

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Freistaat
SACHSEN

Programmierte Kultur von Pelargonien und Poinsettien

Schriftenreihe, Heft 14/2012



Programmierte Kultur von Pelargonien und Poinsettien

Stephan Wartenberg

1	Ausgangssituation und Zielstellungen	8
2	Allgemeiner Lösungsansatz	11
2.1	Energieeinsparung	11
2.2	Sicherung Kulturdauer und Pflanzenqualität	13
2.3	Nutzung moderner Regeltechnik	20
2.4	Praxisrelevanz	21
3	Versuche Pelargonien	23
3.1	Versuchsjahr 2009: Energiesparprogramme ohne und mit Temperatursummenüberwachung	23
3.2	Versuchsjahr 2010: Temperatursumme als Prognosegröße für die Kulturdauer	26
3.3	Versuchsjahr 2011: Lichtsumme und Pflanzengröße	30
4	Versuche Poinsettien	34
4.1	Versuchsjahr 2009: Energiesparprogramme ohne und mit Temperatursummenüberwachung	34
4.2	Versuchsjahr 2010: Programmbausteine zur Wachstumsüberwachung	38
4.3	Versuchsjahr 2011: Wachstumsüberwachung, Lichtsumme und Pflanzengröße	44
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	50
	Literatur	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verlauf der Tagesmitteltemperatur und der Außentemperatursumme in den Jahren 2006 und 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)	14
Abbildung 2:	Verlauf der Temperatursummen innen und der eingesetzten Heizenergie bei der Kultur von Poinsettien mit verschiedenen Klimaprogrammen in den Jahren 2006 und 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz).....	14
Abbildung 3:	Temperatursummenpolster bei einem frühen Satz Poinsettien im Vergleich zur Normalkultur (LfULG Dresden-Pillnitz 2010).....	16
Abbildung 4:	Vermeidung von Temperatursummenpolstern durch Temperatursummenüberwachung mit Kappung bei 21 °C (TSK1000K21) bei einem frühen und normalspäten Satz Poinsettien (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)..	17
Abbildung 5:	Wachstumswert (WW) in Abhängigkeit von der Temperatur bei Poinsettien.....	18
Abbildung 6:	Entwicklung der Temperatursummen- bzw. der Wachstumswertdifferenz bei Anwendung von TSK1000, TSK1000K21 und WWS bei einem frühen und normalspäten Satz Poinsettien (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)...	19
Abbildung 7:	Zusammenwirken zwischen der Wetterstation, dem Klimarechner, dem PC und den Funktionen im Gewächshaus (LfULG Dresden-Pillnitz)	21
Abbildung 8:	Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Klimaprogramm (LfULG Dresden-Pillnitz 2009).....	24
Abbildung 9:	Zonalpelargonie 'Red Fox Survivor Dark Red' nach Kultur mit verschiedenen Klimaprogrammen (LfULG Dresden-Pillnitz 2009)	26
Abbildung 10:	Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Satz (KW 5 bzw. KW 9) und der angestrebten Tagesmitteltemperatur bei Pelargonien im Jahr 2010 (LfULG Dresden-Pillnitz).....	27
Abbildung 11:	Zonalpelargonie 'Bergpalais' aus unterschiedlichen Teilprogrammen zur Kultursteuerung 10 Wochen nach dem Topfen in KW 5 (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)	29
Abbildung 12:	Zonalpelargonie 'Bergpalais' aus unterschiedlichen Teilprogrammen zur Kultursteuerung 10 Wochen nach dem Topfen in KW 9 (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)	29
Abbildung 13:	Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Satz (KW 6 bzw. KW 9) und der angestrebten Tagesmitteltemperatur (TMT) bei Pelargonien im Jahr 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz).....	31
Abbildung 14:	Zonalpelargonien 'Bergpalais' aus unterschiedlichen Teilprogrammen zur Kultursteuerung 10 Wochen nach dem Topfen in KW 6 (LfULG Dresden-Pillnitz 2011)	33
Abbildung 15:	Zonalpelargonien 'Bergpalais' aus unterschiedlichen Teilprogrammen zur Kultursteuerung 10 Wochen nach dem Topfen in KW 9 (LfULG Dresden-Pillnitz 2011)	33
Abbildung 16:	Entwicklung der Temperatursummen und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Klimaprogramm (LfULG Dresden-Pillnitz 2009).....	36
Abbildung 17:	Poinsettie 'Christmas Feelings' nach Kultur mit verschiedenen Klimaprogrammen (LfULG Dresden-Pillnitz 2009).....	37
Abbildung 18:	Verlauf der realen Tagesmitteltemperaturen während der Kurztagsphase bei Satz KW 26 (Poinsettien, LfULG Dresden-Pillnitz 2010)	40
Abbildung 19:	Verlauf der realen Tagesmitteltemperaturen während der Kurztagsphase bei Satz KW 30 (Poinsettien, LfULG Dresden-Pillnitz 2010)	40
Abbildung 20:	Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Satz (KW 26 bzw. KW 30) und dem Programmbaustein zur Wachstumsüberwachung bei Poinsettien im Jahr 2010 (ab Stutzen, LfULG Dresden-Pillnitz).....	41
Abbildung 21:	Einfluss des Klimaprogramms und des Düngungsverfahrens auf die Pflanzenqualität bei Poinsettien im Satz KW 26 (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)	43
Abbildung 22:	Einfluss des Klimaprogramms und des Düngungsverfahrens auf die Pflanzenqualität bei Poinsettien im Satz KW 30 (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)	43
Abbildung 23:	Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Satz (KW 26 bzw. KW 30) und dem Programmbaustein zur Wachstumsüberwachung bei Poinsettien im Jahr 2011 (ab Stutzen, LfULG Dresden-Pillnitz).....	46

Abbildung 24: Berechnete Entwicklung der Innenlichtsummen bei den Varianten der Poinsettienkultur 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz).....	47
Abbildung 25: Einfluss des Klimaprogramms und des Düngungsverfahrens auf die Pflanzenqualität bei Poinsettien im Satz KW 26 (LfULG Dresden-Pillnitz 2011)	49
Abbildung 26: Einfluss des Klimaprogramms und des Düngungsverfahrens auf die Pflanzenqualität bei Poinsettien im Satz KW 30 (LfULG Dresden-Pillnitz 2011)	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Programmvarianten bei der Pelargonienkultur 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)	23
Tabelle 2:	Energiedaten und Pflanzenmerkmale Pelargonien 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)	25
Tabelle 3:	Auswirkungen verschiedener Tagesmitteltemperatursollwerte auf die Temperatur- und Lichtsummen bis zum Blühbeginn, den Heizenergieeinsatz, die Kulturdauer sowie einige Pflanzenmerkmale bei satzweisem Anbau von Pelargonien 2010 (LfULG Dresden-Pillnitz)	28
Tabelle 4:	Auswirkungen verschiedener Tagesmitteltemperatursollwerte auf die Kulturdauer, die Temperatur- und Lichtsummen bis zum Blühbeginn, den Heizenergieeinsatz sowie einige Pflanzenmerkmale bei satzweisem Anbau von Pelargonien 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz)	32
Tabelle 5:	Programmvarianten bei der Poinsettienkultur 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz).....	34
Tabelle 6:	Auswirkungen von Programmvarianten zur Heizungssteuerung auf den Energieverbrauch, die Kulturdauer und Merkmale der Pflanzenqualität bei Poinsettien 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz).....	37
Tabelle 7:	Einstellwerte der Klimaprogramme und allgemeine Kulturdaten bei der Poinsettienkultur in zwei Sätzen im Jahr 2010 (LfULG Dresden-Pillnitz)	39
Tabelle 8:	Auswirkungen der Klimaprogramme auf den Energieverbrauch, die Temperatur- bzw. Wachstumswertsumme sowie wesentliche Pflanzenmerkmale bei Poinsettien 2010 (LfULG Dresden-Pillnitz)	42
Tabelle 9:	Einstellwerte der Klimaprogramme und allgemeine Kulturdaten bei der Poinsettienkultur in zwei Sätzen im Jahr 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz)	45
Tabelle 10:	Auswirkungen der Klimaprogramme auf die Temperatur- bzw. Wachstumswertsumme sowie wesentliche Pflanzenmerkmale bei Poinsettien 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz)	48

1 Ausgangssituation und Zielstellungen

Pelargonien und Poinsettien gehören zu den bedeutendsten Topfkulturen, die in Deutschland produziert werden. Laut Informationen der AMI Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH sind Pelargonien mit 13 % Anteil die bedeutendste Pflanzenart am etwa 1,94 Mrd. € umfassenden Markt der Beet- und Balkonpflanzen (BIEGLER 2011). Das Marktvolumen der Pelargonien umfasst jährlich etwa 250 Mio € beziehungsweise 140 bis 160 Mio Stück. Bei Poinsettien gelangen jährlich etwa 32 Mio Stück zu einem Gesamtwert von etwa 86 Mio € zum Verbraucher. Nach den Topf-Orchideen liegen die Weihnachtssterne damit bei den blühenden Zimmerpflanzen auf dem zweiten Platz.

Obwohl oder gerade weil beide Arten zu den bedeutendsten Topfkulturen in deutschen Gartenbaubetrieben zählen, stehen sie betriebswirtschaftlich unter Druck. Der gesättigte Markt führte in den letzten Jahren zu stagnierenden, teilweise sogar sinkenden Erzeugerpreisen. Dem stehen ständig wachsende Kosten insbesondere für den Arbeitsaufwand und die Heizenergie gegenüber. Die Kulturführung muss also ständig weiterentwickelt werden, auch und gerade in Richtung Kostenminimierung bei gleichzeitiger Qualitätssicherung.

Energieeinsparung

Mit dem Ziel der Einsparung an Heizenergie wurden deshalb in den letzten Jahren neue Strategien für die Temperatursteuerung in Gewächshäusern entwickelt. Dabei wird das Temperatur- bzw. Wärmeintegrationsvermögen der Pflanzen ausgenutzt.

Beim so genannten „Weihenstephaner Modell“ werden die bekannten Temperaturstrategien „drop“ und „warm evening“ kombiniert (HAAS u. a. 2011). Bei der „drop“-Strategie wird durch die Temperaturabsenkung in den frühen Morgenstunden nicht nur eine Wachstumsregulierung erreicht, sondern durch das faktische Aussetzen der Heizung während der Tageszeit mit der niedrigsten Außentemperatur auch wesentlich Energie eingespart. Der damit verknüpfte Wärmeverlust wird am späten Nachmittag durch eine Temperaturanhebung kompensiert. Dies geschieht in erster Linie durch eine Anhebung des Lüftungssollwertes, sodass die Temperaturanhebung in den meisten Fällen unter Ausnutzung der Einstrahlung ohne zusätzliche Heizenergie erreicht werden kann.

Auch der alte Ansatz einer maximalen Ausnutzung der Sonnenenergie durch Wahl eines möglichst niedrigen Sollwertes für die Heizung bei einem gleichzeitig hohen Sollwert für die Lüftung wird wieder aufgegriffen und bis in extreme Bereiche experimentell untersucht (ALTMANN u. a. 2008, LUDOLPH 2011). Der Energieeinsparung mit diesem System stehen negative Auswirkungen durch eine starke Förderung des Streckungswachstums (Verstärkung der Tag-Nacht-Schwankungen) sowie erhöhte Pflanzenschutzrisiken (große Zeitanteile mit hoher Luftfeuchte) gegenüber. Die modernen, geschlossenen Kultursysteme ohne Bewässerung über Kopf, mit guten Anpassungsmöglichkeiten für die Nachdüngung sowie der verstärkte Einsatz von Wachstumsregulatoren und Pflanzenschutzmitteln erlauben es heute jedoch, die Grenzen dieser Systeme weiter hinauszuschieben.

Über mehrere Tage bzw. ganze Witterungsperioden wird bei den Heizungssteuerungsprogrammen „dynamische Außentemperaturkorrektur“ (WARTENBERG 2007) und „dynamische Lichtkorrektur“ (WARTENBERG 2009) die Wärme integriert. Dabei werden die aktuelle Außentemperatur bzw. die aktuelle Einstrahlung laufend mit dem langjährigen Mittel für den jeweiligen Kalendertag die jeweilige Tageszeit verglichen. Je nach Abweichung nach unten bzw. oben erfolgt dann eine Absenkung bzw. Anhebung des Heizungssollwertes. Auch die Windgeschwindigkeit als weitere Einflussgröße für den Energieverbrauch des Gewächshauses kann in die Temperatursteuerung einbezogen werden. Die Deckung des Wärmebedarfs der Pflanzen wird so, zumindest teilweise, in energetisch günstigere Zeitabschnitte verschoben.

Ziel ist es, die Energiesparstrategien in neue Kulturprogramme zu integrieren, um die Heizungskosten in vertretbaren Größenordnungen zu halten. Neben der Minderung der Heizungskosten für den Betrieb wird durch die Verbesserung der Solarnutzung mit Hilfe des Gewächshauses sowie die höhere Effizienz der eingesetzten Heizenergie ein Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emmission geleistet.

Sicherung Kulturdauer und Pflanzenqualität

Die neuen Temperatursteuerungsprogramme zur Energieeinsparung verursachen eine noch stärkere Fluktuation der Klimabedingungen im Gewächshaus. Schon bisher bewirkten Unterschiede in den geografischen Standortbedingungen, der technischen Ausführung der Gewächshäuser einschließlich der Steuerungstechnik sowie der jährlich ganz unterschiedliche Witterungsverlauf große Schwankungen in den Kulturbedingungen. Dies bringt Unsicherheiten hinsichtlich der Kulturdauer, Unterschiede in den Pflanzengrößen und Risiken für die Pflanzenqualität mit sich. Der Markt, insbesondere auf der Großhandelsebene, verlangt jedoch zu genau festgelegten Terminen immer die gleichen Größen und Qualitäten.

In der Vergangenheit wurden für die Erreichung der Ziele Kulturdauer und Pflanzenqualität detaillierte Kulturschemata mit zeitgebundenen Vorgaben für die Heizungs-, Lüftungs- und Schattiersollwerte ebenso wie für die Standweiten und Kulturarbeiten usw. erarbeitet. Sammlungen solcher Kulturschemata sind für Poinsettien in ECKE (2004) und für Pelargonien in ANONYM (1995) zu finden. Die Übertragbarkeit derartiger Kulturschemata ist jedoch sehr beschränkt. Die erheblichen Unterschiede im realen Ablauf unter den konkreten Bedingungen werden durch Eingriffe durch den Kultivateur ausgeglichen. Während der laufenden Kultur erfolgt ein Aussteuern der Entwicklung über diverse Maßnahmen zur Wachstumsregulierung von der Düngung und Bewässerung über Änderungen an der Klimasteuerung bis hin zur Anwendung chemischer Wachstumsregulatoren.

Dieses Aussteuern der Kultur erfordert detaillierte Kulturerfahrungen bei den handelnden Personen. Kultursicherheit stützt sich hier auf eine stark subjektive Komponente. Kulturerfahrungen sind schwer vermittelbar und meist nur über längere Zeiträume zu erwerben, was Fehlschläge nicht ausschließt. Die Bestrebungen gehen deshalb dahin, für das Aussteuern der Kulturen objektive Bezugsgrößen heranzuziehen.

Bei Poinsettien stehen zwei Hilfsmittel für das objektive Aussteuern der Kultur zur Verfügung: „graphical tracking“ und das sogenannte „bract meter“. Beim „graphical tracking“ wird ab dem Topfen oder Stutzen wöchentlich im Bestand die Höhe von meist 10 Pflanzen gemessen. Der Mittelwert wird in einem Diagramm mit einer Wachstumskurve verglichen. Die Wachstumskurven werden unter Berücksichtigung der Topfgröße, des Kulturzeitraums, der geografischen Breite, der Sorte sowie der gewünschten Zielgröße für die Pflanzenhöhe mit einem Computerprogramm erzeugt (FISCHER und HEINS 2002). Das in den USA entwickelte Verfahren steht heute vor allem für die Sorten des amerikanischen Züchters Ecke zur Verfügung und kann auch auf dessen Internetseite genutzt werden. Das „bract meter“ ist eine Orientierungshilfe für die Brakteenentwicklungsphase. Durch den Vergleich der Pflanzen mit Fotos wird das Entwicklungsstadium der Brakteen eingestuft und ein Prognose für die verbleibende Kulturdauer in Abhängigkeit von der Temperatur möglich (ECKE 2011).

Der Lösungsansatz der Rückkopplung von der Pflanzenentwicklung auf die Aussteuerung der weiteren Kulturbedingungen wird in jüngster Zeit auch intensiv unter Ausnutzung der Möglichkeiten moderner Bilderfassung und -auswertung vorangetrieben. Mit einer entsprechenden Zielstellung wird im Projekt KliPa an der FH Osnabrück gearbeitet (RÖMER u. a. 2011). Mit dem „Plant-Eye“ der Firma Phenospex, Aachen ist bereits ein kommerzielles System zur Bilderfassung und -auswertung von Pflanzenbeständen in Gewächshäusern in der Erprobung und Markteinführung (ALDENHOFF 2011). Zunächst werden mit diesen relativ kostenintensiven Systemen größere Datenmengen gewonnen, deren Interpretation und Nutzung für die Kultursteuerung noch entwickelt werden muss. Der erzielbare Wissenszuwachs für die Modellentwicklung zur Kultursteuerung ist erheblich.

Ein anderer Lösungsansatz für das Aussteuern der Kulturen ist die Berücksichtigung des konkreten Verlaufs für die wichtigsten Wachstumsfaktoren wie Temperatur, Licht und Nährstoffe. Wenn deren Einflüsse auf die Pflanzenentwicklung hinreichend quantifizierbar sind, sollten sich durch die Einhaltung und Aussteuerung bestimmter Korridore für diese Faktoren die Kulturdauer und die Pflanzenqualität kontrollieren lassen.

Das Ziel ist: Neue Kulturprogramme müssen auf der Grundlage von Vorgaben für die Kulturdauer und die Pflanzenqualität eine Parametrierung der Klima-, Licht- und Düngungssteuerung liefern, diese während der Kultur automatisch an den bisherigen Verlauf anpassen und so die Kultur selbständig aussteuern.

Nutzung moderner Regeltechnik

Die Regelungssysteme moderner Gewächshäuser überwachen und steuern eine Vielzahl an Funktionen. Von der Steuerung der Heizung und Lüftung der Gewächshäuser, über die Schirmfunktionen und Belichtungsanlagen bis hin zu Nebel-, Sprüh- und Bewässerungsanlagen einschließlich der Düngungstechnik kann alles eingebunden sein. Selbstverständlich sind eine Wetterstation und Alarmfunktionen bei Störungen.

Während die Industriecomputer meist nur einen Datenpuffer für einen oder mehrere Tage besitzen, ist auf der PC-Ebene auch eine Langzeitdatenspeicherung möglich. Allerdings wird dafür meist ein extra Softwarepaket benötigt, auf das die Betriebe leider gelegentlich aus Kostengründen verzichten. Detaillierte Daten über den konkreten Kulturverlauf in vorhergehenden Kulturperioden sind jedoch für die Optimierung der Kultursteuerung von großem Interesse.

Von der technischen Ausführung her sind die meisten Gewächshaussteuerungen robuste Industriecomputer, die teilweise auch mit mehreren vernetzten Unterstationen die Mess-, Steuerungs- und Regelungsfunktionen übernehmen. Für eine komfortable Bedienung ist häufig über eine spezielle Schnittstelle der Zugriff auf den Industriecomputer von einem PC aus möglich. Die auf dem PC installierte Nutzeroberfläche erlaubt die Kontrolle und Einstellung sehr vieler Parameter. Für ein einzelnes Gewächshausabteil sind durchaus 100 bis 200 Datenkanäle und Einstellparameter vorzufinden. Häufig kann für Teilfunktionen zwischen verschiedenen Unterprogrammen gewählt werden.

Diese Funktionsvielfalt der Regelungstechnik bietet sehr viele Einstellmöglichkeiten für den Kultivateur. Es ist eine sehr genaue und spezifische Anpassung an die konkreten betrieblichen Bedingungen, die konkrete Pflanzenart und auch das Wachstumsstadium möglich. Allerdings ist der Zeitaufwand dafür erheblich und der Gärtner ist nicht zuletzt wegen seiner vielen anderen Aufgaben damit oft überfordert. Im Ergebnis werden die Regelungssysteme nur unzureichend genutzt.

In den letzten Jahren wurden die Industriecomputer zunehmend mit standardisierten Datenschnittstellen ausgestattet, die neben dem Bedienzugriff über den PC auch die Installation komplexer Steuerungssoftware auf dem PC ermöglicht. Hier liegen wesentliche Reserven für komplexe Steuerungsprogramme, die dem Kultivateur viel Einstellungs- und Anpassungsaufwand abnehmen können. Bei der Weiterentwicklung der Systeme ist auch das Aufspielen einer neuen Software wesentlich kostengünstiger als der meist mit Hardwaretausch verbundene Austausch der Steuerungsprogramme im Industriecomputer.

Die in vielen Betrieben zur Verfügung stehende moderne Regeltechnik bietet in Verbindung mit dem PC die Chance des Übergangs von Kulturprogrammen zu Kultursoftware. In dieser sind idealerweise die Parametrierungen für den gesamten Ablauf der jeweiligen Kultur detailliert und komplex hinterlegt. Dies ist bis zur Ebene verschiedener Produktgrößen und -formen einer Art vorstellbar. Für die Sicherung der Kulturdauer und der Pflanzenqualität müssen solche Programme lernfähig sein. Unter Berücksichtigung der bisherigen konkreten Entwicklung muss eine Anpassung erfolgen.

Ziele der Nutzung moderner Regeltechnik mit neuen Kulturprogrammen bzw. mit Kultursoftware sind die Vereinfachung der Bedienung für den Nutzer und die bessere Ausschöpfung der Potenziale der PC-Ebene, nicht nur für die Datengewinnung, sondern verstärkt für deren Auswertung und eine automatische Parameteranpassung.

Praxisrelevanz

Die bisher genannten Ziele Energieeinsparung, Sicherung von Kulturdauern und Pflanzenqualität sowie einer verbesserten Nutzung der modernen Regeltechnik können nur erreicht werden, wenn bei der Entwicklung von Lösungsansätzen die Praxis-tauglichkeit berücksichtigt wird. Wichtige Kriterien dafür sind Wirtschaftlichkeit, Einfachheit, Sicherheit und eine breite Anwendbarkeit unter ganz verschiedenen betrieblichen Bedingungen.

2 Allgemeiner Lösungsansatz

Der Lösungsansatz für die Entwicklung neuer Kulturprogramme bei Pelargonien und Poinsettien geht davon aus, dass die Entwicklung der Kulturen wesentlich von den Faktoren Temperatur, Pflanzennährstoffe und Licht bestimmt wird. Diese Faktoren sind, zumindest in gewissen Grenzen, im Kultursystem Gewächshaus steuerbar. Andere Wachstumsfaktoren haben weniger starken Einfluss oder stehen relativ gleichbleibend zur Verfügung. So ist das Kohlendioxidangebot nahezu konstant, da bei diesen Kulturen keine CO₂-Düngung angewendet wird. Beim Wasser kann man davon ausgehen, dass es durch eine zuverlässige Versorgung nicht zum bestimmenden Minimumfaktor wird.

Das Pflanzenwachstum, die Pflanzenentwicklung soll über die Festlegung von Korridoren für die Temperatur, die Pflanzennährstoffe und das Licht gesteuert und beeinflusst werden. Diese Faktoren bestimmen neben der Kulturdauer und der Pflanzenqualität aber auch die anderen Ziele für die neuen Kulturprogramme mit. So hängt der Energieverbrauch wesentlich von der Temperatur und den Strahlungsverhältnissen ab. Für die Aussteuerung dieser Faktoren lassen sich die technischen Systeme im Gewächshaus einschließlich der modernen Regeltechnik sehr gut nutzen. Die Faktoren Temperatur, Nährstoffzufuhr und Licht stehen in der Praxis als handhabbare Größen zur Verfügung. Für die angestrebte Übertragbarkeit zwischen Jahren und Standorten ist das eine gute Voraussetzung.

Für die Erreichung der Projektziele wurde eine Reihe von Bausteinen, teilweise auch als Softwareprogramme entwickelt. Diese werden im Folgenden kurz vorgestellt.

2.1 Energieeinsparung

Bei der Entwicklung der neuen Kulturprogramme für Pelargonien und Poinsettien wurden die nachfolgend kurz erläuterten Programmbausteine zur Energieeinsparung einzeln und in Kombinationen eingesetzt. Ausführliche Beschreibungen der Energiesparprogramme sind in WARTENBERG 2007, WARTENBERG 2009 sowie HAAS u. a. 2011 enthalten.

Drastische Temperaturabsenkung in den frühen Morgenstunden (drop)

Schon Ende der 1980er-Jahre wurden ursprünglich für die Wachstumsregulierung Temperaturstrategien entwickelt, bei denen durch drastische Temperaturabsenkungen in der frühen Morgenstunden kompaktere Pflanzen das Ziel waren (ERWIN u. a. 1989). Die drop-Strategie wird deshalb auch cool morning genannt. Die Realisierung erfolgt beispielsweise so, dass zwei Stunden vor Sonnenaufgang der Heizungssollwert stark abgesenkt wird. Ein Sollwert von 8 °C hat sich für viele Kulturen als wirkungsvoll und gut pflanzenverträglich erwiesen. Gleichzeitig bis 30 Minuten später beginnt der Energieschirm mit dem Morgenprogramm zur schrittweisen Öffnung um Pflanzenschäden durch herabfallende Kaltluft zu vermeiden. Mit dem Sonnenaufgang wird eventuell der Lüftungssollwert noch auf 10 °C abgesenkt, um die für die Wachstumsregulierung gewünschte Auskühlung zu erzielen. Eine Stunde nach Sonnenaufgang wird der Lüftungssollwert wieder auf den normalen Tagwert angehoben. Eine weitere Stunde später erfolgt die Anhebung des Heizungssollwertes auf den Tagwert.

Energetisch bedeutet dies, dass die Heizung in den meisten Fällen von zwei Stunden vor bis zwei Stunden nach Sonnenaufgang ausgeschaltet bleibt. Ob und wie stark die Heizung für das Aufheizen des Gewächshauses auf den Tagsollwert danach wieder in Betrieb geht, hängt von der Einstrahlungssituation ab. Weil die Morgenstunden im Tagesgang in der Regel die kältesten Stunden sind, bleibt eine Energieeinsparung erhalten, auch wenn zur Sicherung des Wärmebedarfs insgesamt zu anderen Tageszeiten eine etwas höhere Temperatur realisiert wird.

Pflanzenbaulich ist drop nicht in allen Entwicklungsstadien sinnvoll. Während des Einwurzeln, unmittelbar nach dem Stutzen oder bei Poinsettien in der Brakteenentwicklung ab der 3./4. Kurztagswoche sollte drop zum zügigeren Einwurzeln, zum besseren Austrieb oder für große Brakteenblätter nicht genutzt werden. In diesen Kulturabschnitten werden die Energieverluste durch ein späteres, von der Außentemperatur und der Einstrahlung abhängiges Öffnen des Energieschirms in Grenzen gehalten.

Das drop-Programm selbst ist in der Regel Bestandteil der Standard-Regelungssysteme auf dem Klimacomputer. Das Ein- und Abschalten sowie die Umstellung in der Steuerung des Energieschirms kann über die Kultursoftware auf dem PC realisiert werden.

Dynamische Außentemperaturkorrektur (dAT)

Bei der dynamischen Außentemperaturkorrektur (= dAT) 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.

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.

Durch Schalterfunktionen werden die Abschaltung von dAT bei einer über dem Basis-Heizungssollwert liegenden Außentemperatur sowie die gegenüber der Anhebung doppelt so starke Absenkung realisiert. Der Lüftungssollwert wird entweder nur bei einer Anhebung des Heizungssollwertes ebenfalls angehoben, um ein gleichzeitiges Heizen und Lüften zu vermeiden, oder parallel zum Heizungssollwert mitgeführt.

Die jeweils konkret verwendeten Programmbausteine zur dynamischen Außentemperaturkorrektur werden bei den einzelnen Versuchen in den Abschnitten 3 und 4 dargestellt.

Dynamische Lichtkorrektur (dLK)

Bei der dynamischen Lichtkorrektur (= dLK) 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 Gewächshaustemperatur den Heizungssollwert überschreitet. Die dynamische Lichtkorrektur verringert die Wärmeverluste durch eine Verbesserung der Strahlungsbilanz. Bei relativ niedriger Einstrahlung erfolgen eine Absenkung des Heizungssollwertes und damit eine Reduzierung der Abstrahlung.

Die konkreten Programmbausteine zur dynamischen Lichtkorrektur werden bei den einzelnen Versuchen in den Abschnitten 3 und 4 dargestellt.

Windkorrektur (WK)

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 absenkt.

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 Sicherung Kulturdauer und Pflanzenqualität

Die Bausteine zur Energieeinsparung führen in jedem Falle zu stärker variierenden realen Temperaturen im Gewächshaus. Akute oder latente Schäden der Pflanzen sind dabei ebenso zu vermeiden wie unerwünschte Änderungen der Kulturdauer. Es wird versucht, die bisherige Pflanzenentwicklung ohne direkte Datenerfassung an den Pflanzen aufgrund der bisherigen realen Verhältnisse für die Temperatur und das Lichtangebot abzuschätzen und danach die weitere automatische Aussteuerung der Kulturführung vorzunehmen. Für die Sicherung der Kulturdauer und Pflanzenqualität wurden die nachfolgenden Bausteine entwickelt und getestet.

Absolute Grenzwerte

Die Parametrierung der Bausteine zur Energieeinsparung erfolgt in der Regel so, dass akut die Pflanze schädigende Temperaturbereiche vermieden werden. Dennoch ist es sinnvoll, zur doppelten Absicherung gegen nachhaltige Schäden entsprechende Begrenzungen festzulegen und in die Programme einzubauen. So wird die Absenkung des Heizungssollwertes durch eine Mindesttemperatur begrenzt. Sowohl bei Pelargonien als auch bei Poinsettien hat sich hier ein Grenzwert von 6 °C als praktikabel erwiesen. Zur Vermeidung von extremen Übertemperaturen erfolgt eine Abschaltung der Sollwertkorrekturen, wenn die Außentemperatur den Basis-Heizungssollwert erreicht hat.

Natürlicher Ausgleich

Die dynamischen Bausteine zur Energieeinsparung dAT und dLK nehmen ihre Sollwertkorrekturen nach Abweichungen der Außentemperatur und der Einstrahlung von deren langjährigen Mittelwerten vor. Ziel ist eine Wärmeintegration stärker über die Witterungsperioden als über die normalen Tagesschwankungen oder den Jahresgang. Dieses Prinzip legt nahe, für die Sicherung des Wärmeangebotes über die gesamte Kulturdauer auf den natürlichen Ausgleich zwischen verschiedenen Witterungsperioden zu setzen. Grundsätzlich ist dies bei ausreichend langer Kulturdauer auch möglich und funktioniert in der Mehrzahl der Jahre.

Bei extrem abweichenden Jahren kommt es jedoch zu Fehlentwicklungen. Ist beispielsweise die Außentemperatur auch im Mittel über die gesamte Kulturdauer wesentlich zu warm, kommt es zu einer Übersteuerung, zu hohen realen Mitteltemperaturen im Gewächshaus, zu einer ungewollten Kulturzeitverkürzung und eventuell sogar zu einem höheren Energieeinsatz.

In zu kühlen Jahren kommt es dagegen zu einer Untersteuerung. Dies führt zwar zu einer guten Energieeinsparung aber durch die zu niedrige reale Durchschnittstemperatur für die Pflanzen auch zu einer Kulturzeitverlängerung.

Als Beispiel dafür sind in den Abbildungen 1 und 2 die Temperaturverhältnisse, die Temperatursummenentwicklungen sowie der Heizenergieverbrauch bei der Poinsettienkultur im warmen Herbst 2006 und im kühlen Herbst 2009 gegenübergestellt.

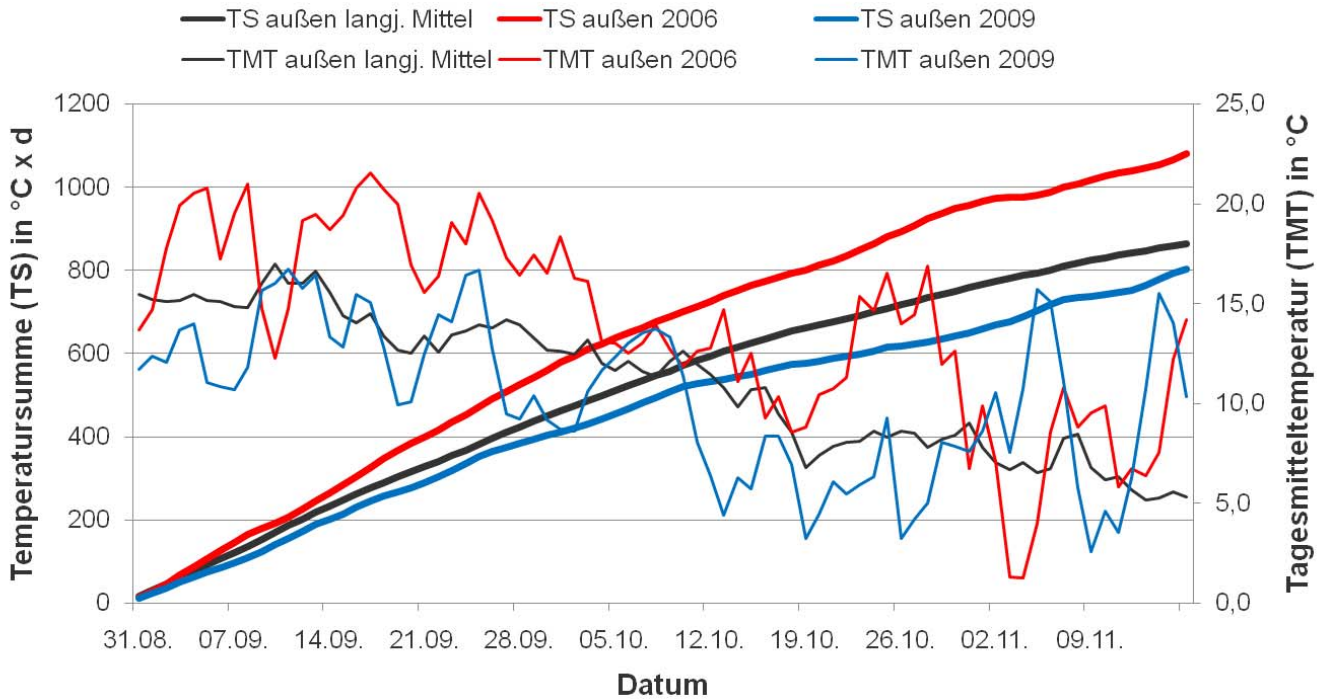


Abbildung 1: Verlauf der Tagesmitteltemperatur und der Außentemperatursumme in den Jahren 2006 und 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)

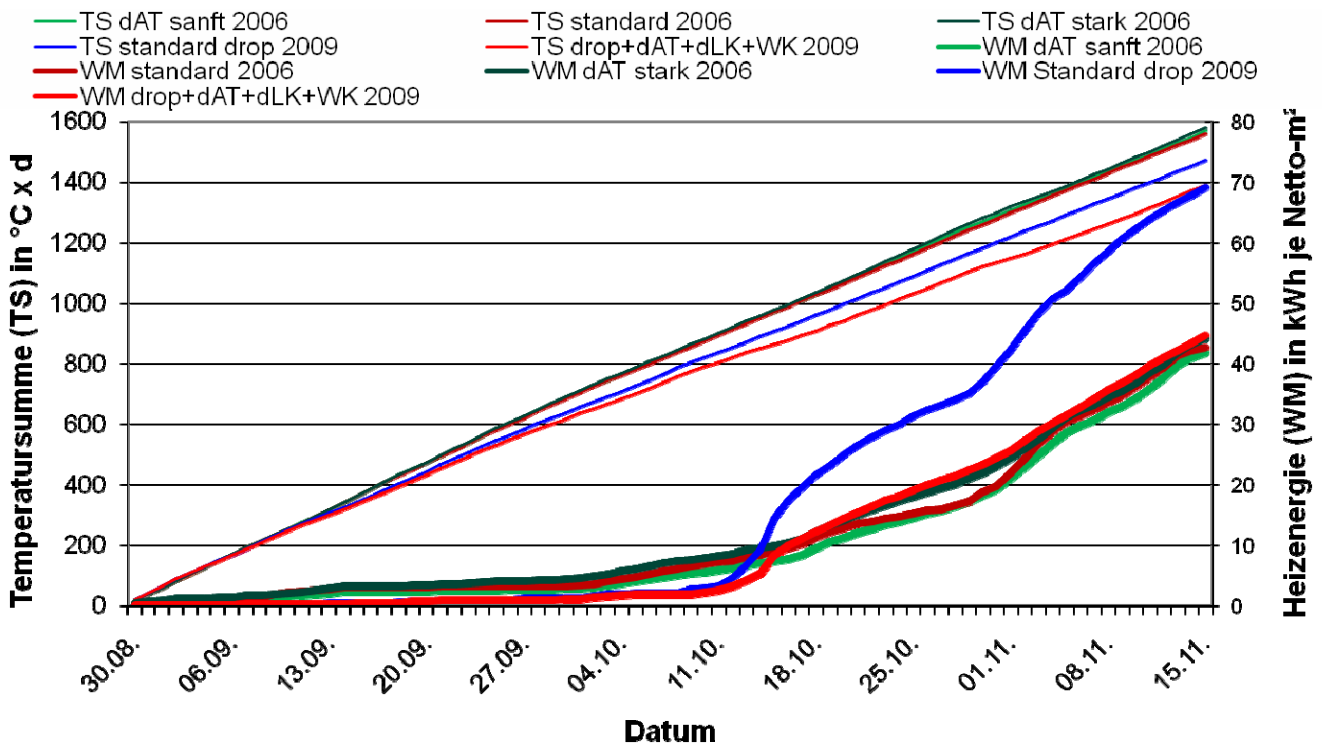


Abbildung 2: Verlauf der Temperatursummen innen und der eingesetzten Heizenergie bei der Kultur von Poinsettien mit verschiedenen Klimaprogrammen in den Jahren 2006 und 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Temperatursummenüberwachung (TSK und TSK1000)

Zur Vermeidung der Über- oder Untersteuerung in extremen Jahren kann eine Temperatursummenüberwachung eingesetzt werden. Ziel ist die Einhaltung eines Korridors um die Soll-Temperatursumme. Die Soll-Temperatursumme ist die auf Basis des Tagesmitteltemperatursollwerts fortgeschriebene Temperatursumme.

Bei der einfachen Temperatursummenkontrolle TSK wird Abweichungen von der Soll-Temperatursumme praktisch ständig entgegengesteuert, indem die Berechnung des aktuellen Heizungssollwerts folgenden Programmbaustein enthält:

$$- 5 * 10^{-9} (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$$

mit TS_{Ist} = Istwert Temperatursumme in °C x h

TS_{Soll} = Sollwert Temperatursumme in °C x h

Je stärker die Ist-Temperatursumme von der Soll-Temperatursumme abweicht, desto stärker wird weiteren Abweichungen entgegengesteuert. Aber auch bei einer geringen Temperatursummendifferenz wird, wenn auch schwach, gegengesteuert. Um das Einsparpotenzial der Programmbausteine zur Energieeinsparung gut zu nutzen, ist dies nicht unbedingt erforderlich. Geringe Abweichungen in der Temperatursumme, die nur geringe Abweichungen in der Kulturdauer verursachen, werden durchaus toleriert. Der nachfolgende Programmbaustein TSK1000 realisiert eine Temperatursummenüberwachung mit dem Ziel der Einhaltung eines Korridors von +/- 1.000 Kh um die Soll-Temperatursumme:

$$\text{WENN } TS_{Ist} - TS_{Soll} > 1.000 \text{ Kh, DANN TSK1000} = F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll} - 1.000)^3$$

$$\text{WENN } TS_{Ist} - TS_{Soll} < -1.000 \text{ Kh, DANN TSK1000} = F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll} + 1.000)^3$$

mit TS_{Ist} = Istwert Temperatursumme in °C x h

TS_{Soll} = Sollwert Temperatursumme in °C x h

F_{TS} = Skalierungsfaktor Temperatursummenkontrolle (hier 10^{-7})

Der Korridor von +/- 1.000 Kh entspricht bei Tagesmitteltemperatursollwert von 18 °C einer Kulturzeitverkürzung/-verlängerung von zwei bis drei Tagen.

Das Problem dieses Verfahrens besteht darin, dass in den Sommerwochen Temperatursummenpolster entstehen. Trotz Lüftung liegt in diesen Wochen die Realtemperatur dauerhaft und wesentlich über dem Tagesmitteltemperatursollwert. Der Programmbaustein zur Temperatursummenüberwachung wird zwar ab der Überschreitung von +1.000 Kh zunehmend drastisch den Heizungssollwert absenken, was jedoch aufgrund der hohen Außentemperaturen und der hohen Einstrahlung keine Konsequenzen für die Realtemperatur hat. Diese hohen Temperatursummenpolster führen dann bis weit in der Herbst hinein anhaltend zu starken Temperaturabsenkungen. Dies ist pflanzenbaulich von Nachteil, zumal dem Temperatursummenpolster kein entsprechender Entwicklungsvorsprung der Pflanzen gegenübersteht. Die zum Temperatursummenpolster führenden hohen Temperaturen liegen über dem Wachstumsoptimum und tragen so nicht zur Pflanzenentwicklung bei.

In Abbildung 3 ist beispielhaft die Entwicklung eines solchen Temperatursummenpolsters bei einem frühen Satz Poinsettien (Topfen KW 26) im Vergleich zur Normalkultur (Topfen KW 30) wiedergegeben. Bei beiden Varianten erfolgte eine Temperatursummenüberwachung mit dem Programmbaustein TSK1000. Die Temperatursummendifferenz (TSD) ist die Abweichung der Ist-Temperatursumme vom Soll.

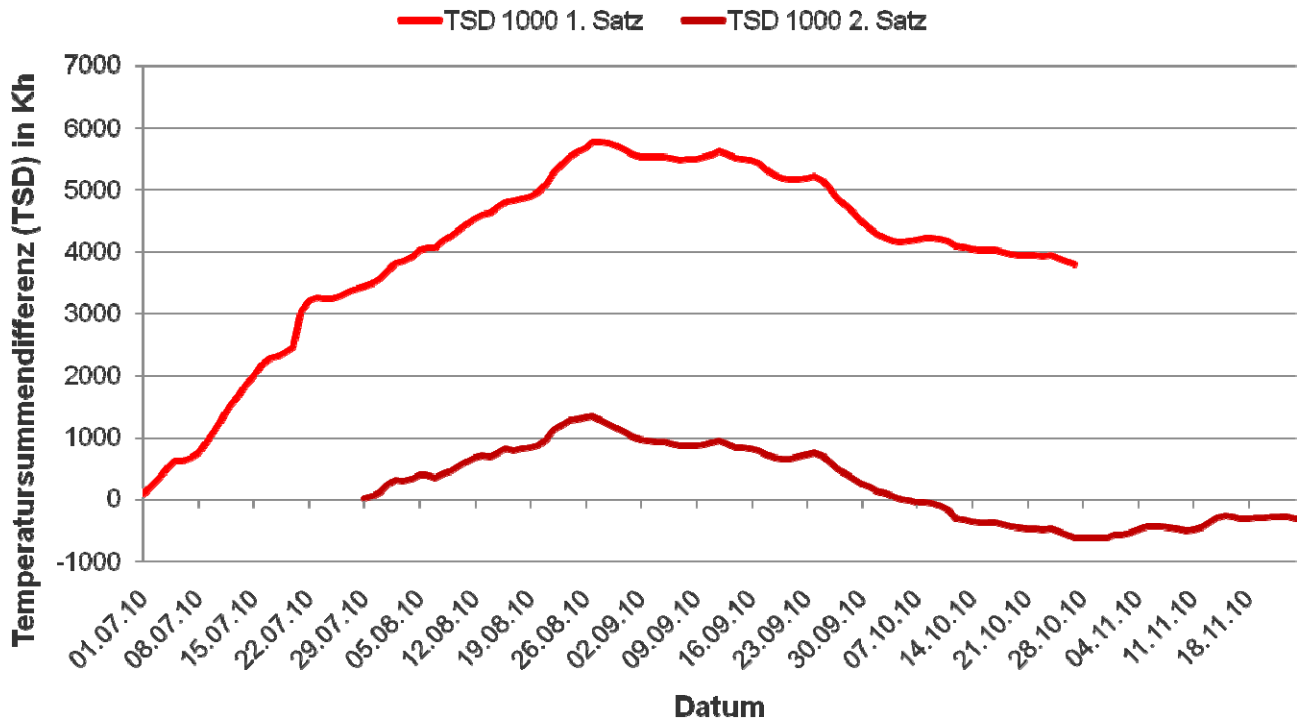


Abbildung 3: Temperatursummenpolster bei einem frühen Satz Poinsettien im Vergleich zur Normalkultur (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)

Temperatursummenüberwachung mit Kappung (TSK1000K21)

Weil die Pflanze Temperaturen oberhalb ihres Optimums nicht nutzen kann, ist eine Vermeidung der Temperatursummenpolster durch Kappung der zu summierenden Stundenmittel, zum Beispiel bei 21 °C, sinnvoll. Der Programmbaustein für eine entsprechend modifizierte Temperatursummenüberwachung lautet:

$$\text{WENN } |TS_{21K_{Ist}} - TS_{Soll}| > 1.000 \text{ Kh, DANN } TSK_{1000K21K} = F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll} - 1.000)^3$$

$$\text{WENN } |TS_{21K_{Ist}} - TS_{Soll}| < -1.000 \text{ Kh, DANN } TSK_{1000K21K} = F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll} + 1.000)^3$$

mit $TS_{21K_{Ist}}$ = Istwert Temperatursumme in °C x h mit Kappung bei 21 °C

TS_{Soll} = Sollwert Temperatursumme in °C x h

F_{TS} = Skalierungsfaktor Temperatursummenkontrolle (hier 10^{-7})

Der Vorteil einer Temperatursummenüberwachung mit Kappung ist beispielhaft in der Abbildung 4 dargestellt. Gegenüber der Temperatursummenüberwachung TSK1000 ohne Kappung kam es 2010 auch beim frühen Satz Poinsettien mit Kulturbeginn in Kalenderwoche 26 zu keinem unerwünschten Temperatursummenpolster.

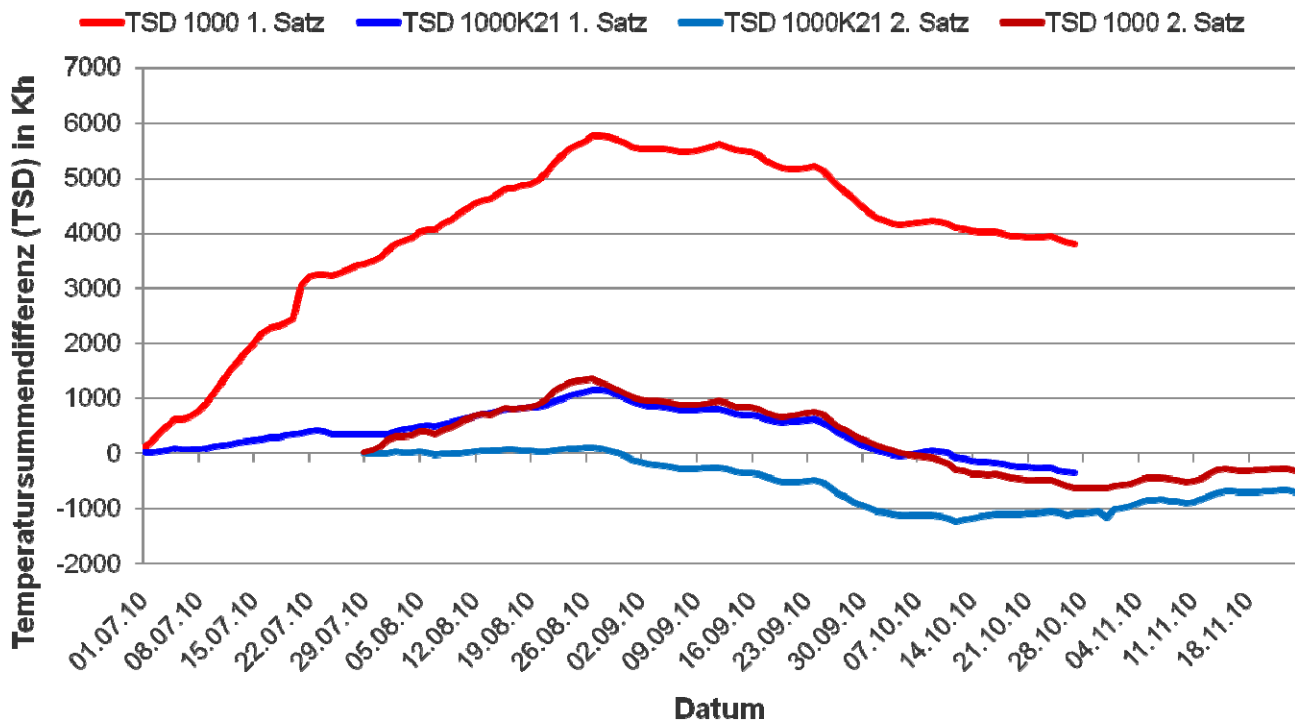


Abbildung 4: Vermeidung von Temperatursummenpolstern durch Temperatursummenüberwachung mit Kappung bei 21 °C (TSK1000K21) bei einem frühen und normalspäten Satz Poinsettien (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)

Gleitende Mehrtagesmittel (7TMK)

Eine andere Möglichkeit, die nachteiligen Wirkungen von großen Temperatursummenpolstern aus den warmen Sommerwochen zu vermeiden, ist die Nutzung gleitender Mehrtagesmittel (= 7TMK). Die Temperatursummenüberwachung „vergisst“ hier quasi die weiter zurückliegende Entwicklung. Der Programmbaustein mit einer gleitenden Mehrtagesmittel-Überwachung der Temperatursumme über sieben Tage lautet:

$$7TMK_{\text{heute}} = (6 * 7TMK_{\text{gestern}} + TM_{\text{Ist}} - TM_{\text{Soll}}) / 7$$

mit $7TMK_{\text{heute}}$ = Gleitender Mittelwert der Temperatursummendifferenz Heute in K

$7TMK_{\text{gestern}}$ = Gleitender Mittelwert der Temperatursummendifferenz Gestern in K

TM_{Ist} = Tagesmitteltemperaturistwert in °C

TM_{Soll} = Tagesmitteltemperatursollwert in °C

Summenüberwachung des Wachstumswertes (WWS)

Die konsequenteste Bewertung der Temperatur für das Pflanzenwachstum findet bei einer Berücksichtigung der Wachstumskurve statt. Bei der Summenüberwachung des Wachstumswertes (= WWS) wird die aktuelle Temperatur anhand der Wachstumskurve in den entsprechenden Wachstumswert „übersetzt“. Der Wachstumswert ist so normiert, dass das Temperaturoptimum (mit dem maximalen Zuwachs) dem Wert 1 entspricht. In Abbildung 5 ist die für Poinsettien verwendete Wachstumskurve dargestellt. Die Wachstumskurve beruht auf älteren Versuchsergebnissen und allgemeinen Empfehlungen und stellt eine Verallgemeinerung dar. Ab einer Abweichung der Ist-Wachstumswertsumme von der Soll-Wachstumswertsumme von mehr als 80 WW x h steuert der Programmbaustein weiteren Absenkungen bzw. Anhebungen durch die Bausteine zur Energieeinsparung entgegen. Pflanzenbaulich ist dies theoretisch eine tolerierbare Kulturzeitverkürzung oder -verlängerung um zwei bis drei Tage. Dies entspricht der Größenordnung von 1.000 Kh bei der Temperatursummenüberwachung. Für die Soll-Wachstumswertsumme wurde der Soll-Wachstumswert auf 0,7 festgelegt, was einer Tagesmittelsolltemperatur von 18 °C entspricht.

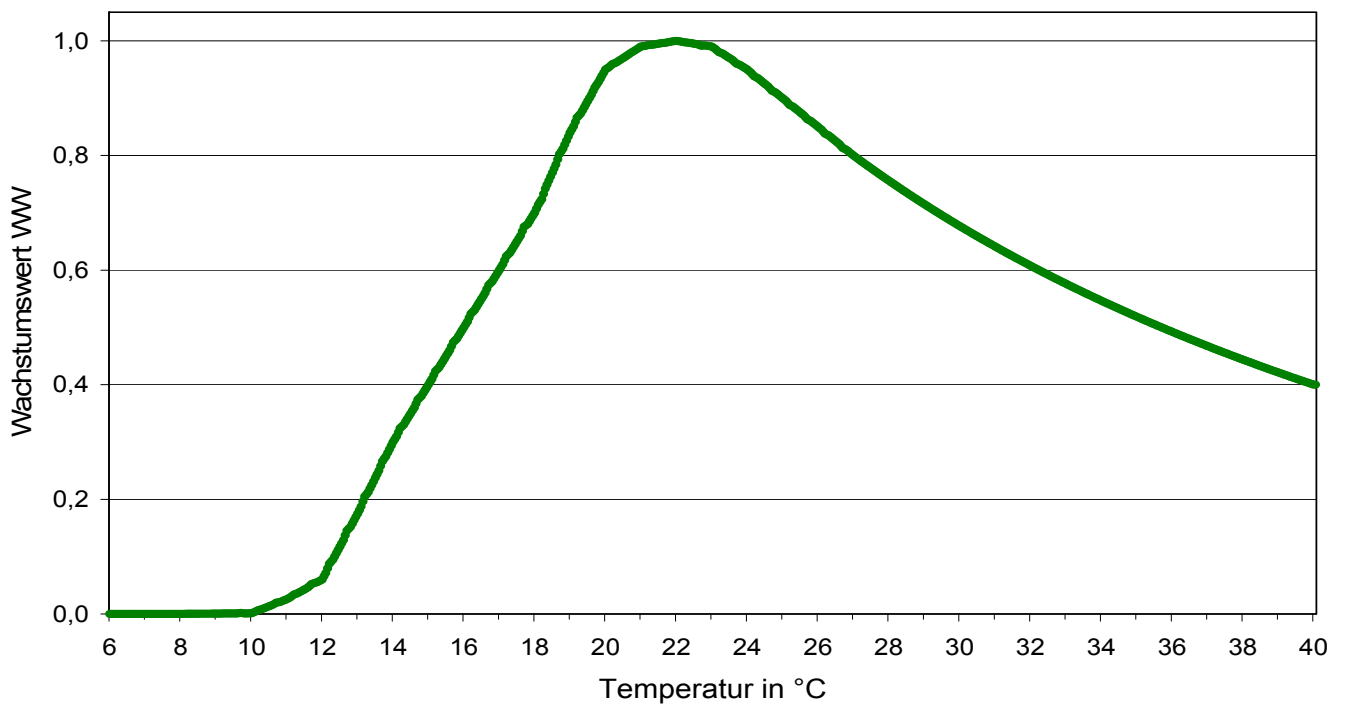


Abbildung 5: Wachstumswert (WW) in Abhängigkeit von der Temperatur bei Poinsettien

In Abbildung 6 ist das schon für die vorhergehenden Programmbausteine zur Wachstumsüberwachung genutzte Beispiel der Poinsettienkultur 2010 um den Verlauf der Wachstumswertsummendifferenz ergänzt. Deren unter Bezug auf die rechte Achse dargestellten Werte lassen sich zwar nicht direkt mit der Temperatursummendifferenz vergleichen, der Verlauf der Kurven und die Zeitanteile innerhalb der Toleranzbereiche von 1.000 Kh bzw. 80 WW machen aber deutlich, dass ein unverhältnismäßiges Wärmesummenpolster aus den Sommerwochen vermieden werden konnte.

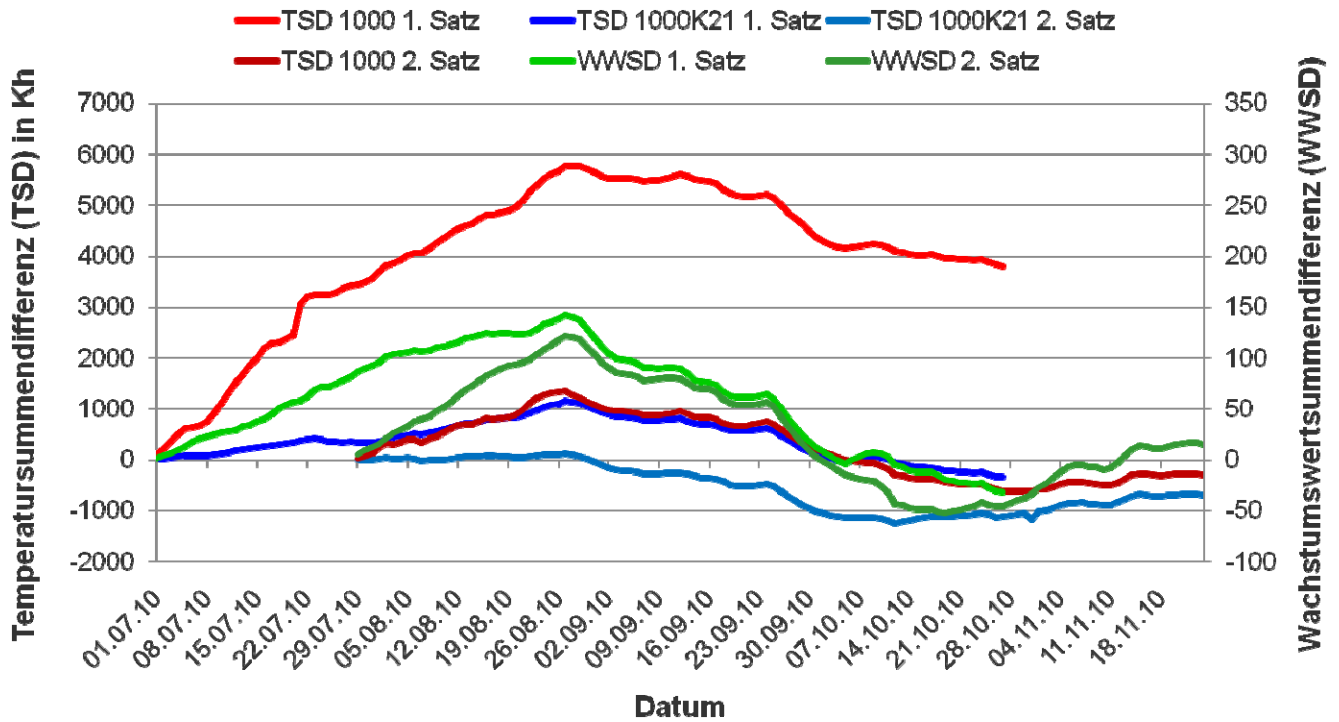


Abbildung 6: Entwicklung der Temperatursummen- bzw. der Wachstumswertdifferenz bei Anwendung von TSK1000, TSK1000K21 und WWS bei einem frühen und normalspäten Satz Poinsettien (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)

Mengenbilanzierte Düngung

Hinsichtlich der Nährstoffversorgung ist eine mengenbilanzierte Düngung zu bevorzugen. Mögliche Verfahren wurden parallel im FuE-Projekt „Verfahren für die Umsetzung des Mengenkonzeptes bei der Düngung im Zierpflanzenbau“ entwickelt, erprobt und bewertet (DALLMANN 2011). Zwei Grundprinzipien sind möglich: eine Nachdüngung mit balancierten Wochenportionen und Vollversorgung mit Depotdüngern.

Bei der Realisierung von Wochenportionen wird zunächst von der für die gewünschte Pflanzenart und Produktgröße benötigten Nährstoffmenge die Grunddüngung des Substrates abgezogen. Die Restmenge wird dann gleichmäßig oder differenziert auf die Kulturwochen aufgeteilt und als Wochenportion verabreicht. Dieses Verfahren ist für geschlossene Bewässerungsdüngungssysteme geeignet. Im Idealfall steht je Nährstoffkreislauf nur eine Art in einem Satz auf den zugehörigen Kulturflächen. Mindestens sollten es Kulturen mit sehr ähnlichem Nährstoffbedarf sein. Das Verabreichen der Wochenportionen in der Nachdüngung kann mit verschiedenen technischen Systemen erfolgen: vom einfachen Zugeben in den Nährstoffbehälter von Hand über die Nutzung eines Dosiergerätes bei der Behälternachfüllung bis hin zum Düngecomputer. Für den Düngecomputer wurden entsprechende Programme entwickelt, die sich auf der PC-Ebene in die Kulturprogramme/Kultursoftware gut einordnen lassen.

Bei der Vollversorgung mit Depotdüngern wird die gesamte Nährstoffmenge zu Kulturbeginn gegeben, entweder eingemischt in das Substrat oder als Punktdüngung in den Topf. Die letzte Variante umgeht das Problem der nur auf wenige Tage beschränkten Lagerfähigkeit von Substraten mit eingemischten Depotdüngern. Die Wahl des Depotdüngers erfolgt nicht nur nach den passenden Nährstoffverhältnissen, sondern auch nach dem zur Kultur passenden Fließverhalten. Weil bei Sommerkulturen im Gewächshaus im allgemeinen höhere Temperaturen herrschen als der Normfließdauer der Depotdünger zugrunde liegen, sollte hier die Fließdauer eine Klasse höher ausgewählt werden. Die Vollversorgung mit Depotdüngern ist zwar etwas teurer, bietet aber den meisten Komfort und die Möglichkeit, Pflanzenarten mit unterschiedlichem Nährstoffbedarf auf einer Bewässerungsdüngungseinheit zu kultivieren. Auch Hornspäne kommen als kostengünstige organische Vorratsdünger für eine Vollversorgung in Frage. Da sie nur Stickstoff liefern, ist eine entsprechende PK-Grunddüngung und wegen der erst später einsetzenden Stickstofffreisetzung auch eine N-Startdüngung erforderlich.

Beide Grundprinzipien sichern eine Nährstoffversorgung weitgehend unabhängig von der Luftfeuchtigkeit, der Einstrahlung und anderen ansonsten die Nährstoffzufuhr beeinflussenden Faktoren. Eine mengenbilanzierte Düngung ist wichtiger Bestandteil

moderner Kulturprogramme. Die Sicherheit in der Pflanzenernährung ist Voraussetzung für die Sicherheit der Aussteuerung der Temperaturführung und damit auch der Kulturdauer und Pflanzenqualität.

Lichtsummenüberwachung (LSK)

Das Aussteuern des Lichtangebotes für die Pflanzen ist schwieriger als die Aussteuerung des Wärmeangebots.

Erstens steht bei der Kultur von Pelargonien oder Poinsettien in der Regel kein Zusatzlicht zur Verfügung. Eine aktive Erhöhung des Lichtangebotes ist also nicht möglich. Eine Beeinflussung kann über eine Änderung des Schattiersollwertes erfolgen. Weil bei beiden Pflanzenarten nach Abhärtung ein sehr hoher Schattiersollwert angewendet bzw. unschattiert kultiviert wird, geht es im Wesentlichen um eine Reduzierung des Lichtangebotes durch Absenkung des Schattiersollwerts.

Zweitens erfolgt eine Licht- bzw. Einstrahlungsmessung in den meisten Betrieben nur außerhalb des Gewächshauses an der Klimastation. Die dort ermittelten Messwerte können für eine Abschätzung des Innenlichtangebotes genutzt werden, die jedoch relativ grob ist. Dazu wird der Wert für die Einstrahlung außen mit einem festen Dämpfungsfaktor für das Gewächshaus (Eindeckmaterial und Schattierung durch Gewächshauskonstruktion sowie Einbauten; meist 30 bis 50 %) multipliziert. Weiterhin wird für die Dauer des Schließens die Schattierwirkung des Energie-/Schattierschirmes (meist 40 bis 60 %) berücksichtigt.

Drittens gibt es bisher keine konkreten Orientierungswerte für den Zusammenhang Lichtangebot - Pflanzengröße.

Eine Reduzierung des Lichtangebots durch eine Lichtsummenüberwachung sollte nur erfolgen, wenn durch ein anhaltend zu hohes Lichtangebot ein zu starkes Pflanzenwachstum zu erwarten ist.

2.3 Nutzung moderner Regeltechnik

Für die Etablierung der neuen Kulturprogramme bietet sich eine Softwarelösung auf dem Bedienungs-PC des Klimarechners an. Dieser Ansatz ist sinnvoll, weil so

- alle Funktionen des Klimarechners eingebunden und genutzt werden können,
- ein modularer Aufbau mit verschiedenen Softwarebausteinen möglich ist,
- eine erhöhte Sicherheit gegeben ist (bei Störungen auf der PC-Ebene fällt das System auf die Basiseinstellungen im Klimarechner zurück),
- nur geringe zusätzliche Hardwarekosten entstehen (eventuell extra Schnittstelle zum Klimarechner),
- prinzipiell die Software mit Klimarechnern verschiedener Hersteller kommunizieren kann.

Die in diesem Projekt genutzte Konfiguration ist in Abbildung 7 dargestellt. Als Software-Basis wurde eine ACCESS-Runtime-Umgebung genutzt. Diese erlaubt das Erstellen kleiner Programmbausteine für die einzelnen Aufgaben der Energieeinsparung (dAT, dLK, WK) sowie der Wachstumsüberwachung zur Sicherung der Kulturdauer und Pflanzenqualität (TSK1000, TSK1000K21, 7TMK, WWSK, Wochenportionen über Düngecomputer, LSK). Die Programmbausteine lesen, verarbeiten und schreiben praktisch ständig Werte aus dem und in den Klimarechner.

In die Programmbausteine können auch Daten, die in Tabellenform (z. B. aus EXCEL) auf dem Bedienungs-PC hinterlegt wurden, eingebunden werden. Dies ist zum Beispiel mit den langjährigen Mittelwerten für die Außentemperatur und die Einstrahlung der Fall, die in stündlicher Auflösung für die dynamische Außentemperaturkorrektur bzw. die dynamische Lichtkorrektur benötigt werden. In Tabellenform lassen sich auch andere zeitgebundene Daten unter Nutzung der Systemzeit des Klimarechners nutzen. So sind Grundeinstellungen und spezifische Parameter in Abhängigkeit vom Kulturstadium steuerbar, ohne dass zum Termin Änderungen von Hand vorgenommen werden müssen.

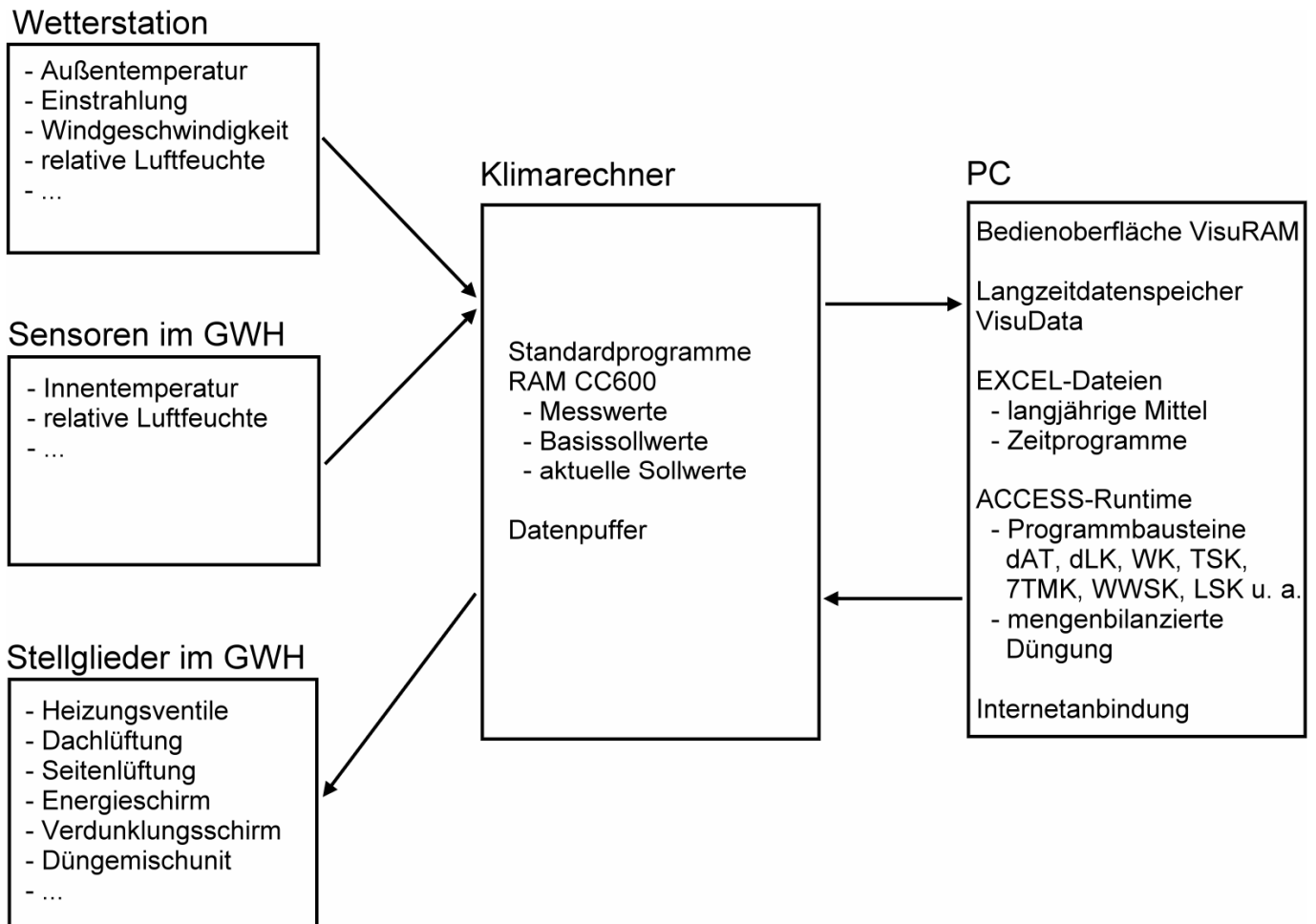


Abbildung 7: Zusammenwirken zwischen der Wetterstation, dem Klimarechner, dem PC und den Funktionen im Gewächshaus (LfULG Dresden-Pillnitz)

2.4 Praxisrelevanz

Wirtschaftlichkeit

Für das grobe Abschätzen des finanziellen Handlungsspielraums zur Einführung neuer Kulturprogramme soll hier nur eine Energieeinsparung von 10 % angenommen werden. Die arbeitswirtschaftlichen Vorteile und die höhere Kultursicherheit durch die neuen Kulturprogramme lassen sich finanziell nur schwer bewerten. Nach Erhebungen in sächsischen Gartenbaubetrieben (ELFRUTH u. a. 2011) ist von einem Energieeinsatz von 200 bis 600 kWh/m²a bei einem Heizmaterialpreis von 4 bis 6 Ct/kWh auszugehen. Bei einer vorsichtigen Abschätzung unter Zugrundelegung der jeweils unteren Grenzen ergibt sich bei 10 % Einsparung ein finanzieller Wert von 0,80 €/m² x Jahr. Bei einer angenommenen Amortisationsdauer von vier Jahren liegt die absolute Obergrenze für die Investitionskosten bei 3,20 €/m² Gewächshausfläche. Die Kosten für die Etablierung der Spezialsoftware auf einem vorhandenen Bedienungs-PC liegen unter 1.000 €. Sind vorher Ergänzungen an der Hardware erforderlich, wachsen die Kosten schnell auf 3.000 bis 5.000 € an. Dann werden jedoch gleichzeitig auch weitere Vorteile erreicht. Die Zahlenverhältnisse machen deutlich, dass gute Aussichten auf Wirtschaftlichkeit bestehen.

Die Forderung nach Praxisrelevanz schließt kurz- und mittelfristig aus, zusätzliche Messsysteme zu fordern. Für die Rückkopplung zur bisherigen Entwicklung der Pflanze wären diese zwar wünschenswert, sind aber nicht wirtschaftlich. Bildauswertesysteme für ganze Bestände sind noch in Entwicklung und zu teuer. Auch Photosynthesemessungen sind sehr aufwändig. Die Repräsentanz einzelner Messpflanzen für einen größeren Bestand ist immer fragwürdig. Auch wären hierfür wesentliche Extrainvestitionen erforderlich, die den durch die erzielbaren Einsparungen vorgegebenen finanziellen Rahmen weit überschreiten würden.

Einfachheit

Die entwickelten Modelle und Programmbausteine zur Energieeinsparung sowie zur Sicherung der Kulturdauer und Pflanzenqualität sind keineswegs einfach. Dabei wurde durchaus versucht, durch eine Beschränkung auf wenige wesentliche Parameter die Systeme so einfach wie möglich zu halten. Die Modelle und Programmbausteine laufen bei einer Nutzung der neuen Kulturprogramme im Praxisbetrieb jedoch im Hintergrund. Der Gärtner soll und muss sich damit nicht auseinandersetzen. Die Einrichtung und Anpassung an die konkreten betrieblichen Verhältnisse ist zunächst aufwändig und kompliziert. In der Regel wird sie durch oder gemeinsam mit einem betriebsfremden Spezialisten erfolgen. Nach der Festlegung der Kulturziele ist die Nutzung jedoch sehr komfortabel, da das System das Aussteuern der Kultur selbständig durchführt.

Sicherheit

Das automatische Aussteuern der Temperatur unter Einbeziehung der mengenbilanzierten Düngung in den neuen Kulturprogrammen erfolgt mit dem Ziel der Sicherung der Kulturdauer und der Pflanzenqualität. Dabei geht es ausdrücklich um mehr Sicherheit, als sie mit den bisherigen starren Kulturschemata und dem subjektiven Aussteuern durch den Kultivateur möglich war. Die Unabhängigkeit von Jahres- und Witterungseinflüssen soll verbessert werden. Die Erprobung der Sicherheit der neuen Kulturprogramme in verschiedenen Jahren und Sätzen war deshalb eine Kernaufgabe der in diesem Projekt realisierten Anbauversuche.

Weil sich für das Aussteuern der Kultur auf relativ wenige Faktoren beschränkt wurde, ist es wichtig, eine ganze Reihe weiterer Faktoren sicher unter Kontrolle zu haben. Dazu zählen die Bewässerung, die Jungpflanzengröße, der Pflanzenschutz sowie die termin- und qualitätsgerechte Durchführung aller Kulturarbeiten wie Topfen, Stutzen, Wachstumsregulierung, Verdunkeln usw. Für die Sicherheit der Kulturprogramme ist auch eine zuverlässige und standardisierte Messung der Eingangsgrößen, insbesondere der Temperatur und Einstrahlung erforderlich.

Breite Anwendbarkeit

Die bisher genannten Ziele der Energieeinsparung, der Sicherung von Kulturdauer und Pflanzenqualität sowie der verbesserten Nutzung moderner Regeltechnik lassen sich in der Praxis nicht ohne weiteres mit einer allgemeinen, übertragbaren und kostengünstigen Lösung erreichen.

Schwierigkeiten bereiten die ganz unterschiedlichen technischen Bedingungen in den Zierpflanzenbaubetrieben. Sowohl hinsichtlich der Bauweise der Gewächshäuser und deren technischer Ausstattung als auch der Regelungstechnik ist eine große Vielfalt anzutreffen. Die Chance auf Übertragbarkeit lässt sich nur sichern, wenn es gelingt, die Kulturprogramme auf wenige aber wesentliche Einflussgrößen zu beschränken. Durch die zunehmende Bereitstellung einer ODBC- bzw. OPC-Schnittstelle an den Regelungssystemen verbessert sich die Aussicht, eine Software auf der PC-Ebene über verschiedenen Regelungssystemen zu nutzen.

Für das Ziel der Praxisrelevanz ist es wichtig, dass die neuen Kulturprogramme mit wenigen Regelgrößen auskommen, die in möglichst vielen Betrieben sicher verfügbar sind. Ob diese wenigen Größen dann noch eine ausreichende Zuverlässigkeit des Kultursystems bieten, war wenigstens ansatzweise zu prüfen. Lösungsansätze für Kultursoftware auf dem PC sollten allgemeine Datenschnittstellen nutzen, um in Verbindung mit möglichst vielen kommerziellen Regelungssystemen nutzbar zu sein.

Einige Voraussetzungen für die Übertragbarkeit wie eine standardisierte Temperatur- und Lichtmessung, qualitätsgesicherte Substrate, zuverlässige Düngungssysteme, die weite Verbreitung geschlossener Systeme für die Bewässerung bzw. Bewässerungsdüngung oder auch die Konditionierung der Jungpflanzen haben sich in den letzten Jahren verbessert und verbessern sich ständig weiter.

3 Versuche Pelargonien

3.1 Versuchsjahr 2009: Energiesparprogramme ohne und mit Temperatursummenüberwachung

Im Versuchsjahr 2009 wurden bei der Pelargonienkultur sechs verschiedene Klimaprogramme verglichen, die teilweise eine einfache Temperatursummenüberwachung TSK enthielten. Der Basis-Heizungssollwert war bei allen Klimaprogrammen gleich, weil gezielt die Auswirkungen der Programmbausteine zur Energieeinsparung bzw. Temperatursummenüberwachung untersucht werden sollten. Neben der Energieeinsparung wurde die Beeinflussung der Kulturdauer sowie der Pflanzenqualität erfasst.

Einheitlich erfolgte in allen sechs Programmvarianten das Topfen in Kalenderwoche 6. Verwendet wurden 11-cm-Töpfe mit dem Substrat Floradur B mit Ton. Um verallgemeinerungswürdige Ergebnisse zu erzielen, wurden sowohl drei verschiedene Sorten Zonalpelargonien ('Bergpalais', 'Anthony', 'Survivor Dark Red') als auch drei Efeupelargonien ('Lilac', 'Pacific White', 'Atlantic White') in den Versuch einbezogen. Weiterhin wurden in jedem Klimaprogramm vier Varianten mit mengenbilanzierter Düngung realisiert. Nach einer einheitlichen Startphase und dem Stutzen aller Efeupelargonien eine Woche nach dem Topfen erfolgte ab Kalenderwoche 8 die Differenzbehandlung mit den sechs Klimaprogrammen. Bis Kalenderwoche 11 erscheinende Blüten- und Knospenstände wurden entfernt. Der Schattiersollwert wurde nach der Einwachphase auf 60 klx Außenhelligkeit eingestellt.

Verglichen wurden Heizungssteuerungsprogramme mit den Programmbausteinen drop, dynamische Außentemperaturkorrektur (dAT), dynamische Lichtkorrektur (dLK), Windkorrektur (WK) sowie einer Temperatursummenkontrolle (TSK). Details dazu enthält Tabelle 1.

Tabelle 1: Programmvarianten bei der Pelargonienkultur 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Programm	Standard	Standard drop	drop+dAT+TSK	drop+dLK+TSK	drop+dAT+dLK+TSK	drop+dAT+dLK+WK+TSK
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
drop	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					

Das allgemeine Steuerungsmodell lautete wie folgt. Je nach Variante wurden dabei unterschiedliche Programmbausteine kombiniert.

$$HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) + F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll}) - W - F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll})^3$$

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

$$TS_{Ist} - TS_{Soll} = \max. \pm 1000 \text{ Kh}$$

- HT_{akt} = aktualisierter Heizungssollwert
- HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C
- k = Faktor für Absenkung bzw. Anhebung
- F_{AT} = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrekt. (0,3)
- AT_{Ist} = Istwert Außentemperatur in °C
- AT_{Soll} = Erwartungswert Außentemperatur in °C
- F_L = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur (hier 0,2)

- BS_{Ist} = Istwert Außenbeleuchtungsstärke in klx
- BS_{Soll} = Erwartungswert Außenbeleuchtungsstärke 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 TSK (hier 5 x 10⁻⁹)

In Abbildung 8 sind die Entwicklung der Temperatursummen in den Klimaprogrammen sowie der jeweilige Einsatz an Heizenergie dargestellt. Gegenüber dem Standard wurden durch drop ohne TSK 18,5 % der Heizenergie eingespart. Gleichzeitig war am Kulturrende die Temperatursumme um -2,2 % und die Durchschnittstemperatur um -0,4 K reduziert (siehe Tabelle 2). Alle anderen Programmvarianten erfolgten mit TSK und lagen demzufolge sowohl im Heizenergieverbrauch als auch in der Temperatursumme dichter am Standard. Drop+dAT+TSK erreichte eine Einsparung von 8,1 %, drop+dLK+TSK eine von 4,9 %. Die Kombination in drop+dAT+dLK+TSK erzielte mit 10,7 % zwar einen höheren Betrag, der aber unter der Summe der beiden Einzelbeiträge lag. Es kam also zu einer gegenseitigen Beeinflussung und teilweisen Kompensation der Einzeleffekte der Korrekturbausteine. Dafür spricht auch die Einsparung von „nur“ 5,0 % der Heizenergie bei drop+dAT+dLK+WK+TSK.

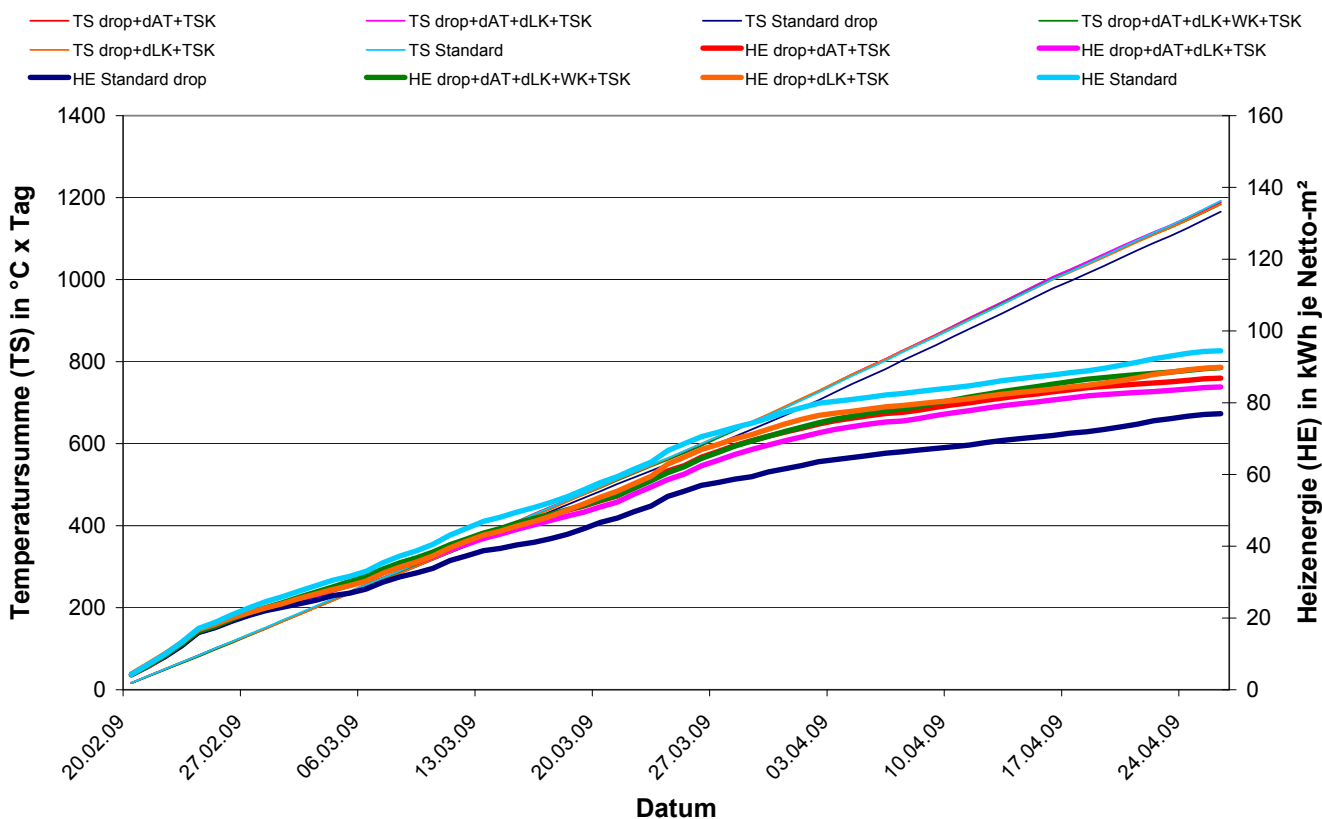


Abbildung 8: Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Klimaprogramm (LfULG Dresden-Pillnitz 2009)

Hinsichtlich der pflanzenbaulichen Auswirkungen (siehe Tabelle 2) war festzustellen, dass drop ohne TSK zu einer Kulturzeitverlängerung von zwei Tagen führte, die zwar gering, aber statistisch zu sichern war. Auch die Sprossmasse lag deutlich höher. 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.

Tabelle 2: Energiedaten und Pflanzenmerkmale Pelargonien 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Programm	Standard	Standard drop	drop+dAT +TSK	drop+dLK +TSK	drop+dAT +dLK+TSK	drop+dAT+dLK +WK+TSK
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
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
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, $\alpha = 0,05$ / * Boniturnoten von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut

In Abbildung 9 wird am Beispiel der Zonalpelargonie 'Red Fox Survivor Dark Red' die mit allen sechs Klimaprogrammen erzielte sehr gute Pflanzenqualität dargestellt.

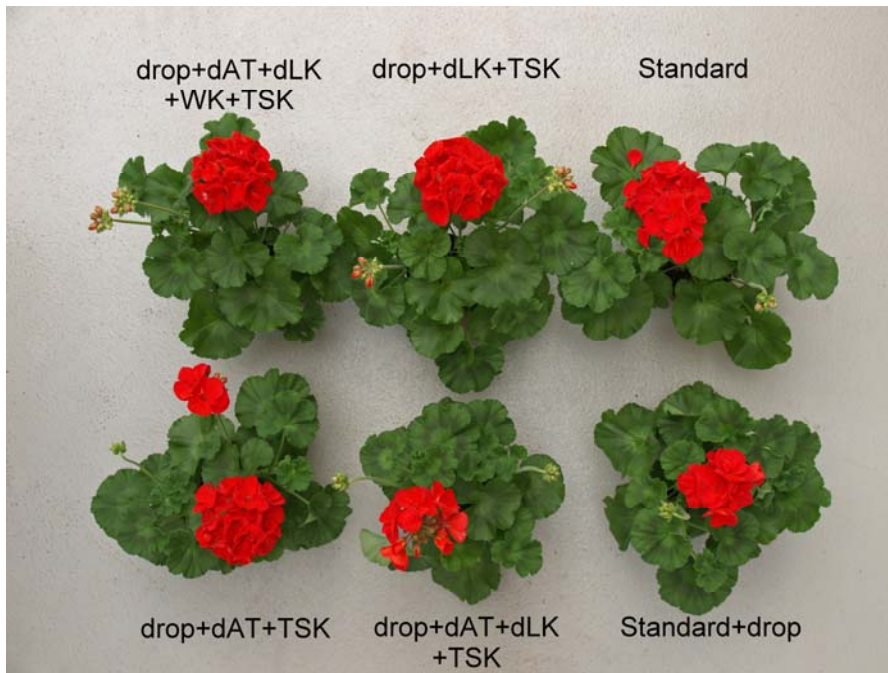


Abbildung 9: Zonalpelargonie 'Red Fox Survivor Dark Red' nach Kultur mit verschiedenen Klimaprogrammen (LfULG Dresden-Pillnitz 2009)

Von sechs im Frühjahr 2009 bei der Pelargonienkultur am LfULG in Dresden-Pillnitz erprobten Energiesparprogrammen erreichte drop ohne Temperatursummenüberwachung die höchste Energieeinsparung von 18,5 %. Die damit verbundene Verlängerung der Kulturdauer um etwa zwei Tage und Erhöhung der Sprossmasse waren signifikant, jedoch ohne wirtschaftliche Bedeutung. Alle anderen Varianten mit einer Temperatursummenkontrolle unterschieden sich pflanzenbaulich nicht vom Standard, erzielten aber eine etwas geringere Energieeinsparung.

Die Temperatursummenkontrolle TSK1000 ist nach diesen Ergebnissen bei Pelargonien ein geeignetes und ausreichendes Mittel zur Sicherung der Kulturdauer und Pflanzenqualität. Die Programmbausteine drop, dynamische Außentemperaturkorrektur, dynamische Lichtkorrektur und Windkorrektur haben ihre Eignung zur Energieeinsparung bestätigt.

3.2 Versuchsjahr 2010: Temperatursumme als Prognosegröße für die Kulturdauer

Nach den vorjährigen Versuchsergebnissen hatte sich die Temperatursumme bei Pelargonien als eine gute Prognosegröße für die Kulturdauer und Pflanzenqualität empfohlen. Allerdings lagen in diesem Versuch durch den gleichen Basis-Heizungssollwert in allen Klimaprogrammen die realen Temperaturverläufe sehr nah beieinander. Außerdem waren durch die parallele Kultur die Licht- bzw. Einstrahlungsbedingungen bei allen Klimaprogrammen sehr ähnlich. Im Versuchsjahr 2010 sollte überprüft werden, ob auch bei verschiedenen Basis-Heizungssollwerten sowie unterschiedlichen Sätzen - mit den damit verbundenen Unterschieden in den Außenbedingungen - die Temperatursumme eine geeignete Größe für das Aussteuern der Kulturdauer und der Pflanzenqualität ist.

Getopft wurde in den Kalenderwochen 5 und 9 in 11-cm-Töpfe mit dem Substrat Stender D400 mit Xylit. Mit dem Ziel verallgemeinerungsfähiger Aussagen wurden vier Sorten Zonalpelargonien ('Bergpalais', 'Perlenkette Orange', 'Hidemi Pachide', 'Perlenkette Sabine') und die Efeupelargonie ('Lilac') einbezogen. Bei letzterer erfolgte eine Woche nach dem Topfen das Stutzen. Eine chemische Wachstumsregulierung erfolgte 14 Tage nach dem Topfen durch Spritzung mit 0,2 % CCC 720. Weiterhin wurde die Kultur in jeweils drei Varianten mengenbilanzierter Düngung auf etwa 500 mg N/Pfl realisiert. Der Schattiersollwert wurde nach der Einwachphase auf 55 klx Außenhelligkeit eingestellt.

Die Klimasteuerung erfolgte mit Programmvarianten, deren Basisheizungssollwerte von 14, 16 und 18 °C durch eine dynamische Außentemperatur- und Lichtkorrektur sowie Windkorrektur hinsichtlich der Einsparung an Heizenergie modifiziert wurden. Die Mindesttemperatur betrug 6 °C. Das Grundmodell war dasselbe wie im Vorjahr 2009 (siehe Abschnitt 3.1). Durch eine Temperatursummenüberwachung wurden dabei Tagesmitteltemperatursollwerte von 15, 17 und 19 °C angesteuert. Die Differenzbehandlung der Klimavarianten fand ohne Startphase sofort ab dem Topfen statt. Ab jeweils der dritten Kulturwoche erfolgte zur Energieeinsparung und Wachstumsregulierung eine drop-Behandlung, indem 1 h vor Sonnenaufgang der Basis-Heizungssollwert für 4 h auf 7 °C und mit Sonnenaufgang der Basis-Lüftungssollwert für 2 h auf 10 °C abgesenkt wurde. Das Grundmodell aller Klimaprogramme war im Jahr 2010 also „drop+dAT+dLK+WK+TSK1000“, wobei sich die drei Klimaprogramme wie angegeben in den Basis-Heizungssollwerten und den Tagesmitteltemperatursollwerten für die Temperatursummenüberwachung unterschieden.

In Abbildung 10 sind die Entwicklung der Temperatursummen in den Kultursätzen und Klimaprogrammen sowie der jeweilige Aufwand an Heizenergie dargestellt. In beiden Sätzen entwickelten sich die Temperatursummen annähernd linear, wobei der Anstieg durch den jeweiligen Tagesmitteltemperatursollwert bestimmt wurde. In allen Varianten enden die Kurven im Bereich zwischen 1.100 und 1.200 °C x Tag. Der Blühbeginn erfolgte also unabhängig vom Satz und der Klimaprogrammvariante jeweils bei annähernd der gleichen Temperatursumme. In Abhängigkeit vom Satz und dem Klimaprogramm war für die Erreichung der für den Blühbeginn erforderlichen Temperatursumme von 1.100 bis 1.200 °C x Tag ein ganz unterschiedlicher Aufwand an Heizenergie erforderlich (siehe auch Tabelle 3). Während für die Variante Tagesmitteltemperatursollwert 19 °C des ersten Satzes 140 kWh/Netto-m² benötigt wurden, waren es für die Variante 15 °C des zweiten Satzes nur noch 50 kWh/Netto-m². Diesem großen Unterschied an Heizenergie stehen allerdings auch ein um sechs Wochen späterer Blühtermin sowie eine um 13 Tage längere Kulturdauer gegenüber. Die Verlaufskurven zum Heizenergieeinsatz aller Varianten sind durch die Witterung geprägt. So folgte zum Beispiel im März nach einer kalten zweiten Dekade ein deutlich wärmerer Witterungsabschnitt. Dies ist an der deutlichen Abflachung aller Kurven zu erkennen.

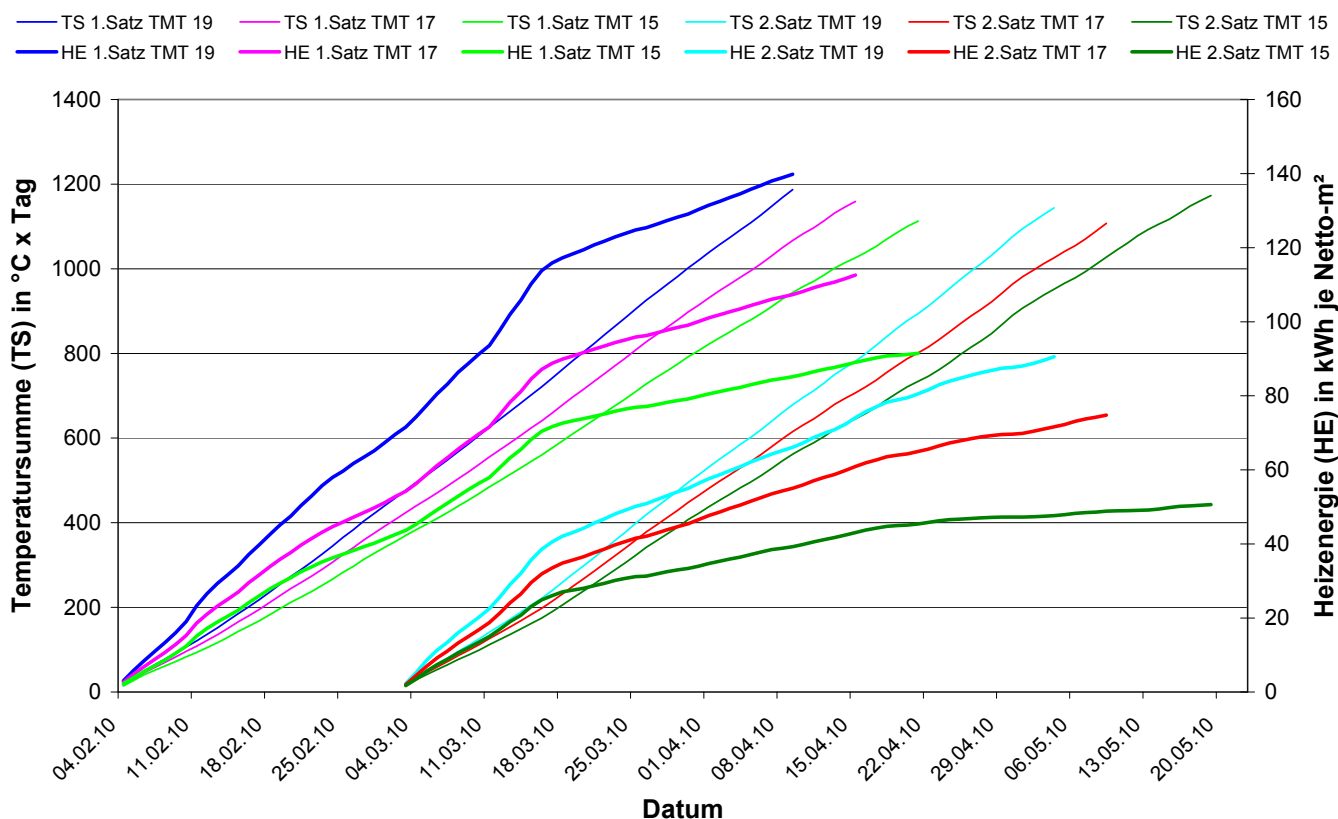


Abbildung 10: Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Satz (KW 5 bzw. KW 9) und der angestrebten Tagesmitteltemperatur bei Pelargonien im Jahr 2010 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Die pflanzenbaulichen Auswirkungen der Sätze und Klimaprogramme sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Das mit dem Jahresverlauf steigende Lichtangebot führte beim zweiten Satz zu keiner wesentlichen Verkürzung der Kulturdauer, jedoch waren die Pflanzen zum Zeitpunkt des Blühbeginns größer, wiesen eine höhere Sprossmasse sowie mehr Blüten- und Knospenständen auf.

Der Gesamteindruck aller Varianten unterschied sich nur geringfügig, lag im zweiten Satz aber etwas niedriger. In der Tendenz war bei höheren Tagesmitteltemperatursollwerten die Durchwurzelung etwas schlechter, die Wurzelqualität dafür etwas besser. Die Pflanzenqualität aller Varianten war damit gut.

Tabelle 3: Auswirkungen verschiedener Tagesmitteltemperatursollwerte auf die Temperatur- und Lichtsummen bis zum Blühbeginn, den Heizenergieeinsatz, die Kulturdauer sowie einige Pflanzenmerkmale bei satzweisem Anbau von Pelargonien 2010 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Satz	KW 5	KW 5	KW 5	KW 9	KW 9	KW 9
Tagesmitteltemperatursollwert	15 °C	17 °C	19 °C	15 °C	17 °C	19 °C
Temperatursumme**** in °C x Tag	1114	1162	1184	1179	1101	1153
Heizenergie**** in kWh/m ²	91	112	140	50	75	91
Außenlichtsumme**** in klxh	17127	15496	13522	22281	19523	18594
Außenstrahlungssumme**** in kWh/m ²	183	164	141	255	219	207
Datum Blühbeginn*	21.04.10	15.04.10	09.04.10	19.05.10	09.05.10	04.05.10
Kulturdauer ab Topfen in Tagen	76 ^d	70 ^c	64 ^a	77 ^d	67 ^b	62 ^a
Kulturdauer ab Stutzen** in Tagen	74 ^d	67 ^c	56 ^{ab}	67 ^c	59 ^b	52 ^a
Pflanzenhöhe in cm	22 ^{ab}	22 ^a	22 ^a	25 ^d	23 ^{bc}	24 ^c
Pflanzenbreite in cm	29 ^c	28 ^{bc}	28 ^{bc}	27 ^b	26 ^a	26 ^a
Anzahl Blüten- und Knospenstände	4,6 ^{ab}	4,5 ^{ab}	4,2 ^a	5,2 ^c	5,0 ^{bc}	5,0 ^{bc}
Laubfarbe***	5,6 ^{bc}	5,8 ^{cd}	6,0 ^d	5,4 ^{ab}	5,4 ^{ab}	5,3 ^a
Gesamteindruck***	8,5 ^{ab}	8,6 ^{ab}	8,7 ^b	8,3 ^a	8,4 ^a	8,3 ^a
Sprossmasse in g	98 ^d	84 ^a	80 ^a	112 ^c	88 ^a	80 ^a
Durchwurzelung***	7,3 ^c	6,6 ^b	6,6 ^b	6,8 ^b	6,7 ^d	6 ^a
Wurzelqualität***	7,3 ^{bc}	7,3 ^{bc}	7,4 ^c	6,9 ^a	7 ^{ab}	7,5 ^c

* mind. 2 offene Blüten / ** nur bei *P. peltatum* / *** Bonituren: 1 = schwächste bis 9 = stärkste Merkmalsausprägung / **** ab Topfen bis Blühbeginn / ^{abc} Signifikanzgruppen TUCKEY B mit $\alpha = 0,05$

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen als Beispiel Pflanzen der Zonalpelargonie 'Bergpalais' aus den Sätzen KW 5 und KW 9 jeweils zehn Wochen nach Kulturbeginn. In Abhängigkeit von der Variante des Tagesmitteltemperatursollwerts weisen die Pflanzen wesentliche Unterschiede in der Entwicklung ihrer Blüten- und Knospenstände auf, die kühleren Varianten liegen deutlich zurück. Die stärker von der Lichtmenge abhängige Pflanzengröße ist jedoch annähernd gleich, weil die Pflanzen aus allen Klimavarianten ab dem Topfen das gleiche Lichtangebot hatten.

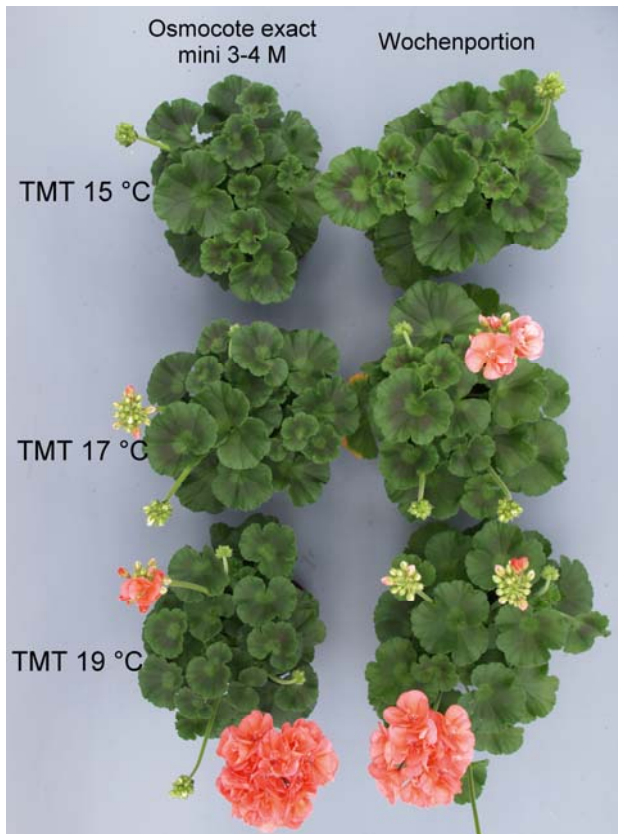


Abbildung 11: Zonalpelargonie 'Bergpalais' aus unterschiedlichen Teilprogrammen zur Kultursteuering 10 Wochen nach dem Topfen in KW 5 (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)

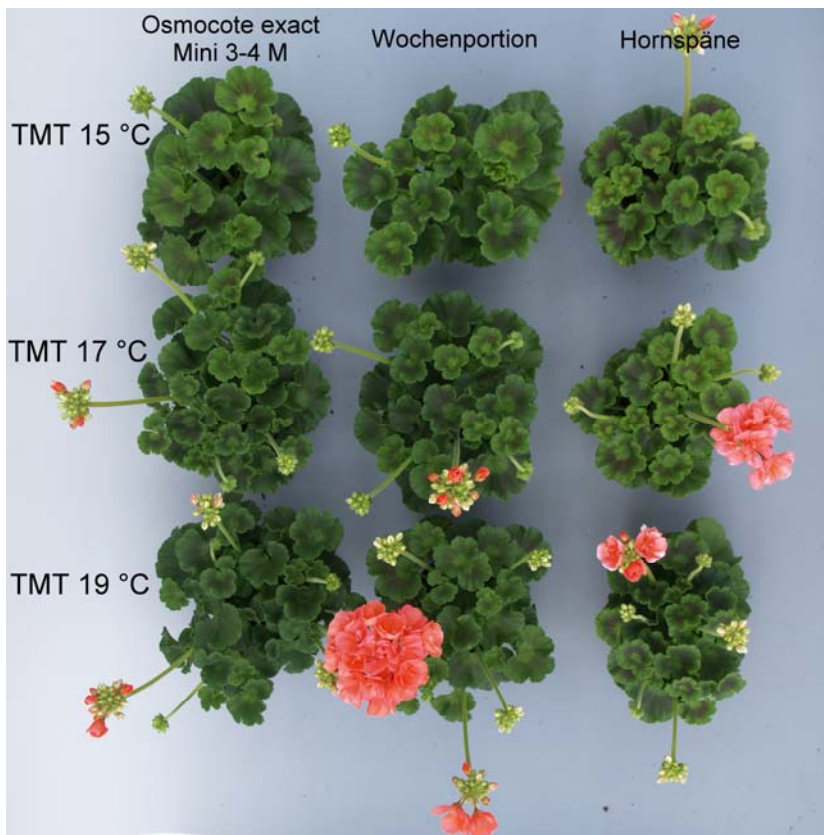


Abbildung 12: Zonalpelargonie 'Bergpalais' aus unterschiedlichen Teilprogrammen zur Kultursteuering 10 Wochen nach dem Topfen in KW 9 (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)

Im Versuchsjahr 2010 wurden Pelargonien in zwei Sätzen (KW 5 und KW 9) mit Heizungssteuerungsprogrammen zur Energieeinsparung sowie der Temperatursummenüberwachung TSK1000 kultiviert. In beiden Sätzen erfolgte die Kultur in jeweils drei verschiedenen Varianten bei Tagesmitteltemperatursollwerten von 15, 17 und 19 °C. Dabei benötigten alle Varianten zwar eine unterschiedliche Kulturdauer, erreichten den Blühbeginn aber jeweils bei annähernd der gleichen Temperatursumme zwischen 1.100 und 1.200 °C x Tage. Das in den Sätzen unterschiedliche Lichtangebot wirkte sich auf die Pflanzengröße sowie die Anzahl Blüten- und Knospenstände je Pflanze aus.

Die jeweils annähernd gleiche Temperatursumme bis zum Blühbeginn bestätigt die Temperatursummenkontrolle TSK1000 als geeignetes Mittel zur Sicherung der Kulturdauer. Die Pflanzenqualität, insbesondere die Pflanzengröße, hängt jedoch auch vom Lichtangebot ab. Die Kultur bei niedrigeren Tagesmitteltemperatursollwerten führt nicht nur zu einer längeren Kulturdauer, sondern auch zu größeren Pflanzen sowie einer höheren Anzahl Blüten und Knospen je Pflanze, weil bis zum Blühbeginn mehr Licht „gesammelt“ wird.

3.3 Versuchsjahr 2011: Lichtsumme und Pflanzengröße

Im Versuchsjahr 2011 war die Sicherheit der Aussteuerung der Kulturdauer anhand der Temperatursumme unter anderen Jahresbedingungen nochmals zu überprüfen. Der im Vorjahr festgestellte Einfluss des Lichtangebots auf die Pflanzengröße sowie die Anzahl Blüten und Knospen je Pflanzen sollte möglichst quantitativ untersucht werden.

Getopft wurde in den Kalenderwochen 6 und 9 in 11-cm-Töpfe mit dem Substrat Stender D 400 mit Xylit. Um verallgemeinerungswürdige Ergebnisse zu erzielen, wurden sowohl drei verschiedene Sorten Zonalpelargonien ('Bergpalais', 'Morning Sun', 'Hidemi') als auch zwei Efeupelargonien ('Lilac', 'Red Sibyl') in den Versuch einbezogen. Beide Sorten Efeupelargonien ermöglichen eine Kultur ohne Stützen. Zur chemischen Wachstumsregulierung wurde drei und fünf Wochen nach dem Topfen zweimal CCC 720 in Konzentrationen von 0,15 und 0,10 % gespritzt. Die Düngung erfolgte mengenbilanziert auf ca. 500 mg N/Pflanze in drei Varianten durch Vollversorgung mit Depotdüngern bzw. eine Nachdüngung mit Wochenportionen. Der Schattiersollwert wurde nach der Einwuchsphase auf 55 klx Außenhelligkeit eingestellt. Für den Energieschirm galt bis Beginn drop ab jeweils eine Woche nach Kulturbeginn ein lichtgeführter Schaltpunkt (4 klx) von 60 min vor Sonnenuntergang bis 90 min nach Sonnenaufgang, ab Beginn drop eine zeitgebundene Nachtfunktion von 60 min vor Sonnenuntergang bis 30 min vor Sonnenaufgang.

Für die Klimaprogramme wurde wie im Vorjahr sofort ab Kulturbeginn die Kombination „dAT+dLK+WK+TSK1000“ genutzt. Bereits eine Woche später wurde der drop-Baustein zugeschaltet, indem 1 h vor Sonnenaufgang der Basis-Heizungssollwert für 4 h auf 7 °C und mit Sonnenaufgang der Basis-Lüftungssollwert für 2 h auf 10 °C abgesenkt wurde. Die Programmvarianten mit Tagesmitteltemperatursollwerten von 15, 17 und 19 °C hatten wieder Basis-Heizungssollwerte von 14, 16 und 18 °C und entsprachen damit denen des Vorjahres.

In Abbildung 13 sind die Entwicklung der Temperatursummen in den Kultursätzen und Klimaprogrammen sowie der jeweilige Aufwand an Heizenergie für das Jahr 2011 dargestellt. Trotz des eine Woche späteren Kulturbeginns für den ersten Satz und des deutlich anderen Witterungsverlaufs als im Vorjahr sind die Kernaussagen ähnlich: In beiden Sätzen entwickelten sich die Temperatursummen annähernd linear, wobei der Anstieg durch den jeweiligen Tagesmitteltemperatursollwert bestimmt wurde. In allen Varianten enden die Kurven im Bereich zwischen 1.100 und 1.200 °C x Tag. Der Blühbeginn erfolgte also unabhängig vom Satz und der Klimaprogrammvariante jeweils bei annähernd der gleichen Temperatursumme. In Abhängigkeit vom Satz und dem Klimaprogramm war für die Erreichung der für den Blühbeginn erforderlichen Temperatursumme von 1.100 bis 1.200 °C x Tag ein ganz unterschiedlicher Aufwand an Heizenergie erforderlich (siehe auch Tabelle 4). Während für die Variante „Tagesmitteltemperatursollwert 19 °C“ des ersten Satzes 113 kWh/Netto-m² benötigt wurden, waren es für die Variante „TMT 15 °C“ des zweiten Satzes nur noch 37 kWh/Netto-m². Diesem großen Unterschied an Heizenergie steht ein um fünf Wochen späterer Blühtermin gegenüber.

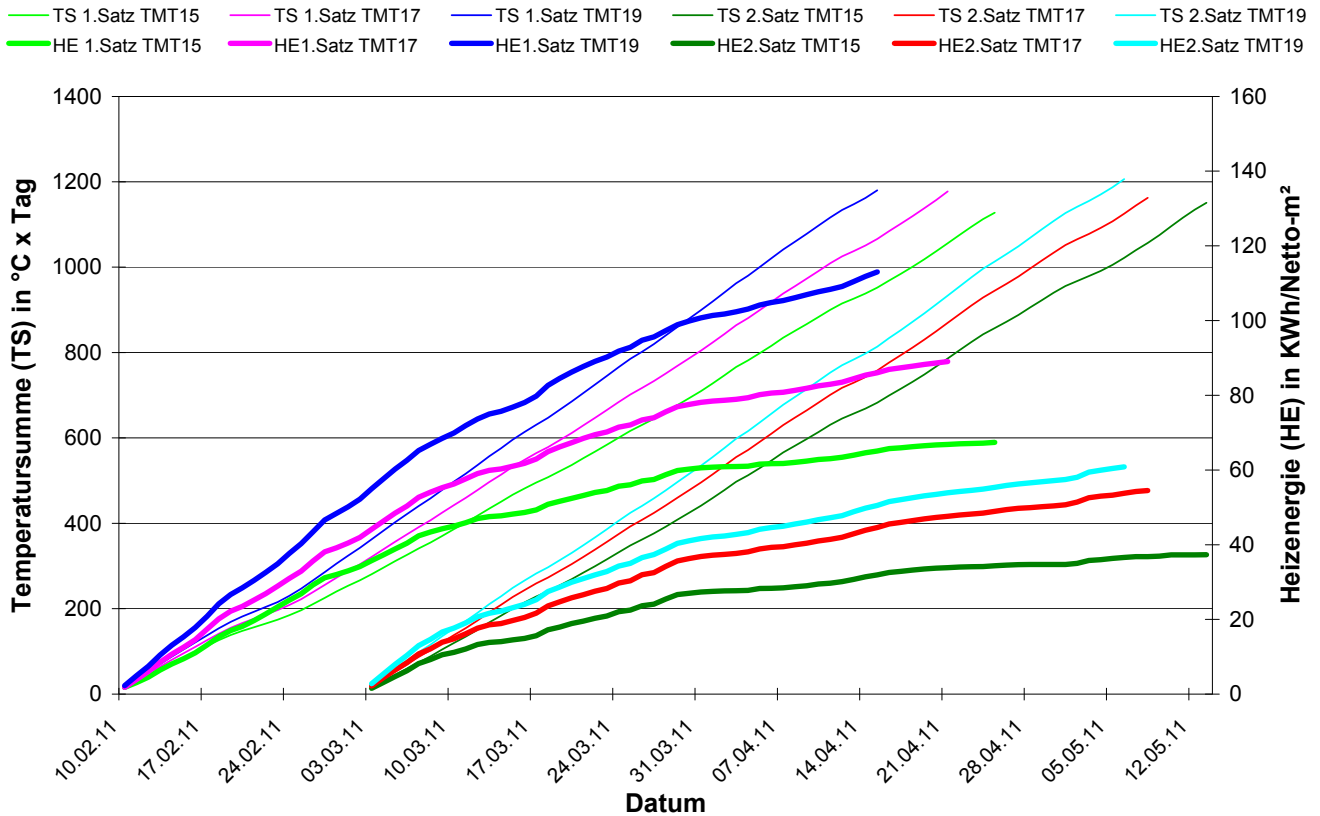


Abbildung 13: Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Satz (KW 6 bzw. KW 9) und der angestrebten Tagesmitteltemperatur (TMT) bei Pelargonien im Jahr 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Die in der Tabelle 4 zusammengefassten Versuchsergebnisse stützen hinsichtlich der pflanzenbaulichen Ergebnisse folgende Aussagen: Der Blühbeginn bzw. die Kulturdauer wurden wesentlich von dem angesteuerten Tagesmitteltemperatursollwert bestimmt. Durch hohe Einstrahlung und warme Witterung im April lagen die Varianten des zweiten Satzes jedoch in den realen Bedingungen dichter beieinander als im Vorjahr und hatte insgesamt eine kürzere Kulturdauer.

Die bis zum jeweiligen Blühbeginn erreichten Temperatursummen betragen bei allen Varianten wie schon im Vorjahr 1.100 bis 1.200 °C x Tag. Die Temperatursumme wurde damit als eine gute Größe für die Prognose und Steuerung der Kulturdauer bestätigt.

Die sehr strahlungsreiche Witterung führte im Vergleich zum Vorjahr zu größeren Pflanzen zum Zeitpunkt des Blühbeginns. Das Außenlichtangebot lag auch beim ersten Satz deutlich über dem des Vorjahres. Nur die 19-°C-Variante des ersten Satzes wich in der Außenlichtsumme und demzufolge auch in der Pflanzengröße wesentlich ab, weil sie schon bis zum Beginn der Schönwetterperiode im April in Blüte kam. Die Anzahl Blüten- und Knospenstände zum Blühbeginn war beim zweiten Satz mit seinem hohen Lichtangebot deutlich größer als beim ersten. Zwischen den Temperaturvarianten eines Satzes gab es keine wesentlichen Unterschiede. Der Gesamteindruck aller Varianten war wieder sehr gut.

Tabelle 4: Auswirkungen verschiedener Tagesmitteltemperatursollwerte auf die Kulturdauer, die Temperatur- und Lichtsummen bis zum Blühbeginn, den Heizenergieeinsatz sowie einige Pflanzenmerkmale bei satzweisem Anbau von Pelargonien 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Satz	KW 6	KW 6	KW 6	KW 9	KW 9	KW 9
Tagesmitteltemperatursollwert	15 °C	17 °C	19 °C	15 °C	17 °C	19 °C
Temperatursumme*** in °C x Tag	1128	1177	1180	1150	1162	1206
Heizenergie*** in kWh/m ²	67	89	113	37	54	61
Außenlichtsumme*** in klxh	22755	20895	18095	23545	21083	19868
Datum Blühbeginn*	25.04.11	21.04.11	15.04.11	13.05.11	08.05.11	06.05.11
Kulturdauer ab Topfen in Tagen	75 ^e	70 ^d	64 ^c	65 ^c	61 ^b	58 ^a
Pflanzenhöhe in cm	23 ^{ab}	23 ^{ab}	22 ^a	25 ^c	24 ^c	24 ^{bc}
Pflanzenbreite in cm	29 ^b	30 ^{bc}	28 ^a	29 ^{bc}	30 ^{bc}	30 ^c
Anzahl Blüten- und Knospenstände	5,5 ^a	5,3 ^a	5,3 ^a	7,0 ^b	7,0 ^b	6,6 ^b
Laubfarbe**	6,4 ^b	6,5 ^b	6,1 ^a	6,0 ^a	6,0 ^a	6,0 ^a
Gesamteindruck**	8,4 ^a	8,6 ^a	8,4 ^a	8,6 ^a	8,5 ^a	8,6 ^a
Sprossmasse in g	105 ^{bc}	104 ^b	88 ^a	116 ^d	111 ^{cd}	113 ^d
Durchwurzlung**	7,0 ^{ab}	7,0 ^{ab}	6,9 ^a	7,5 ^c	6,9 ^a	7,2 ^d
Wurzelqualität**	7,0 ^{a,b}	7,0 ^{a,b}	7,1 ^b	6,8 ^a	7,0 ^{a,b}	7,1 ^b

* mind. 2 offene Blüten / ** Bonituren: 1 = schwächste bis 9 = stärkste Merkmalsausprägung / *** ab Topfen bis Blühbeginn / abcd Signifikanzgruppen TUCKEY B mit $\alpha = 0,05$

Die Abbildungen 14 und 15 zeigen beispielhaft Pflanzen der Zonalpelargonie 'Bergpalais' aus den Sätzen KW 6 und KW 9 jeweils zehn Wochen nach Kulturbeginn. In Abhängigkeit von der Variante des Tagesmitteltemperatursollwerts weisen die Pflanzen Unterschiede in der Entwicklung ihrer Blüten- und Knospenstände auf, die kühleren Varianten liegen deutlich zurück. Die Qualität aller Pflanzen ist sehr gut.



Abbildung 14: Zonalpelargonien 'Bergpalais' aus unterschiedlichen Teilprogrammen zur Kultursteuering 10 Wochen nach dem Topfen in KW 6 (LfULG Dresden-Pillnitz 2011)

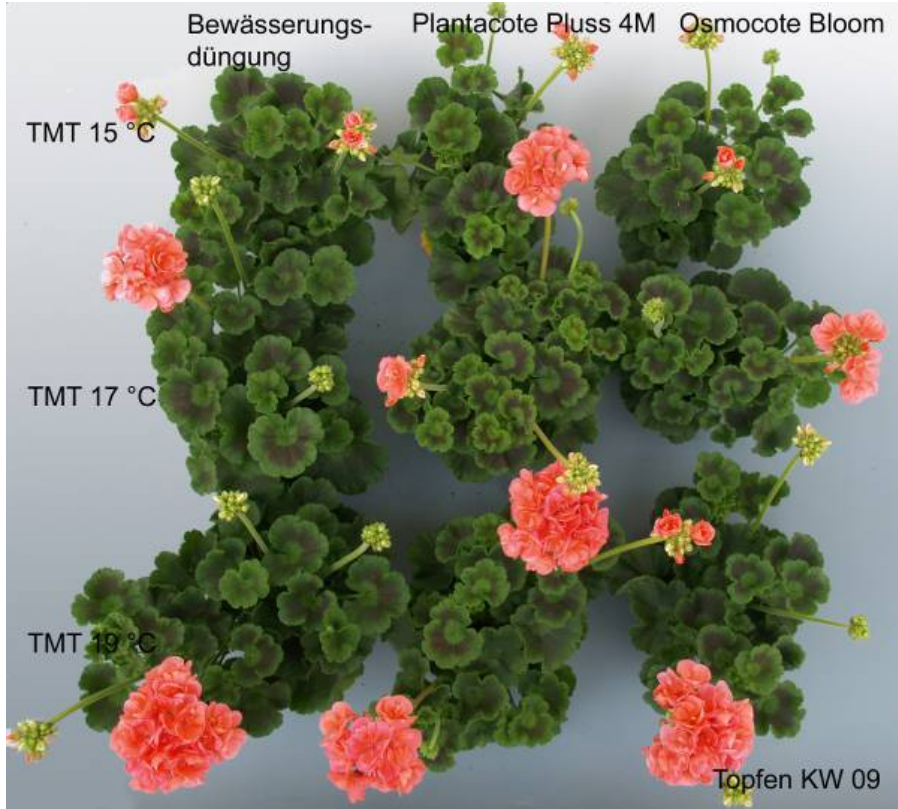


Abbildung 15: Zonalpelargonien 'Bergpalais' aus unterschiedlichen Teilprogrammen zur Kultursteuering 10 Wochen nach dem Topfen in KW 9 (LfULG Dresden-Pillnitz 2011)

Im Versuchsjahr 2011 wurden Pelargonien wie schon 2010 in zwei Sätzen (KW 6 und KW 9) mit Heizungssteuerungsprogrammen zur Energieeinsparung bei drei verschiedenen Tagesmitteltemperatursollwerten von 15, 17 und 19 °C kultiviert. Dabei

benötigten alle Varianten zwar eine unterschiedliche Kulturdauer, erreichten den Blühbeginn aber jeweils bei annähernd der gleichen Temperatursumme. Trotz des deutlich anderen Witterungsverlaufs als im Vorjahr wurden vom Topfen bis zum Blühbeginn wieder 1.100 bis 1.200 °C x Tag benötigt.

Das unterschiedliche Lichtangebot in den Sätzen wirkte sich auf die Pflanzengröße sowie die Anzahl Blüten- und Knospenstände je Pflanze aus.

4 Versuche Poinsettien

4.1 Versuchsjahr 2009: Energiesparprogramme ohne und mit Temperatursummenüberwachung

Im Versuchsjahr 2009 wurden bei der Poinsettienkultur sechs Klimaprogramme getestet. Ein Standard mit drop wurde mit fünf Programmvarianten verglichen, die weitere Bausteine zur Energieeinsparung (dAT, dLK, WK) und zur Wachstumsüberwachung (TSK1000, 7TMK) enthielten. Für die Energieeinsparung wurde in der dynamischen Außentemperaturkorrektur der Skalierungsfaktor für die Außentemperaturkorrektur variiert (A: $F_{AT} = 0,3$ /B: $F_{AT} = 0,6$) sowie in einer Variante in der Brakteenentwicklungsphase mit 17 °C ein um 1 K niedrigerer Tagesmitteltemperatursollwert angewendet. Details zu den Klimaprogrammen und deren Einstellwerten sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Das Topfen erfolgte in Kalenderwoche 30 in 12-cm-Töpfe mit Patzer Euphorbiensubstrat. Mit dem Ziel verallgemeinerbare Aussagen zu erreichen, wurden zehn Sorten unterschiedlicher Wuchsstärke und mit unterschiedlicher Genetik in den Versuch einbezogen. Es handelte sich um 'Premium White', 'Cosmo Red', 'Cortez', 'Mars Improved', 'Allegra', 'Monreale Early Red', 'Christmas Feelings', 'Christmas Eve', 'Estrella Red' sowie 'Saturnus Red'. Drei Wochen nach dem Topfen wurde einheitlich auf sechs Blätter gestutzt. Eine chemische Wachstumsregulierung erfolgte in KW 34, 36 und 37 mit 0,1 % Cycocel 720. Der natürliche Kurztagsbeginn wurde durch Verdunklung ab Kalenderwoche 39 unterstützt beziehungsweise geringfügig vorgezogen.

Tabelle 5: Programmvarianten bei der Poinsettienkultur 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Programm	Standard drop	drop+dAT +dLK+WK	drop+dAT +dLK+WK +TSK1000 A	drop+dAT +dLK+WK +TSK1000 B	drop+dAT +dLK+WK +7TMK	drop+dAT +dLK+WK +TSK1000A (17 °C)
Basis-Heizungssollwert Tag/Nacht in °C			24.8.-11.10.: 16/16 12.10.-22.11.: 18/18			24.8.-11.10.: 16/16 12.10.-22.11.: 17/17
Tagesmitteltemperatursollwert in °C			24.8.-09.09.: 16 10.09.-22.11.: 18			24.8.-09.09.: 16 10.09.-22.11.: 17
Basis-Lüftungssollwert Tag/Nacht in °C			24.8.-11.10.: 19/19 12.10.-22.11.: 21/21			24.8.-11.10.: 19/19 12.10.-22.11.: 20/20
Besonderheiten		$F_{AT} = 0,3$ $F_L = 0,2$	$F_{AT} = 0,3$ $F_L = 0,2$	$F_{AT} = 0,6$ $F_L = 0,4$	$F_{AT} = 0,3$ $F_L = 0,2$	$F_{AT} = 0,3$ $F_L = 0,2$
drop = cool morning		bis 11.10.: 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 21.09. bis 10.10. Verdunklung ab 17:00 Uhr bis 45 min vor Sonnenaufgang, Energieschirm 60 min vor Sonnenuntergang bis 30 min vor Sonnenaufgang ab 11.10.08 drop aus; Verdunklung von 30 min vor Sonnenuntergang bis 45 min nach Sonnenaufgang; Energieschirm: Schaltpunkt unabhängig von AT auf 4 klx, Nachtfunktion von 60 min vor Sonnenuntergang bis 90 min nach Sonnenaufgang					

Die Varianten der Klimaprogramme beruhen auf folgendem allgemeinen Steuerungsmodell:

dAT	dLK	WK	TSK1000	oder	7TMK
$HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll})$	$+ F_L * (BS_{Ist} - BS_{Soll})$	- W	- TSK1000		- 7TMK

mit folgenden Bedingungen:

WENN $AT_{Ist} > HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0$

WENN $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$, DANN $F_{AT} = 0,3$ bzw. $0,6$

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 $F_L = 0,2$ bzw. $0,4$

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

WENN $TS_{Ist} - TS_{Soll} > 1000$ Kh, DANN $TSK1000 = F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll} - 1000)^3$

WENN $TS_{Ist} - TS_{Soll} < -1000$ Kh, DANN $TSK1000 = F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll} + 1000)^3$

$7TMK_{heute} = (6 * 7TMK_{gestern} + TM_{Ist} - TM_{Soll}) / 7$

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

HT_{akt} = aktualisierter Heizungssollwert in °C

HT_{Basis} = Basis-Heizungssollwert in °C

k = Faktor für Absenkung bzw. Anhebung

F_{AT} = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur

AT_{Ist} = Istwert Außentemperatur in °C

AT_{Soll} = Erwartungswert Außentemperatur in °C (langjähr. Mittel)

F_L = Skalierungsfaktor Lichtkorrektur

BS_{Ist} = Istwert Außenbeleuchtungsstärke in klx

BS_{Soll} = Erwartungswert Außenbeleuchtungsstärke in klx

v_w = Windgeschwindigkeit in m/s

W = Windkorrektur (hier 1 K)

TS_{Ist} = Istwert Temperatursumme in °C x h

TS_{Soll} = Sollwert Temperatursumme in °C x h

TM_{Ist} = Tagesmitteltemperaturistwert in °C

TM_{Soll} = Tagesmitteltemperatursollwert in °C

n = bisherige Anzahl Kulturtage

F_{TS} = Skalierungsfaktor Temperatursummenkontrolle (hier 10^{-7})

$7TMK_{heute}$ = Gleitender Mittelwert der Temperatursummendifferenz Heute in K

$7TMK_{gestern}$ = Gleitender Mittelwert der Temperatursummendifferenz Gestern in K

Alle Programmvarianten wurden jeweils bis zum Erreichen einer Temperatursumme von 1.700 °C x d kultiviert. Zu diesem Termin erfolgte der Vergleich des Aufwandes an Heizenergie und die Erfassung der Pflanzenmerkmale.

In der Abbildung 16 ist die zeitliche Entwicklung der Temperatursummen und des Heizenergieeinsatzes dargestellt. Schon ab September lag die Temperatursumme der Variante „Standard drop“ über der der übrigen Varianten. Mit Beginn einer gegenüber dem langjährigen Mittel sehr kühlen Witterungsperiode ab dem 10. Oktober 2009 (siehe Abbildung 1) verstärkte der Abstand sich weiter deutlich. Gleichzeitig wuchs der Heizenergiebedarf stark an, wobei die Programmbausteine zur Energieeinsparung die gewünschte Wirkung entwickelten. Der November war dagegen durch wesentliche Zeitabschnitte mit relativ hohen Außentemperaturen gekennzeichnet. Dies führte bei der B-Variante mit dem größeren Skalierungsfaktor für die Außentemperaturkorrektur zu einem stärkeren Anstieg des Heizenergiebedarfs als bei der schwächer skalierten A-Variante.

Die waagerechten Abstände am Ende der dünnen Linien für die Temperatursummen verdeutlichen die Unterschiede in der Kulturdauer der Klimaprogramme bis zum Erreichen der Temperatursumme von 1.700 °C x d. Die senkrechten Abstände zwi-

schen den dicken Linien veranschaulichen die Unterschiede im Heizenergieeinsatz. Die entsprechenden Zahlenwerte sind auch in der Tabelle 6 wiedergegeben.

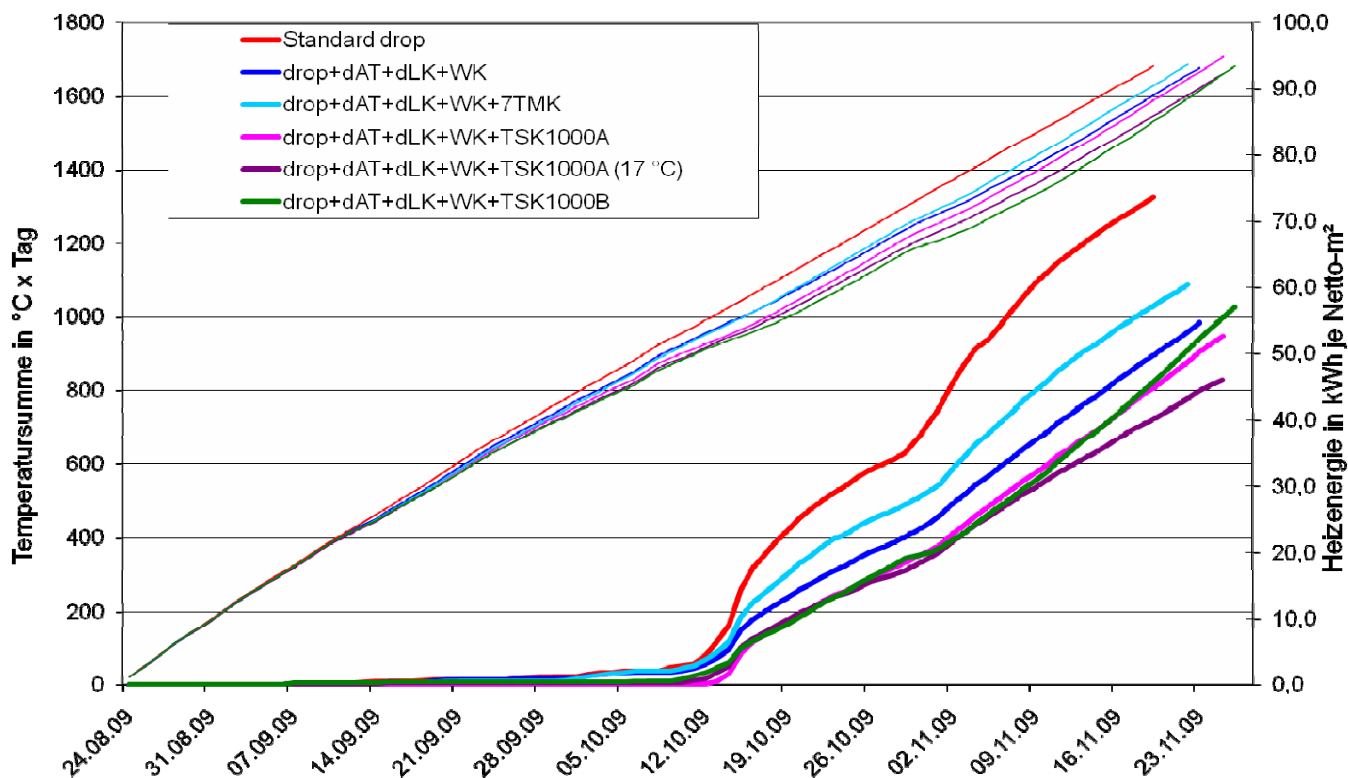


Abbildung 16: Entwicklung der Temperatursummen und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Klimaprogramm (LfULG Dresden-Pillnitz 2009)

Bei Realisierung der Klimaprogramme bis zur gleichen Temperatursumme von 1.700 °C x d führten die meisten Programmvarianten bei 18 bis 28 % Energieeinsparung zu sehr guten Pflanzenqualitäten. Die Einzelwerte sind in der Tabelle 6 wiedergegeben. Die Unterschiede in der Pflanzenqualität zwischen den Varianten waren nur gering. Allerdings verlängerte sich die Kulturdauer um drei bis sechs Tage, was gerade noch tolerierbar ist. Die Absenkung des Tagesmitteltemperatursollwertes während der Brakteenentwicklung von 18 auf 17 °C (Variante drop+dAT+dLK+WK+TSK1000A(17 °C)) führte zwar mit 38 % zur höchsten Energieeinsparung, jedoch auch zur Kulturzeitverlängerung um 7 Tage und zu einer grenzwertigen Pflanzenqualität.

Tabelle 6: Auswirkungen von Programmvarianten zur Heizungssteuerung auf den Energieverbrauch, die Kulturdauer und Merkmale der Pflanzenqualität bei Poinsettien 2009 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Variante	drop (Standard)	drop+dAT +dLK+WK	drop +dAT +dLK+WK +TSK1000A	drop +dAT +dLK+WK +TSK1000B	drop +dAT +dLK+WK +7TMK	drop+dAT +dLK+WK +TSK1000A (17 °C)
Energieeinsparung in %	-	26	28	23	18	38
Kulturzeitverlängerung in d	-	4	6	6	3	7
Pflanzenhöhe in cm	23,8 ^c	23,1 ^{abc}	23,1 ^{abc}	23,5 ^{bc}	22,9 ^{ab}	22,3 ^a
Pflanzenbreite in cm	42,5 ^d	40,7 ^c	40,0 ^{bc}	38,9 ^{ab}	39,5 ^{bc}	37,9 ^a
Brakteendurchmesser in cm	24,4 ^b	23,0 ^a	23,3 ^a	24,5 ^b	24,3 ^b	23,0 ^a
Cyathienzustand*	2,9 ^a	2,9 ^a	3,0 ^a	4,5 ^c	3,4 ^b	3,0 ^a
Anzahl Triebe	3,6 ^{ab}	3,7 ^b	3,7 ^b	4,1 ^c	3,4 ^a	3,7 ^b
Gesamteindruck**	8,2 ^{cd}	7,7 ^{ab}	7,8 ^{ab}	8,3 ^d	7,9 ^{bc}	7,6 ^a
Sprossmasse in g	77,9 ^a	79,3 ^{ab}	77,2 ^a	82,6 ^b	78,0 ^a	75,9 ^a
Durchwurzlung**	5,3 ^a	5,4 ^{ab}	5,2 ^a	5,8 ^b	5,7 ^{ab}	5,5 ^{ab}
Wurzelqualität**	6,6 ^b	6,1 ^a	6,6 ^b	6,8 ^b	7,2 ^c	6,8 ^b

^{a,b,c} Signifikanzgruppen TUCKEY B, $\alpha = 0,05$ / * Bonitur von 1 = grün, 2-4 mm über 5 = Cyathien leicht geöffnet, Staubfäden sichtbar bis 9 = Cyathien abgefallen

** Boniturnoten von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut

In Abbildung 17 sind Pflanzen der Sorte 'Christmas Feelings' dargestellt. Bei ansonsten weitgehend ähnlicher Pflanzenqualität ist die Variante „drop+dAT+dLK+WK+TSK1000A(17 °C)“ kleiner und weniger stark ausgefärbt.

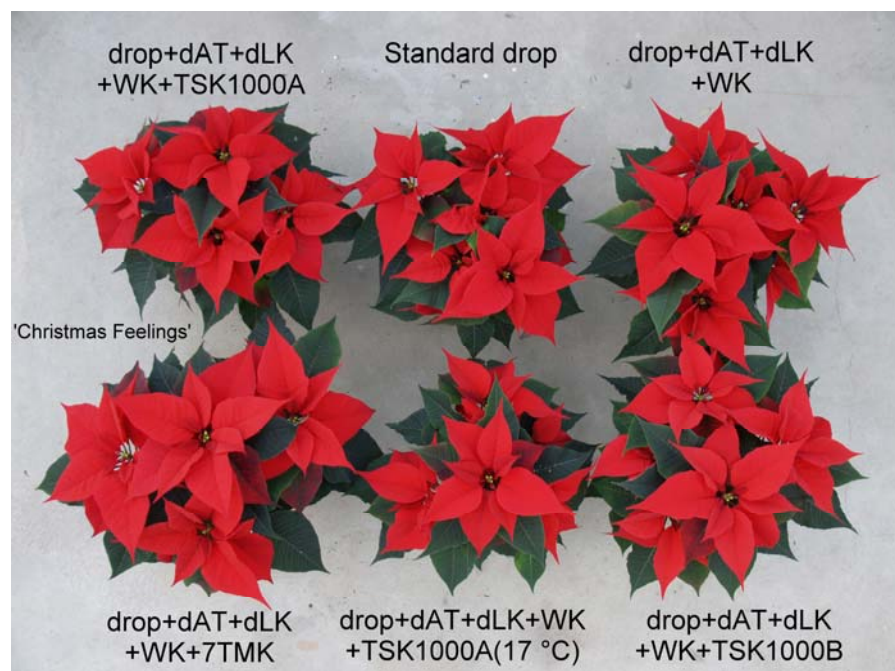


Abbildung 17: Poinsettie 'Christmas Feelings' nach Kultur mit verschiedenen Klimaprogrammen (LfULG Dresden-Pillnitz 2009)

Die Kultur von Poinsettien mit fünf neuen Klimaprogrammen im Jahr 2009 erbrachte im Vergleich zu einer Standardvariante mit drop Energieeinsparungen zwischen 18 und 38 %. Die letzte Variante mit einem niedrigeren Tagesmitteltemperatursollwert von 17 °C in der Brakteenentwicklungsphase war allerdings mit sieben Tagen Kulturzeitverlängerung, kleineren Pflanzen und schwächerer Ausfärbung nicht empfehlenswert.

Sowohl die Programmbausteine zur Energieeinsparung als auch zur Wachstumsüberwachung konnten ihre Funktionsfähigkeit nachweisen. Die Varianten mit TSK1000 hatten durch hohe Wärmesummenpolster aus den Sommerwochen und die daraus resultierende Absenkung in der zweiten Kulturhälfte teilweise anhaltend sehr niedrige aktuelle Heizungssollwerte. Nur durch die relativ warme Witterung kam es nicht zu niedrigen Realtemperaturen im kritischen Bereich.

4.2 Versuchsjahr 2010: Programmbausteine zur Wachstumsüberwachung

Ziel des Poinsettienversuches 2010 war die Untersuchung der Wirksamkeit verschiedener Bausteine zur Wachstumsüberwachung. Das allen Varianten zugrunde liegende Energiesparprogramm beinhaltet eine dynamische Außentemperatur- und Lichtkorrektur, eine Windkorrektur sowie zeitweise eine drop-Korrektur des Heizungssollwerts. Es wurden folgende Programmbausteine zur Sicherung der Kulturdauer und Pflanzenqualität verglichen:

- TSK1000: Temperatursummenbildung und Gegensteuern bei Abweichungen von mehr als +/- 1000 Kh von der Soll-Temperatursumme (auf Tagesmitteltemperatursollwert 18 °C beruhend)
- TSK1000K21: Temperatursummenbildung mit Kappung bei 21 °C, Gegensteuern wie bei TSK1000
- WWSK80: Berechnung eines „Wachstumswertes“ (WW) durch Bewertung der aktuellen Temperatur mit dem entsprechenden Wert aus der Wachstumskurve, Summenbildung (WWS), Gegensteuern bei Abweichungen von mehr als +/- 80 WWS von der Soll-Wärmewertsumme

Quasi als Belastungsprobe für die Programmbausteine zur Wachstumsüberwachung erfolgte die Kultur nicht nur in einem Normalsatz ab Kalenderwoche 30, sondern auch in einem extrem frühen Satz ab Kalenderwoche 26.

In beiden Sätzen wurden einheitlich die Sorten 'Premium White', 'Cortez', 'Estrella Red', 'Saturnus', 'Christmas Feelings' in 12-cm-Töpfe mit dem Substrat Stender D400 mit Xylit getopft. Neben einer Bewässerungsdüngung wurde eine mengenbilanzierte Düngung in den Varianten kontinuierliche und wechselnden Wochenportionen realisiert. Jeweils drei Wochen nach dem Topfen wurde auf sechs Blätter gestutzt, eine Woche später auf Endstand mit 12 Pfl/m² gerückt. Die chemische Wachstumsregulierung erfolgte vier und zehn Wochen nach dem Topfen mit 0,1 und 0,15 % Cycocel 720. Weitere Kulturmaßnahmen und Regeleinstellungen sind in der Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Einstellwerte der Klimaprogramme und allgemeine Kulturdaten bei der Poinsettienkultur in zwei Sätzen im Jahr 2010 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Satz	KW 26		KW 26		KW 30		KW 30	
Klimaprogramm	TSK1000K21	WWSK80	TSK1000	TSK1000K21	WWSK80	TSK1000	TSK1000K21	WWSK80
Basisheizungssollwert Tag/Nacht in °C		2.7.-2.8.: 18/18 2.8.-14.9.: 16/16 14.9.- : 18/18					30.7.-30.8.: 18/18 30.8.-12.10.: 16/16 12.10.- :18/18	
Tagesmitteltemperatursollwert in °C oder Sollwert Wachstumswert	2.7.-2.8.: 20 2.8.- : 18		2.7.-2.8.: 20 2.8.- : 18		30.7.-30.8.: 20 30.8.- : 18			30.7.-30.8.: 20 30.8.- : 18
		0,7						0,7
Basislüftungssollwert Tag/Nacht in °C		2.7.-2.8.: 21/21 2.8.-14.9.: 18/18 14.9.- : 21/21					30.7.-30.8.: 21/21 30.8.-12.10.: 18/18 12.10.- :21/21	
drop = cool morning	2.8.-14.9.: Heizung: 1 h vor Sonnenaufgang für 4 h auf 8 °C; Lüftung: mit Sonnenaufgang für 2 h auf 10 °C			30.8.-12.10.: 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 24.8. bis 14.9. Verdunklung ab 16:30 Uhr bis 45 min vor Sonnenaufgang, Energieschirm 60 min vor Sonnenuntergang bis 30 min vor Sonnenaufgang ab 14.9. drop aus; Verdunklung von 30 min vor Sonnenuntergang bis 45 min nach Sonnenaufgang; Energieschirm: Schaltpunkt unabhängig von AT auf 4 klx, Nachtfunktion von 60 min vor Sonnenuntergang bis 90 min nach Sonnenaufgang			Schattiersollwert 45 klx, Mindesttemperatur 6 °C ab 21.9. bis 12.10. Verdunklung ab 17:30 Uhr bis 45 min vor Sonnenaufgang, Energieschirm 60 min vor Sonnenuntergang bis 30 min vor Sonnenaufgang ab 12.10. drop aus; Verdunklung von 30 min vor Sonnenuntergang bis 45 min nach Sonnenaufgang; Energieschirm: Schaltpunkt unabhängig von AT auf 4 klx, Nachtfunktion von 60 min vor Sonnenuntergang bis 90 min nach Sonnenaufgang				

Im Zusammenwirken mit dem Witterungsverlauf kam es in beiden Sätzen zu ganz unterschiedlichen Verläufen der realen Temperaturen, insbesondere auch während der Brakteenausbildung. Wie aus den Abbildungen 18 und 19 ersichtlich ist, herrschten aufgrund gegenüber dem langjährigen Mittel zu niedriger Außentemperaturen beim ersten Satz über einen Großteil der Brakteenentwicklung reale Temperaturen unterhalb der für eine gute Ausfärbung erforderlichen 18 °C. Bei der Variante TSK1000, die über keinen Ausgleich für hohe Wärmesummenpolster aus den Sommerwochen verfügt, verstärkte sich dieser Effekt noch. Insbesondere im kritischen Zeitraum der 5. bis 7. Kurztagswoche war der Vorteil der Temperatursummenüberwachung mit Kappungsgrenze (TSK1000K21) und der Wachstumswertsummenüberwachung (WWSK) klar zu erkennen. Beim zweiten Satz KW 30 fiel die kühle Periode in den ersten Teil der Brakteenentwicklung, ab der 5./6. Kurztagswoche herrschten in allen Varianten überwiegend Temperaturen oberhalb der kritischen 18 °C.

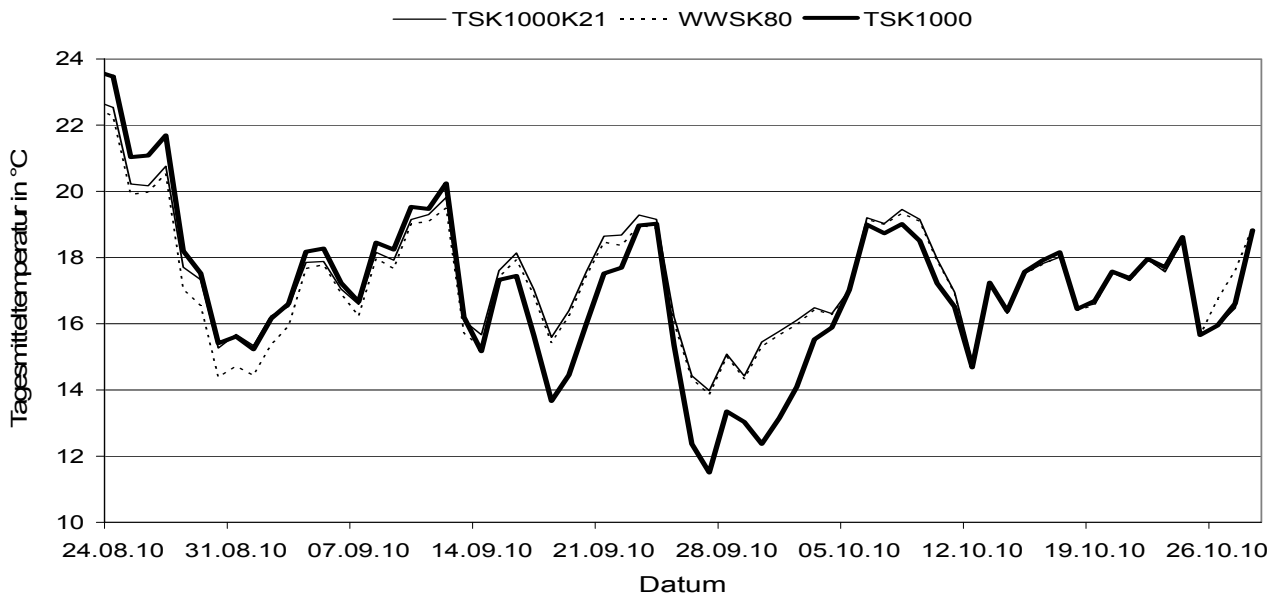


Abbildung 18: Verlauf der realen Tagesmitteltemperaturen während der Kurztagsphase bei Satz KW 26 (Poinsettien, LfULG Dresden-Pillnitz 2010)

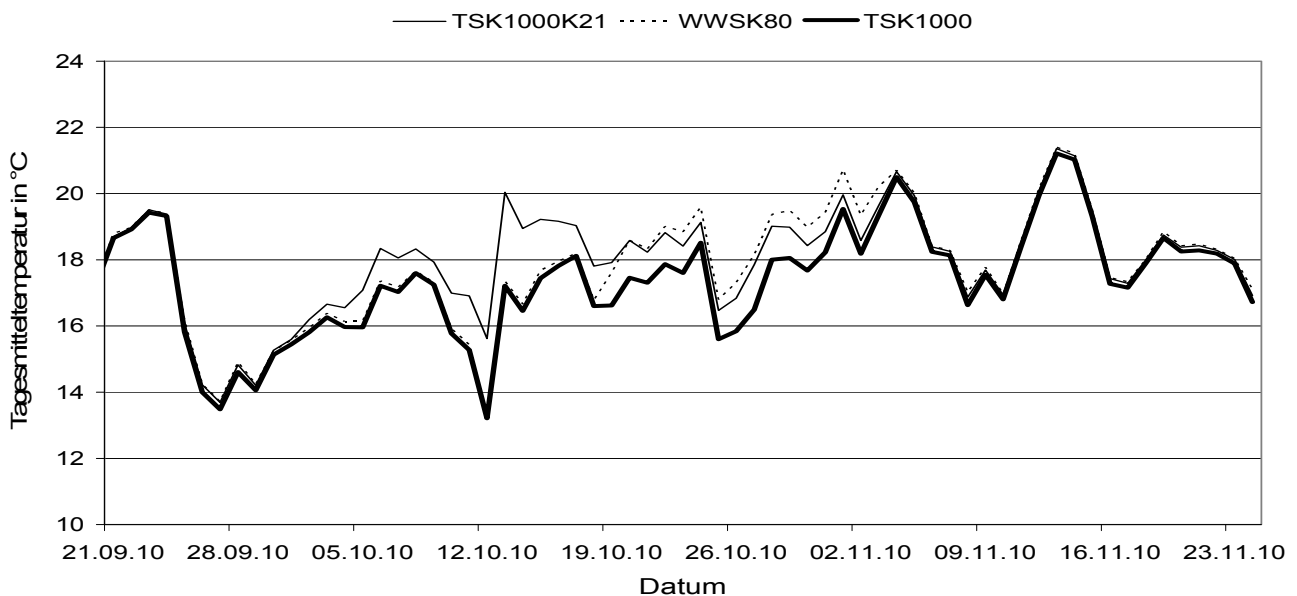


Abbildung 19: Verlauf der realen Tagesmitteltemperaturen während der Kurztagsphase bei Satz KW 30 (Poinsettien, LfULG Dresden-Pillnitz 2010)

Wie aus Abbildung 20 ersichtlich, lagen in beiden Sätzen die Entwicklungen der Temperatursummen nahe beieinander. Bei beiden Sätzen war die stärkste Differenzierung im Heizenergieeinsatz in der Phase Ende September bis Mitte Oktober zu beobachten. Danach verliefen die Kurven zur Heizenergie für die Temperatursummenüberwachung mit und ohne Kappungsgrenze wieder annähernd parallel, während bei WWSK ein etwas stärkerer Anstieg festzustellen war.

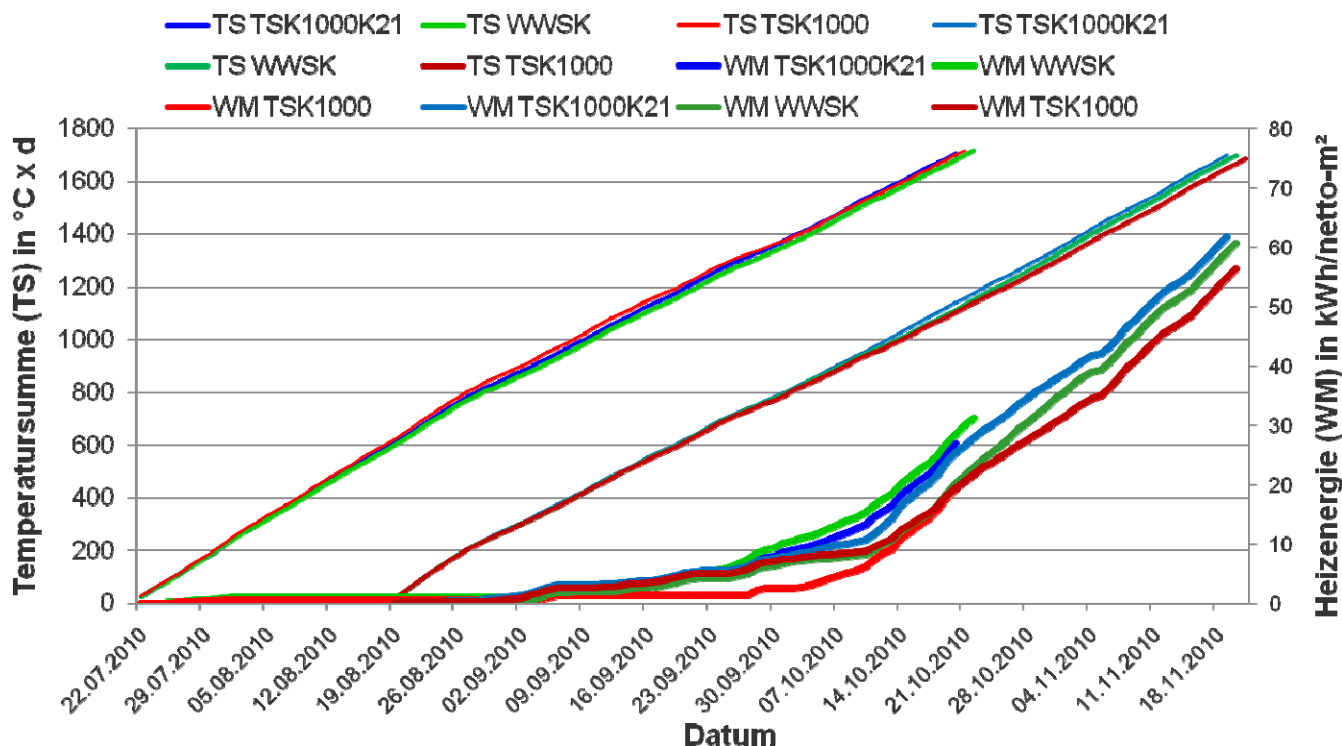


Abbildung 20: Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Satz (KW 26 bzw. KW 30) und dem Programmbaustein zur Wachstumsüberwachung bei Poinsettien im Jahr 2010 (ab Stutzen, LfULG Dresden-Pillnitz)

In beiden Sätzen führte die Temperatursummenkontrolle ohne Kappungsgrenze zu einem Energieverbrauch, der ca. 8 bzw. 5 kWh/m² unter dem der anderen Varianten lag (Tabelle 8). Diesen energetischen Vorteilen standen jedoch zumindest im ersten Satz deutliche pflanzenbauliche Nachteile entgegen.

Über die Energieeinsparung im Vergleich zur normalen Temperaturführung kann anhand dieses Versuchs keine Aussage getroffen werden, weil keine Vergleichsvariante dafür enthalten war. Trotz der über hohe Zeiteile kühlen Witterung während der Heizphase lag der Energieverbrauch auch im zweiten Satz mit 57 bis 62 kWh/m² sehr gut.

In der Tabelle 8 sind neben dem Energieverbrauch auch Angaben zu den erreichten Temperatur- bzw. Wachstumswertsummen sowie den Pflanzenmerkmalen dargestellt. Insbesondere bei sehr hohen Temperaturen in der Wachstumsphase (z. B. beim frühen Satz) erwiesen sich Programme mit einer Kappungsgrenze von 21 °C oder einer Bewertung der Temperatur anhand der Wachstumskurve als vorteilhaft. Bei einer Temperatursummenbildung ohne Kappung (TSK oder TSK1000) verursachen sehr große Temperatursummenpolster aus extrem warmen Kulturabschnitten dagegen Kulturprobleme durch eine anhaltende Absenkung bis zum Kulturrende. Beim ersten Satz fällt diese Variante in der Pflanzengröße, der Brakteengröße und allgemeinen Qualität gegenüber den anderen deutlich ab.

Bei annähernd gleichen Temperatur- bzw. Wärmewertsummen in beiden Sätzen waren die Pflanzen des Satzes KW 30 deutlich kleiner (Tabelle 8). Als Ursache wird das geringere Lichtangebot vermutet. Weiterhin war eine geringere Anzahl Triebe und eine deutlich schlechtere Bewurzelung festzustellen. Bei der Bonitur des Gesamteindrucks schnitten sie jedoch ähnlich gut wie die des ersten Satzes ab. Die Schätzwerte zum Innenlichtsumme legen einen Einfluss des Lichtangebots auf die genannten Merkmale nahe.

Tabelle 8: Auswirkungen der Klimaprogramme auf den Energieverbrauch, die Temperatur- bzw. Wachstumswertsumme sowie wesentliche Pflanzenmerkmale bei Poinsettien 2010 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Satz	KW 26	KW 26	KW 26	KW 30	KW 30	KW 30
Klimaprogramm	TSK1000K21	WWSK80	TSK1000	TSK1000K21	WWSK80	TSK1000
Heizenergie in kWh/m ²	30,2	30,8	23,7	62,6	61,5	57,2
TS ab Stutzen in °C x Tag	1860	1838	1854	1829	1811	1778
TS21 ab Stutzen in °C x Tag	1786	1770	1762	1794	1775	1746
WWS ab Stutzen in WW x Tag	68	66	65	69	67	64
LiSu ab Stutzen in klxh	12503	12503	12503	10278	10278	10278
Pflanzenhöhe in cm	25,6 ^c	26,0 ^c	23,0 ^b	20,1 ^a	19,4 ^a	20,1 ^a
Pflanzenbreite in cm	43,4 ^d	44,1 ^d	41,8 ^c	37,2 ^b	35,2 ^a	36,2 ^{ab}
Brakteendurchmesser in cm	23,4 ^b	24,5 ^c	19,6 ^a	25,3 ^c	24,6 ^c	24,5 ^c
Cyathienstadium**	3,0 ^{ab}	3,4 ^b	2,7 ^a	5,7 ^d	5,2 ^c	5,6 ^{cd}
Triebanzahl	4,3 ^c	4,5 ^c	4,5 ^c	3,4 ^{ab}	3,4 ^a	3,6 ^b
Gesamteindruck*	7,5 ^b	7,9 ^c	5,5 ^a	7,5 ^b	7,4 ^b	7,9 ^c
Sprossmasse in g	103,9 ^d	107,0 ^d	94,2 ^c	62,4 ^b	55,9 ^a	63,6 ^b
Durchwurzlung*	5,4 ^c	5,2 ^{bc}	5,1 ^b	3,6 ^a	3,4 ^a	3,5 ^a
Wurzelqualität*	7,0 ^{bc}	6,7 ^a	6,9 ^b	7,2 ^{cd}	7,4 ^{de}	7,5 ^e

Bonitur: 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut / ** Bonitur von 1 = grün, 2-4 mm über 5 = Cyathien leicht geöffnet, Staubfäden sichtbar bis 9 = Cyathien abgefallen

^{abc} Signifikanzgruppen TUCKEY B mit $\alpha = 0,05$

Die Abbildungen 21 und 22 veranschaulichen die pflanzenbaulichen Ergebnisse. Beim ersten Satz KW 26 wiesen die Pflanzen aus der Temperatursummenüberwachung TSK1000 nur eine unzureichende Qualität auf. Beim zweiten Satz sind die Unterschiede durch die bei allen Klimaprogrammen warme Schlussphase weniger stark ausgeprägt.



Abbildung 21: Einfluss des Klimaprogramms und des Düngungsverfahrens auf die Pflanzenqualität bei Poinsettien im Satz KW 26 (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)



Abbildung 22: Einfluss des Klimaprogramms und des Düngungsverfahrens auf die Pflanzenqualität bei Poinsettien im Satz KW 30 (LfULG Dresden-Pillnitz 2010)

Bei einem Satz Poinsettien mit Kulturbeginn KW 26 führte bei einer Temperatursummenüberwachung TSK1000 das sehr große Temperatursummenpolster aus den heißen Sommerwochen später zu anhaltend niedrigen Temperaturen insbesondere während der kritischen Phasen in der Kurztagsperiode. Die Temperatursummenüberwachung mit Kappung TSK1000K21 und die Überwachung des Wachstumswerts WWSK80 lagen trotz extrem niedriger Außentemperaturen günstiger, was sich auch in den Pflanzenmerkmalen widerspiegelt. Beim späteren Satz KW 30 waren auch bei TSK1000 das Temperatursummenpolster und die daraus resultierenden Abweichungen während der Kurztagsperiode wesentlich geringer. Die Pflanzenqualitäten aller Programmvarianten waren hier sehr ähnlich.

Der Versuch unterstützt die Forderung nach Programmbausteinen zur Wachstumsüberwachung, die unempfindlich gegenüber Temperatursummenpolstern aus sehr warmen Kulturwochen sind. Dies ist für eine Qualitätssicherung erforderlich, auch wenn dadurch keine maximale Energieeinsparung erreicht wird. Sowohl die Temperatursummenüberwachung mit Kappungsgrenze (TSK1000K21) als auch die Wachstumswertüberwachung (WWSK80) sind geeignete Programmbausteine.

Die klaren Unterschiede in der Pflanzengröße, Anzahl Brakteen und der Durchwurzelung zwischen den beiden Sätzen legen einen starken Einfluss des Lichtangebots auf diese Qualitätsmerkmale nahe.

4.3 Versuchsjahr 2011: Wachstumsüberwachung, Lichtsumme und Pflanzengröße

Ziel des Poinsettienversuches 2011 war die erneute Überprüfung der Zuverlässigkeit der Programmbausteine zur Sicherung der Kulturdauer und der Pflanzenqualität. Neben einer Bestätigung der Wirksamkeit der Programmbausteine zur Temperatursummenkontrolle mit (TSK1000K21) bzw. zur Wachstumswertsummenkontrolle (WWSK80) ging es um die weitere Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem Lichtangebot und der Pflanzengröße, der Anzahl Brakteen und der Durchwurzelung.

Der allgemeine Versuchsaufbau und -ablauf entsprach weitgehend dem des Vorjahres. Mit dem Ziel einer genaueren Untersuchung des Lichteinflusses wurde jedoch anstelle der TSK1000 eine weitere WWSK80-Variante aufgenommen. Diese erhielt einen zusätzlichen Programmbaustein zur Lichtsummenüberwachung, der bei einer Abweichung von mehr als 500 klx gegenüber einer Standard-Lichtsumme den ansonsten sehr hoch auf 80 klx eingestellten Schattiersollwert auf 30 klx absenkte. Alle Lichtwerte wurden in stündlicher zeitlicher Auflösung kalkulatorisch berechnet. Basis war die Außenhelligkeit, die mit entsprechenden Faktoren für die Lichtdämpfung durch das Gewächshaus sowie die eventuell geschlossenen Schattier-/Energieschirme und Verdunklungsanlage korrigiert wurden.

Weitere Daten zu den Varianten, Einstellwerten und zum zeitlichen Ablauf sind in der Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Einstellwerte der Klimaprogramme und allgemeine Kulturdaten bei der Poinsettienkultur in zwei Sätzen im Jahr 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Satz	KW 26	KW 26	KW 26	KW 30	KW 30	KW 30
Programm	TSK1000K21	WWSK80	WWSK80+LSK	TSK1000K21	WWSK80	WWSK80+LSK
Basis-Heizungssollwert Tag/Nacht in °C		30.6.-2.8.: 18/18 2.8.-31.8.: 16/16 31.8.- : 18/18			28.7.-30.8.: 18/18 30.8.-28.9.: 16/16 28.9.- :18/18	
Tagesmitteltemperatursollwert in °C oder Sollwert Wachstumswert	30.6.-2.8.: 20 2.8.- : 18	0,7	0,7	28.7.-30.8.: 20 30.8.- : 18	0,7	0,7
Basis-Lüftungssollwert Tag/Nacht in °C		30.6.-2.8.: 21/21 2.8.-31.8.: 18/18 31.8.- : 21/21			28.7.-30.8.: 21/21 30.8.-28.9.: 18/18 28.9.- :21/21	
Besonderheiten	F _{AT} = 0,3 F _L = 0,2	F _{AT} = 0,3 F _L = 0,2	F _{AT} = 0,3 F _L = 0,2 Schattierung 30 klx, wenn > 500 klxh Lichtsummendifferenz	F _{AT} = 0,3 F _L = 0,2	F _{AT} = 0,3 F _L = 0,2	F _{AT} = 0,3 F _L = 0,2 Schattierung 30 klx, wenn > 500 klxh Lichtsummendifferenz
drop		2.8.-6.9.: Heizung: 1 h vor Sonnenaufgang für 4 h auf 8 °C; Lüftung: mit Sonnenaufgang für 2 h auf 10 °C			30.8.-4.10.: Heizung: 1 h vor Sonnenaufgang für 4 h auf 8 °C; Lüftung: mit Sonnenaufgang für 2 h auf 10 °C	
Weitere Einstellungen		Schattiersollwert-Basis 80 klx, Mindesttemperatur 6 °C ab 17.8. bis 6.9. Verdunklung ab 16:00 Uhr bis 30 min vor Sonnenaufgang, Energieschirm 60 min vor Sonnenuntergang bis 30 min vor Sonnenaufgang ab 6.9. drop aus; Verdunklung von 30 min vor Sonnenuntergang bis 45 min nach Sonnenaufgang; Energieschirm: Schaltpunkt unabhängig von AT auf 4 klx, Nachtfunktion von 60 min vor Sonnenuntergang bis 90 min nach Sonnenaufgang			Schattiersollwert-Basis 80 klx, Mindesttemperatur 6 °C ab 14.9. bis 4.10. Verdunklung ab 17:00 Uhr bis 30 min vor Sonnenaufgang, Energieschirm 60 min vor Sonnenuntergang bis 30 min vor Sonnenaufgang ab 4.10. drop aus; Verdunklung von 30 min vor Sonnenuntergang bis 45 min nach Sonnenaufgang; Energieschirm: Schaltpunkt unabhängig von AT auf 4 klx, Nachtfunktion von 60 min vor Sonnenuntergang bis 90 min nach Sonnenaufgang	

Wie aus Abbildung 23 zu ersehen ist, lagen die Temperatursummenentwicklungen der Varianten sowohl im ersten als auch im zweiten Satz wieder dicht beieinander und führten wieder bis zu ca. 1.700 °C x Tag. Auf Grund des warmen und sonnigen Spätsommerwetters bis in den Oktober hinein benötigte der erste Satz praktisch keine Heizenergie. Auch ab Mitte Oktober war die Witterung noch vergleichsweise warm, so dass auch im zweiten Satz der Heizenergiebedarf nur 25 bis 33 kWh/m² betrug. Die Temperatursummenüberwachung mit Kappung TSK1000K21 lag sowohl in der Temperatursumme als auch im Heizenergieverbrauch etwas über den beiden Varianten mit Wachstumswertüberwachung WWSK80.

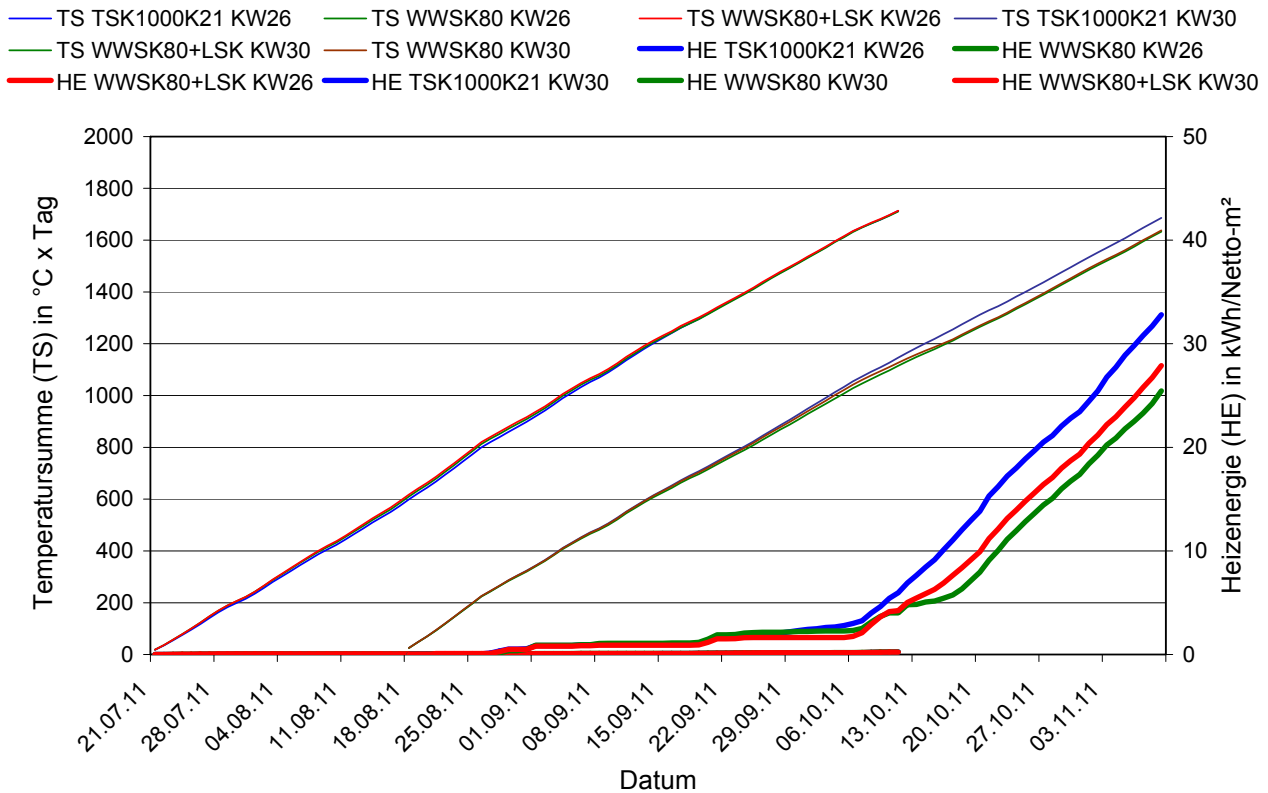


Abbildung 23: Entwicklung der Temperatursumme und der eingesetzten Heizenergie in Abhängigkeit vom Satz (KW 26 bzw. KW 30) und dem Programmbaustein zur Wachstumsüberwachung bei Poinsettien im Jahr 2011 (ab Stutzen, LfULG Dresden-Pillnitz)

Auch auf das Innenlichtangebot hatte das sonnige Spätsommer- und Herbstwetter gravierende Auswirkungen (Abbildung 24). In beiden Sätzen lag das Lichtangebot weit über dem Standard. Dieser beruht auf dem langjährigen Mittel für den 2. Satz während der normalen Kulturperiode. Die Varianten mit Lichtsummenkontrolle LSK wiesen zwar etwas niedrigere Werte auf, die jedoch ebenfalls weit über dem Standard lagen.

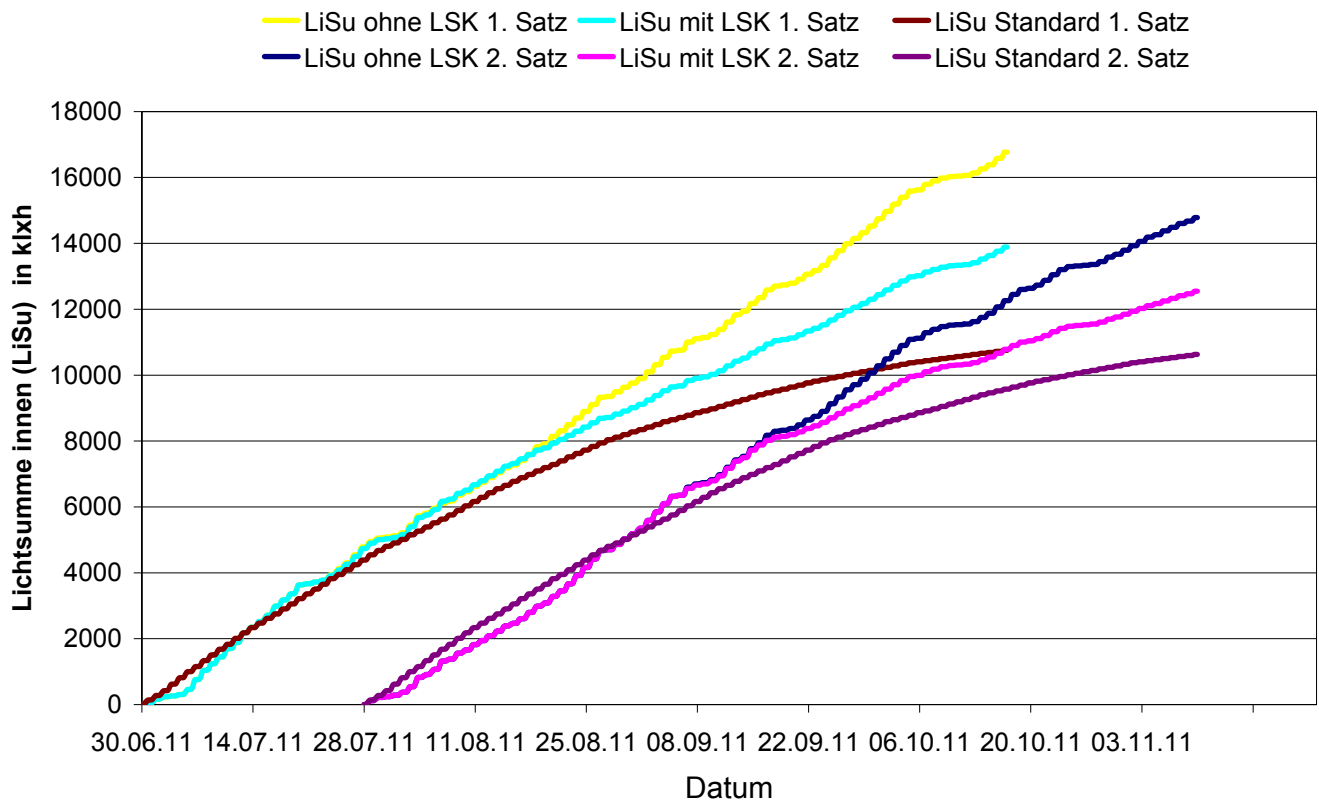


Abbildung 24: Berechnete Entwicklung der Innenlichtsummen bei den Varianten der Poinsettienkultur 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Die Lichtsummen aus beiden Sätzen ließen unter Berücksichtigung der vorjährigen Werte für beide Sätze große und schwere Pflanzen erwarten. Trotz der annähernd gleichen Lichtsummen der Varianten ohne LSK waren die Pflanzen aus dem zweiten Satz jedoch deutlich kleiner (Tabelle 10). Auch sind die Unterschiede im Lichtangebot zwischen den Varianten mit und ohne LSK desselben Satzes weitgehend ohne Auswirkungen auf die Pflanzengröße geblieben. Die Triebanzahl war in beiden Sätzen gleich hoch, die Durchwurzelung im zweiten Satz wiederum schlechter als im ersten.

Tabelle 10: Auswirkungen der Klimaprogramme auf die Temperatur- bzw. Wachstumswertsumme sowie wesentliche Pflanzenmerkmale bei Poinsettien 2011 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Satz	KW 26	KW 26	KW 26	KW 30	KW 30	KW 30
Klimaprogramm	TSK1000K21	WWSK80	WWSK80+LSK	TSK1000K21	WWSK80	WWSK80+LSK
Lichtsumme innen ab Topfen in klxh		16135	13410		14782	12548
Lichtsumme innen ab Stutzen in klxh	12499	12499	9774	12172	12172	9938
Pflanzenhöhe in cm	27,8 ^c	26,2 ^b	26,0 ^b	22,4 ^a	22,3 ^a	23,0 ^a
Pflanzenbreite in cm	45,1 ^d	44,8 ^d	45,8 ^d	41,3 ^b	39,4 ^a	43,0 ^c
Brakteendurchmesser in cm	30,3 ^e	28,9 ^d	27,4 ^c	27,0 ^c	25,6 ^b	24,5 ^a
Cyathienstadium	4,4 ^d	3,2 ^c	3,1 ^c	2,8 ^b	2,6 ^a	2,5 ^a
Triebanzahl	4,0 ^a	4,0 ^a	4,1 ^a	3,9 ^a	4,2 ^{ab}	4,4 ^b
Gesamteindruck	8,5 ^d	8,1 ^{bc}	8,2 ^{bc}	7,9 ^a	8,0 ^{ab}	8,3 ^{cd}
Sprossmasse in g	113,6 ^d	109,9 ^d	104,9 ^c	78,5 ^a	83,4 ^b	84,4 ^b
Durchwurzelung	6,3 ^c	5,3 ^b	5,1 ^b	4,6 ^a	4,5 ^a	5,2 ^b
Wurzelqualität	7,3 ^a	7,2 ^a	7,4 ^a	8,0 ^{bc}	7,8 ^b	8,2 ^c

Bonitur: 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut / ** Bonitur von 1 = grün, 2-4 mm über 5 = Cyathien leicht geöffnet, Staubfäden sichtbar bis 9 = Cyathien abgefallen

^{abc} Signifikanzgruppen TUCKEY B mit $\alpha = 0,05$

Die Abbildungen 25 und 26 geben einen Eindruck von der durchweg akzeptablen Qualität der Pflanzen aus allen Varianten und beiden Sätzen.



Abbildung 25: Einfluss des Klimaprogramms und des Düngungsverfahrens auf die Pflanzenqualität bei Poinsettien im Satz KW 26 (LfULG Dresden-Pillnitz 2011)



Abbildung 26: Einfluss des Klimaprogramms und des Düngungsverfahrens auf die Pflanzenqualität bei Poinsettien im Satz KW 30 (LfULG Dresden-Pillnitz 2011)

Die Ergebnisse des Jahres 2011 bestätigen die Funktionsfähigkeit der Programmbausteine TSK100K21 und WWSK80 zur Sicherung der Kulturdauer und der Pflanzenqualität bei Poinsettien.

Ein Programmbaustein Lichtsummenkontrolle LSK zur Senkung des Schattiersollwerts bei andauernd zu hohem Lichtangebot blieb trotz guter Versuchsbedingungen für diese Fragestellung ohne eindeutige Ergebnisse. Möglicherweise ist die nur rechnerische Ermittlung des Innenlichtangebots zu grob. Zu prüfen ist auch die Nutzung einer vom Lichtangebot abhängigen Wachstumskurve ähnlich der Wachstumswertsummenkontrolle für den Temperatureinfluss. Derzeit stehen dafür jedoch nicht ausreichend Daten zur Verfügung.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Projekt wurden Bausteine zu neuen Kulturprogrammen für Pelargonien und Poinsettien entwickelt. Diese bieten eine effizientere Nutzung der Heizenergie, eine genaue Planung und Einhaltung der Kulturdauer, eine Sicherung der Pflanzenqualität sowie einen geringeren Aufwand bei der Aussteuerung der laufenden Kultur.

Technisch wird dafür der Bedienungs-PC der Gewächshaussteuerung genutzt, auf dem zusätzliche Software die Möglichkeiten der Regelungstechnik für das Gewächshaus wesentlich erweitert. Es wurden erste Programmbausteine hin zu einer Kultursoftware entwickelt.

Für die Verbesserung der Energieeffizienz wird unter Ausnutzung der Wärmeintegrationsfähigkeit der Pflanzen eine Flexibilisierung des Heizungs- und Lüftungssollwertes genutzt. Entsprechende Programmbausteine sind die dynamische Außentemperaturkorrektur, die dynamische Lichtkorrektur, die Windkorrektur sowie die drop-Strategie. Mit diesem Programmbaustein lassen sich ohne negative pflanzenbauliche Auswirkungen 10 bis 20 % der Heizenergie und damit auch der CO₂-Emissionen einsparen.

Die Sicherung der Pflanzenqualität wird über entsprechende Parametrierungen der Energiesparprogramme, die Realisierung einer mengenbilanzierten Düngung sowie die Programmbausteine zur Überwachung der Temperatur- bzw. Wachstumswertsummen erreicht. Die Pflanzengröße wird bei beiden Pflanzenarten wesentlich durch das Lichtangebot bestimmt. Hier sind einer genauen Aussteuerung Grenzen gesetzt, weil den bestehenden großen Unterschieden (Standort, Jahreszeit, Witterung, Gewächshauskonstruktion) nur einseitig durch zusätzliche Schattierung entgegengewirkt werden kann.

Die entwickelten Programmbausteine zur mengenbilanzierten Düngung sowie zur Überwachung der Temperatur- bzw. Wachstumswertsummen und teilweise auch der Lichtsumme sind dynamische Steuerungsmodelle mit Rückkopplung auf die bisherige reale Entwicklung. Sie sichern auch in gewissen Grenzen eine einfache Übertragbarkeit auf andere Standorte und Betriebsbedingungen.

Für neue Kulturprogramme bei Pelargonien sind folgende Programmbausteine zu empfehlen:

- zur Energieeinsparung dynamische Außentemperaturkorrektur dAT, dynamische Lichtkorrektur dLk sowie Windkorrektur WK des Heizungssollwerts
- zur Sicherung der Kulturdauer und Pflanzenqualität eine Temperatursummenkontrolle TSK1000
- Für den Blühbeginn ist eine Temperatursumme von 1100 bis 1200 °C x d anzusteuern.
- Die Pflanzengröße wird durch die Lichtsumme mitbestimmt. Eine kühlere Kultur mit zwangsweise längerer Kulturdauer wird in der Regel zum Ansammeln eines größeren Lichtangebotes und damit größeren Pflanzen führen.

Für neue Kulturprogramme bei Poinsettien sind folgende Programmbausteine zu empfehlen:

- zur Energieeinsparung dynamische Außentemperaturkorrektur dAT, dynamische Lichtkorrektur dLk sowie Windkorrektur WK des Heizungssollwerts

- Zur Sicherung der Kulturdauer und Pflanzenqualität ist eine Temperatursummenkorrektur TSK1000 wegen der Temperatursummenpolster aus den heißen Sommerwochen nicht ausreichend. Es sind die Programmbausteine Temperatursummenüberwachung mit Kappung TSK1000K21, mit gleitendem Mehrtagesmittel 7TMK oder Wärmesummenüberwachung WWSK80 zu nutzen.
- Für den Blühbeginn ist eine Temperatursumme von ca. 1.700 °C x d anzusteuern. Dabei ist eine exakte Einhaltung des Kurztagesbeginns zu sichern.
- Während der Brakteenentwicklungsphase darf die reale Tagesmitteltemperatur nicht über längere Zeit unter den kritischen Wert von 18 °C sinken, um Qualitätsverluste zu vermeiden. Auch dafür sind die Temperatursummenüberwachung mit Kappung TSK1000K21, mit gleitendem Mehrtagesmittel 7TMK oder die Wärmesummenüberwachung WWSK80 geeignet.

Hinsichtlich der Überwachung und Beeinflussung des Lichtangebots als einen wesentlichen Faktor für die Pflanzengröße und die Sprossmasse besteht noch Klärungsbedarf.

Das Projektziel der Entwicklung von Bausteinen für neue Kulturprogramme bei Pelargonien und Poinsettien unter den Gesichtspunkten Energieeinsparung, Sicherung der Kulturdauer und Pflanzenqualität sowie verbesserter Nutzung moderner Regeltechnik und Praxisrelevanz wurde erreicht.

Literatur

- ALDENHOFF, S. (2011): Planteye sieht mehr als der Gärtner. Rheinische Monatsschrift 10/11, S. 604-605
- ALTMANN, A.; LÖSEKRUG, CH.; SCHÖNHEIT, CH. (2008): Petunia Cultivars erstaunlich temperaturtolerant. In Versuche im deutschen Gartenbau – Zierpflanzenbau 2008, Nr. 85
- ANONYM (1995): Gärtner-Handbuch Pelargonien. Thalacker Verlag Braunschweig
- DALLMANN, M. (2011): Mengenkonzentration Düngung Zierpflanzenbau. Manuskript für LfULG Schriftenreihe
- BIEGLER, B. (2011): AMI Marktinformationen Beet- und Balkonpflanzen 2011. AMI Marktinformationen Nr. 2, 2011 vom 20. August 2011
- ECKE, P. III.; FAUST, J. E.; WILLIAMS, J. A.; HIGGINS, A. (2004): The Ecke Poinsettia Manual. Third edition, Ball publishing, Batavia
- ECKE (2011): Bract Meter. Paul Ecke Ranch, http://www.ecke.com/ecke/?page_id=222 am 18.10.2011
- ELFRUTH, T.; BÖHLE, H.; HÖNIG, M.; LORENZ, A.; TSCHERSICH, H.; BERGMANN, I. (2011): Erarbeitung von allgemeinen Empfehlungen zur Verbesserung der Energieeffizienz in sächsischen Zierpflanzenbaubetrieben. Projektabschlussbericht; <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/2/wo/beLUac9G04N3xArtTUtiVw/0.3.6.13.23.1.1.1.27.1.5.7.1> vom 20.12.2011
- ERWIN, J. E.; HEINS, R. D., BERHAGE, R., KOVANDA, B. J., CARLSON, W. H. AND BIERNBAUM, J. (1989): Cool mornings can control plant height. In Grower Talks 52, S. 73-74
- FISCHER, P. R.; HEINS, R. D. (2002): UNH Floratrack for Poinsettia: Graphical tracking plant height on computer. University of New Hampshire Cooperative Extension, <http://extension.unh.edu/agric/AGGHFL/TrkPoins.pdf> am 18.10.2011
- HAAS, H.-P.; KOHLRAUSCH, F.; MEMPEL, H. (2011): Strategien zur Einsparung von Energie ohne Qualitätsverluste. In Gb – Das Magazin für Zierpflanzenbau, 11/2011, S. 38-41
- LUDOLPH, D.: Der Nullenergie-Weihnachtsstern – Ergebnisse und Erfahrungen aus einem Jahr Niedrigenergiegewächshaus ZINEG. Vortrag zur Fachtagung Energieeffizienz am 11.11.2011 in Hannover-Ahlem
- RÖMER, H.-P.; BETTIN, A.; LANG, B.; THIESING, F. M. (2011): KliPa – Die Plattform zur Bewertung von Gewächshauskulturen. <http://www.klipa.fh-osnabrueck.de> am 18.10.2011
- WARTENBERG, S. (2007): Außentemperaturkorrektur - Entwicklung neuer Methoden zur Energieeinsparung bei der Steuerung des Gewächshausklimas unter Sicherung der Kulturdauer und Qualität im Zierpflanzenbau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 15/2007
- WARTENBERG, S. (2009): Licht- und Windkorrektur - Entwicklung neuer Methoden zur Energieeinsparung bei der Steuerung des Gewächshausklimas unter Einbeziehung der Einstrahlung und Windgeschwindigkeit. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 24/2009

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autor:

Stephan Wartenberg
Abteilung Gartenbau/Referat Zierpflanzenbau
Lohmener Str. 10, Tor 1, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-8200
Telefax: + 49 351 2612-8099
E-Mail: stephan.wartenberg@smul.sachsen.de

Redaktion:

s. Autor

Redaktionsschluss:

29.02.2012

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.