



Foto: J. Sereda; Fotolia / romaset

Wo Tomaten wachsen und reifen

Im Gewächshaus lässt sich die Temperatur optimieren.

Ulrich Kilian

Mit viel Liebe und Geduld kann man im Sommer Tomaten auf dem heimischen Balkon ziehen und ernten. Die meisten der roten Früchte, die es ganzjährig im Supermarkt zu kaufen gibt, stammen dagegen aus einem Gewächshaus. Nur dort lassen sich die Bedingungen für die Pflanzen optimal einstellen – unabhängig vom Wetter. In modernen Gewächshäusern von Großgärtnereien werden viele Parameter computergesteuert eingestellt, beispielsweise Temperatur, Lichtzusammensetzung und Feuchtigkeit. Ein Effekt aus Gewächshäusern ist aber auch außerhalb der industriellen Landwirtschaft bekannt: In einem verglasten Raum – wie im Auto oder Wintergarten – wird es schnell sehr warm, wenn die Sonne darauf scheint. Hier blockiert ein Mechanismus den Energieabfluss und sorgt für ein Ungleichgewicht in der Energiebilanz: Nur wenn mehr Energie ins Glashaus hinein geht als hinaus, kann es innen wärmer werden.

Trifft Sonnenlicht auf ein Glasdach, dringt der sichtbare Teil der Sonnenstrahlung sowie Strahlung im nahen Infrarot ungehindert hindurch, während langwellige Infrarot- sowie UV-Strahlung reflektiert werden (**Abb. 1**). Hinter der Scheibe trifft das Licht auf Pflanzen und Gegenstände im Glashaus, an denen es streut und absorbiert wird. Die Pflanzen nutzen das absorbierte Licht zur Photosynthese, während

die Gegenstände es wieder emittieren. Dabei ändert sich aber die Wellenlänge: Während sichtbares Licht die Moleküle anregt, entsteht beim Übergang in den Grundzustand Infrarotstrahlung, weil das Spektrum eines strahlenden Körpers von dessen Temperatur abhängt. Das Maximum der Strahlungsintensität erreicht ein Körper mit einer Temperatur T bei der Wellenlänge λ_{\max} , die sich aus dem Wienschen Verschiebungsgesetz gemäß $\lambda_{\max} = 2897,8 \mu\text{m} \cdot \text{K} \cdot T^{-1}$ berechnet. Streng genommen gilt dieser Zusammenhang nur für ideale Schwarze Körper, lässt sich aber für qualitative Aussagen auch auf andere Strahler übertragen. Beispielsweise liegt das Intensitätsmaximum der Sonne ($T = 6000 \text{ K}$) bei etwa 500 nm , während ein 330 K warmer Gegenstand am intensivsten bei etwa $9 \mu\text{m}$ strahlt, also im Infraroten. Weil Glas für das sichtbare Licht durchlässig, für das ferne Infrarot aber opak ist, gelangt Strahlung – und damit Energie – in das Glashaus hinein, aber nicht wieder hinaus. Der Energieabfluss wird blockiert, und das Glashaus wirkt als „Strahlungsfänger“.

Diese Erklärung ist aber falsch oder zumindest unvollständig. Bereits 1909 suchte der amerikanische Physiker Robert W. Woods mit einem ein-

fachen Experiment nach der Ursache der Erwärmung in einem Glashaus. Er stellte zwei Kisten in die Sonne, die er mit einer Glasscheibe beziehungsweise einem Kristall aus Steinsalz abdeckte. Im Gegensatz zur Glasscheibe ist der Kristall für Infrarotstrahlung transparent. In beiden Kisten stieg die Temperatur auf etwa $65 \text{ }^\circ\text{C}$ an, in der Kiste mit dem Steinsalz-Deckel etwas schneller. Wood vermutete die Ursache für den schnelleren Anstieg im Infrarotanteil der Sonneneinstrahlung, der durch das Steinsalz in die eine Kiste eindringt. Um dies zu verhindern, legte er eine Glasplatte auf den Kristall. In einem zweiten Versuch stieg die Temperatur in dieser Kiste auf $55 \text{ }^\circ\text{C}$, in der Kiste mit dem Glasdeckel nur auf $54 \text{ }^\circ\text{C}$. Die geringere

Endtemperatur ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass Wood die Versuchsbedingungen nicht reproduzieren konnte. Er verstand seine Veröffentlichung auch nicht als wissenschaftliche Studie, sondern nur als vorläufige Notiz.¹⁾ Dennoch konnte er

zeigen, dass die Energiebilanz wenig davon beeinflusst wird, ob das Glas für Wärmestrahlung transparent ist. Solange das Glas die Wärmestrahlung nicht vollständig reflektiert, kann es



Foto: J. Sereda; Fotolia / baibaz

1) R. W. Woods, Philosophical Magazine 17, 319 (1909)

◀ Scheint die Sonne auf ein Gewächshaus, wird es innen sehr warm, sodass Tomaten auch in kälteren Gefilden reifen können.

sie weder aus der Kiste „aussperren“ noch darin „einfangen“.

Wie andere Gegenstände auch, absorbiert das Glas einen großen Teil der Strahlung und emittiert sie wieder gemäß des Kirchhoffschen Strahlungsgesetzes. Haben Umgebung und Absorber dieselbe Temperatur, entsprechen Absorption und Emission einander im thermischen Gleichgewicht. Zu einem Nettogewinn im Inneren des Glashauses kann es nur wegen der Temperaturdifferenz zwischen draußen und drinnen kommen. Weil die Außenseite etwas kühler als die Innenseite ist, gibt sie weniger Strahlung nach außen ab, als im Inneren absorbiert wird. Dieser Effekt ist aber gering und kann allein nicht erklären, warum es im Glashaus bei Sonneneinstrahlung so warm wird.

Mangelnde Konvektion

Hauptverantwortlich für die ansteigende Temperatur im Glashaus ist das Verhindern der thermischen Konvektion. Ohne die Glashülle würden sich Temperaturunterschiede sofort durch eine Luftströmung ausgleichen. In einem dauerhaft gut belüfteten Ge-

wächshaus wäre es nicht wärmer als im Freien. Je nach Sonneneinstrahlung müssen dafür aber großflächige Öffnungen vorhanden sein, um einen schnellen Austausch und Ausgleich zu gewährleisten – ein schmaler Spalt reicht nicht aus.

In modernen Großgärtnereien wird die Belüftung gezielt gesteuert, um im Gewächshaus den optimalen Temperaturbereich für die Pflanzen zu erreichen. Außerdem sorgt ein geregelter Luftaustausch dafür, die Luftfeuchtigkeit zu kontrollieren und das Ausbreiten von Schädlingen, Fäulnis oder Pilzen zu verhindern. Während die Seitenwände meist aus herkömmlichem Fensterglas bestehen, kommen für das Dach spezielle Acrylgläser zum Einsatz. Diese sind hagelsicher, können isolierend wirken und für UV-Licht durchlässig sein, um eine möglichst natürliche Lichtzusammensetzung im Gewächshaus zu gewährleisten. Außerdem streuen sie das Licht stärker als Fensterglas und vermeiden so, dass einzelne Pflanzen durch einen Lupeneffekt verbrennen. Um ganzjährige Ernten zu garantieren oder auch in unseren Breiten exotische Pflanzen wie Orchideen und Kakteen zu kultivieren, braucht selbst ein Gewächshaus eine Heizung.

Den Glähauseffekt durch unterdrückte Konvektion sollte man nicht mit dem Treibhauseffekt in unserer

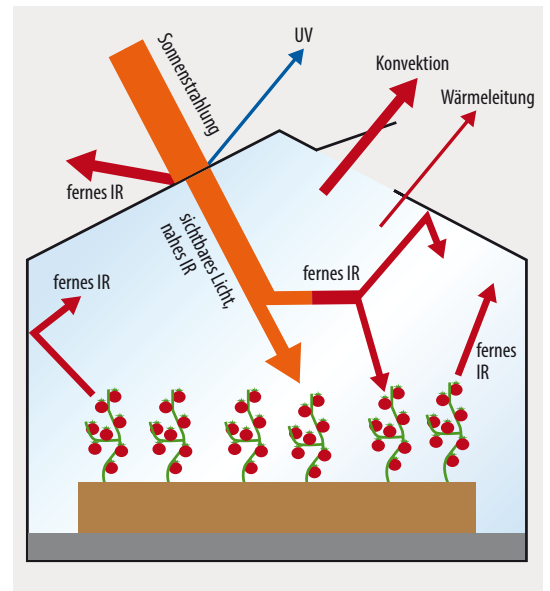
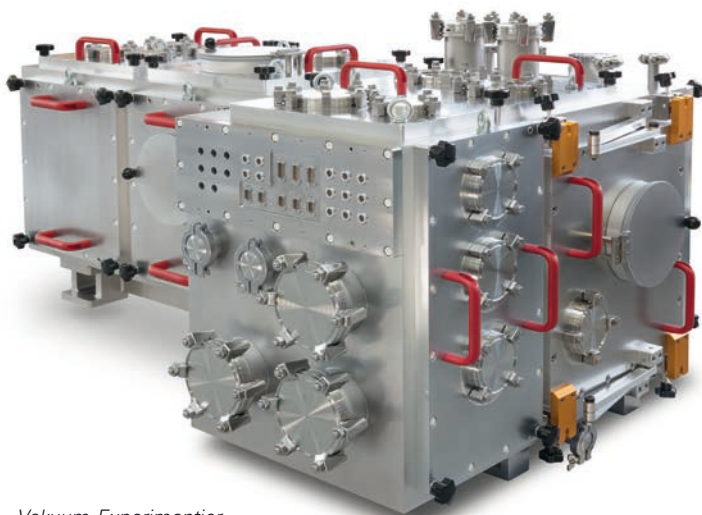


Abb. 1 Der sichtbare Teil der Sonnenstrahlung gelangt ins Glashaus, wird dort absorbiert und als Infrarotstrahlung wieder emittiert. Blockiert man nun den Wärmetransport durch Konvektion nach außen, erwärmt sich der Innenraum.

Atmosphäre verwechseln. Dabei absorbieren die Moleküle der Treibhausgase Wärmestrahlung und geben sie wieder ab. Der natürliche Treibhauseffekt sorgt auf der Erde für eine durchschnittliche Temperatur von etwa +15 °C, ein behaglicher Wert im Vergleich zu den berechneten -18 °C ohne Atmosphäre. Beide Effekte führen also zu einer Erwärmung, aber die physikalischen Prozesse tragen ganz unterschiedlich dazu bei.

Vakuumtechnik



Vakuum-Experimentierkammer für den PSI-Röntgenlaser SwissFEL/ALVRA-Gruppe



**Innovativ und intelligent.
Präzise und produktiv.
Zuverlässig und zukunftsweisend.**

PINK, der Weltmarktführer für vakuumtechnische Sonderanlagen, produziert seit rund 30 Jahren Anlagen und Systeme nach Kundenanforderung. Zum umfassenden Produktspektrum zählen u.a. UHV-Systeme für Linearbeschleuniger, Ionenstrahl-Therapieanlagen, Dichtheitsprüfanlagen und Hochvakuum-Lötöfen.

Führende internationale Technologieunternehmen, u.a. aus der Halbleiter- und Elektronikindustrie, der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt sowie der Wissenschaft und Forschung vertrauen auf die innovativen Produkte des Familienunternehmens aus Wertheim.