



Bild: LVG Heidelberg

Adrian Albers, Heike Sauer, Ute Ruttensperger

Erfahrungen mit der Nutzung der oberflächennahen Geothermie und dem Einsatz von Temperaturregelstrategien

Drei Jahre lang betreibt die Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) Heidelberg ein neues Gewächshaus mit oberflächennaher Erdwärmennutzung. Nach anfänglichen Kinderkrankheiten stehen nun im Rahmen eines Projektes mehrjährige Versuchserfahrungen mit Zierpflanzen und Kräutern zur Verfügung.

Geothermie-Gewächshaus von Außen.

Das 740 m² große Gewächshaus mit einer Stehwandhöhe von 4,75 Meter sieht von außen betrachtet wie ein gewöhnliches modernes Gewächshaus der Venlobauart aus. Es ist komplett mit Acrylglas-Stegdoppelplatten von „Alltop“ eingedeckt.

Der Vorteil der „Alltop“ Stegdoppelplatten liegt in einem geringeren Wärmedurchgangskoeffizienten von 2,5 Watt pro m²K und senkt im Vergleich zum Einfachglas damit den Wärmebedarf

des Gewächshauses. Dieser Wert wird durch einen lichtdurchlässigen Tagschirm, einen Energieschirm für die Nacht sowie eine Verdunklungsanlage, die den beheizten Kulturraum verkleinert, weiter gesenkt. Hinzu kommt eine gute Lichtdurchlässigkeit von 91% mit zusätzlicher UV Durchlässigkeit. Dies kommt den Pflanzen in Form eines kompakteren Wuchses und einer besseren Farbausprägung zugute. Zum Vergleich: Einfachglas hat einen Wärmedurchgangskoeffizienten von 6 W pro m²K und eine UV filternde

Eigenschaft. Das Gewächshaus ist zur Umsetzung von unterschiedlichen Versuchsvarianten in zwei Abteile geteilt. Zurzeit wird dies dazu genutzt, verschiedene Klimastrategien miteinander zu vergleichen.

Die Besonderheit des Gewächshauses liegt in seiner bivalenten Wärmeversorgung. An der LVG wird die oberflächennahe Geothermie in Verbindung mit der Wärmepumpentechnik genutzt. Die Wärmepumpe deckt den Grundlastwärmebedarf des Gewächshauses. Der Spitzenlastwärmebedarf des Gewächshauses wird durch eine Gasheizung bereitgestellt.

Die Nutzung des Geothermie beheizten Gewächshauses erfolgte innerhalb eines Projektvorhabens gefördert durch die Landwirtschaftliche Rentenbank und das Land Baden-Württemberg. Ziel des Vorhabens war es zum einen, das energetische Einsparpotenzial von Temperaturregelstrategien zu beurteilen. Zum anderen sollte geprüft werden, welche Einsparung von fossilen Energieträgern durch die Nutzung von Geothermie und damit die Reduktion des CO₂ Ausstoßes erreicht werden kann. Als Kernpunkt des Vorhabens war ebenfalls zu sehen, inwiefern die Verwendung oberflächennaher Geothermie sowohl technisch, aber auch wirtschaftlich ein praxisreifes Verfahren für den Gartenbaubetrieb sein kann.

Klimaregelstrategien

Für die gärtnerische Produktion stehen verschiedene Klimaregelstrategien zur Verfügung. Die „dynamische Außentemperaturkorrektur“ (dAt) kommt mit dem Ziel zum Einsatz, Pflanzen bei gleicher Qualität mit weniger Energiekosten zu produzieren. Dabei wird der Heizungssollwert nach der Abweichung der realen Außentemperatur von ihrem Erwartungswert, dem langjährigen Mittel, korrigiert. Ist eine bestimmte Jahres- und Tageszeit zu kalt, wird der Sollwert abgesenkt und umgekehrt. Während eine statische Regelstrategie wie das „allgemeine Zeitprogramm“ (AIZPr) eine untere Tagesmitteltemperatur garantiert, kann die dAt diese bis zur einer vorgegebenen Mindesttemperatur unterschreiten.

Angewandt wurde der Vergleich von dAt zu AIZPr an Weihnachtssternen, Nelken, Petunien und Kräutern. Über die Versuchsjahre konnten durchschnittlich 10 % des Wärmebedarfs durch den Einsatz der dAt eingespart werden. Nur in einem Basilikumversuch wurden 2 % mehr Energie in dieser Variante verbraucht. Mit einem um 29 %

geringeren Wärmebedarf wurde die größte Ersparnis in einer Weihnachtssternkultur erreicht.

Petunien

Stellvertretend für die Beet- und Balkonsaison wurden in zwei aufeinanderfolgenden Jahren Petunia 'Peppy Blue' kultiviert, um die Auswirkungen verschiedener Regelstrategien auf Wachstum und Blüte aufzuzeigen. In beiden Varianten wurde die durchschnittliche Tagesmitteltemperatur auf gleichem Niveau gehalten. In beiden Versuchsjahren zeigten die Pflanzen in der dAt-Variante mehr Blüten, Unterschiede im Wuchsverhalten traten nicht auf. Da sich die Blütenzahl in beiden Varianten auf hohem Niveau bewegte, wurden beide Varianten im Gesamteindruck mit sehr gut bewertet.

Weihnachtsstern

In allen Versuchen konnte durch den Einsatz der dAt Energie eingespart werden, in Abhängigkeit der unterschiedlichen Außentemperaturen zwischen 7% und 29%. Allerdings bewirkte die dAt in allen Versuchsjahren auch eine Absenkung der Tagesmitteltemperatur. Sinkt in der Weihnachtssternkultur die Tagesmitteltemperatur unter 17°C, ist durch die verzögerte Ausfärbung der Brakteen eine Kulturzeitverzögerung die Folge (Abb. 4). Im Jahr 2015 bewegten sich durch die hohe Einstrahlung die Tagesmitteltemperaturen in den Varianten deutlich über 18 °C, beide Varianten färbten zeitgleich aus. Durch die stärkeren Temperaturschwankungen entwickelten sich die Pflanzen in der dAt jedoch kompakter und stabiler.

Nelken

Durch die Einstellung niedriger Heizungssolltemperaturen nach dem Einwurzeln, gepaart mit einer darauffolgenden milden Witterung, ergab sich ein nur geringer Einfluss der Regelstrategie auf den Kulturverlauf der Topfnelken. In beiden Varianten blühten alle Sorten innerhalb einer Woche auf und wurden in der Verkaufsqualität mit gut bis sehr gut bewertet.

Kräuter

Insgesamt wurden sechs Basilikumsätze im Herbst und Winter mit der dAt- Variante von 2012 bis 2015 angebaut. Die Pflanzenqualität des Basili-



Temperaturstrategien im Vergleich: AIZPr vs. dAt der Sorte 'Peppy Blue' (Petunien), Aufnahme von 7.4.2014.

Bild: LVG Heidelberg



Weihnachtssterne der Sorte 'Christmas Glory' von oben, Aufnahme von 21.11.2013.

Bild: LVG Heidelberg



Temperaturstrategien im Vergleich: AIZPr vs. dAt beim Basilikum, Sorte 'Edwina', Aufnahme von 19.2.2013.

Bild: LVG Heidelberg

Versuchsjahr	dAt-Variante	-statisch- (AIZPr) kWh je brutte m ²	-dynamisch- (dAt) kWh je brutte m ²	Energieersparnis in %	Tagesmitteltemperatur- senkung in der dAt Variante
2013	Temperatursummen- kontrolle 1.000 Kelvinstunden (Kh)	20,29	16,23	20 %	1,8 K
2014	Temperatursummen- kontrolle 1.000 kWh mit Kappung bei 21°C	17,46	12,28	29 %	0,5 K
2015	Temperatursumme glei- tendes 7-tägiges Mittel	11,99	11,27	7 %	1,4 K

Tabelle 1
Energieeinsparung durch die
Temperaturregelstrategie
„Dynamische Außen-
temperaturkorrektur“ (dAt)
im Vergleich zu der
Regelstrategie „Allgemeines
Zeitprogramm“ (AIZPr) mit
festen Sollwerten bei der
Weihnachtssternkultur sowie
Verringerung der mittleren
Tagestemperatur.

kums war bei Einsatz der Regelstrategie dAt in Einzelfällen geringfügig besser als die der Vergleichsvariante. Bei fünf Sätzen wurde eine Energieersparnis erreicht. Sie lag zwischen 1 bis 21 %. Im Wintersatz 2014 trat als einzige Ausnahme in den Versuchsjahren ein geringer Mehrverbrauch von 2 % auf. Hintergrund waren sehr hohe Außentemperaturen im März, die durch die dAt rechnerisch und damit steuerungstechnisch nicht einzubeziehen waren.

Bewertung der Energieversorgung mit oberflächennaher Geothermie und Wärmepumpentechnik

Die Güte der Wärmepumpe und damit die Effizienz wurden in den Versuchsjahren anhand der Jahresarbeitszahl (JAZ) bewertet. Bei der Jahresarbeitszahl handelt es sich um den Mittelwert der Gütezahl über das Jahr. Die Gütezahl errechnet sich aus dem Verhältnis von erzeugter Wärmeleis-

tung zur eingesetzten elektrischen Leistung inklusive Wärmequellenpumpe. Eine Jahresarbeitszahl von 4 wird nach Bußmann (BUSSMANN, 2012) in der Literatur für eine wirtschaftlich effiziente Wärmepumpe angegeben.

Im Versuchsjahr 2014 lag die Jahresarbeitszahl mit 2,88 unterhalb der Erwartungen. Zu begründen war dies rückblickend durch eine noch nicht optimal angepasste Temperaturführung in der Wärmepumpensteuerung. 2015 konnte eine Steigerung der Jahresarbeitszahl durch die Senkung der Temperaturdifferenz zwischen Primär- und Sekundärkreis der Wärmepumpe sowie durch die Optimierung der Wärmerückgewinnung erreicht werden.

Unter dem Umweltschutzgesichtspunkt, d.h. der Einsparung von CO₂, wurde für die Wärmepumpe in den Versuchsjahren ein sehr gutes Ergebnis erzielt. Dies belegen die folgenden Berechnungen: Maßstab für die Bewertung der ökologischen Ef-

Geothermie-Gewächshaus von Außen, Aufnahme von 17.06.2012.



Versuchsjahr	Jahresarbeitszahl	Primärenergieeffizienz*	Eingespartes CO ₂ in Tonnen	Ersparnis von Erdgas
2014	2,88	1,20	10,08	46,7%
2015	4,28	1,79	17,04	68,7%

* Diese wird ermittelt aus der investierten elektrischen Energie multipliziert mit dem Primärenergiefaktor des Stromnetzes (Dieser liegt nach EnEV 2014 bei 2,4).

Tabelle 2
Effizienzkennzahlen der Wärmepumpe, Ersparnis von Kohlendioxid und Erdgas in den Versuchsjahren 2014 und 2015 durch die Verwendung von oberflächennaher Geothermie zur Beheizung eines Gewächshauses (754 m²).

fizienz der Wärmepumpe ist die Primärenergieeffizienz. Diese wird ermittelt aus der investierten elektrischen Energie multipliziert mit dem Primärenergiefaktor des Stromnetzes (Dieser liegt nach EnEV 2014 bei 2,4). Als effizient gilt die Wärmepumpe, wenn das Produkt über dem Schwellenwert von 1 liegt. Dies war sowohl 2014 als auch 2015 gegeben (Tab. 2).

oberflächennahe Geothermie mit einer Wärmepumpenanlage. Das Problem dieser Anlagen ist, dass durch Erdbohrungen und komplexere Technik die Investitionskosten zur Anschaffung solcher Systeme höher sind. Diese zusätzlichen Investitionskosten müssen somit durch niedrigere Betriebskosten über die Nutzungsdauer wieder eingespart werden, damit sich die Investition wirtschaftlich rentiert.

Wirtschaftlichkeit

Für die Wirtschaftlichkeit spielt eine Vielzahl von Faktoren eine Rolle. Der Wärmebedarf im Auslegungsfall des Gewächshauses ist für Auslegungsgröße der Anlage ebenso wichtig wie der jährliche Wärmeverbrauch. Um Investitionskosten und Betriebskosten bestimmen zu können, müssen der Wärmebedarf des Gewächshauses bei Auslegungstemperatur, der Wärmeverbrauch über das Jahr und die Energiekosten ermittelt werden.

Eine Fragestellung des Projektes war es deshalb, neben technischer Durchführbarkeit auch die Wirtschaftlichkeit zu bewerten. Da Versuchsgewächshäuser im Kapitalbedarf je m² durch zusätzliche Einrichtungen wie zum Beispiel mehrere, kleinere Abteile, Messeinrichtungen und zusätzliche Anlagen deutlich teurer in der Anschaffung als Kulturflächen im Erwerbsanbau sind, wurde für eine bessere, praxisnähere Betrachtung ein kalkulatorischer Ansatz für die Investitionskosten gewählt. Dieser bezieht sich auf ein Gewächshaus von 10.000 m² mit einer 4 m hohen Stehwand und einer dem Versuchsgewächshaus vergleichbaren Eindeckung mit einem Wärme-Koeffizienten von 2,1 (Standort Heidelberg).

Für die Wärmebereitstellung im Gewächshaus stellen Heizungsanlagen, die Wärme durch das Verbrennen von fossiler Energie zu Verfügung stellen, zurzeit den Standard da. Steigende Energiekosten und der Wunsch, den Kohlendioxidausstoß zu begrenzen, sind Anlass, Alternativen zu suchen. Eine Möglichkeit ist die Nutzung der

Bei Berücksichtigung dieser Rahmendaten ist kalkulatorisch die Bereitstellung von 694.545,09 kWh Wärme je Jahr erforderlich. Bei einem Ölpreis von



Überblick über die Weihnachtssternkultur, Aufnahme von 04.11.2013.

Erdsondenbohrung zur Beheizung des Geothermiegewächshauses.



6,4 Cent pro kW (Richter, Reinhardt, Gerschel, Huber, & Wachmann, 2015) bedeutet dies Energiekosten von 49.253,06 €. Unter der Annahme, dass 50% des Wärmebedarfs durch die Wärmepumpe gedeckt werden und diese eine entsprechend dem Ergebnis des Versuchsjahres 2014 Jahresarbeitszahl von 2,88 besitzt, teilen sich die Kosten bei 16,1 Cent pro kW in 19.413,50 € für Strom und 24.626,53 € für Öl auf. Unter dem Strich besitzt die Wärmepumpe somit einen Energiekostenvorteil von 5.213,03 € pro Jahr.

Durch zusätzliche Investitionen, wie den Bau eines Wärmespeichers für eine Wärmerückgewinnung oder Bohrungen für die Erdwärmesonden, ergeben sich Amortisationszeiten von 20 Jahren, sodass sich die Wärmepumpentechnik mit Erdsonden ohne weitere Förderung nicht innerhalb der üblichen Abschreibungszeiten von 15 Jahren rechnet. Dies ändert sich als Ergebnis einer kalkulatorischen Grenzbetrachtung, wenn eine Jahresarbeitszahl über 3,7 erreicht und somit die Amortisationszeit von 15 Jahren unterschritten wird. Im Jahr 2015 war dies durch die Verbesserung der Effizienz der Wärmepumpe gegeben.

nachhaltig nutzbar. Der effiziente Einsatz der Wärmepumpe konnte über die Versuchsjahre kontinuierlich verbessert und optimiert werden. Für die Wirtschaftlichkeit der oberflächennahen Geothermie ist die Effizienz der Wärmepumpe eine grundlegende Voraussetzung. Eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,7 muss unter Zugrundelegen der technischen Voraussetzungen der LVG Heidelberg erreicht werden, um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Dies entspricht in etwa Angaben aus der Literatur (BUSSMANN, 2012), die eine Jahresarbeitszahl von 4 für die Wirtschaftlichkeit anstreben.

Die Temperaturregelstrategie „dynamische Außentemperaturkorrektur“ ist ein mit Hilfe eines Klimacomputers schnell umzusetzender Beitrag für eine energieeffizientere Produktion. Das Qualitätsniveau war im Vergleich zu den Standardvarianten gut bis sehr gut. Im Falle der Poinsettien traten je nach Jahr in geringem Umfang Kulturzeitverzögerungen auf. Hier muss der Betrieb abwägen, inwiefern aus verkaufsstrategischen Gründen dieses tolerierbar ist und der Nachteil durch eine im Mittel der Versuchsjahre erzielte Energieeinsparung von 10% ausgeglichen wird.



Adrian Albers
(nicht mehr an der LVG)

Ute Ruttensperger
LVG Heidelberg
Tel. 06221/ 748416
Ute.Ruttensperger@lvg.
bwl.de

Heike Sauer
LVG Heidelberg
Tel. 06221/ 748412
Heike.Sauer@lvg.bwl.de

Fazit

Sowohl durch den Einsatz von dynamischen Temperaturregelstrategien zur Kultivierung von Topfpflanzen als auch durch das Umstellen der Energieversorgung auf oberflächennahe Geothermie mit Wärmepumpentechnik lässt sich fossile Energie in erheblichem Umfang einsparen und damit der Kohlendioxidausstoß für die Pflanzenproduktion senken. Technisch ist nach bisherigen Erfahrungen an der LVG Heidelberg die Energiequelle oberflächennahe Geothermie sehr gut und auch

Literatur

BUSSMANN, W. e. (2012). Geothermie – Energie aus dem Innern der Erde. Stuttgart: Fraunhofer Irb Verlag.

RICHTER, M., REINHARDT, K., GERSCHEL, A., HUBER, C., & WACHMANN, H. (2015). Geothermienutzung in saechsischen Gartenbaubetrieben. (Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie, Hrsg.) Schriftenreihe(6). ■