

Heizungssysteme im Gewächshaus

I. Warmwasserheizungen

1 Einführung

Gewächshäuser dienen der ganzjährigen Produktion. Dabei ist die Produktion in den Wintermonaten in unseren Breiten nur mit Heizung möglich. Die Heizung von Gewächshäusern erfordert einen relativ hohen Energiebedarf. Eine wirksame Isolierung wie im Wohnungsbau ist bei Gewächshäusern nicht möglich, da eine hohe Lichtdurchlässigkeit der Bedachung vor allem im Winter die wichtigste Voraussetzung für eine Pflanzenproduktion darstellt. Aus dieser Forderung ergibt sich eine Einfachbedachung mit schlechter Wärmedämmung, d. h. einem relativ hohen Wärmebedarf. Eine Doppel- oder Isolierverglasung kommt aufgrund der verminderten Lichtdurchlässigkeit meist nicht infrage. Das „3-Liter-Gewächshaus“ (3 l Heizöl pro Quadratmeter Gewächshausgrundfläche und Jahr) liegt noch in weiter Ferne.

2 Anforderungen an Heizungssysteme

Aus den genannten Gründen werden an die Heizungssysteme in Gewächshäusern besondere Anforderungen gestellt. Die erforderliche Heizleistung muss übertragen und die Wärme im Gewächshaus möglichst gleichmäßig verteilt werden. Dabei sollte die kalte Hüllfläche gut abgeschirmt werden, damit keine Kaltluft in den Pflanzenbestand strömen kann und die Pflanzen möglichst wenig langwellige Wärme an das kalte Dach abstrahlen. Darüber hinaus hat das Heizungssystem je nach Wärmeabgabe und Anordnung einen mehr oder minder großen Einfluss auf das Mikroklima im Pflanzenbestand und damit z. B. auf das Infektionsrisiko durch pilzliche Schaderreger, aber auch auf die Pflanzenentwicklung und damit auf Ertrag und Qualität.

Als weitere Anforderungen sind zu nennen:

- geringer spezifischer Wärmeverbrauch
- gleichmäßige Wärmeverteilung, geringe Temperatur- und Feuchtgradienten
- gute Regelbarkeit, schnelle Anpassung der Wärmezufuhr an den Wärmebedarf
- hohe Betriebssicherheit
- wirksame Entfeuchtung des Pflanzenbereiches
- keine Behinderung der Kulturarbeiten
- möglichst keine Lichtminderung
- preiswert, wirtschaftlich, ökologisch.

Diese Anforderungen sind teilweise widersprüchlich, sodass Kompromisse gefunden werden müssen.

3 Einteilung der Heizungssysteme

Heizungssysteme lassen sich nach verschiedenen Kriterien einteilen. Ein wichtiges Kriterium ist die Art der Wärmeabgabe. Danach unterteilt man in die Gruppen Strahlungsheizung, Rohrheizung, Luftheizung und Bodenheizung. Bei der Strahlungsheizung wird der größte Teil der Wärme durch langwellige Wärmestrahlung abgegeben. Bei den Rohrheizungssystemen erfolgt die Wärmeabgabe

be etwa je zur Hälfte durch langwellige Wärmestrahlung und durch Konvektion. Bei den Luftheizungssystemen wird die Wärme überwiegend (> 90 %) durch Konvektion abgegeben, bei der Bodenheizung durch Wärmeleitung.

Ein weiteres wichtiges Einteilungskriterium ist die Art der Wärmezufuhr. Es lassen sich Warmwasserheizungen und direkt befeuerte Heizungssysteme unterscheiden (Abb. 1). Bei den Warmwasserheizungen erfolgt die Wärmeerzeugung separat, meist in einem Kesselhaus oder einem abgetrennten Teil des Gewächshauses. Die Wärme wird dann mittels Wasser als Wärmeträger zum Gewächshaus transportiert und mit dem Heizungssystem im Gewächshaus verteilt. Die direkt befeuerten Heizungssysteme führen ihre Wärme direkt der Gewächshauluft zu. Sie werden in einem später folgenden Arbeitsblatt behandelt.

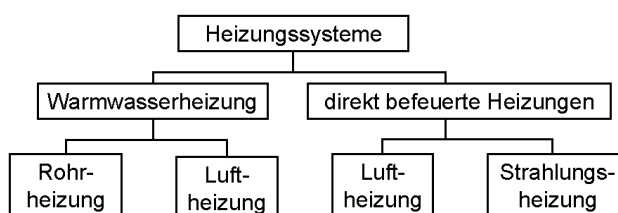


Abb. 1: Einteilung der Heizungssysteme.

4 Rohrheizungssysteme

Rohrheizungssysteme sind im Unterglasgartenbau in Nord- und Mitteleuropa am weitesten verbreitet. Sie lassen sich nach der Anordnung der Heizungsrohre in verschiedene Gruppen einteilen (Abb. 2).

Hohe Rohrheizung

Bei der hohen Rohrheizung werden die Rohre im Dachraum meist in Traufenhöhe angeordnet (Abb. 3). Damit ist die Kulturfläche frei für eine beliebige Nutzung. Kulturarbeiten werden durch die hohe Rohrheizung nicht behindert. Betrachtet man die

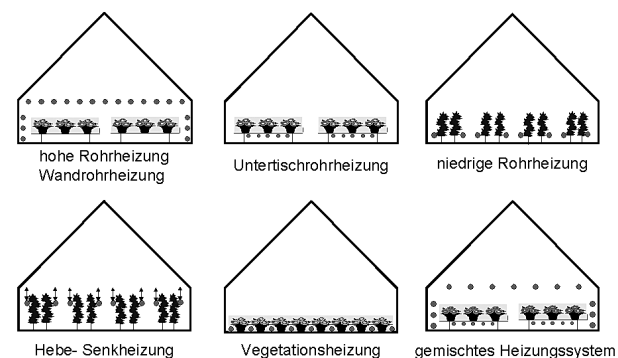


Abb. 2: Einteilung der Rohrheizungssysteme (schematisch).

Wärmeabgabe, dann steigt die vom Heizungsrohr erwärmte Luft (Konvektion) immer nach oben in den Dachraum, da warme Luft leichter ist als kältere. Der Luftraum unterhalb der Heizungsrohre wird mit der Luftströmung nicht erwärmt. Die Wärmeabgabe durch langwellige Wärmestrahlung erfolgt in alle Richtungen. So gelangt ein Teil der Wärmestrahlung an das kalte Bedachungsmaterial und wird nach außen abgegeben. Der andere Teil der Wärmestrahlung erreicht die Pflanzen und kann die Blattoberfläche etwas anheben. Die Wärmestrahlung an die Pflanzen ist bei der hohen Rohrheizung positiv zu bewerten.



Abb. 3: Gewächshaus mit hoher Rohrheizung.

Wandrohrheizung

Mit der Anordnung von Heizungsrohren an den Stehwänden und Giebeln sollen die kalten Seitenflächen abgeschirmt und ein Kaltluftfall in den Pflanzenbestand verhindert werden. Für die Wärmeabgabe gilt ähnliches wie für die hohe Rohrheizung. Die Wandrohrheizung sollte in Kombination mit anderen Heizungssystemen eingesetzt werden, die eine solche Abschirmung nicht gewährleisten.

Untertischrohrheizung

Wird auf Tischen kultiviert, bietet sich die Anordnung von Heizungsrohren unter den Tischen an (Abb. 4). Damit wird die Wärme unterhalb der Kulturfäche zugeführt, was normalerweise zu einer Erhöhung der Tisch- und der Substrattemperatur führt. In diesem Zusammenhang spielt das Bewässerungssystem eine wichtige Rolle. Bleibt die Tischoberfläche nach dem Bewässerungsvorgang feucht (z. B. bei Mattenbewässerung ohne Folienabdeckung), wird durch die Untertischheizung die Verdunstung erhöht. Das steigert den Energieverbrauch und verursacht größere Luftfeuchtigkeitsprobleme. Hinsichtlich phytosanitärer Probleme hat sich eine Kombination aus Rinnenbewässerung und Untertischheizung bewährt (LANGE und TANTAU 1994).

Niedrige Rohrheizung

Bei der niedrigen Rohrheizung werden die Heizungsrohre in Bodennähe meist an beiden Seiten der Wege verlegt. Die Rohre



Abb. 4: Untertischrohrheizung bei Roll-Mobiltischen.

können gleichzeitig als Transportschienen für Erntewagen, Arbeitsplattformen und z. B. für Spritzroboter dienen. Die Verlegung der Rohre in Bodennähe hat energetische Vorteile. Die Wärme wird unten im Pflanzenbestand zugeführt. Die vom Heizungsrohr erwärmte Luft strömt durch den Pflanzenbestand nach oben. Damit kann überschüssige Luftfeuchte aus dem Pflanzenbestand abgeführt werden. Die von den Rohren abgestrahlte Wärme wird von den umgebenden Pflanzenteilen absorbiert. Bei zu hoher Rohrtemperatur kann es allerdings zu Verbrennungen aufliegender Pflanzenteile kommen. Wird die Luft im Pflanzenbestand zu trocken, treten verstärkt Schädlinge wie z. B. Rote Spinne auf. Die Regelung der Vorlauftemperatur und damit der Heizleistung ist deshalb bei diesem Heizungssystem besonders wichtig.

Vegetationsheizung

Als Vegetationsheizung werden meist Kunststoffrohre in Bodennähe oder auf dem Boden verlegt. Die Rohre liegen im Pflanzenbestand zwischen den Pflanzenreihen oder zwischen den Töpfen. Auch hiermit wird die Wärme dem Pflanzenbestand von unten zugeführt und verteilt. Liegen die Rohre auf dem Boden auf, wird ein Teil der zugeführten Wärme in den Boden geleitet. Es ist deshalb günstiger die Rohre mit Abstand zum Boden zu verlegen. Auch bei diesem Heizungssystem sind Vorlauftemperatur und Heizleistung begrenzt und sollten im Hinblick auf das Kleinklima im Pflanzenbestand richtig dosiert werden.

Hebe-Senk-Heizung

Niedrige Rohrheizung und Vegetationsheizung behindern die Kulturarbeiten. Spätestens zum Kulturwechsel müssen die Rohre zur Seite geräumt oder hochgehängt werden. Dazu werden die Stahlrohre der niedrigen Rohrheizung häufig mittels Schläuchen angeschlossen. Bei der Hebe-Senk-Heizung werden die Rohre an Seilen oder Ketten aufgehängt und können über einen zentralen Antrieb – von Hand oder mittels Elektromotor – angehoben oder abgesenkt („hebe-senk“) werden (WAWRA 1999). Damit besteht die Möglichkeit, die Rohre immer in der Nähe der Hauptwachstumszone (Vegetationsbereich) anzuordnen und die Wärme noch gezielter zuzuführen. Auch hier muss die Wärmezufuhr richtig dosiert werden.

Heizungsrohre

Es ist eine Vielzahl von Heizrohren verfügbar, die sich hinsichtlich Material (Stahl, Aluminium, Kunststoff), Wandstärke, Rohrdurchmesser und Form unterscheiden (Tab. 1). Als Standard werden Stahlrohre mit 50 bis 60 mm Durchmesser verwendet. Dabei handelt es sich meist um Bandstahlrohre, die im Unterschied zu Siederohren nicht nahtlos sind, sondern aus Bandstahl zu einem Rohr gebogen und verschweißt werden. Aufgrund der geringen Drücke im Heizungssystem sind die wesentlich teureren Siederohre nicht erforderlich.

Stahlrohre benötigen zum Schutz gegen Korrosion einen Anstrich. Für die Wärmeabgabe spielt die Farbe des Anstrichs keine Rolle. Weiße und schwarze (oder andersfarbige) Heizkörperlacke haben hinsichtlich langwelliger Wärmeabstrahlung gleiche Eigenschaften (gleicher Emissionskoeffizient). Werden verzinkte Heizungsrohre eingesetzt, dann gibt eine neue verzinkte Oberfläche zunächst nur ein Viertel der langwelligigen Wärmestrahlung im Vergleich zu einem Rohr mit Heizkörperlack ab. Für eine gleiche Heizleistung müssten also mehr verzinkte Rohre installiert werden. Jedoch korrodiert nach wenigen Wochen die verzinkte Oberfläche und die langwellige Wärmeabstrahlung nimmt zu (ca. 70 % im Vergleich zu Heizkörperlack). Nach einem Jahr sind hinsichtlich der Wärmeabgabe nur noch geringe Unterschiede zu erwarten, sodass man bei Verwendung verzinkter Rohre in der Regel die gleiche Anzahl installiert.

Für die Regelbarkeit der Heizung spielt der Wasserinhalt der Heizungsrohre eine wichtige Rolle. Je kleiner der Rohrdurchmesser, desto kleiner ist auch der spezifische Wasserinhalt (Tab. 1), wodurch sich die Regelbarkeit verbessert. Wird nach einem sonnigen Tag Heizwärme benötigt, muss zunächst das Wasser in den Heizungsrohren aufgeheizt werden, bevor die Rohre die erforderliche Heizleistung abgeben können. In Abhängigkeit vom Wasserinhalt ist eine theoretische Aufheizzeit zu berechnen (s. Abb. 5).

Profil	○	○	⌚	○	○	⌚	○	○
Name	Heizungsrohr ø 60,3	Heizungsrohr ø 51	Tropfenrohr	Heizungsrohr ø 3/4"	Forcas-Rohr	Aluminium Profil 70	HDPE-Wellrohr	HDPE-Wellrohr
Abmessungen (mm)	ø 60,3 x 2,25	ø 51 x 2,25		ø 26,9 x 2,0	ø 28 x 1,2	ø 22 x 70 x 1,6	ø 20	ø 25
Wärmeabgabe (%) ¹⁾	118	100	100	53	55	100	34 ²⁾	39 ²⁾
Rohrgewicht (kg/m)	3,19	2,7	2,7	1,25	0,80	0,48	0,06	0,07
Wasserinhalt (l/m)	2,4	1,7	0,7	0,41	0,50	0,28	0,22	0,37
Rohrgewicht mit Wasser (kg/m)	5,6	4,4	3,4	1,66	1,30	0,76	0,28	0,44

Tab. 1: Technische Daten verschiedener Heizungsrohre (nach TANTAU, 1995)

¹⁾ Wärmeabgabe Heizungsrohr ø 51 = 100 %

²⁾ Mittlere Rohrtemperatur = 60 °C (ansonsten 80 °C)

Daraus resultiert bei jedem Anheizen (z. B. abends nach einem sonnigen Tag oder morgens beim Öffnen der Energieschirme) für die Kesselanlage eine Lastspitze. Rechnerisch benötigt man in dieser Zeit etwa die dreifache Kesselleistung oder die Kessel benötigen ca. zwei Stunden für den Aufheizvorgang. In dieser Zeit kann die gewünschte Innentemperatur oft nicht gehalten werden. Umgekehrt wird die im Heizungssystem gespeicherte Wärme nach dem Schließen der Regelventile langsam wieder abgegeben. So wird bei einsetzender Sonneneinstrahlung (z. B. morgens) ein Teil der gespeicherten Heizwärme abgelüftet und geht damit verloren.

Aus diesen Gründen findet man verschiedene Ansätze, den Wasserinhalt der Heizungsrohre zu senken. Eine Möglichkeit bietet die Verwendung von Heizungsrohren mit kleinerem Durchmesser. Da diese Rohre aber auch eine kleinere Oberfläche für die Wärmeabgabe haben, müssen entsprechend

pumpen überdimensioniert werden. Das Heizungswasser wird dann in den Heizungsrohren nicht um 20 K, sondern um eine kleinere Temperaturdifferenz abgekühlt.

In Abb. 7 sind relative Kosten für verschiedene Heizungsrohre angegeben. Dabei wird deutlich, dass Rohre mit kleinerem Wasserinhalt und kleinerer Aufheizzeit teurer sind. Eine Ausnahme bilden die Kunststoffrohre, die bei vergleichbarer Heizleistung nur halb so teuer sind. Das sind in der Regel Rohre aus Poly-

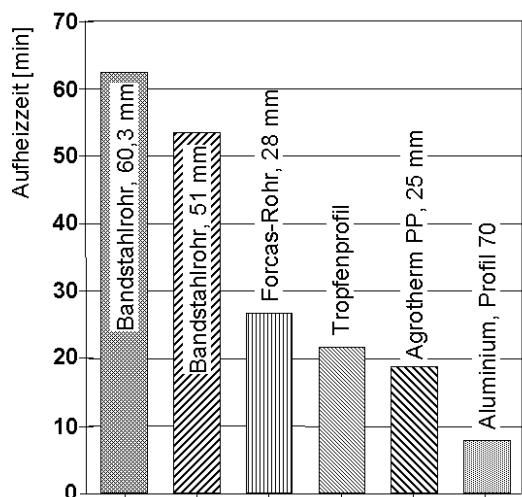


Abb. 5: Aufheizzeit unterschiedlicher Heizungsrohre (verändert nach HEISE, 1992).

mehr Rohre installiert werden, was die Installationskosten erhöht. Eine weitere Möglichkeit zur Senkung des Wasserinhaltes und damit der Aufheizzeit bieten Rohre mit besonderer Form. Ein Beispiel dafür ist das Tropfenrohr. Seine Oberfläche entspricht einem Stahlrohr mit 51 mm Durchmesser (Tab. 1). Der Wasserinhalt ist aber durch die Tropfenform deutlich reduziert. Den kleinsten Wasserinhalt und damit die kürzeste Aufheizzeit der aufgelisteten Heizungsrohre hat das Aluminium-Flügelrohr. Durch die „Flügel“ wird die Oberfläche vergrößert, sodass die Wärmeabgabe dem Stahlrohr mit 51 mm entspricht.

Berechnet man die Zeit, die das Heizungswasser benötigt, um von der Vorlauftemperatur 90 °C auf 70 °C (Auslegungsfall) abzukühlen, erhält man eine theoretische „Durchlaufzeit“, die von der aktuellen Länge einer Rohrschleife unabhängig ist (Abb. 6). Die Durchlaufzeit ist vom Wasserinhalt der Heizungsrohre abhängig und eine wichtige Größe für die Heizungsregelung. In der Praxis ist die Durchlaufzeit meist kleiner, da die Heizungs-

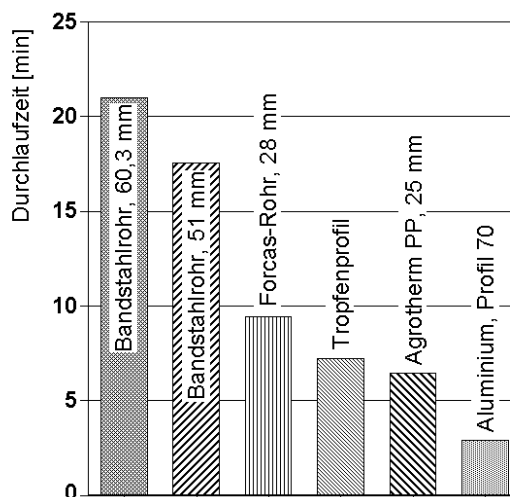


Abb. 6: Durchlaufzeit unterschiedlicher Heizungsrohre (berechnet für eine Auslegung 90/70 mit 20 °K Differenz; verändert nach TANTAU, 1995).

ethylen (PE) oder Polypropylen (PP). Rohre aus PP können mit höheren Wassertemperaturen beaufschlagt werden (bis ca. 100 °C), während Rohre aus PE nur bis maximal 60 °C betrieben werden sollten.

Kunststoffrohre aus PE und PP lassen in geringem Maße Sauerstoff durch die Rohrwandung in das Heizungswasser diffundieren. Dieser im Heizungswasser gelöste Sauerstoff verursacht an Stahlflächen (Stahlrohre, Kesselwandung) Korrosion, sodass es zu Korrosionsschäden („Durchrosten“) kommen kann. Dieses Problem tritt auch bei Edelstahlkesseln (z. B. Brennwertkessel) auf, weshalb inzwischen die Kesselhersteller Garantieleistungen ablehnen, wenn Kunststoffrohre in der Heizungsanlage verwendet werden. Kunststoffrohre sollten daher nur über einen Wärmetauscher angeschlossen werden. Damit wird auch die Betriebssicherheit erhöht. Wenn ein Kunststoffrohr undicht wird, läuft nicht das gesamte Wasser aus der Heizungsanlage aus. Als allerdings deutlich teurere Alternative gibt es inzwischen Kunststoffrohre mit einer Sauerstoffsperre.

Verlegung der Heizungsrohre

Für Rohrheizungssysteme müssen Rohrstränge parallel geschaltet werden. Für die Wärmeverteilung im Gewächshaus ist es wichtig, dass alle parallel geschalteten Rohre die gleiche Wärme-

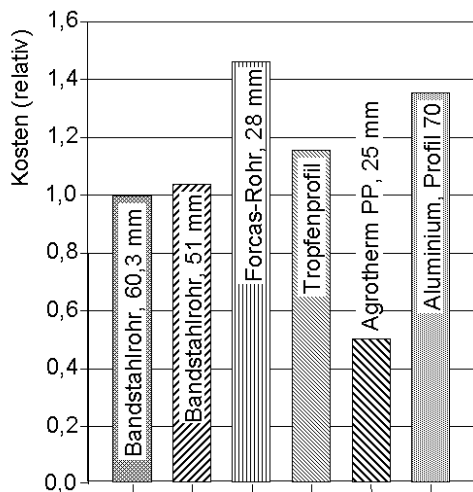


Abb. 7: Kosten verschiedener Heizungsrohre (relativ, Stahlrohr 60,3 mm = 1,0; verändert nach HEISE, 1992).

menge abgeben. Das bedeutet, alle Rohre müssen mit der gleichen Wassermenge beaufschlagt werden. In Abb. 8 ist eine „normale“ Parallelschaltung dargestellt. Die Wege, die das Wasser durch die einzelnen parallel geschalteten Rohre zurücklegen muss, sind unterschiedlich lang. Die Folge sind unterschiedliche Widerstände und damit verbunden unterschiedliche Wassermengen.

Abb. 9 zeigt einen Anschluss der parallelen Rohre nach „Tichelmann“. Bei dieser Schaltung sind die Wege für alle parallel geschalteten Rohre gleich lang. Für eine gleichmäßige Wasser- und damit Wärmeverteilung darf der Druckverlust in den parallelen Rohren nicht zu klein sein. Eventuell muss der Druckverlust durch Blenden (z. B. Bohrung mit 6 – 8 mm) oder durch ein Anschlussrohr mit reduziertem Durchmesser erhöht werden (Abb. 10). Wird das versäumt, fließt in den äußeren parallelen Rohren eine große und in den mittleren Rohren eine sehr kleine Wassermenge. Die Folge ist wiederum eine ungleichmäßige Wärme- und damit Temperaturverteilung im Gewächshaus.

5 Warmwasserluftheizsysteme

Für Luftheizungen gibt es verschiedene Geräte und Anordnungen (Abb. 11). Dabei nehmen Konvektoren eine Sonderstellung ein, da hierfür keine Ventilatoren benötigt werden. Die Wärmeabgabe erfolgt ähnlich wie beim Heizungsrohr durch freie Konvektion. Die Oberfläche der Heizungsrohre wird im Konvektor durch Rippen erhöht. Durch den Einbau der Rippenrohre in einen Schacht wird bei den Konvektoren der Auftrieb der erwärmten Luft verstärkt (Schornsteineffekt). Mit diesen beiden Maßnahmen lässt sich die Heizleistung beachtlich steigern, sodass je nach Bauart ein Meter Konvektor 10 bis 15 m Rohr ersetzen kann. Damit ist es in der Regel möglich, ein Gewächshaus nur mit Konvektoren zu beheizen, die an den Stehwänden und Giebeln angeordnet werden.

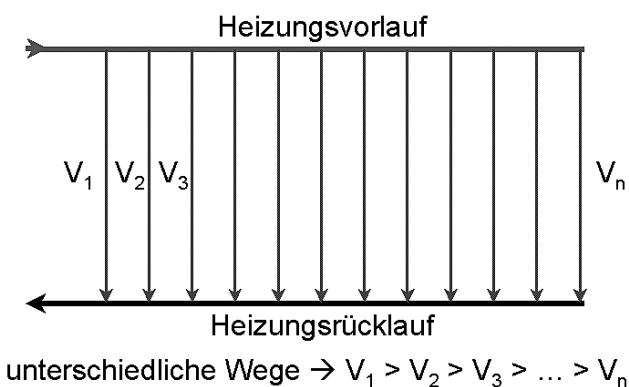


Abb. 8: Anordnung von Heizungsrohren im Gewächshaus, Parallelschaltung

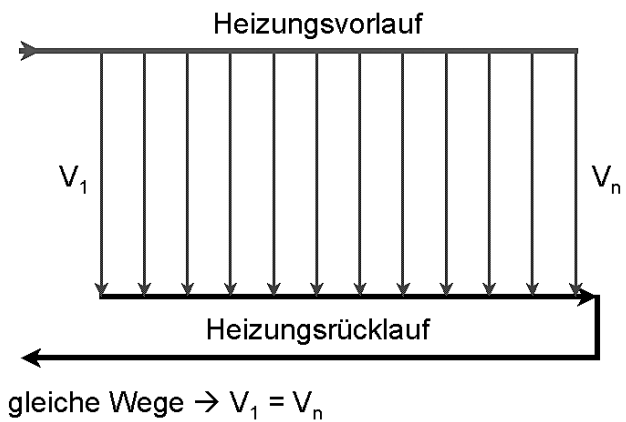
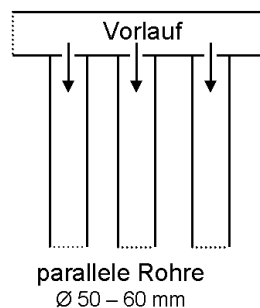


Abb. 9: Anordnung von Heizungsrohren im Gewächshaus, Parallelschaltung nach Tichelmann.

Anbohren des Vorlaufs ($\varnothing 6 - 8$ mm)



Verengung ($\varnothing 10 - 25$ mm)

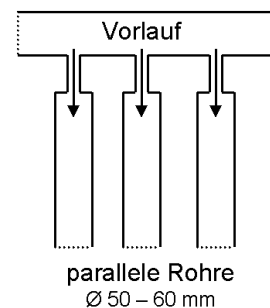


Abb. 10: Drosselung am Anschluss der parallelen Heizungsrohrstränge.

Die warme Luft strömt aus dem Konvektor kommend zunächst an der Stehwand und dann am schrägen Dach nach oben, etwa bis zum Firstbereich (vgl. Abb. 11). Damit wird der Kulturraum effektiv gegen Kaltlufteinfall vom kalten Dach abgeschirmt, gleichzeitig erhöht sich aber der Wärmeübergang an der Hüllfläche des Gewächshauses. In Verkaufseinrichtungen sorgt die aufsteigende warme Luft dafür, dass die Schaufensterscheibe nicht beschlägt. Konvektoren sind auch für den Einsatz in Versuchsgewächshäusern durch die kompakte Bauweise besonders geeignet.

Deckenluftheizer mit vierseitigem Ausblas

Bei den Luftheizern (LH) in Abb. 11 saugt ein Ventilator umgebende Gewächshausluft an und drückt diese Luft durch einen kompakten Rippenrohrwärmetauscher. Wichtig ist, wie die erwärmte Luft daraufhin im Gewächshaus verteilt wird. Beim Deckenluftheizer mit vierseitigem Ausblas ist hinter dem Wärmetauscher ein Luftverteilkasten mit jeweils zwei Luftklappen pro Ausblasrichtung angeordnet (Abb. 12). Die Luftklappen müssen so eingestellt werden, dass die warme Luft weit genug nach unten in Richtung Pflanzenbestand ausgeblasen wird. Die warme Luft darf aber nicht direkt in den Pflanzenbestand geblasen werden, da es an diesen Stellen verstärkt zur Austrocknung kommt.

Die Ausblasrichtung ist auch von der Ausblastemperatur und der Drehzahl (Stufe) des Ventilators abhängig. Warme Luft ist leichter als die umgebende Gewächshausluft und hat deshalb immer das Bestreben, nach oben aufzusteigen. Deshalb folgt der Luftstrom einer Parabel und kann bereits nach wenigen Metern wieder Richtung Dachraum aufsteigen. Bei zu hoher Ausblastemperatur und zu geringer Ausblasgeschwindigkeit wird die warme Luft vom Ventilator wieder angesaugt, wodurch eine Art Kurzschluss entsteht (s. Abb. 11). In einem solchen Fall wird nur noch der Dachraum beheizt. Es können auch „tote“ Ecken ohne Luftbewegung entstehen. In diesen Bereichen steigt die Luftfeuchtigkeit an und es kann zur Taupunktunterschreitung, bzw. Kondensation von Luftfeuchte auf den Blättern (Niederschlag) kommen.

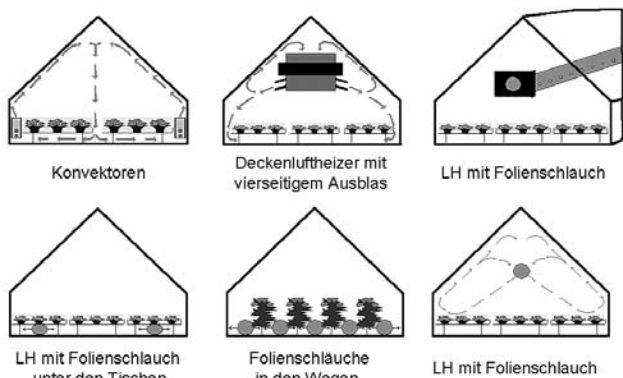


Abb. 11: Einteilung der Luftheizungssysteme (schematisch; LH = Luftheizer).

Wandluftheizer mit gelochtem Folienschlauch

Zur Verbesserung der Luftverteilung kann der Luftheizer am Giebel als Wandluftheizer angebracht werden. Die warme Luft wird mittels Folienschlauch (Durchmesser 0,6 bis 1,2 m) in Längsrichtung des Gewächshauses verteilt (Abb. 13, Abb. 11). Der Folienschlauch wird dazu an beiden Seiten gelocht, Lochdurchmesser ca. 60 – 80 mm. Die Luft sollte aus diesen Löchern mit einem Winkel von 30° von der Horizontalen nach unten ausgeblasen werden. Lochgröße und Lochabstand hängen von der Länge des Folienschlauches und der Leistung des Luftheizers ab. Zur Abschätzung des erforderlichen Lochabstandes kann man vereinfacht annehmen, dass die Gesamtfläche aller Ausblaslöcher etwas größer (1,1- bis 1,5-fach) als die Ausblasfläche des Luftheizers sein sollte. Mit dem gelochten Folienschlauch ist, wie in Abb. 11 schematisch dargestellt, eine gleichmäßige Luftverteilung möglich.

Voraussetzung für eine effektive Wärmezufuhr in den Pflanzenbestand ist allerdings, dass die Unterkante des Folienschlauches nicht höher als 2 m über dem Pflanzenbestand angeordnet wird. Bei einer Aufhängenhöhe von 3 m wird mit diesem System nur noch der Dachraum des Gewächshauses beheizt. Es gelangt keine Wärme mehr in den Pflanzenbestand. Beim Einsatz des gelochten Folienschlauches gibt es noch ein weiteres Problem. Direkt hinter dem Luftheizer ist die Luftgeschwindigkeit im Folienschlauch hoch. Das bedeutet, der dynamische Druck ist hoch und der statische Druck ist niedrig.

Der statische Druck ist wichtig für die Ausblasgeschwindigkeit der Luft aus den Löchern. Den geringen statischen Druck kann man gut am Flattern des Folienschlauches hinter dem Luftheizer erkennen. Am Ende des Folienschlauches wird die Strömungsgeschwindigkeit immer kleiner, der dynamische Druck nimmt ab und der statische Druck nimmt zu. Die Luft wird im Folienschlauch abgebremst. Durch den Anstieg des statischen Druckes in Längsrichtung des Folienschlauches wird zum Ende des Folienschlauches die ausgeblasene Luftmenge immer

größer. Andererseits gibt der Folienschlauch ähnlich wie ein Heizungsrohr über die relativ große Oberfläche Wärme ab. Die Luft im Folienschlauch wird also zum Ende hin immer kälter. Diese beiden Effekte bewirken, dass bei gleichmäßiger Lochung im mittleren Bereich des Folienschlauches die größte Wärmemenge ausgeblasen wird. Hinter dem Luftheizer ist die ausgeblasene Luftmenge zu klein und am Ende des Folienschlauches ist die Lufttemperatur zu gering.

In der Vergangenheit wurden Programme entwickelt, die den Lochabstand optimieren, um eine gleichmäßige Wärmeverteilung zu erreichen. Optimale Ergebnisse lassen sich mit variablen Lochabständen in Längsrichtung des Folienschlauches erzielen, was in der Regel aber zu aufwändig ist. Alternativ kann man den Folienschlauch am Ende etwas öffnen, z. B. mit einem Rohr mit 100 bis 150 mm Durchmesser.

Luftheizer mit Folienschläuchen unter den Tischen

Auch für Luftheizungen gilt: Die warme Luft sollte möglichst unten im Gewächshaus zugeführt werden. Wird auf Tischen kultiviert, können Folienschläuche unter den Tischen angeordnet werden (Abb. 11). Die Lochung erfolgt so, dass die Luft horizontal unter den Tischen ausgeblasen wird.

Luftheizung mit niedrig verlegten Folienschläuchen

Bei Reihenkulturen wie z. B. Tomaten und Gurken können die Folienschläuche in den Wegen verlegt werden. Auch in diesem Fall wird die Luft horizontal ausgeblasen. Diese Anordnung der Folienschläuche ist z. B. in Israel verbreitet. Bei Kulturarbeiten können die Folienschläuche nach Abschalten des Ventilators aufgerollt werden. Beim Anschalten des Ventilators werden die Schläuche durch den Luftdruck meist von alleine wieder ausgerollt. Man kann aber auch auf den Folienschläuchen laufen. Kleine Beschädigungen spielen dabei keine Rolle.

6 Spezifischer Wärmeverbrauch

Die Heizungssysteme beeinflussen durch die Art der Wärmeabgabe und vor allem durch die Art der Luftführung den spezifischen Wärmeverbrauch des Gewächshauses. Wird im ungünstigen Fall mit dem Heizungssystem nur der Dachraum beheizt, ist das Heizungssystem wenig effektiv und der spezifische Wärmeverbrauch kann fast beliebig erhöht werden. In Tab. 2 sind für einige Heizungssysteme Beispiele für entsprechende Relativwerte angegeben. Der Vergleich der Rohrheizungssysteme zeigt, dass durch das Herunterlegen der Heizungsrohre Energie eingespart werden kann. So vermindert bereits die Untertischheizung den Energieverbrauch gegenüber der hohen Rohrheizung um 10 %. Dabei ist zu beachten, dass die Tischflächen nach dem Bewässerungsvorgang möglichst schnell wieder abtrocknen, damit nicht durch eine erhöhte Verdunstung der Energieverbrauch wieder erhöht wird.

Die niedrige Rohrheizung reduziert den Energieverbrauch sogar um 18 % gegenüber der hohen Rohrheizung. Dabei ist auch zu



Abb. 12: Deckenluftheizer mit vierseitigem Ausblas.



Abb. 13: Wandluftheizer mit gelochtem Folienschlauch.

beachten, dass Maßnahmen zur Regelung der Luftfeuchte (z. B. Heizen und Lüften) mit der niedrigen Rohrheizung oder einer Vegetationsheizung viel effektiver, d. h. mit weniger Energieaufwand, als mit der hohen Rohrheizung durchgeführt werden können. Dort wird die zugeführte Wärme abgelüftet, bevor eine Entfeuchtung des Pflanzenbestandes möglich ist.

Vergleicht man die Luftheizungssysteme, schneidet die Konvektorheizung nicht so günstig ab wie der Luftheizer mit Folienschlauch. Das liegt, wie bereits dargestellt, an der Luftführung. Beim Konvektor strömt die Luft zunächst an der Stehwand und am Dach nach oben, bevor sie dann langsam nach unten in den Pflanzenbestand gelangt. Immerhin liegt der Wärmeverbrauch der Konvektorheizung 5 % unter dem der hohen Rohrheizung. Der Luftheizer mit Folienschlauch spart bei richtiger Aufhängenhöhe sogar 15 % Energie im Vergleich zur hohen Rohrheizung. Interessant sind die Werte des Luftheizers mit vierseitigem Ausblas. Bei der 1. Stufe (niedrigste Ventilatordrehzahl) gelangt die erwärmte Luft nicht in den Pflanzenbestand. Nur der Dachraum wird beheizt. Der Energieverbrauch ließe sich beliebig erhöhen. In dem vorliegenden Beispiel wird der Energieverbrauch gegenüber der hohen Rohrheizung um 21 % erhöht. Bei gleicher Anordnung des Luftheizers sinkt der Energieverbrauch in der 2. Stufe um 13 % gegenüber dem Wert für die hohe Rohrheizung. In der 3. Stufe steigt der Energieverbrauch wieder an, da die Luftströmung an der Hüllfläche des Gewächshauses größer und damit Wärme besser übertragen wird.

Tab. 2 : Spezifischer Wärmeverbrauch verschiedener Heizungssysteme (hohe Rohrheizung = 100 %; verändert nach TANTAU, 1982)

Heizungssystem	rel. Wärmeverbrauch (%)	Einsparung (%)
hohe Rohrheizung	100	0
Untertischrohrheizung	90	10
Wandrohrheizung	99	1
niedrige Rohrheizung	82	18
Luftheizer 1. Stufe	121	- 21
Luftheizer 2. Stufe	87	13
Luftheizer 3. Stufe	97	3
Luftheizer mit Folienschlauch	85	15
Konvektorheizung	95	5

7 Klima im Pflanzenbestand

Mit den Heizungssystemen lässt sich das Klima im Pflanzenbestand beeinflussen. Dabei spielen Art der Wärmeabgabe und Anordnung der Heizungssysteme eine wichtige Rolle. Aber auch das Bewässerungssystem und die Dichte des Pflanzenbestandes beeinflussen das Klima im Pflanzenbestand entscheidend. Heizungssysteme können durch Anheben der Lufttemperatur und durch verstärkte Luftzirkulation im Pflanzenbestand zu einer wirksamen Entfeuchtung und damit zu einer verringerten Luftfeuchtigkeit beitragen. Ein Anheben der Blattoberflächentemperatur durch langwellige Wärmestrahlung vom Heizungssystem senkt das Risiko der Taupunktunterschreitung und der damit verbundenen Kondensation von Luftfeuchte auf den Blättern (Niederschlag).

Horizontale Temperatur- und Feuchteverteilung

Eine wichtige Aufgabe der Heizungssysteme ist die gleichmäßige Wärmeverteilung und damit verbunden eine gleichmäßige Temperatur- und Feuchteverteilung. Bei Rohrheizungssystemen sollten die Heizungsrohre möglichst gleichmäßig verteilt und Vor- und Rücklauf jeweils nebeneinander verlegt werden. Für eine gleichmäßige Wasserverteilung auf die parallelen Rohrstränge müssen die Heizungsrohre nach Tichelmann (vgl. Abb. 9 und 10) angeschlossen werden. Wichtig ist zudem eine ausreichende Abschirmung der Stehwände und Giebel, um einen Kaltluft-einfall in den Pflanzenbestand zu verhindern.

Auch bei richtiger Anordnung der Heizungssysteme treten immer wieder horizontale Temperaturgradienten auf, die Größenordnungen von 5 °C oder mehr erreichen können. Mögliche Ursache ist ein Gefälle im Gewächshaus. Die warme Luft strömt langsam zum höher gelegenen und die kältere Luft zum tiefer gelegenen Bereich des Gewächshauses. Kleine Höhenunterschiede und kleine Temperaturdifferenzen reichen als Antrieb für diese Luftströmungen aus.

Vertikale Temperatur- und Feuchteverteilung

Die vertikale Temperaturverteilung ist entscheidend von der Anordnung des Heizungssystems und damit von dem Ort der Wärmezufuhr abhängig. In Abb. 14 sind als Beispiel vertikale Temperatur- und Feuchtigkeitsgradienten in einem Gewächshaus mit hoher Rohrheizung dargestellt. Durch die Anordnung der Heizungsrohre im Traufenbereich ergibt sich ein typisches Temperaturprofil. Oberhalb der Heizungsrohre (2,5 m in Abb. 14) ist die Lufttemperatur am höchsten. Zum Dach hin nimmt die Temperatur leicht ab. Insgesamt ist die vertikale Temperaturverteilung oberhalb der Heizungsrohre relativ gleichmäßig. Unterhalb der Heizungsrohre und vor allem im Pflanzenbestand entstehen größere Temperaturgradienten. Im Pflanzenbestand findet man die niedrigste Lufttemperatur.

In Abb. 14 ist zusätzlich das Sättigungsdefizit eingezeichnet. Das Sättigungsdefizit ist eine wichtige Größe für die potenzielle Verdunstung der Pflanzen. Ist das Sättigungsdefizit zu klein, können die Pflanzen nicht mehr ausreichend verdunsten und das Risiko von Pilzinfektionen steigt. Deutlich wird, dass mit abnehmender Temperatur im Pflanzenbestand auch das Sättigungsdefizit kleiner wird. Damit ergeben sich bei hoher Rohrheizung im Pflanzenbestand die ungünstigsten Klimabedingungen mit niedrigerer Temperatur, geringem Sättigungsdefizit und, wie die Kurve der relativen Luftfeuchtigkeit zeigt, mit hoher relativer Luftfeuchte.

Der Einsatz einer Vegetationsheizung kann die Klimabedingungen je nach installierter Heizleistung etwas verbessern. Im Pflanzenbestand hebt die Vegetationsheizung die Lufttemperatur an und erhöht das Sättigungsdefizit. Die relative Luftfeuchte wird vermindert. Auch wenn diese Unterschiede in dem Beispiel (Abb. 14) gering sind, können sie doch für den Erfolg einer Kultur entscheidend sein.

Grundsätzlich sollte ein Teil der Wärme im Pflanzenbestand oder wie bei der Untertischheizung unterhalb der Kultur zugeführt werden. Abb. 15 zeigt ein weiteres Beispiel für vertikale Temperatur- und Feuchtegradienten. Die Kurven zeigen, dass die Temperatur- und Feuchteverteilung keine feststehende Größe ist, sondern sich in Abhängigkeit anderer Einflussgrößen ständig verändert. Am Tage können sich durch Sonneneinstrahlung ganz andere Klimabedingungen ergeben. Kritische Feuchtebedingungen treten allerdings in der Regel in der Nacht auf (TANTAU 1997).

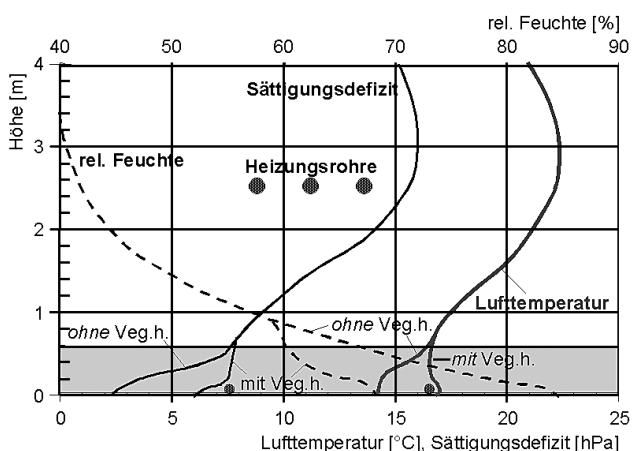


Abb. 14: Beispiel für Temperatur- und Feuchtgradienten in einem Gewächshaus mit hoher Rohrheizung. Vergleich mit und ohne Vegetationsheizung (Veg.h.).

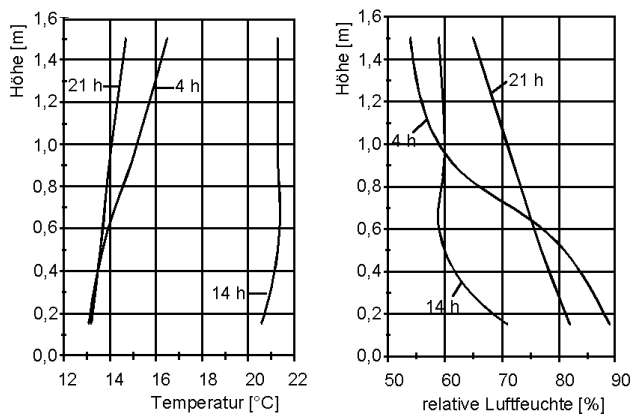


Abb. 15: Beispiel für Temperatur- und Feuchtgradienten in einem Gewächshaus mit Untertischheizung.

8 Bodenheizung

Die Bodenheizung (Abb. 16) wird hier getrennt von den anderen Heizungssystemen behandelt, da sie nur wenig zur Raumheizung beiträgt. Zur Erwärmung des Bodens werden Rohre so tief verlegt, dass sie bei der Bodenbearbeitung nicht beschädigt werden (ca. 30 bis 35 cm). Der Rohrabstand sollte in diesem Fall etwa der Verlegungstiefe entsprechen. Als Rohre werden meist Kunststoffrohre verwendet, da sie preiswert sind und nicht korrodieren. Allerdings ist die Gefahr von Beschädigungen – vor allem bei der Bodenbearbeitung – groß. Aus diesem Grunde werden vereinzelt auch wieder verzinkte Stahlrohre eingesetzt.

Die mit der Bodenheizung zugeführte Wärme wird zum Teil in tiefere Bodenschichten geleitet und kann mit dem Grundwasser abtransportiert werden. Der größere Teil der zugeführten Wärme wird an die Oberfläche geleitet und dort durch Verdunstung und Konvektion abgegeben. Bei feuchter Bodenoberfläche wird die Wärme überwiegend durch Verdunstung als latente Wärme abgegeben. Damit wird die Luftfeuchtigkeit erhöht und es entsteht ein zusätzlicher (latenter) Wärmestrom von der Bodenoberfläche an die Gewächshausbedachung. Die Luftfeuchte kondensiert am Bedachungsmaterial und die Kondensationswärme wird nach außen abgegeben.

Unter diesen Bedingungen kann die Bodenheizung den Wärmeverbrauch erhöhen, ohne nennenswert zur Beheizung des Gewächshauses beizutragen. Deshalb sollte eine Bodenheizung nur dann eingesetzt werden, wenn die Erhöhung der Bodentemperatur pflanzenbauliche Vorteile hat. Eine Energieeinsparung ist möglich, wenn bei höherer Bodentemperatur die Lufttemperatur abgesenkt werden kann (z. B. Farne).

Eine andere Verwendung der Bodenheizung findet man bei der Kultur von Topfpflanzen auf Betonboden. In diesem Fall ist es wichtig, über die Beheizung des Betonbodens Wärme unten im Pflanzenbestand zuzuführen. Man erhält damit ähnlich günstige Bedingungen wie bei der Vegetationsheizung, ohne dass Heizungsrohre beim Ausstellen der Töpfe stören. Für die Kultur auf Betonboden wird in der Regel die Ebbe-Flut-Bewässerung (Anstaubewässerung) verwendet. So kann nach dem Anstauen die Betonoberfläche wieder abtrocknen.

Nur wenn eine trockene Betonoberfläche beheizt wird, entstehen keine zusätzlichen Feuchteprobleme. Im Gegenteil, der Pflanzenbestand wird wirksam entfeuchtet. Allerdings ist die Heizleistung der Bodenheizung begrenzt. Die Betonoberflächentemperatur darf mit Rücksicht auf die Kulturen nicht zu hoch gefahren werden. Es können ca. 10 bis 20 % der erforderlichen Heizleistung im Auslegungsfall mit der Betonbodenheizung gedeckt werden.

9 Kombinationsmöglichkeiten von Heizungssystemen

Es gibt eine Reihe von Kombinationsmöglichkeiten, auf die hier im Einzelnen nicht eingegangen werden kann. Grundsätzlich sollten Heizungssysteme kombiniert werden, die die Wärme dem Pflanzenbestand zuführen und ihn gegen das kalte Dach des Ge-

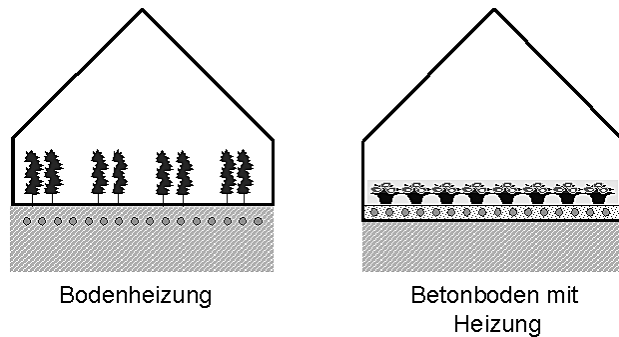


Abb. 16: Einteilung der Bodenheizungssysteme (schematisch).

wächshauses abschirmen. Als Beispiel ist eine Kombination aus hoher Rohrheizung, Wandrohrheizung und Untertischrohrheizung zu nennen.

Es wird immer wieder diskutiert, ob Rohre oberhalb der Pflanzen (hohe Rohrheizung) noch erforderlich sind. Ohne eine solche Abschirmung nach oben geben die Pflanzen langwellige Wärmestrahlung an das kalte Dach ab. Dadurch sinkt die Blattoberfläche und wird immer etwas (ca. 0,5 bis 2°K) unter der Lufttemperatur liegen. Damit verringert sich der Taupunkt und es kann zur Kondensation auf den Blättern kommen (Niederschlag) (VON ELSNER 1986). Wenn nachts ein Energieschirm zugezogen wird, verringert sich das Problem, da die Pflanzen weniger Wärmestrahlung an den „warmen“ Energieschirm abgeben.

Kommt die Untertischrohrheizung zum Einsatz, ist immer ein weiteres Heizungssystem zu empfehlen, da nicht die gesamte Heizleistung unter den Tischen installiert werden sollte. Deshalb ist die oben angeführte Kombination bei der Kultur von Topfpflanzen auf Tischen weit verbreitet. Auch bei der Kultur auf Betonboden kann nur ein kleiner Teil der erforderlichen Wärme über den Betonboden zugeführt werden, so dass auch hier eine Kombination mit hoher Rohrheizung und Wandrohrheizung sinnvoll ist.

Für die Kultur von Tomaten, Gurken und Paprika ist heute die niedrige Rohrheizung weit verbreitet. Wie oben angegeben, können die Rohre gleichzeitig als Transportschienen genutzt werden. Auch in diesem Fall sollte nicht die gesamte Heizleistung unten installiert, sondern eine hohe Rohrheizung sinnvoller Weise mit einer Wandrohrheizung kombiniert werden. Zunehmend wird bei diesen Kulturen auch die Hebe-Senk-Heizung eingesetzt.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Kombination von Heizungssystemen ist die Regelbarkeit. Wie in Abb. 5 dargestellt, ist die Aufheizzeit und damit die Trägheit der Heizungssysteme sehr unterschiedlich. Für die Klimaregelung ist ein Heizungssystem mit geringer Trägheit erforderlich. Das widerspricht aber den Anforderungen an die Sicherheit der Heizungssysteme. Bei einer Störung der Wärmeerzeugung oder Wärmeverteilung bleiben bei einem Heizungssystem mit größerem Wasserinhalt je nach Außentemperatur ca. 1 bis 2 Stunden Zeit, um die Störung zu beheben.

Bei einem Luftheizungssystem mit geringem Wasserinhalt bleiben manchmal nur ca. 10 Minuten. Deshalb sollten im Hinblick auf die Regelbarkeit und die Betriebssicherheit Heizungssysteme mit größerer Trägheit für die Grundlast eingesetzt und Heizungssysteme mit geringerer Trägheit für die Regelung der Spitzenlast verwendet werden. Aus diesem Grunde wurden in der Vergangenheit häufiger Luft- und Rohrheizungen kombiniert. Heute bietet sich die Möglichkeit, hohe Rohrheizung und Wandrohrheizung mit größeren Rohrdurchmessern (50 bis 60 mm) auszuführen und z. B. die Hebe-Senk-Heizung mit kleineren Rohrdurchmessern (z. B. 25 mm) zu verwenden. Damit ist die Hebe-Senk-Heizung leichter und einfacher auszuführen. Auch eine Vegetationsheizung hat mit Rohrdurchmessern von 20 bis 25 mm einen kleineren Wasserinhalt und ist besser regelbar.

10 Regelung

Wie weit bei der Kombination von Heizungssystemen diese getrennt geregelt werden sollten, ist eine wichtige Frage. Jede zu-

sätzliche Regelgruppe verursacht zusätzliche Kosten und bietet eine zusätzliche Fehlerquelle für Störungen. Im Hinblick auf die Kosten ist auch die Gewächshaus- oder Abteilungsgröße wichtig. Bei kleinen Gewächshauseinheiten bleibt aus Kostengründen oft keine Wahl. Bei größeren Gewächshauseinheiten oder Abteilungen sollten möglichst (so weit vorhanden) zwei Heizungssysteme getrennt regelbar sein. Wird, wie oben beispielhaft empfohlen, eine hohe Rohrheizung mit niedriger Rohrheizung kombiniert, ist eine getrennte Regelung schon deshalb empfehlenswert, um unterschiedliche Vorlauftemperaturen fahren zu können.

Bei der niedrigen Rohrheizung, der Hebe-Senk- und vor allem bei der Vegetationsheizung muss die Vorlauftemperatur begrenzt werden, um Pflanzenschäden zu vermeiden. Wird die pflanzennahe Heizung zur Regelung der Luftfeuchte eingesetzt, ist es wichtig, die Heizleistung für dieses Heizungssystem richtig zu „dosieren“. Treten Probleme mit zu hoher Feuchte auf, muss über eine erhöhte Heizleistung der pflanzennahen Heizung der Pflanzenbestand entfeuchtet werden, was mit einem solchen Heizungssystem am effektivsten möglich ist. Wird bei großem Wärmebedarf die Luftfeuchte im Pflanzenbestand zu gering, kann verstärkt mit der hohen Rohrheizung geheizt werden. So lassen sich z. B. Probleme mit Roter Spinne vermindern.

11 Stilllegung von Heizungssystemen

Angesichts der hohen Energiekosten erscheint es für einige Kulturfolgen sinnvoll, Gewächshäuser im Winter für eine begrenzte Zeit stillzulegen. Damit ist eine beachtliche Reduzierung des Energieverbrauches möglich, da z. B. in den drei Wintermonaten ca. 70 % der Jahresheizenergie benötigt wird. Die Stilllegung von Warmwasserheizungen bereitet allerdings einige Probleme (TANTAU und LUER 1982). Für eine komplette Stilllegung muss die Anlage entleert werden. Der damit verbundene Sauerstoffeintrag führt zu einer verstärkten Korrosion. Um die Korrosionsprobleme zu vermindern kann das Heizungssystem beim Entleeren mit Stickstoff aufgefüllt werden. Während der Stilllegungsphase ist ein geringer Stickstoffüberdruck in der Anlage erforderlich, damit kein Luftsauerstoff hineingelangt.

Um das Entleeren der Anlage zu vermeiden, können Frostschutzmittel zugesetzt werden, wie es vom Kühlsystem des Autos her bekannt ist. Für einen ausreichenden Frostschutz sind große Mengen Frostschutzmittel erforderlich, um bei dem großen Wasserinhalt die erforderlichen Konzentrationen einstellen zu können. Bei der Auswahl des Frostschutzmittels muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Mittel pflanzen- und umweltverträglich sind, damit es bei einer Leckage nicht zu Schäden kommen kann.

Als Alternative zum Ablassen des Wassers oder zum Einsatz von Frostschutzmitteln kann mittels einer entsprechenden Regelung die Heizungsanlage während der Stilllegungszeit frostfrei gehalten werden. Das bedeutet, die Heizung wird mit einer niedrigen Vorlauftemperatur von z. B. 10 bis 20 °C gefahren. Es sollte im Rücklauf ein zusätzlicher Temperaturfühler installiert werden, um sicherzugehen, dass die Rücklauftemperatur nicht zu weit absinkt und eventuell Teile des Heizungssystems einfrieren. Für das Frostfreihalten des Heizungssystems ist gegenüber der kompletten Stilllegung ein etwas höherer Energieaufwand erforderlich. Trotzdem kann diese Lösung günstiger sein als der Einsatz von Frostschutzmitteln.

Die nächste Möglichkeit mit höherem Energieaufwand ist das Frostfreihalten des Gewächshauses. In diesem Fall wird die Temperatur im Gewächshaus auf Werte von 2 bis 5 °C eingestellt. Diese Maßnahme ist sinnvoll, wenn für diese Zeit eine Kultur gefunden wird, die nur frostfrei gehalten werden muss (z. B. Feldsalat). Die Stilllegung der Gewächshäuser ist einfacher, wenn keine Warmwasserheizungen, sondern direkt befeuerte Heizungssysteme eingesetzt werden, die in einem weiteren KTBL-Arbeitsblatt behandelt werden.

12 Zusammenfassung

Heizungssysteme dienen inzwischen nicht nur der Beheizung der Gewächshäuser, sondern sind auch ein wichtiges Instrument zur Klima-Beeinflussung im Pflanzenbestand. So weit irgend möglich sollte ein Teil der erforderlichen Heizleistung unten im Gewächshaus bzw. im Pflanzenbestand installiert werden. Damit ist eine Senkung des Wärmeverbrauchs und der Heizkosten möglich. Die Wärmezufuhr im Pflanzenbestand beeinflusst das Mikroklima positiv. Die Luftfeuchte kann effektiver geregelt werden und der zur Entfeuchtung erforderliche Energieaufwand wird reduziert. Durch die bessere Entfeuchtung kann der Einsatz von Fungiziden eingeschränkt werden. Die Reduktion des Wärmebedarfs und des Spritzmittelaufwandes führen zu einer verminderten Umweltbelastung, sodass sich die richtige Auswahl und der Betrieb der Heizungssysteme positiv auf die Ökologie auswirkt.

In diesem Kontext darf man die Heizungssysteme nicht separat betrachten, sie sind vielmehr Teil eines komplexen Systems. So haben Gewächshausbedachungsmaterial, Energieschirm, Bewässerungssystem und vor allem der Pflanzenbestand mit Bestandesarchitektur und Bestandesdichte einen wesentlichen Einfluss auf das Klima im Pflanzenbestand und darüber hinaus auf Pflanzenertrag und Qualität. Nur wenn das Heizungssystem als Teil dieses komplexen Systems gesehen und entsprechend konzipiert wird, ist ein wirtschaftlicher und ökologischer Betrieb möglich.

Literatur

- VON ELSNER, B. (1986): Problemlösungen für die Luftfeuchte im Gewächshaus. Gb + Gw 86, Nr. 36, S. 1318–1342
- HEISE, P. (1992): Rohre für die Gewächshausheizung. Deutscher Gartenbau 46, Nr. 38, S. 2256–2259
- LANGE, D.; TANTAU, H.-J. (1994): Climate management for disease control – investigations on control strategies, plant densities and irrigation systems. Acta Horticulturae 406, S. 105–114
- TANTAU, H.-J. (1982): Heizungssysteme im Gewächshaus. 2. Aufl. ITG, Hannover (Gartenbautechnische Informationen 1)
- TANTAU, H.-J. (1995): Heizungssysteme im Gewächshaus. In: Ruhrgas (Hrsg.): Erdgas im Gartenbau, 3. Aufl. Ruhrgas, Essen, S. 45–58 (Erdgas Information)
- TANTAU, H.-J. (1997): Entfeuchtungsstrategien In: FA Geisenheim (Hrsg.): Temperaturregelstrategien. Thalacker, Braunschweig, S. 37–46 (Taspo-Praxis)
- TANTAU, H.-J.; LUER, E. (1982): Stilllegung von Gewächshäusern in Zeiten mit hohem Energiebedarf. ITG, Hannover (Gartenbautechnische Informationen 13)
- WAWRA, A. (1999): Rohrheizung zum Heben und Senken. Deutscher Gartenbau 53, Nr. 22, S. 44