

Heizungssysteme im Gewächshaus

II. direkt befeuerte Heizungssysteme

1 Einführung

Mit der Verteuerung der Energiekosten wird die energiesparende Beheizung der Gewächshäuser immer wichtiger. Wie bereits im KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0711 (TANTAU 2004) dargestellt gibt es bei den Warmwasserheizungen z. T. große Unterschiede im spezifischen Wärmeverbrauch des Gewächshauses. So lassen sich z. B. mit der niedrigen Rohrheizung gegenüber der hohen Rohrheizung 18 % Energie einsparen (TANTAU 1995).

Glaubt man den Firmenangaben, dann sind größere Energieeinsparungen mit direkt befeuerten Heizungen möglich. Bei diesen Heizungssystemen entfällt das Kesselhaus mit der Kesselanlage, dem Brenner, dem Schornstein sowie den Sicherheits- und Regeleinrichtungen. Da die Betriebsbereitschaftsverluste der Kesselanlage und Verteilverluste entfallen, ist ein verminderter Wärmeverbrauch direkt befeuerter Heizungen im Vergleich zu Warmwasserheizungen möglich. Firmen werben mit Energieeinsparungen von bis zu 30 % (WAWRA 2002). Für Dunkelstrahler findet man in einigen Prospekten Angaben von bis zu 50 % Energieeinsparung (KÜBLER 2002).

2 Anforderungen an Heizungssysteme

Auch für direkt befeuerte Heizungssysteme gelten die gleichen Anforderungen wie für Warmwasserheizungen (TANTAU 2004). Es muss die erforderliche Heizleistung übertragen und die Wärme im Gewächshaus möglichst gleichmäßig verteilt werden. Dabei sollte die kalte Hüllfläche durch das Heizungssystem gut abgeschirmt werden (z. B. hohe Rohrheizung), damit keine Kaltluft in den Pflanzenbestand strömen kann. Außerdem sollte das Heizungssystem langwellige Wärmestrahlung an die Pflanzen abgeben, damit die Abstrahlung der Pflanzen an das kalte Dach kompensiert wird. Darüber hinaus hat das Heizungssystem je nach Art der Wärmeabgabe und Anordnung einen mehr oder minder großen Einfluss auf das Mikroklima im Pflanzenbestand und damit z. B. auf das Infektionsrisiko mit pilzlichen Schaderregern, aber auch auf die Pflanzenentwicklung und damit auf Ertrag und Qualität. Als Anforderungen sind zu nennen:

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

Diese Anforderungen sind teilweise widersprüchlich, so dass Kompromisse gefunden werden müssen.

3 Einteilung der Heizungssysteme

Ein wichtiges Einteilungskriterium der Heizungssysteme ist die Art der Wärmezufuhr. So 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.

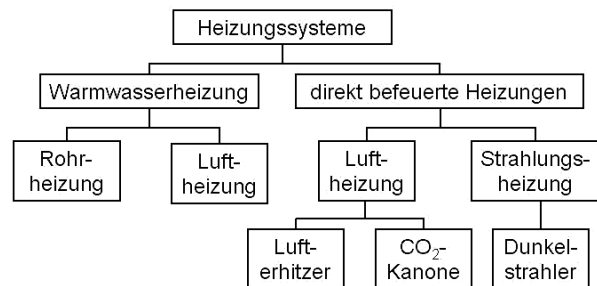


Abb. 1: Einteilung der Heizungssysteme.

Bei den direkt befeuerten Heizungssystemen wird die Wärme im Gewächshaus durch Verbrennung von Heizöl, Erdgas oder Flüssiggas erzeugt. Man unterscheidet Luftheizung und Strahlungsheizung (Abb. 1). Luftherhitzer größerer Leistung übertragen die Wärme mittels Wärmetauscher an die Gewächshausluft. Bei Geräten kleinerer Leistung können zur CO₂-Versorgung der Pflanzen die Abgase direkt in das Gewächshaus geblasen werden („CO₂-Kanonen“). Bei der Strahlungsheizung strömen die Abgase durch ein Rohr, welches die Wärme überwiegend durch langwellige Wärmestrahlung (Dunkelstrahler) abgibt.

Für die direkt befeuerten Heizungssysteme ist kein Kesselhaus erforderlich. Dadurch ergibt sich ein geringeres Investitionsvolumen. Ca. 50 % der Investitionskosten einer Warmwasserheizungsanlage sind für das Kesselhaus mit Gebäude, Kessel, Brenner, Schornstein sowie die Regel- und Sicherheitseinrichtungen erforderlich. Weil die Wärme im Gewächshaus erzeugt wird, entfallen Wärmeverluste der Verteilung und der Zuleitungen. Einige Firmen werben mit Energieeinsparungen von 30 %. Ob tatsächlich nennenswert Energie eingespart wird, hängt entscheidend von den Betriebsbedingungen ab. Wenn die Abgase zur CO₂-Düngung in das Gewächshaus geblasen werden, wird die Wärme zu 100 % (Hu) genutzt.

Direkt befeuerte Heizungssysteme sind dann interessant, wenn Gewächshäuser nur wenig geheizt (z. B. frostfrei) oder im Winter zeitweise stillgelegt werden sollen. Es kann jederzeit ohne zeitliche Verzögerung angeheizt werden. So entstehen auch keine Betriebsbereitschaftsverluste.

4 Luftherhitzer

Direktbeheizte Luftherhitzer gibt es in vielfältiger Ausführung mit Brennern für Heizöl, Erdgas oder Flüssiggas (s. DIN 4794), mit unter-

schiedlichen Wärmetauschern (Stahl, Edelstahl), mit unterschiedlichen Ventilatoren (Axial-, Radialventilatoren) und bei Erdgas eventuell mit Brennwertgerät. Die Verbrennungsluft sollte von außen angesaugt werden. Die Abgase müssen über einen Schornstein nach außen geführt werden. Abb. 2 zeigt schematisch einen direkt befeuerten Lufterhitzer als Standgerät. Bei diesem Gerät wird die kalte Gewächshausluft unten angesaugt und die erwärmte Luft oben in ein bis vier Richtungen ausgeblasen (je nach Ausblaskopf und Klappenstellung).

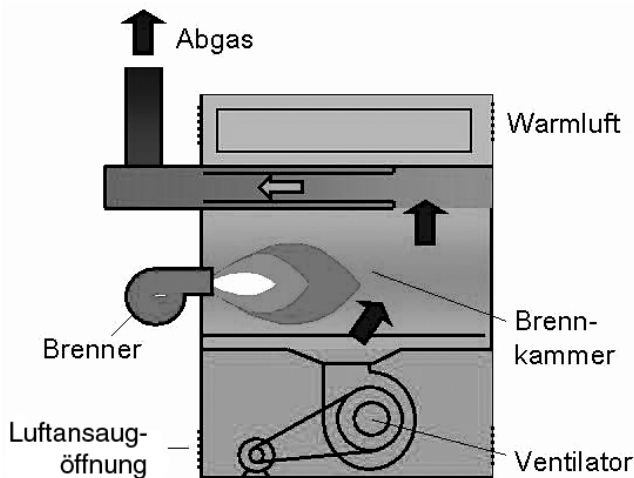


Abb. 2: Direkt befeuerter Lufterhitzer (schematisch).

Für die Auslegung und den Betrieb von Lufterhitzern spielt die Luftleistung eine wichtige Rolle. Bezieht man die Luftleistung des Gerätes auf die Heizleistung, erhält man eine spezifische Luftleistung V_{sp} :

$$V_{sp} = V/N_H \quad [\text{m}^3/(\text{h kW})]$$

Dabei ist V die Luftleistung $[\text{m}^3/\text{h}]$ und N_H die Nennheizleistung.

Die spezifische Luftleistung bestimmt die Luftausblastemperatur oder besser die Erhöhung der Ausblastemperatur über Ansaugtemperatur. In Abb. 3 ist dieser Zusammenhang grafisch dargestellt. Je heißer die erwärmte Luft ausgeblasen wird, desto größer ist der thermische Auftrieb. In Tab. 1 ist für verschiedene Lufttemperaturen die Dichte der Luft angegeben.

Tab. 1: Dichte der Luft

Lufttemperatur (°C)	Dichte der Luft (kg/m³)
0	1,275
20	1,188
40	1,112
60	1,045
80	0,986
100	0,933

Wird z. B. in einem Gewächshaus mit 20 °C Lufttemperatur heiße Luft mit 80 °C ausgeblasen, dann ist die heiße Luft 17 % leichter. Die Luft steigt ähnlich wie ein Heißluftballon nach oben. Aus diesem Grunde sollte die spezifische Luftleistung mindestens 70 $\text{m}^3/(\text{h kW})$, besser 90 $\text{m}^3/(\text{h kW})$ betragen, dann ergibt sich eine Temperaturdifferenz der ausgeblasenen Luft zur Gewächshausluft von 50 bzw. 40 K (Abb. 3). Auch damit ist die gleichmäßige Verteilung der warmen Luft im Gewächshaus schwierig. Ideal wäre es, wenn die Luft in Bodennähe mittels gelochter Blechkanäle verteilt werden würde (Abb. 4). Die Verwendung gelochter Folienschläuche ist bei den hohen Ausblastemperaturen kritisch. Eventuell kann man die ersten Meter als Blechrohr ausführen und dann einen gelochten Folienschlauch anschließen.

Der spezifische Energieverbrauch eines Gewächshauses mit direkt befeuerter Lufterhitzer hängt ganz entscheidend von der Luftführung ab. Wenn es gelingt, die heiße Luft so im Gewächshaus zu verteilen, dass keine nennenswerten vertikalen Temperaturgradienten

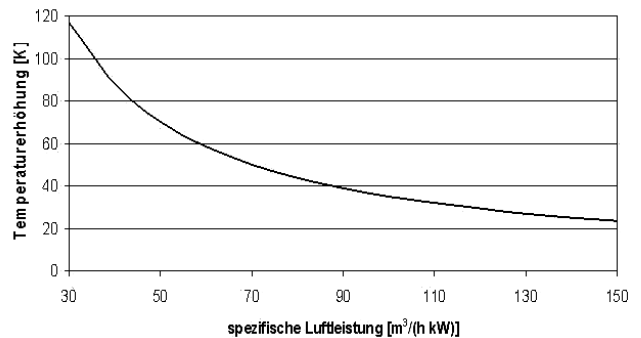


Abb. 3: Ausblastemperatur in Abhängigkeit der spezifischen Luftleistung.

ten auftreten, dann kann mit diesem System im Vergleich zu einer Warmwasserheizung (TANTAU 2004) Energie eingespart werden, da Verteilungs- und Betriebsbereitschaftsverluste entfallen. Leider wird dieses Ziel in der Praxis selten erreicht. Bei einem stehenden Lufterhitzer (Abb. 2) wird die kalte Gewächshausluft angesaugt, erwärmt und oben ausgeblasen. Werden Lufterhitzer im Gewächshaus aufgehängt, dann wird Luft aus dem Dachraum angesaugt und oben im Gewächshaus wieder ausgeblasen. Die warme Luft verteilt sich nur im oberen Bereich des Gewächshauses, so dass die Temperatur dort 30 °C über der Temperatur im Pflanzenbestand liegen kann. Damit lässt sich der Wärmeverbrauch des Gewächshauses im Vergleich zur Warmwasserheizung ohne weiteres verdoppeln.

5 CO₂-Generatoren (CO₂-Kanonen)

Die Kombination von Heizung und CO₂-Erzeugung bietet sich an, wenn ein Gewächshaus nur wenig Heizleistung benötigt (Temperaturdifferenz innen – außen < 7 K) (CORSTEN 1992, HEGE und LECKER 1990, DOMKE 1984). Dabei werden die Abgase direkt in das Gewächshaus geblasen. Heizöl scheidet als Energieträger aus, da – bedingt durch den Schwefelgehalt – bei der Verbrennung SO₂ gebildet wird – ein gefährliches Pflanzengift.

Bedeutung des CO₂

Pflanzen benötigen CO₂ für die Assimilation, d. h. für den Aufbau von Kohlenhydraten mit Hilfe des Sonnenlichtes. Im Freiland liegt die CO₂-Konzentration bei ca. 370 vpm. Im Gewächshaus fällt die CO₂-Konzentration nach Sonnenaufgang innerhalb kurzer Zeit auf Werte von 120 bis 200 vpm. Bei einer so niedrigen Konzentration können die Pflanzen kaum noch CO₂ aufnehmen. Für eine optimale Ausnutzung des Sonnenlichtes und damit für eine hohe Assimilations- und Wachstumsleistung sind CO₂-Konzentrationen von 600 bis 1 000 vpm erforderlich. Zu hohe CO₂-Konzentrationen können sich negativ auswirken. Die maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) liegt bei 5 000 vpm (DIN 4793, TRGS 900). Die Tatsache, dass die Wärme vorwiegend nachts und das CO₂ tagsüber bei Sonneneinstrahlung benötigt werden, erschwert die Nutzung von CO₂ und Wärme. Eine Speicherung von CO₂ oder Wärme ist für CO₂-Generatoren nicht praktikabel. CO₂-Generatoren müssen deshalb nachts zur Heizung laufen. Je nach Leistung des Gerätes und je nach Luftwechsel des Gewächshauses steigt die CO₂-Konzentration an. Eine Überwa-



Abb. 4: Luftverteilungskanal unter dem Tisch.

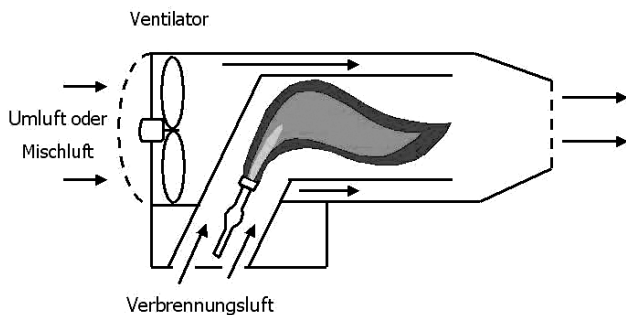


Abb. 5: Atmosphärischer Gasbrenner mit Ventilator für die Umluft (KÖHLER und LECKER 1995, verändert).

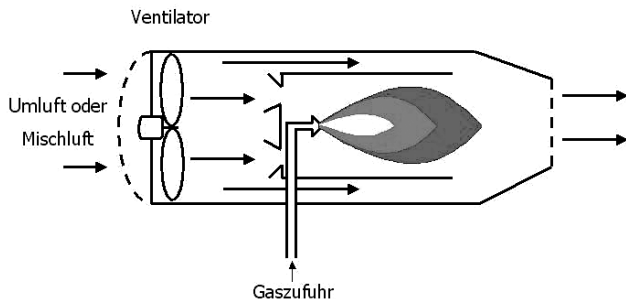


Abb. 6: Gebläsebrenner mit gemeinsamem Ventilator (KÖHLER und LECKER 1995, verändert).

chung und Regelung der CO_2 -Konzentration ist dringend zu empfehlen, um Pflanzenschäden zu vermeiden und um den MAK-Wert von 5 000 vpm nicht zu überschreiten.

Brennerbauarten

Es gibt verschiedene Brennertypen. Bei den atmosphärischen Gasbrennern wird ähnlich wie bei einem Bunsenbrenner die Verbrennungsluft mittels Injektorprinzip angesaugt (Abb. 5). Ein Ventilator ist trotzdem für die Umluft erforderlich, damit die heißen Abgase mit Luft vermischt besser im Gewächshaus verteilt werden. Dieser Ventilator kann auch für die Zufuhr der Verbrennungsluft genutzt werden. Abb. 6 zeigt einen CO_2 -Generator als Gebläsebrenner mit einem gemeinsamen Ventilator. Es kann auch ein Gebläsebrenner mit separatem Gebläse für die Verbrennungsluft verwendet werden (Abb. 7).

Rechtliche Regelungen

Rechtliche Regelungen, die sich auf den Betrieb von CO_2 -Generatoren beziehen, finden sich in der DIN 4793 so wie im DVGW-Arbeitsblatt G 633 mit installationstechnischen Hinweisen. Die DIN-Norm 4793 „Gasbefeuerte Geräte für die CO_2 -Anreicherung der Raumluft in Gewächshäusern“ enthält sicherheitstechnische Anforderungen und wendet sich vor allem an die Hersteller von CO_2 -Generatoren. Im Gartenbau dürfen nur solche Geräte zur CO_2 -Anreicherung eingesetzt werden, die als „ CO_2 -Generator DIN 4793“ gekennzeichnet sind. Die Norm gilt für alle Geräte, deren Abgase zur CO_2 -Anreicherung der Raumluft in Gewächshäusern verwendet werden. Die DIN 4793 legt unter anderem fest, dass:

- der CO-Gehalt im unverdünnten, trockenen Abgas 0,02 % Volumenanteil nicht überschreiten darf,
- die CO-Konzentration bei direkter Ausblasung im Ausblasquerschnitt 30 vpm nicht übersteigen darf,
- Geräte mit Gebläsebrennern, die Abgase in Gewächshäuser leiten, mit einem CO-Überwachungsgerät ausgerüstet sein müssen.

Ausgenommen davon sind CO_2 -Generatoren mit gemeinsamem Gebläse für die Umluft- und Verbrennungsluftzuführung, so genannte CO_2 -Kanonen (Abb. 6), da sie eine offene Brennkammer besitzen und eine unvollständige Verbrennung weitgehend ausgeschlossen ist. Diese benötigen aber eine Luftdrucküberwachung, die bei Luftmangel den Brenner abschaltet, bevor eine Erhöhung der CO-Konzentration im Ausblasquerschnitt erfolgt (siehe auch GARTENBAU-BERUFSGENOSSENSCHAFT 2000).

Schadgase

Bei jeder Verbrennung wird auch NO_x gebildet. Die NO_x -Bildung hängt u. a. von der Konstruktion des Brenners ab. Bei Temperaturen von über 900 °C steigt die NO_x -Konzentration im Abgas. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die NO_x -Bildung zu reduzieren und damit „Low NO_x -Brenner“ zu konstruieren:

- Abgasrückführung (Abb. 8),
- Vergrößerung der Flammenoberfläche z. B. durch keramische Brenner (Abb. 9),
- Stufung der Verbrennung.

Für die CO_2 -Düngung sollten unbedingt Low NO_x -Geräte eingesetzt werden.

Bei der Verbrennung wird Sauerstoff „verbraucht“. Wird Gewächshausluft als Verbrennungsluft zugeführt, dann sinkt der Sauerstoffgehalt. Es kann zu einer unvollständigen Verbrennung und dadurch zur Bildung von Schadgasen kommen. Deshalb sollte die Verbrennungsluft unbedingt von außen angesaugt werden. In Abb. 10 ist die Zufuhr von Außenluft für einen atmosphärischen Brenner dargestellt. Weiterhin ist eine Regelung bzw. Begrenzung der CO_2 -Konzentration im Heizfall durch Luftaustausch mit Außenluft zu empfehlen. Oft reicht zwar der Luftaustausch durch die Undichtigkeiten des Gewächshauses aus. Aber gerade bei Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt können die Undichtigkeiten sich mit Kondenswasser füllen und zufrieren. Das Gewächshaus wird gerade dann, wenn ein größerer Heizbedarf besteht, besonders dicht, was einen Zwangsluftwechsel mittels Ventilator erforderlich macht. Dieser Ventilator wird immer dann eingeschaltet, wenn die zulässige CO_2 -Konzentration in der Gewächshausluft überschritten wird. Wichtig ist dabei die richtige Zufuhr der kalten Außenluft. Bei der Anordnung gemäß Abb. 11 besteht die Gefahr, dass die Kaltluft in den Pflanzenbestand fällt. Besser ist eine Zufuhr der Außenluft in der Nähe des CO_2 -Generators, so dass sich die kalte Luft mit der heißen ausgeblasenen Luft mischt (Abb. 12) oder vom CO_2 -Generator angesaugt und erwärmt wird (Abb. 13).

6 Strahlungsheizung

Die Art der Wärmeübertragung unterscheidet sich bei der Strahlungsheizung grundlegend von den Lufterhitzern. Die Wärme wird

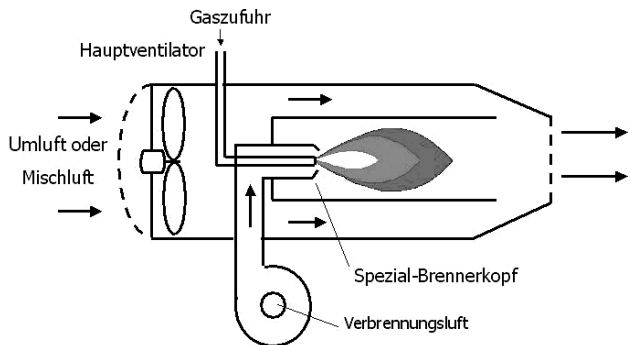


Abb. 7: Gebläsebrenner mit separatem Gebläse für die Verbrennungsluft (KÖHLER und LECKER 1995, verändert).

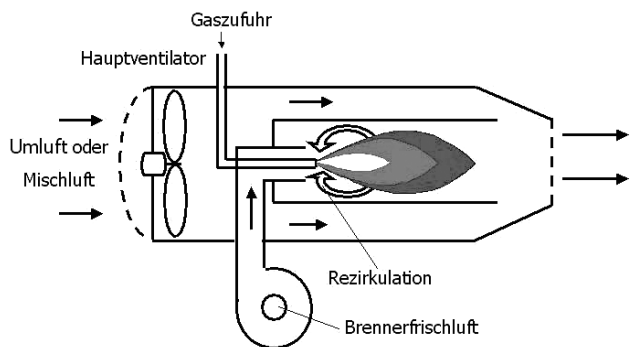


Abb. 8: Vormischbrenner mit Abgasrezirkulation (KÖHLER und LECKER 1995, verändert).

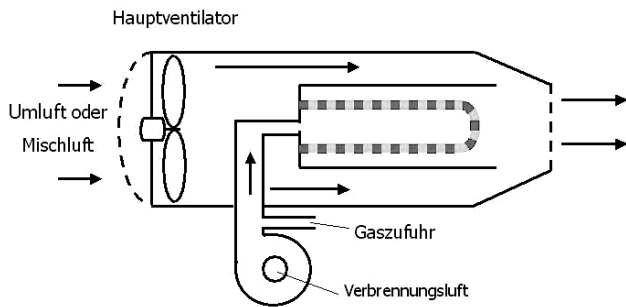


Abb. 9: Vormisch-Strahlungsbrenner (KÖHLER und LECKER 1995, verändert).

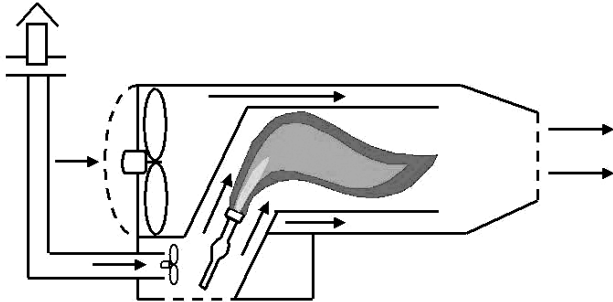


Abb. 10: Außenluftzufuhr bei atmosphärischem Brenner (Köhler und Lecker 1995, verändert).

nicht durch Luftströmung (Konvektion), sondern durch langwellige Wärmestrahlung übertragen. Die Wärmestrahlung hat ähnliche Eigenschaften wie das Licht, ist aber nicht sichtbar, deshalb werden die Geräte auch als Dunkelstrahler bezeichnet. Langwellige Wärmestrahlung bedeutet, dass das Maximum der Wärmeabstrahlung im Bereich von 8 bis 10 μm liegt.

Für die Übertragung von Wärmestrahlung ist kein Medium (z. B. Luft) erforderlich. Jede Oberfläche gibt Wärme durch Strahlung ab. So fühlt sich ein Mensch in einem Raum mit kalten Wänden unbehaglich, weil er Wärme an die kalten Wände abstrahlt. Umgekehrt fühlt sich der Mensch behaglich, wenn er Strahlungswärme empfängt, z. B. von einem Kachelofen. Die Wärmestrahlung ist also wichtig für das Wohlbefinden (Behaglichkeit) des Menschen.

Wärmeabgabe

Die „Dunkelstrahler“ werden mit Erdgas beheizt. Dabei wird Wärme durch die Verbrennung eines Luft-Gasgemisches in geschlossenen Brennern mit angeschlossenem „Strahlungsrohr“ erzeugt. Diese Rohre haben einen Durchmesser von ca. 100 bis 150 mm (Abb. 14). Ein Ventilator, der sich in der Regel am anderen Ende des Strahlungsrohres befindet, erzeugt den nötigen Unterdruck, damit das Abgas durch das Strahlungsrohr strömen kann und am Brenner die erforderliche Verbrennungsluft angesaugt wird. Die Oberfläche des Strahlungsrohres wird durchschnittlich auf 300 bis 600 $^{\circ}\text{C}$ erhitzt (KÜBLER 2002).

Über dem Strahlungsrohr ist ein Reflektor angeordnet, der die Strahlung nach unten Richtung Pflanzenbestand reflektiert. Die Form und Gestaltung des Reflektors ist dabei entscheidend für die

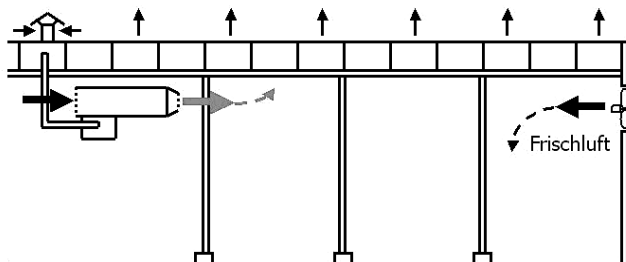


Abb. 11: Frischluftzufuhr zur Begrenzung der CO_2 -Konzentration (über eine Zwangsbelüftung in der Außenwand) (KÖHLER und LECKER 1995, verändert).

gleichmäßige Verteilung der Wärmestrahlung auf Höhe des Pflanzenbestandes. Man kann den Reflektor der Strahlungsheizung mit dem Reflektor einer Assimilationsleuchte vergleichen. Es gibt nicht den idealen Reflektor, vielmehr muss der Reflektor entsprechend der Aufhängenhöhe der Strahlungsrohre und dem gewünschten Abstand von Rohr zu Rohr optimiert werden. In der Vergangenheit hat es dazu bereits Ansätze gegeben.

Das Strahlungsrohr gibt wie jedes Heizungsrohr einen Teil der Wärme konvektiv ab. D. h., die Luft erwärmt sich an der Oberfläche des Strahlungsrohres, steigt nach oben und gibt die Wärme an den Reflektor ab. Dadurch heizt sich der Reflektor auf und gibt die Wärme nach oben in den Dachraum ab. Die Oberfläche des Reflektors entspricht etwa der Oberfläche von 8 Heizungsrohren mit 60 mm Durchmesser. Bei einem unisolierten Reflektor werden ca. 40 % der Wärme nach oben abgegeben. Da dies zu unnötigen Verlusten führt, muss der Reflektor isoliert werden. In Abb. 15 ist ein Dunkelstrahler mit isoliertem Reflektor dargestellt.

Wärmeverteilung

Durch die Wärmeabgabe des Strahlerrohres kühlen sich die Abgase im Rohr ab, so dass die Rohrtemperatur am Ende wesentlich niedriger liegt. Da die Wärmeabstrahlung mit der 4. Potenz der absoluten Temperatur steigt, ist die Wärmeabgabe in Längsrichtung des Strahlerrohres sehr ungleichmäßig. Daraus resultiert ein größerer Temperaturgradient im Pflanzenbestand (ca. 4 $^{\circ}\text{C}$, Abb. 16). Abhilfe schafft eine Anordnung von Vor- und Rücklauf unter einem Reflektor (Abb. 17) ähnlich der Verlegung von Vor- und Rücklauf bei der Warmwasserheizung. Bei dieser Anordnung ist die mittlere Temperatur von Vor- und Rücklauf in Längsrichtung konstant, so dass auch die Wärmeabgabe wesentlich gleichmäßiger ist. Leider ist bei der Anordnung von zwei Strahlerrohren unter einem Reflektor der Dunkelstrahler breiter und wirft mehr Schatten (Abb. 18).

Ein weiteres Problem ist in der Praxis die Querverteilung der Wärmestrahlung. Direkt unter dem Dunkelstrahler ist die Wärmestrahlung am größten. Zu den Seiten hin nimmt sie mit größerem Abstand ab. Hierdurch ergibt sich eine ungleichmäßige Querverteilung der Wärme im Pflanzenbestand. Dieses Problem lässt sich durch eine Optimierung des Reflektors reduzieren. Wichtig ist eine ausreichende Aufhängenhöhe. Von einigen Firmen werden bis zu 6 m Aufhängenhöhe angegeben (SCHULTE 2005).

Wirkung der Strahlungsheizung

Es wurde bereits auf die positive Wirkung der Wärmestrahlung auf das Wohlbefinden des Menschen hingewiesen. Energetisch be-

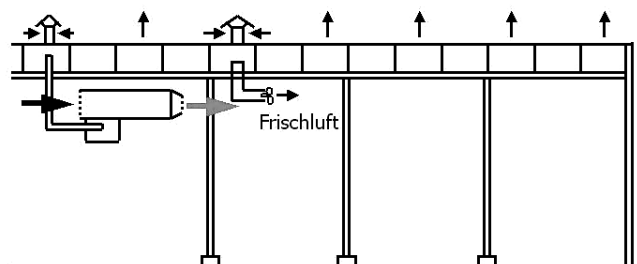


Abb. 12: Frischluftzufuhr zur Begrenzung der CO_2 -Konzentration (Vermischung mit dem Ausstoß des Abgases) (KÖHLER und LECKER 1995, verändert).

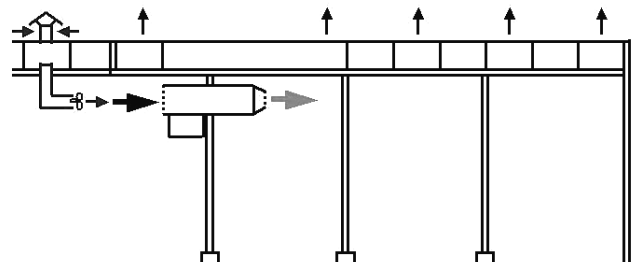


Abb. 13: Frischluftzufuhr zur Begrenzung der CO_2 -Konzentration (Vermischung mit der Ansaugluft) (KÖHLER und LECKER 1995).

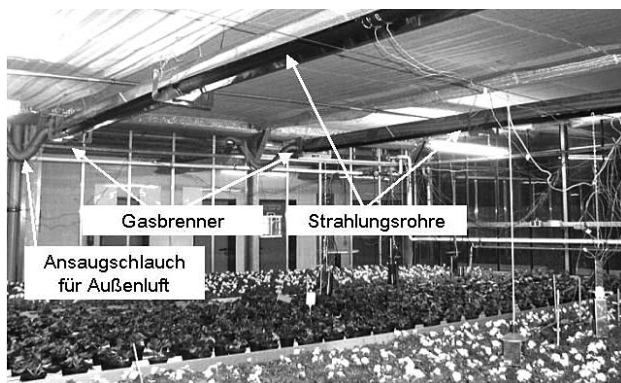


Abb. 14: Dunkelstrahler, Gasbrenner mit Luftansaugschlauch (Rath und Masemann 2002).

trachtet ist diese Art der Wärmeübertragung eine ideale Lösung, wenn es darum geht, die Wärme von einem Gerät im Dachraum nach unten zu bringen. Die Luft wird nicht direkt erwärmt, sondern zunächst nur alle Flächen, die Wärmestrahlung empfangen und absorbieren. Die empfangene Energie wird dann von diesen Flächen als Wärme an die Luft abgegeben. Somit sind Dunkelstrahler bestens geeignet zur Beheizung hoher Hallen (z. B. Fabrikhallen). Im Gewächshaus trifft die Wärmestrahlung auf die obersten Blätter der Pflanzen. Auch hier wirkt die absorbierte Wärmestrahlung zunächst positiv. Die Blattoberfläche wird erhöht. Die Gefahr der Kondensation von Luftfeuchtigkeit auf den Blättern wird deutlich verringert.

Im Unterschied zur Hallenbeheizung, sind die Blätter aber in der Lage – ja sogar darauf angewiesen – Wasser zu verdunsten. Dafür ist Energie – Verdampfungsenergie des Wassers – erforderlich. Ein Vorgang, der am Tage bei Sonneneinstrahlung ganz entscheidend zur Kühlung der Pflanzen beiträgt, bewirkt in der Nacht bei der Strahlungsheizung, dass ein Großteil der zugeführten Wärmestrahlung für die Verdunstung „verbraucht“ wird, d. h. in latente Wärme umgewandelt wird. Der Vorgang ist vergleichbar mit der Beheizung einer feuchten Fläche. Die Konsequenz ist ein höherer Wärmeverbrauch des Gewächshauses.

Regelung

Da die Strahlungsheizung im Vergleich mit einer Luftheizung die Blattoberfläche erhöht, kann durch die konventionelle Messung und Regelung der Lufttemperatur die Situation am Blatt nur unzureichend berücksichtigt werden. Aus diesem Grunde ist die Regelung der Strahlungsheizung nach der Lufttemperatur problematisch. Die Blattoberfläche ist als Regelgröße wichtiger. Ein Problem gibt es allerdings bei der Messung der Blattoberfläche.

Infrarotthermometer, wie sie z. B. von der Firma Priva zur Messung und Regelung der Blattoberfläche (nicht nur für Strahlungsheizung) angeboten werden, sind relativ teuer. Betrachtet man einzelne Blätter, dann kann durch unterschiedliche Winkel zur Strahlungsquelle und durch Beschattungen jedes Blatt eine etwas andere Temperatur haben. Aus diesem Grunde wurde versucht, einen Fühler zu entwickeln, der eine ähnliche Temperatur annimmt wie die Blätter (von ELSNER 2004). Ein Handicap dieser Fühlerentwicklung ist die Simulation der Verdunstung, die von den Blättern mittels Stomata geregelt wird. Da die Strahlungsheizung nur ein- und ausgeschaltet werden kann, ist nur eine Zweipunktregelung möglich. D. h., Temperatur

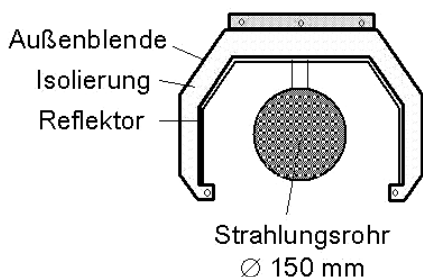


Abb. 15: Dunkelstrahler mit isoliertem Reflektor (schematisch).

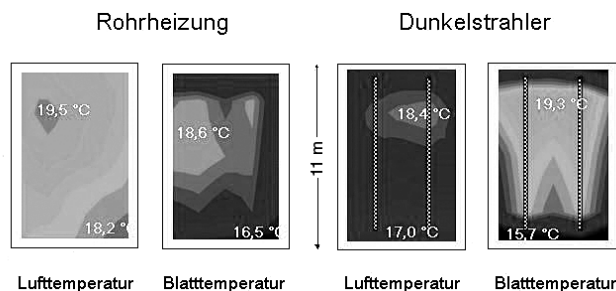


Abb. 16: Durchschnittliche Temperaturdifferenzen im Bestand (RATH und MASEMANN 2003).

und Luftfeuchte schwanken ständig (Abb. 19). Deshalb muss ein künstliches Blatt auch das Zeitverhalten der Blätter richtig wiedergeben.

CO₂-Düngung

Ähnlich wie bei den CO₂-Kanonen kann man auch bei der Strahlungsheizung zur CO₂-Düngung die Abgase in das Gewächshaus blasen. Es entfällt dann das Abgasrohr. Es ergeben sich ähnliche Probleme (der Heizbedarf besteht nachts, CO₂ wird am Tage benötigt) wie bei den CO₂-Generatoren. Bei größerer Heizleistung kann die CO₂-Konzentration ohne zusätzliche Maßnahmen (s. o.) den MAK-Wert überschreiten. Auch die NO_x-Konzentration kann kritische Werte annehmen, wenn für die Dunkelstrahler keine NO_x-armen (Low-NO_x) Brenner verwendet werden.

Energieverbrauch

Untersuchungen von RATH und MASEMANN (2002) in Gewächshäusern der Lehr- und Versuchsanstalt Hannover-Ahlem zeigten, dass auf der Basis gleicher Blattoberflächen im Dunkelstrahlerhaus (im Messzeitraum) 4,1 m³ Erdgas/m² Gewächshausgrundfläche verbraucht wurden. Die Umrechnung der gemessenen Wärmemengen des Vergleichshauses mit einer Untertischheizung ergab selbst ohne Brennwertnutzung nur einen Gasverbrauch von 3,6 m³/m² (Jahresnutzungsgrad von 0,88 und Verteilungsverluste von 3 % berücksichtigt). Auch wenn diese Messergebnisse nicht ohne weiteres übertragbar sind, zeigen sie doch, dass mit der Strahlungsheizung gegenüber einer Warmwasserheizung (Rohrheizung) keine Energie eingespart werden kann. Im Vergleich mit direkt beheizten Luftheizern, die die ausgeblasene heiße Luft vorwiegend im Dachraum verteilen, kann nach Untersuchungen von KÖHLER et al (2002) mit der Strahlungsheizung eine Energieeinsparung von 30 % erreicht werden.

7 Zusammenfassung

Direkt beheizte Heizungssysteme sind dann eine Alternative zu Warmwasserheizungen, wenn Gewächshäuser im Winter stillgelegt werden sollen oder wenn im Winter wenig Heizung erforderlich ist. Nach einer Stilllegung ist ein Anheizen jederzeit ohne Probleme und ohne Verzögerungen möglich. Auch tagsüber kann ein solches Hei-

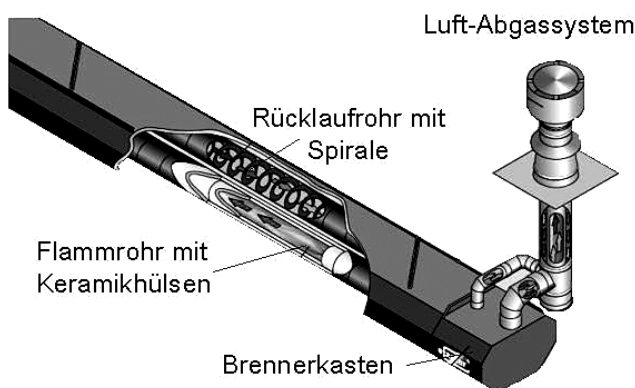


Abb. 17: Dunkelstrahler mit Vor- und Rücklaufrohr (Schulte 2005).

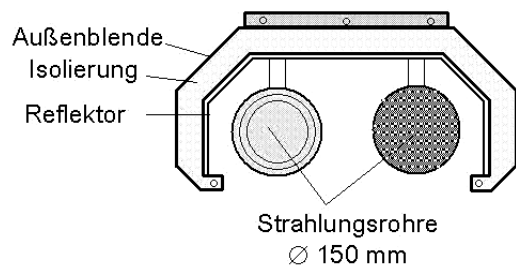


Abb. 18: Isolierter Reflektor mit Vor- und Rücklaufrohr (SCHULTE 2005).

zungssystem komplett abgeschaltet werden, so dass keine Betriebsbereitschaftsverluste entstehen.

Der Heizenergieverbrauch hängt ganz entscheidend von der Betriebsweise ab. Wird bei den Luftherzern die warme Luft vorwiegend im Dachraum verteilt, dann ist damit eine deutliche Erhöhung des Energieverbrauches im Vergleich zu Warmwasserheizungen verbunden. Bei den CO₂-Kanonen wird zwar die erzeugte Wärme zu 100 % (Hu) genutzt, die erforderliche Begrenzung der CO₂-Konzentration (z. B. MAK-Wert) führt aber zu einer Erhöhung des Luftwechsels und damit zu einer Verminderung des Wirkungsgrades (LECKER und HEGE 1990). Mit der Strahlungsheizung wird zwar die Wärme den Blättern direkt durch langwellige Wärmestrahlung zugeführt, die Blätter wandeln aber einen Teil der absorbierten Wärme in Verdunstungswärme um. Dadurch wird der Energieverbrauch bei einer Strahlungsheizung erhöht und ist dann größer als bei einer Warmwasserheizung (RATH und MASEMANN 2002).

Betrachtet man die Verteilung der Wärme im Gewächshaus und die Beeinflussung des Mikroklimas im Pflanzenbestand, dann gibt es bei den direkt befeuerten Heizungssystemen größere Probleme als bei Warmwasserheizungen. Je nach Luftleistung haben Luftherz hohe Ausblastemperaturen, die dazu führen, dass die heiße Luft in den Dachraum aufsteigt. Eine Verteilung der Luft im Pflanzenbestand ist nur dann möglich, wenn die Ausblastemperaturen nicht zu hoch sind. Sonst besteht die Gefahr von Verbrennungen oder zumindest örtlicher Austrocknung der Pflanzen.

Wesentlich positiver ist die Wirkung der Strahlungsheizung auf die Blattoberfläche zu bewerten. Eine Erhöhung der Blattoberfläche kann gerade bei geringem Wärmebedarf Feuchteprobleme reduzieren. Damit werden Regelstrategien zur Senkung der Luftfeuchte (z. B. Heizen und Lüften), die den Energieverbrauch erhöhen, eventuell überflüssig. Die Temperaturverteilung war bei dem untersuchten Dunkelstrahler (RATH und MASEMANN 2002) unbefriedigend – auch wenn bei den pflanzenbaulichen Untersuchungen keine Unterschiede festgestellt wurden (Ludolph und Masemann 2002). Durch eine technische Weiterentwicklung wie Optimierung des Reflektors und Anordnung von Vor- und Rücklaufrohr (Abb. 18) ist eine Verbesserung der Temperaturverteilung im Pflanzenbestand möglich. Mit dem Einsatz der Strahlungsheizung wird auch die Frage nach der „richtigen“ Regelgröße – Luft- oder Blattoberfläche – wieder aktuell.

Literatur

- CORSTEN, H.-D. (1992): Gasheizung, Wärmerückgewinnung und CO₂-Düngung. KTBL, Darmstadt (KTBL-Arbeitsblatt Gartenbau 0650)
- DIN 4793 (1984): Gasbefeuerte Geräte für die CO₂-Anreicherung der Raumluft in Gewächshäusern. Beuth, Berlin
- DIN 4794 (1980): Ortsfeste Warmluftherzeuger. Beuth, Berlin
- DOMKE, O. (1984): Bewährte CO₂-Technik wieder entdeckt, Kleine Gasbrenner im Gewächshaus. Sonderdruck aus Deutscher Gartenbau 38, Nr. 38
- DVGW, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (1983):

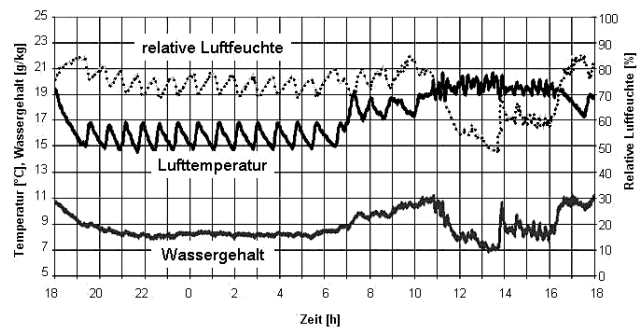


Abb. 19: Temperatur und Feuchteverlauf bei einem Dunkelstrahler (Beispiel LVA Ahlem 9/10.03.2003) (VON ELSNER 2004).

- Anlagen zur CO₂-Anreicherung in Gewächshäusern - Installation und Betrieb, Technische Regeln, Arbeitsblatt G 633
- VON ELSNER, B. (2004): Strahlungsheizung im Gewächshaus – Entwicklung eines Temperaturfühlers für die Regelung. Seminarvortrag Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Hannover (unveröffentlicht).
- GARTENBAU-BERUFSGENOSSENSCHAFT (Hrsg.) (2000): VSG 2.6 Gewächshäuser. http://www.lsv.de/gartenbau/koerperschaften/010_gartenbau/060_merkblaetter
- HEGE, H.; LECKER, F. (1990): Gewächshausheizung und CO₂-Düngung mit gasbetriebenen Warmluftherzern. Bericht des Institutes für Technik im Gartenbau, Weihenstephan
- KÖHLER, L.; LECKER, F. (1995): Kohlendioxidanreicherung in Gewächshäusern. Erdgas im Gartenbau. 3. Aufl., S. 36–40
- KÖHLER, L.; LUDOLPH, D.; RATH, T. (2002): Einsatz von Strahlungsheizungen im Gartenbau. In: Bundesweite Wissenszentren, Lehrschau IPM 2002: Brennpunkt Heizkosten. S. 10. Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau der LWK Hannover, Hannover-Ahlem.
- KÜBLER (2002): <http://www.kuebler-hallenheizungen.de/>
- LECKER, F. (1986): CO₂-Anreicherung und Heizen im Gewächshaus. KTBL, Darmstadt (KTBL-Arbeitsblatt Gartenbau 0646)
- LECKER, F. (1991): Gewächshausheizung mit CO₂-Kanonen. KTBL, Darmstadt (KTBL-Arbeitspapier 160)
- LECKER, F.; HEGE, H. (1990): Gewächshausheizung und CO₂-Düngung mit gasbetriebenen Warmluftherzern. Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben 88 UM 11 des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Weihenstephan
- LUDOLPH, D.; MASEMANN, S. (2002): Dunkelstrahlerheizung in Gewächshäusern im Praxistest – Ergebnisse pflanzenbaulicher Untersuchungen. Das TASPO Magazin 3, Nr. 5, S.30-31
- RATH, T.; MASEMANN, S. (2002): Dunkelstrahlerheizung in Gewächshäusern im Praxistest – Ergebnisse technischer Untersuchungen. Das TASPO Magazin 3, Nr. 5, S. 25-28
- RATH, T.; MASEMANN, S. (2003): Praxisorientierte Blattoberflächentemperaturmessung in beheizten Gewächshäusern. Agrartechnische Forschung, Band 9, Heft 1 -3, S. 21-26.
- SCHULTE (2005): http://www.schulte-gmbh.com/download/104_turbo150.pdf
- TANTAU, H.-J. (1995): Heizungssysteme im Gewächshaus. In: Ruhrgas (Hrsg.): Erdgas im Gartenbau, 3. Aufl. Ruhrgas Ag, Essen, S. 45-58 (Erdgas Information)
- TANTAU, H.-J. (2002): Dunkelstrahlerheizung im Praxistest – Grundlegende Betrachtungen. Das TASPO Magazin 3, Nr. 5, S. 22-24
- TANTAU, H.-J. (2004): Heizungssysteme im Gewächshaus I. Warmwasserheizungen. KTBL, Darmstadt (KTBL-Arbeitsblatt Gartenbau 0711)
- TRGS 900, (2000): Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte BArbBl. Heft 7-8/2004
- WAWRA, A. (2002): Noch wenig Erfahrungen mit Strahlungsheizungen. Deutscher Gartenbau 56, Nr. 8, S. 34 – 35.