

# Rückgewinnung und Nutzung von Überschuwärme aus Gewächshäusern

Dr.-Ing. K. Bathke/Dipl.-Ing. R. Hamann  
 Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock der AdL der DDR

## 1. Allgemeine Aspekte

Die jährliche Energiemenge der Globalstrahlung (direktes und diffuses Sonnenlicht) in Mitteleuropa beträgt etwa  $1000 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$  bzw.  $36 \text{ Tj/ha} \cdot \text{a}$ . Mit dieser Energie könnte theoretisch mit Hilfe des Treibhauseffekts ein Gewächshaus ganzjährig von Januar bis Dezember optimal mit Wärme versorgt werden. In Wirklichkeit beträgt der Anteil der Strahlungswärme an der Jahresenergiebilanz eines beheizten Gewächshauses aber höchstens 18 bis 20%. Etwa 50 bis 60% der Energie der Globalstrahlung gehen infolge Reflexion, Absorption und anderer Prozesse für die Nutzung verloren. Weitere 20 bis 30% – das sind 200 bis 300  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$  – müssen zur Einhaltung maximal zulässiger Innentemperaturen ( $< 30^\circ\text{C}$ ) in den Übergangs- und Sommermonaten als Überschuwärme aus dem Gewächshaus abgeführt werden, obwohl diese Wärme zur Gewächshausbeheizung in den Nachtstunden oder im Winter wieder benötigt wird. Dazu muß sie aber aus dem Gewächshaus durch Kühlung zurückgewonnen, gegebenenfalls auf ein höheres Temperaturniveau gehoben, gespeichert und bei Bedarf zurückgeführt werden.

Bezüglich der Wärmespeicherung kommt aus ökonomischen Erwägungen gegenwärtig nur der Kurzzeit-, d. h. der Tag-/Nachtspeicherung Bedeutung zu. Mit Kurzzeitspeichern kann aber niemals die gesamte Überschuwärme des Jahres (200 bis 300  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ), sondern höchstens ein Betrag von 100  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$  genutzt werden.

Aufgrund der hohen Investitionen für derartige Wärmerückgewinnungsanlagen mit einem Anteil von rd. 50% für den Wärmespeicher liegt der gesamtgesellschaftliche Aufwand zur Nutzung der Überschuwärme für die Gewächshausbeheizung noch mindestens doppelt so hoch wie bei der konventionellen Wärmeversorgung.

Als ökonomisch günstiger wird die Nutzung der Überschuwärme für Nebenprozesse, so z. B. für die Erwärmung von Gießwasser oder Nährstofflösungen oder als Wärmequelle bei der Brauchwassererzeugung, beurteilt. Besonders vorteilhaft bei der Gießwassererwärmung sind

- das erforderliche niedrige Temperaturniveau
- die bessere Anpassung von Wärmebedarf und -angebot
- geringere Investitionskosten.

Nachfolgend soll über Ergebnisse zur Wärmerückgewinnung berichtet werden, die an einer Experimentalanlage in der LPG Frühgemüsezentrum „Wilhelm Wolff“ Dresden ermittelt wurden.

## 2. Experimentalanlage zur Rückgewinnung von Überschuwärme aus einem Thermogewächshaus

### 2.1. Aufbau der Anlage (Bild 1)

Im Dachraum eines thermoverglasten Gewächshauses mit einer Grundfläche von  $1000 \text{ m}^2$  sind entsprechend einer Konzeption des VEB ILKA Dresden als Wärmerückgewinnungssystem 5 Rippenrohre (RR  $76 \times 132 \times 12$ ) mit einer Gesamtkühlfläche  $A_K = 1100 \text{ m}^2$  über die Hauslänge angeordnet. Das Kühlwasser (Brunnenwasser  $10^\circ\text{C}$ ) aus einem  $2 \times 10\text{-m}^3$ -Kaltwasserspeicher durchströmt das Rippenrohrregister und gelangt erwärmt in den Speicher zurück. Diese Wärme kann man entweder direkt nutzen oder sie wird dem Kaltwasserspeicher mit einer Wärmepumpe (KWS125) entzogen, auf ein höheres Temperaturniveau (z. B.  $35$  bis  $40^\circ\text{C}$ ) gebracht und in einem Warmwasserspeicher ( $100 \text{ m}^3$ ) für die Beheizung des Gewächshauses in der Nacht bereitgestellt. Da an den Kühlflächen Feuchtigkeit kondensiert, empfiehlt sich das Anbringen schmaler

Rinnen (etwa 5 cm breit) unterhalb der Rippenrohre zum Auffangen von Tropfwasser.

### 2.2. Ergebnisse zur Kühlleistung und zum erreichbaren Wärmegewinn

Die Kühlleistung des Rippenrohrregisters entspricht der aus dem Gewächshaus gewonnenen Wärme. Sie ist von der Austauschoberfläche  $A_K$  und der Temperaturdifferenz zwischen Gewächshausluft  $t_k$  und dem Kühlwasser im Rippenrohr  $t_K$  abhängig. Als wichtige Kenngröße des Systems ergab sich aus Meßreihen an 12 Tagen von April bis Juli 1985 eine mittlere spezifische Kühlleistung von

$$q_K = 5,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Daraus ergibt sich ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient

$$k_K = 5,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Das bedeutet z. B., daß mit Wasser von  $t_K = 10^\circ\text{C}$  bei einer Lufttemperatur  $t_k = 25^\circ\text{C}$ , wie sie zwischen April und September im Gewächshaus trotz Kühlung erreicht bzw. überschritten wird, die Kühlleistung  $\dot{Q}_K$  des RR-Registers 96 kW betragen würde. Das sind vergleichsweise mehr als 40% der Anschlussleistung des installierten Heizungssystems.

Die ermittelte Kühlleistung lag um rd. 80% über dem Projektwert. Ursache dafür ist die Verbesserung des Wärmeübergangs am Rippenrohr durch Kondensation der feuchten Luft aus dem Gewächshaus an der Kühlfläche und durch die Absorberwirkung der Rippenrohre. Eine direkte Ermittlung des langzeitigen Wärmegewinns aus dem Gewächshaus war aufgrund des Realisierungsstands der Versuchsanlage nicht möglich. Er wurde aus den experimentell ermittelten energetischen Kennwerten des Systems und des Gewächshauses und den mittleren meteorologischen Daten errechnet. Der nutzbare Wärmegewinn ist außerdem vom Anwendungsfall abhängig.

Als Richtwerte für mögliche Kühlleistungen und den erreichbaren Wärmegewinn (bei  $t_K = 10 \dots 12^\circ\text{C}$ ), bezogen auf die Austauschoberfläche des Kühlregisters, ergaben sich die in Tafel 1 angegebenen mittleren Tageswerte (8 h/d).

Dabei wurde bereits berücksichtigt, daß in den Sommermonaten das Gewächshaus zusätzlich belüftet wird ( $t_1 \leq 25^\circ\text{C}$ ).

Über das Jahr aufsummiert lassen sich damit

$$q_K = 110 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a} = 0,4 \text{ GJ/m}^2 \cdot \text{a}$$

als Wärme zurückgewinnen, von denen für die Beheizung des Thermogewächshauses in den Nachtstunden rd.  $65 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$  ( $\approx 22\%$  der Gebrauchsenergie des Jahres) genutzt werden könnten.

Bei der Nutzung der Überschuwärme z. B. zur Gießwassererwärmung interessieren neben der rückgewinnbaren Wärme besonders die erreichbaren Wassertemperaturen und -mengen. Für Brunnenwasser von  $10^\circ\text{C}$  sind die jahreszeitlich bedingten Abhängigkeiten

Tafel 1. Richtwerte für spezifische (auf die Austauschoberfläche bezogene) Kühlleistung  $q_K$  und erreichbaren Wärmegewinn  $q_K$

Zeitraum	$t_k$ $^\circ\text{C}$	$t_K$ $^\circ\text{C}$	$q_K$ $\text{W/m}^2$	$q_K$ $\text{Wh/m}^2 \cdot \text{d}$
März/Oktober	6...12	17...19	36	290
April bis September	11...21	22...25	62...67	500...540

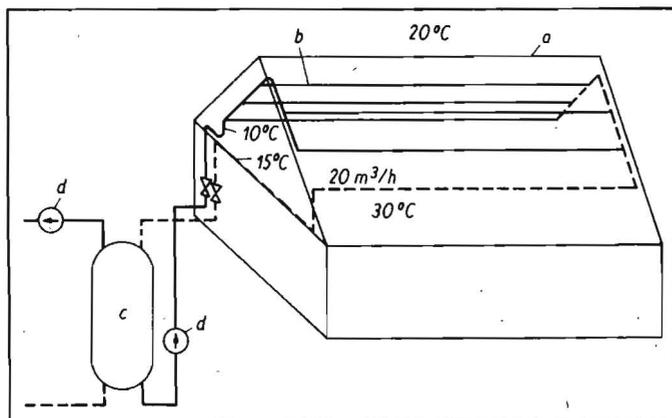


Bild 1  
 Technologisches Schema der Wärmerückgewinnung mit gekühlten Rippenrohren in einem Thermogewächshaus;  
 a Gewächshaus ( $1000 \text{ m}^2$ ),  
 b Rippenrohrregister (5 RR  $76 \times 132 \times 12$ ),  
 c Speicherbehälter (z. B.  $20 \text{ m}^3$ ),  
 d Umwälzpumpen (z. B. USP80)

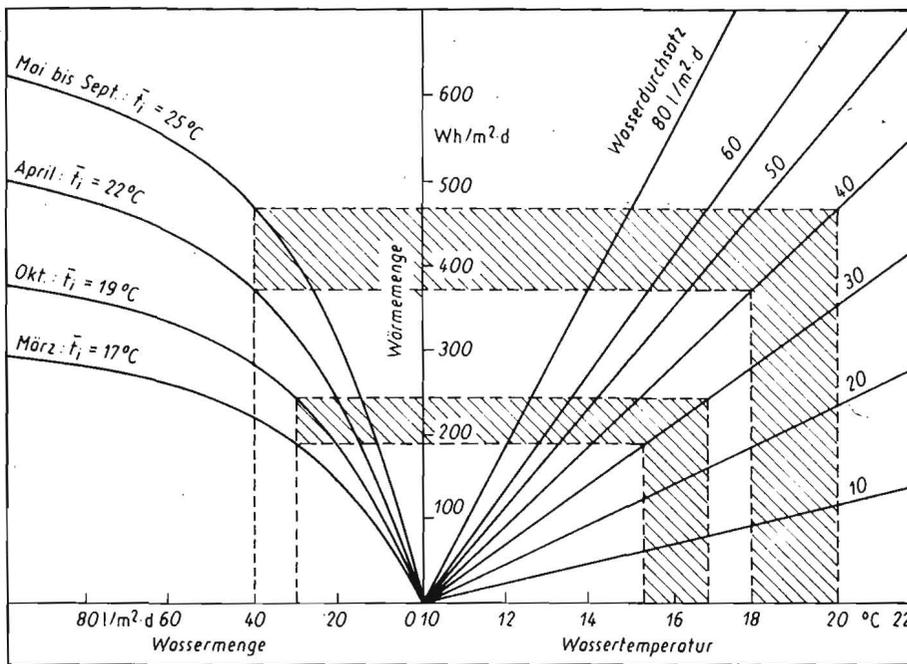


Bild 2. Mit gekühlten Rippenrohren in einem Thermogewächshaus erreichbare Wassertemperaturen und -mengen

im Bild 2 als mittlere Tageswerte, bezogen auf die Austauschoberfläche, dargestellt. Daraus wird deutlich, daß mit sinkendem Wasserdurchsatz durch das Kühlregister zwar die rückgewinnbare Wärme abnimmt, aber andererseits die Temperaturerhöhung des Wassers steigt. So könnte man z. B. im April je nach Anwendungsfall  $80 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$  auf rd.  $15^\circ\text{C}$  ( $470 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{d}$ ) oder  $20 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$  auf rd.  $20^\circ\text{C}$  ( $240 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{d}$ ) erwärmen.

Für die Erwärmung von Brunnenwasser mit Hilfe von Rippenrohren oder ähnlichen Kühlregistern in Gewächshäusern lassen sich folgende Richtwerte angeben:

- April bis September:  
rd.  $40 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$  auf  $18$  bis  $20^\circ\text{C}$
- Oktober/März:  
rd.  $30 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$  auf  $15$  bis  $17^\circ\text{C}$ .

Diese Wassermengen würden mehr als dem 10fachen Wasserbedarf je Anbaufläche des Gewächshauses z. B. bei Gurken entsprechen.

### 3. Ökonomischer Nutzen und Schlußfolgerungen für die praktische Anwendung

Aufwand und Nutzen bei der Rückgewinnung der Überschusswärme aus Gewächshäusern hängen wesentlich von der jeweiligen Nutzungsvariante ab. So würden sich z. B. für die Wärmerückgewinnung zur Beheizung eines  $1000\text{-m}^2$ -Thermogewächshauses von Mitte April bis Oktober für Rippenrohrregister, Wärmepumpe und Speicher Investitionskosten von mindestens  $160000 \text{ M}$  ergeben. Bei einem mit diesem System erreichbaren Wärmegewinn von  $340 \text{ GJ/a}$  (einschließlich Wärmepumpe) betrüge der volkswirtschaftliche Aufwand  $62 \text{ M/GJ}$ . Bei der Anwendung der Wärmerückgewinnung zur Gießwassererwärmung wären die Investitionskosten bei gleicher Kühlfläche (rd.  $1000 \text{ m}^2$ ) nur halb so hoch, und es könnte ein größerer Anteil der Wärme für mehrere Gewächshäuser genutzt werden.

Der volkswirtschaftliche Aufwand läge dann nur noch bei rd.  $16 \text{ M/GJ}$  und damit sogar noch unter dem für konventionelle Energieträger (Fernwärme). Allerdings ist der Anteil der Gießwassererwärmung am Gesamtenergiebedarf eines Betriebs gegenwärtig noch sehr gering.

Forschungsseitig wird deshalb sowohl national als auch international der Schwerpunkt auf eine energieökonomisch effektive Rückgewinnung der Überschusswärme für den Hauptanwendungsprozeß – Beheizung des Gewächshauses – gelegt. Dazu könnte z. B. die Entwicklung eines effektiveren, im Gewächshaus installierten Speichers im Niedertemperaturbereich, der gleichzeitig als Heizfläche wirkt, beitragen.

Die Nutzung der Überschusswärme aus Gewächshäusern für die Gießwassererwärmung bietet sich bereits jetzt als eine energieökonomisch günstige Nutzungsvariante an. Das Wärmerückgewinnungssystem mit Rippenrohren oder ähnlichen Kühlregistern im Dachraum hat sich grundsätzlich als geeignet erwiesen. Der Wärmeübergang an der Kühlfläche wird durch die auftretende Kondensation erheblich vergrößert. Temperatur- und Feuchteprofil über der Gewächshaushöhe wird günstig beeinflusst. Die Rippenrohre bewirken jedoch eine geringfügige Lichtminderung – im vorliegenden Fall unter  $5\%$ . Prinzipiell lassen sie sich durch Luftheizer z. B. vom Typ LRP25 in äquivalenter Anzahl ersetzen. Allerdings ist dann ein zusätzlicher Elektroenergiebedarf für die Luftumwälzung erforderlich.

Die künftige breitere Anwendung von Verfahren und Lösungen zur Rückgewinnung und Nutzung von Überschusswärme aus Gewächshäusern stellt eine weitere, ergänzende Möglichkeit zur Einsparung oder Substitution wertvoller konventioneller Primärenergie dar. Die Hauptwege einer energieeffektiven Pflanzenproduktion in Gewächshäusern richten sich auch weiterhin auf pflanzenbaulich-technologische und technische Maßnahmen zur Reduzierung des ertragsspezifischen Energieaufwands und zur Nutzung von Anfallenergie in der Gewächshauswirtschaft. A 5024

## Neuerungen und Erfindungen

### Ergebnisse der selbständigen wissenschaftlichen Arbeit der Studenten der Ingenieurschule für Landtechnik Nordhausen

Im Studienjahr 1986/87 befaßten sich alle Studenten des Direktstudiums an der Ingenieurschule für Landtechnik Nordhausen außerhalb der Lehrveranstaltungen mit praxis- und ausbildungsorientierten Themen. Dazu standen rd. 5 Wochen, verteilt über das gesamte Studienjahr, zur Verfügung. Im Mittelpunkt stand die Arbeit von 6 Jugendforscherkollektiven, die auf der Grundlage des Pflichtenheftes Themen aus dem Planteil Wissenschaft und Technik von Praxispartnern bearbeiteten. Auf der Bereichs-MMM im April 1987 wurden im Rahmen der Studententage an der Ingenieurschule für Landtechnik

48 Exponate ausgestellt. Nachfolgend soll über einige Ergebnisse berichtet werden.

#### Energiebilanz am Thermodieselmotor

Unter dem Aspekt der Verknappung der Energieressourcen erhebt sich die Forderung, die Energieumwandlungsprozesse hinsichtlich ihres Primärausnutzungsgrades zu optimieren. Eine Möglichkeit ist die Nutzung der bei vielen Umwandlungen anfallenden Sekundärenergie in Form von Wärme. Der Effekt wird besonders bei solchen Verfahren bemerkbar, wo bisher der Anteil der „Verlustwärme“ größer ist als die Nutzenergie.

Das trifft u. a. für Verbrennungsmotoren zu. Möglichkeiten der Nutzung der Sekundärenergie sind folgende:

- für Heizzwecke beim Betrieb von stationären Verbrennungsmotoren
- weitere Aufheizung des Kühlwassers beim Betrieb von Wärmepumpen
- Erzeugung von Wärme- oder Elektroenergie in der Nähe von Biogas-, Klärgas- oder Deponiegasanlagen
- Heizung von Fahrerkabinen in Baumaschinen
- Heizung von Bussen und Triebwagen anstelle der Heizung mit VK oder DK.