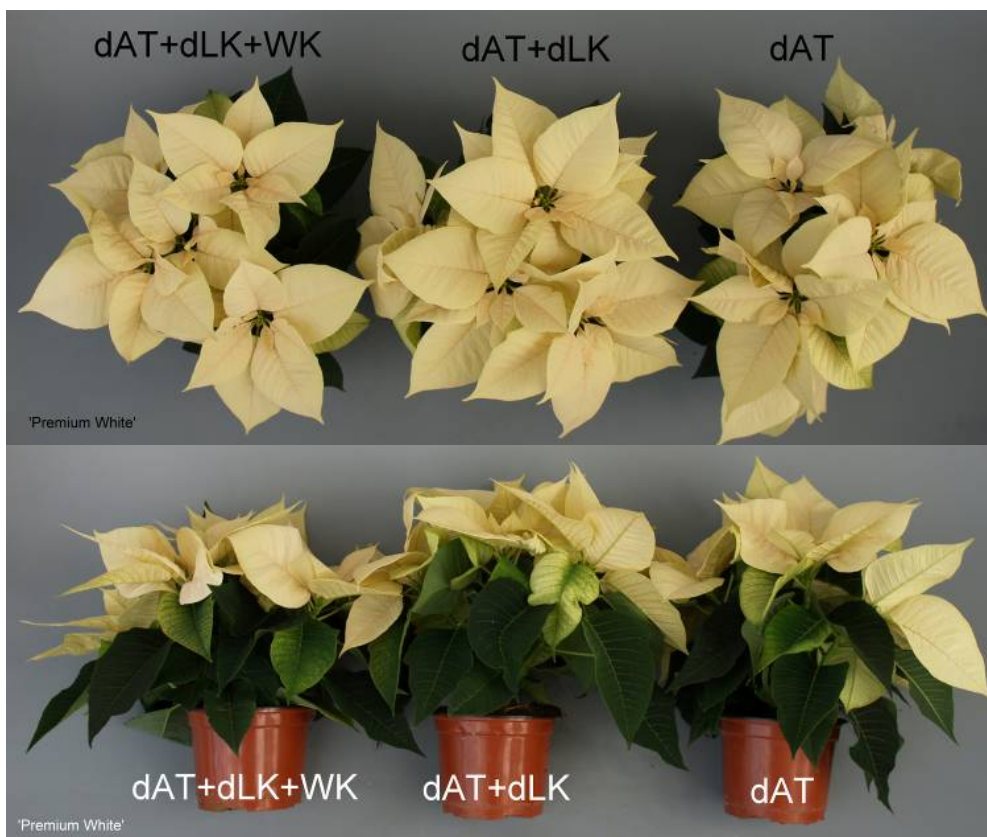


Abbildung 11: Keine Beeinträchtigung der Pflanzenqualität durch dLK und WK bei Poinsettien 2008

3.6 Pelargonien 2009

Durch die Einbeziehung von sechs Gewächshausabteilen konnten im Frühjahr 2009 bei der Kultur von Pelargonien entsprechend mehr Programmvarianten verglichen werden (siehe Tabelle 12).

Ein Basisprogramm wurde einzeln und in Kombination mit verschiedenen Korrekturbausteinen versehen. Neben den Einsparbeiträgen der einzelnen Programmbausteine sollte so die Additionsfähigkeit der Einsparbeiträge bei Kombinationen ermittelt werden. Außer den beiden Standardvarianten enthielten alle anderen Programme einen Baustein zur Temperatursummenkontrolle. Auf Grund der Erfahrungen mit den unerwünschten Wärmesummenpolstern aus dem Vorjahr wurde diese programmintern auf maximal 1.000 Kh begrenzt, um das ansonsten erforderliche Zurücksetzen zu vermeiden.

Gepflanzt wurde in KW 06 in 11er-Töpfe mit dem Substrat Floradur B mit Ton. In KW 07 wurden ausschließlich die Efeupelargonien auf drei Nodien gestutzt, die Zonalpelargonien blieben ungestutzt. Ab KW 8/9 erfolgte die Differenzbehandlung in den sechs Programmvarianten der Heizungssteuerung. Bis KW 11 erfolgte mehrmals das Entfernen aller Blüten- und Knospenstände über dem Laub.

Tabelle 12: Energiesparprogramme Pelargonien 2009

| Programm | Standard | Standard CM | CM+dAT+TSK | CM+dLK+TSK | CM+dAT+dLK+TSK | CM+dAT+dLK+WK+TSK |
|--|--|---|------------|------------|----------------|-------------------|
| Abteil | 11.3 | 10.3 | 10.1 | 11.2 | 10.2 | 11.1 |
| Basis-Heizungssollwert Tag/Nacht in °C | 16/17 | 16/17 | 16/17 | 16/17 | 16/17 | 16/17 |
| Tagesmitteltemperatursollwert in °C | | | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Basis-Lüftungssollwert Tag/Nacht in °C | 18/19 | 18/19 | 18/19 | 18/19 | 18/19 | 18/19 |
| cool morning | ohne | Heizung: 1 h vor Sonnenaufgang für 4 h 8 °C Lüftung: mit Sonnenaufgang für 2 h 10 °C | | | | |
| Weitere Einstellungen | Schattiersollwert 60 klx; Mindesttemperatur 6 °C | | | | | |
| Steuerung | CC 600 | CC 600 | ACCESS | ACCESS | ACCESS | ACCESS |

| dAT | dLK | WK | TSK |
|---|-----|----|-----|
| $HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll}) - W - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$ | | | |
| <p>mit folgenden Bedingungen:</p> <p>WENN $AT_{Ist} > HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0$</p> <p>WENN $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0,3$</p> <p>WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} > 0$, DANN $k = 1$</p> <p>WENN $AT_{Ist} - AT_{Soll} < 0$, DANN $k = 2$</p> <p>WENN $BS_{Ist} > BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0$</p> <p>WENN $BS_{Ist} \leq BS_{Soll}$, DANN $F_L = 0,2$</p> <p>WENN $v_w > 3,5$ m/s, DANN $W = 1$ K</p> <p>$TS_{Soll} = TM_{Soll} * n$</p> <p>$TS_{Ist} - TS_{Soll} = \max. \pm 1000$ Kh</p> | | | |
| <p>HT_{akt} = aktualisierter Heizungssollwert</p> <p>HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C</p> <p>k = Faktor für Absenkung bzw. Anhebung</p> <p>F_{AT} = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur (hier 0,3)</p> <p>AT_{Ist} = Istwert Außentemperatur in °C</p> <p>AT_{Soll} = Erwartungswert Außentemperatur in °C (langjähr. Mittel)</p> <p>F_L = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur (hier 0,2)</p> <p>BS_{Ist} = Istwert Außen-Beleuchtungsstärke in klx</p> <p>BS_{Soll} = Erwartungswert Außen-Beleuchtungsstärke in klx</p> <p>v_w = Windgeschwindigkeit in m/s</p> <p>W = Windkorrektur (hier 1 K)</p> <p>TS_{Ist} = Istwert Temperatursumme in °C x d</p> <p>TS_{Soll} = Sollwert Temperatursumme in °C x d</p> <p>TM_{Soll} = Tagesmitteltemperatursollwert in °C</p> <p>n = bisherige Anzahl Kulturtage</p> <p>F_{TS} = Skalierungsfaktor Temperatursummenkontrolle (hier 5×10^{-9})</p> | | | |

Der in Abbildung 12 dargestellte Verlauf des Heizenergieverbrauches zeigt den für die Frühjahrs-kulturen typischen, anfangs steileren Anstieg, der ab Ende März deutlich abflacht. Einen frühzeitig deutlich niedrigeren Energiebedarf weist die Variante mit cool morning aber ohne Temperatursummenkontrolle auf. Gegenüber dem Standard wurden durch CM ohne Temperatursummenkorrektur 18,5 % der Heizenergie eingespart. Diese Variante lag folgerichtig auch im Verlauf der Temperatursumme deutlich unter allen anderen. Gegenüber dem Standard betrug am Kulturende die Abweichung in der Temperatursumme -2,2 % bzw. ein um 0,4 K niedrigere Durchschnittstemperatur (Tabelle 13).

Alle anderen Programmvarianten erfolgten mit TSK und lagen demzufolge sowohl im Heizenergieverbrauch als auch in der Temperatursumme dichter am Standard. CM+dAT+TSK erreichte eine

Einsparung von 8,1 %, CM+dLK+TSK eine von 4,9 %. Die Kombination in CM+dAT+dLK+TSK erzielte mit 10,7 % zwar einen höheren Betrag, der aber unter der Summe der beiden Einzelbeiträge lag. Es kommt also zu einer gegenseitigen Beeinflussung und teilweisen Kompensation der Einzeleffekte der Korrekturbausteine. Dafür spricht auch die Einsparung von „nur“ 5,0 % der Heizenergie bei CM+dAT+dLK+WK+TSK.

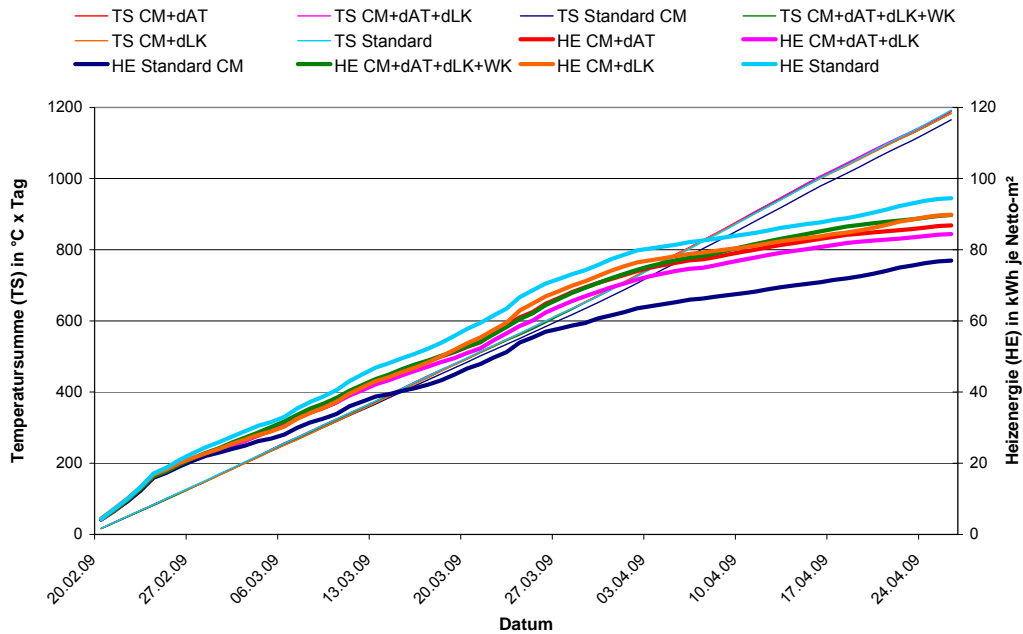


Abbildung 12: Entwicklung der Temperatursumme und des Heizenergieverbrauches bei Pelargonien 2009

Tabelle 13: Energiedaten und Pflanzenmerkmale Pelargonien 2009

| Programm | Standard | Standard CM | CM+dAT+TSK | CM+dLK+TSK | CM+dAT+dLK+TSK | CM+dAT+dLK+WK+TSK |
|---|----------|-------------|------------|------------|----------------|-------------------|
| | 11.3 | 10.3 | 10.1 | 11.2 | 10.2 | 11.1 |
| Temperatursumme in °C x Tag (20.02. – 26.04.09) | 1192 | 1165 | 1188 | 1184 | 1191 | 1183 |
| Abweichung Temperatursumme in % | | - 2,2 | - 0,3 | - 0,7 | - 0,1 | - 0,7 |
| Durchschnittstemperatur in °C | 18,06 | 17,66 | 18,01 | 17,94 | 18,05 | 17,93 |

| Programm | Standard | Standard CM | CM+dAT+TSK | CM+dLK+TSK | CM+dAT+dLK+TSK | CM+dAT+dLK+WK+TSK |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Heizenergiebedarf in kWh/ Netto-m ² | 94,5 | 76,9 | 86,8 | 89,8 | 84,4 | 89,8 |
| Energieeinsparung in kWh/Netto-m ² | | 17,5 | 7,6 | 4,6 | 10,1 | 4,7 |
| Energieeinsparung in % | | 18,5 | 8,1 | 4,9 | 10,7 | 5,0 |
| | | | | | | |
| Kulturdauer in d | 68 ^a | 70 ^b | 67 ^a | 67 ^a | 68 ^a | 68 ^a |
| Anteil Nichtblüher in % | 3,3 | 4,4 | 2,5 | 2,8 | 2,5 | 1,7 |
| Pflanzenhöhe in cm | 27,7 ^b | 27,2 ^{ab} | 26,2 ^a | 26,2 ^a | 25,8 ^a | 26,1 ^a |
| Pflanzenbreite in cm | 36,5 ^b | 34,9 ^{ab} | 34,8 ^{ab} | 34,3 ^{ab} | 33,8 ^a | 35,2 ^{ab} |
| Anzahl Blüten und Knospen je Pfl | 3,0 ^a | 2,7 ^a | 2,7 ^a | 2,8 ^a | 2,9 ^a | 2,9 ^a |
| Laubfarbe | 5,2 ^a | 5,1 ^a | 5,1 ^a | 5,2 ^a | 5,1 ^a | 5,1 ^a |
| Gesamteindruck | 7,5 ^a | 7,7 ^a | 7,5 ^a | 7,5 ^a | 7,6 ^a | 7,4 ^a |
| Sprossmasse in g | 98,2 ^{ab} | 102,4 ^b | 88,9 ^a | 89,1 ^a | 89,1 ^a | 94,0 ^{ab} |
| Durchwurzlung | 6,4 ^{bc} | 6,3 ^{abc} | 6,1 ^a | 6,0 ^a | 6,2 ^{ab} | 6,6 ^c |
| Wurzelqualität | 7,2 ^a | 7,3 ^{ab} | 7,4 ^{ab} | 7,5 ^b | 7,4 ^{ab} | 7,4 ^{ab} |

^{a,b,c} Signifikanzgruppen TUCKEY B, $\alpha = 0,05$

Hinsichtlich der pflanzenbaulichen Auswirkungen war festzustellen, dass CM ohne TSK zu einer zwar mit zwei Tagen noch relativ geringen, aber statistisch gesicherten Kulturzeitverlängerung führte. Hier wurde der Grenzbereich wirtschaftlich relevanter Auswirkungen erreicht. Alle anderen Programmvarianten wiesen trotz nennenswerter Energieeinsparung keine Kulturzeitverlängerung auf. Gegenüber dem Standard waren die Pflanzen aller anderen Varianten geringfügig kleiner bzw. kompakter. Dies ist als Vorteil zu bewerten.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

4.1 Energieeinsparung

Die folgende Tabelle 14 enthält eine Zusammenstellung der in den Pillnitzer Versuchen 2007 bis 2009 erzielten prozentualen Einsparungen an Heizenergie. Beim Betrachten der Werte ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Standards angewendet wurden und so keine direkte Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Kulturen und Jahren gegeben ist.

Tabelle 14: Prozentuale Einsparungen an Heizenergie durch spezielle Programme der Heizungssteuerung (Pillnitzer Versuche 2007 - 2009)

| Programm | Standard CM | CM+dAT | CM+dAT+dLK | Standard | dAT | dAT+dLK+WK | CM+dAT+dLK+WK | dAT+TSK | dAT+dLK+TSK | dAT+dLK+WK+TSK | CM+dAT+TSK | CM+dAT+dLK+TSK | CM+dAT+dLK+WK+TSK | CM+dLK+TSK |
|-------------------------|-------------|--------|------------|----------|-----|------------|---------------|---------|-------------|----------------|------------|----------------|-------------------|------------|
| Poinsettien 2007 | 0 | 15,7 | 22,8 | | | | | | | | | | | |
| Schnittcyclamen 2007/08 | | | | 0 | 7,1 | 14,8 | | | | | | | | |
| Balkonpflanzen 2008 | | 0 | 3,4 | | | | 4,8 | | | | | | | |
| Topfcyclamen 2008 | | | | | | | | 0 | 2,0 | 4,5 | | | | |
| Poinsettien 2008 | | | | | | | | | | | 0 | 3,8 | 6,1 | |
| Pelargonien 2009 | 18,5 | | | 0 | | | | | | | 8,1 | 10,7 | 5,0 | 4,9 |

Es lassen sich folgende Bewertungen ableiten:

- Sowohl die dynamische Lichtkorrektur als auch die Windkorrektur leisten einzeln und in Kombination mit der dynamischen Außentemperaturkorrektur jeweils eine Einsparung an Heizenergie in der Größenordnung von 2 bis 5 %.
- In kombinierten Programmen addieren sich die Einsparpotenziale der einzelnen Bausteine nicht einfach. Durch Wechselwirkungen bleibt die Gesamteinsparung hinter der Summe der Einzelbeträge zurück. Die Einbeziehung weiterer Faktoren erscheint deshalb nicht sinnvoll.
- Die neuen Programmteile der dynamischen Lichtkorrektur und Windkorrektur sind sowohl in der Frühjahrs- als auch in der Herbstsaison anwendbar. Je größer der Anteil der Kulturdauer ist, der in der Heizperiode liegt, umso größer ist der erzielbare Effekt.
- Die im Rahmen dieses Projektes getesteten Modelle der Temperatursummenkontrolle erwiesen sich als ungeeignet. Sie führten zu einer wesentlichen Reduzierung der Einspareffekte, die in keinem Verhältnis zur Erhöhung der Kultursicherheit stand.

4.2 Kulturdauer, Ertrag und Qualität

Alle Programmvarianten, mit denen in der Summe Einsparungen in der Größenordnung bis zu etwa 20 % erzielt wurden, blieben bei den untersuchten Poinsettien, Topfcyclamen, Zonal- und Efeu-pelargonien, Nemesien, Fuchsien sowie Petunien ohne negative Auswirkungen auf die Kulturdauer und Pflanzenqualität.

Einzigste Ausnahme der untersuchten Beet- und Balkonpflanzen waren Neuguinea-Impatiens, die nach Anwendung von dynamischer Lichtkorrektur und Windkorrektur mit einer deutlichen Kulturzeitverlängerung von 9 bis 10 Tagen reagierten.

Auf Grund der konkreten Situation mit uneinheitlichem Jungpflanzenmaterial können die Auswirkungen auf den Ertrag bei Schnittcyclamen nicht abschließend beurteilt werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die neuen Heizungssteuerungsprogramme zur Energieeinsparung mit dynamischer Lichtkorrektur und Windkorrektur sowohl bei Herbst- und Winter- als auch bei Frühjahrskulturen anwendbar sind.

4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung muss die erzielbare Einsparung finanziell abgeschätzt werden. Die Anwendung der Heizungssteuerungsprogramme zur Energieeinsparung ist vor allem bei warm kultivierten Pflanzenarten und natürlich nur während der Heizperiode sinnvoll. Der Einsatz bei Kulturen wie Topfazaleen, Primeln, Viole und anderen Frühjahrsblühern, die frostfrei oder sehr kühl überwintert werden, ist nicht sinnvoll. Bei höheren Temperaturen bleibt die Heizung ohnehin ausgeschaltet und eine Absenkung des Heizungswertes würde zum Einfrieren des Heizungssystems führen.

Von den in den meisten Betrieben angebauten Hauptkulturen kommen im Frühjahr Beet- und Balkonpflanzen in Frage, hier vor allem die früheren Sätze, die mit höherem Energieeinsatz für die jetzt schon Mitte April einsetzende Vermarktung produziert werden. Bei einer Kultur ab KW 6 bis KW 16 ist erst nach der Bewurzlungs-, Stutz- und Austriebsphase etwa ab KW 9 die Anwendung der Heizungssteuerungsprogramme zur Energieeinsparung sinnvoll. Der mittlere Energiebedarf für KW 9 bis KW 16 beträgt bei einem Basis-Heizungswert von Tag/Nacht 17/17 °C für ein 1.000 m² großes Gewächshaus mit Energieschirm ca. 11.5000 kWh bzw. 115 kWh/m² (nach RATH in ARBEITSKREIS BETRIEBSWIRTSCHAFT IM GARTENBAU E.V. HANNOVER 1998). In Abhängigkeit vom Ölpreis und den durch die Programme erzielten prozentualen Energieeinsparungen sind dabei die in Tabelle 15 dargestellten finanziellen Einsparungen möglich.

Tabelle 15: Kalkulation Kosteneinsparung durch Heizungssteuerungsprogramme zur Energieeinsparung bei einem Beispielssatz Beet- und Balkonpflanzen KW 6 bis 16

| Ölpreis in €/l Heizöl EL | Energiekosten in €/Netto-m ² bei 115 kWh/Netto-m ² (KW 9 bis 16) | Kosteneinsparung in €/Netto-m ² bei Energieeinsparung von | | | |
|-----------------------------|---|---|------|------|------|
| | | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % |
| 0,40 | 4,60 | 0,23 | 0,46 | 0,69 | 0,92 |
| 0,50 | 5,75 | 0,29 | 0,58 | 0,86 | 1,15 |
| 0,60 | 6,90 | 0,35 | 0,69 | 1,04 | 1,38 |
| 0,70 | 8,05 | 0,40 | 0,81 | 1,21 | 1,61 |
| 0,80 | 9,20 | 0,46 | 0,92 | 1,38 | 1,84 |

Im Herbst ist die Anwendung bei der Kultur von Cyclamen, vor allem aber bei den relativ wärmebedürftigen Poinsettien sinnvoll.

Der mittlere Energiebedarf für eine Cyclamenkultur in KW 34 bis KW 46 beträgt bei einem Basis-Heizungssollwert von Tag/Nacht 14/16 °C für ein 1.000 m² großes Gewächshaus mit Energieschirm ca. 70.000 kWh bzw. 70 kWh/m² (nach RATH in ARBEITSKREIS BETRIEBSWIRTSCHAFT IM GARTENBAU E.V. HANNOVER 1998). In Abhängigkeit vom Ölpreis und den durch die Programme erzielten prozentualen Energieeinsparungen sind dabei die in Tabelle 16 dargestellten finanziellen Einsparungen möglich.

Tabelle 16: Kalkulation Kosteneinsparung durch Heizungssteuerungsprogramme zur Energieeinsparung bei einem Beispielssatz Topfcyclamen KW 34 bis 46

| Ölpreis in €/l Heizöl EL | Energiekosten in €/Netto-m ² bei 70 kWh/Netto-m ² (KW 34 bis 46) | Kosteneinsparung in €/Netto-m ² bei Energieeinsparung von | | | |
|-----------------------------|---|---|------|------|------|
| | | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % |
| 0,40 | 2,80 | 0,14 | 0,28 | 0,42 | 0,56 |
| 0,50 | 3,50 | 0,18 | 0,35 | 0,53 | 0,70 |
| 0,60 | 4,20 | 0,21 | 0,42 | 0,63 | 0,84 |
| 0,70 | 4,90 | 0,25 | 0,49 | 0,74 | 0,98 |
| 0,80 | 5,60 | 0,28 | 0,56 | 0,84 | 1,12 |

Für die Poinsettien als zweiter Hauptkultur im Herbst ergeben sich unter den gleichen Voraussetzungen und bei Basis-Heizungssollwerten von 18 °C die in Tabelle 17 zusammengefassten Einsparmöglichkeiten:

Tabelle 17: Kalkulation Kosteneinsparung durch Heizungssteuerungsprogramme zur Energieeinsparung bei einem Beispielsatz Poinsettien KW 34 bis 48

| Ölpreis in €/l Heizöl EL | Energiekosten in €/Netto-m ² bei 125 kWh/Netto-m ² (KW 34 bis 48) | Kosteneinsparung in €/Netto-m ² bei Energieeinsparung von | | | |
|-----------------------------|--|---|------|------|------|
| | | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % |
| 0,40 | 5,00 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 |
| 0,50 | 6,25 | 0,31 | 0,63 | 0,94 | 1,26 |
| 0,60 | 7,50 | 0,38 | 0,75 | 1,13 | 1,50 |
| 0,70 | 8,75 | 0,44 | 0,88 | 1,31 | 1,76 |
| 0,80 | 10,00 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 2,00 |

Für eine vorsichtige Schätzung der möglichen Kosteneinsparungen soll von einer mittleren Energieeinsparung von 10 % sowohl bei der Frühjahrs- als auch der Herbstnutzung ausgegangen werden. Bei einem Ölpreis von 0,50 €/l wird eine jährliche Kostenersparnis von etwa 0,90 bis 1,20 je Netto-m² erreicht. Bei 20 % Energieeinsparung beträgt die Kosteneinsparung dann jährlich 1,80 bis 2,40 €/Netto-m².

Die Kosten für die speziellen Heizungssteuerungsprogramme sind mit einmaligen 300,- bis 800,- € pro Betrieb vergleichsweise gering und amortisieren sich schon bei kleinen Betriebsflächen innerhalb eines Jahres. Allerdings ist Voraussetzung, dass die Gewächshäuser mit einer Computersteuerung mit PC-Bedienoberfläche ausgestattet sind. Am einfachsten ist derzeit eine Nachinstallation der neuen Programmbausteine in der ACCESS-Runtime-Umgebung auf RAM-Anlagen. Wie bei der dynamischen Außentemperaturkorrektur ist allerdings zu erwarten, dass die dynamische Lichtkorrektur und die Windkorrektur in relativ kurzer Zeit als Standardbausteine in bestehende Programmpakete zur Gewächshausklimatisierung aufgenommen werden. Auch in kleinere Regelungssysteme für einzelne Gewächshäuser wie die Pillnitz-Box von Claus Viöl, Bremen ist eine baldige Integration zu erwarten.

4.4 Schlussfolgerungen

Die Dynamische Lichtkorrektur ist ein Programmbaustein zur Energieeinsparung bei der Heizungssteuerung von Gewächshäusern. Dabei wird der Heizungssollwert nach der Abweichung der aktuellen Einstrahlung vom langjährigen Mittel korrigiert.

Bei der Windkorrektur erfolgt eine Energieeinsparung, indem in Starkwindsituationen der Heizungssollwert im Gewächshaus abgesenkt wird.

Beide Systeme nutzen die Fähigkeit zur Wärmeintegration der Pflanzen. Geringes Wachstum in Phasen der Temperaturabsenkung zur Reduzierung der Energieverluste wird durch stärkeres Wachstum in Phasen der Temperaturanhebung in energetisch günstigeren Situationen ausgeglichen.

Zusätzlich zur dynamischen Außentemperaturkorrektur lassen sich mit der dynamischen Lichtkorrektur sowie der Windkorrektur jeweils etwa 2 bis 5 % der Heizenergie einsparen.

Die neuen Programmbausteine sind sowohl bei Frühjahrs- als auch bei Herbstkulturen anwendbar. Je größer der Anteil der Kulturdauer in der Heizperiode liegt, desto größer ist der erzielbare Effekt.

Die im Rahmen des Projektes getesteten Programmbausteine zur Temperatursummenkontrolle führten zu einer Reduzierung der Einspareffekte, die in keinem Verhältnis zur Erhöhung der Kultursicherheit stand.

In kombinierten Programmen addieren sich die Einsparpotenziale der einzelnen Programmbausteine nicht einfach. Durch Wechselwirkungen bleibt die Gesamteinsparung hinter der Summe der Einzelbeträge zurück. Bei einer Einsparung von etwa 20 % scheint auch die Grenze der Wärmeintegrationsfähigkeit der Hauptkulturen erreicht. Die Einbeziehung weiterer Faktoren erscheint deshalb nicht sinnvoll.

Bei den gewählten Parametrierungen zur dynamischen Lichtkorrektur sowie Windkorrektur kam es auch ohne Temperatursummenkontrolle zu keinen gravierenden Veränderungen bei der Kulturdauer und Pflanzenqualität. Einzige Ausnahmen waren bei den Beet- und Balkonpflanzen Neuguinea-Impatiens.

Die neuen Programme lassen sich leicht und kostengünstig in bestehende PC-gesteuerte Systeme zur Gewächshausklimatisierung einbinden.

Die Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Heizungssteuerungsprogrammen zur Energieeinsparung durch eine Dynamisierung des Heizungswertes werden am LfULG in Dresden-Pillnitz nicht direkt fortgesetzt. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in weitere F/E-Vorhaben wie die Entwicklung von Kulturprogrammen für Pelargonien und Poinsettien ein und werden auch in anderen Versuchen angewendet. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Unterstützung der Einführung in die Praxis durch Veröffentlichungen, Demonstrationen und Veranstaltungen.

5 Literaturhinweise

- ARBEITSKREIS BETRIEBSWIRTSCHAFT IM GARTENBAU E.V. HANNOVER: Datensammlung für die Betriebsplanung im Topfpflanzenbau, 3. Auflage 1998
- MENNE, ANDREA (1992): Reaktion einiger Zierpflanzen auf mehrtägige Fluktuationen von Temperatur und Lichtintensität. Dissertation, Universität Hannover
- MEYER, JOACHIM (2008): Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Gewächshäusern. Vortrag zum KTBL-Workshop vom 17.-18. September 2008 in Worms
- RAM (2003): CC 600-Computeranlage K1511. Produktunterlagen der RAM Elektronische Regelsysteme der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik Herrsching zur Pillnitzer Versuchsgewächshausanlage der LfL
- WARTENBERG, ST. (2007): Außentemperaturkorrektur - Entwicklung neuer Methoden zur Energieeinsparung bei der Steuerung des Gewächshausklimas und der Sicherung der Kulturdauer und Qualität im Zierpflanzenbau 2004-2006. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Heft 15/2007
- WARTENBERG, ST. (2009): Neue Programmbausteine zur Energieeinsparung: Dynamische Lichtkorrektur und Windkorrektur des Heizungssollwertes. In BHGL-Schriftenreihe Band 26, 2009: 45. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, Berlin, 25.-28.02.2009, S. 48
- WARTENBERG, ST., DALLMANN, M. (2008): Heizenergie einsparen durch Licht- und Windkorrektur. In Gb - Das Magazin für Zierpflanzenbau 12 (2008), S. 48-50

Impressum

- Herausgeber:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>
- Autor:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Gartenbau
Stephan Wartenberg
Söbrigener Str. 3a
01326 Dresden
Telefon: 0351 2612-8200
Telefax: 0351 2612-8299
E-Mail: stephan.wartenberg@smul.sachsen.de
- Redaktion:** siehe Autor
- Endredaktion:** Öffentlichkeitsarbeit
Präsidialabteilung
- ISSN:** 1867-2868
- Redaktionsschluss:** August 2009

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.