

# Gewächshausheizung mit Sonnenenergie

Von Christian von Zabeltitz, Hannover\*)

DK 635:631.344.5:697.7

Die Solarenergie läßt sich für die Gewächshausheizung zur Substitution fossiler Energieträger einsetzen. In Mitteleuropa ist so ein Anteil von etwa 15–25 % der Jahresheizenergie zu decken, in Südeuropa bis zu 100 %. Dafür sind aber in jedem Fall Zusatzeinrichtungen notwendig. Die möglichen Solarheizsysteme werden beschrieben. Für das einfachste System "Gewächshaus als Kollektor" sind Modellrechnungen für die Auslegung der Anlagenkomponente durchgeführt worden. Ergebnisse für Klimaverhältnisse in Deutschland und Kreta werden beschrieben.

## 1. Einleitung

Im nördlichen Teil von Europa wird im Sommer und Winter Energie für die Gewächshausheizung benötigt. Der Verbrauch von fossilen Energieträgern für die Gewächshausheizung muß so weit als irgend möglich durch Maßnahmen zur Energieeinsparung und durch alternative Energiequellen verringert werden, wenn der Gartenbau existenzfähig bleiben soll.

In den Ländern des Mittelmeerraumes wird in vielen Regionen im Winterhalbjahr trotz kalter Nächte überhaupt nicht mehr geheizt. Dies kann erhebliche Auswirkungen auf Qualität, Ertrag und Kulturzeit der Gartenbauprodukte haben. Beispielsweise bleibt bei Tomaten ein Ertrag aus, wenn zu bestimmten Zeitpunkten der Blütenbildung bestimmte Temperaturen unterschritten werden. Hier kann eine geringe Heizleistung in Zeiten des Wärmedefizits eine wesentliche Verbesserung bringen. Die Nutzung der Sonnenenergie für diese Heizung ist eine Möglichkeit, die Pflanzenproduktion in Gewächshäusern vor allem in südlichen Ländern zu erhalten und zu verbessern.

## 2. Grundprinzipien

Für die erweiterte Nutzung der Sonnenenergie zur Gewächshausheizung müssen vor allem zwei Teilprobleme gelöst werden:

1. Die Umwandlung der Energie der Globalstrahlung in Wärmeenergie.
2. Die Speicherung der Wärmeenergie für die Heizung in der Nacht.

Die Möglichkeiten zur Umwandlung der Energie der Globalstrahlung in Wärmeenergie und zu deren Speicherung lassen sich auf folgende Grundprinzipien zurückführen, Bild 1:

1. Separate Sonnenkollektoren außerhalb des Gewächshauses (Luft- oder Wasserkollektoren) dienen zum Aufwärmen des Wärmespeichers, Bild 1a.
2. Sonnenkollektoren, die in die Gewächshauskonstruktion integriert sind, werden zum Aufheizen von Feststoff- oder Flüssigkeitsspeichern eingesetzt. Hierzu gehören Luft- oder

Wasserkollektoren im Dachraum, Bild 1b und 1c, sowie flüssigkeitsdurchströmte Gewächshausdächer. Bei letzteren wird eine Filterflüssigkeit verwendet, die die Strahlung im sichtbaren Bereich des Spektrums weitgehend durchläßt, im Bereich des nahen Infrarot aber absorbiert.

3. Die Verwendung des Gewächshauses selbst als Kollektor. Durch den Gewächshauseffekt wird ein großer Teil der Energie der Globalstrahlung, die in das Gewächshaus kommt, in Wärmeenergie umgewandelt. Ein Teil dieser Energie kann über einen Speicher für die Heizung genutzt werden, Bild 1d.

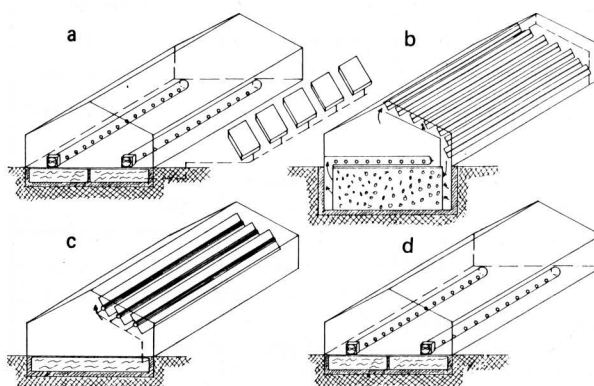


Bild 1. Prinzipielle Möglichkeiten zur Nutzung der Sonnenenergie für die Gewächshausheizung mit Speicherung.

- a Separate Kollektoren außerhalb des Gewächshauses
- b Luftkollektoren im Gewächshaus
- c Wasserkollektoren im Gewächshaus
- d Gewächshaus gleich Kollektor

## 3. Ergebnisse für die Bundesrepublik

In Hannover wurden eingehende Untersuchungen zu dem System nach Grundprinzip 3 "Gewächshaus als Kollektor" durchgeführt. Bild 2 zeigt das Prinzip des Solargewächshauses in Hannover. Am Tag wird kaltes Wasser mit 2–6 °C aus einem Kaltwasserspeicher durch zwei Luft-Wasser-Wärmetauscher im Gewächshaus gepumpt. Die Gewächshausluft, die durch den Gewächshauseffekt erwärmt ist, wird abgekühlt, indem die Wärmeenergie an das Wasser abgegeben wird. Dadurch wird der Kaltwasserspeicher am Tag auf 18 bis 24 °C angewärmt. Das Gewächshaus selbst bleibt geschlossen. Zwischen dem Kalt- und Warmwasserspeicher befindet sich eine Wärmepumpe, die die Wärmeenergie im Warmwasserspeicher auf ein Temperaturniveau anhebt, das für die Heizung in der Nacht ausreichend ist. Da die Wärmepumpe unabhängig von der Klimaregelung im Gewächshaus (Heizen und Kühlen) läuft, kann die Betriebszeit im Auslegungsfall 24 Stunden betragen. Die Leistung der Wärmepumpe ist daher relativ gering. Die Heizung in der Nacht erfolgt aus dem Warmwasserspeicher durch dieselben Wärmetauscher im Gewächshaus. Im Warmwasserspeicher ist eine Zusatzheizung für den Winter installiert.

Die Untersuchungen in Hannover sowie die Studie für Kreta wurden vom Bundesministerium für Forschung und Technologie unterstützt.

\*) Prof. Dr.-Ing. Chr. von Zabeltitz ist Leiter des Instituts für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft der Universität Hannover.

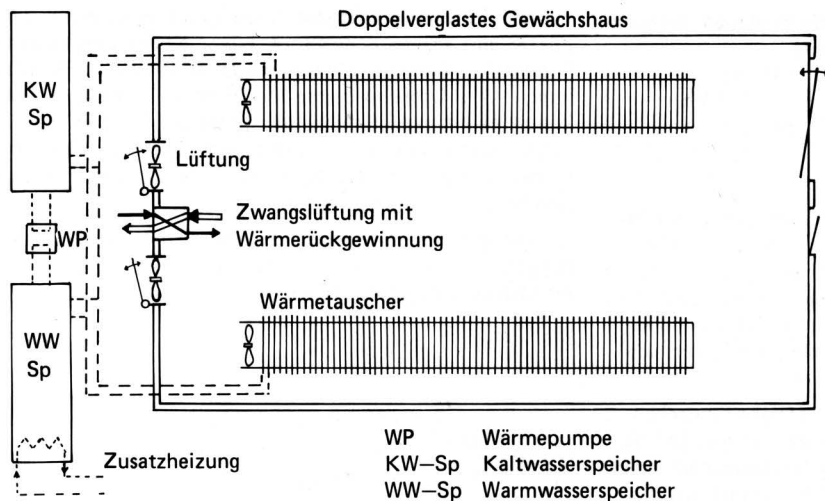


Bild 2. Prinzip des Systems "Gewächshaus gleich Kollektor".

Mit dem System sind mehrjährige Messungen durchgeführt worden. Auf den Ergebnissen aufbauend, wurde ein theoretisches Modell erstellt [1], mit dem allgemeingültige Auslegungsdaten für eine solche Solaranlage an verschiedenen Standorten berechnet wurden. Für die Berechnung wurden Klimadaten der letzten 20 Jahre verwendet.

In Bild 3 sind für den Jahresablauf die erforderliche tägliche Heizenergie und die täglich aus dem Gewächshaus abspeicherbare Solarenergie für ein Gewächshaus mit Isolierverglasung am Standort Hannover dargestellt. Die Innentemperatur beträgt 16 °C, der Beginn der Abspeicherung liegt bei 18 °C. Die dargestellten Energiewerte sind auf 1 m<sup>2</sup> Gewächshausfläche bezogen. Bei der aus dem Gewächshaus abspeicherbaren Energie ergeben sich im Sommer große Überschüsse, die nur bei einer Langzeitspeicherung Sommer – Winter genutzt werden können. Für die

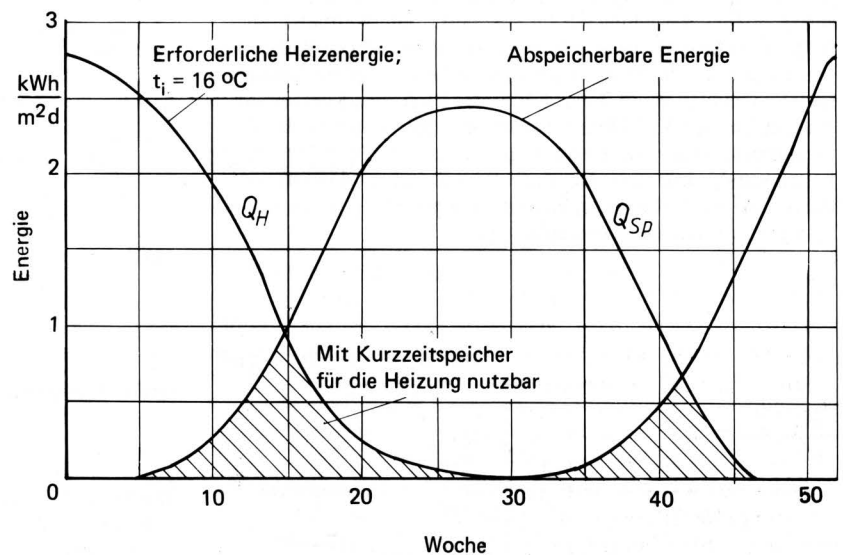


Bild 3. Im Jahresverlauf täglich erforderliche Heizenergie und abspeicherbare Energie für ein Gewächshaus mit Isolierverglasung bei 16 °C Innentemperatur am Standort Hannover.

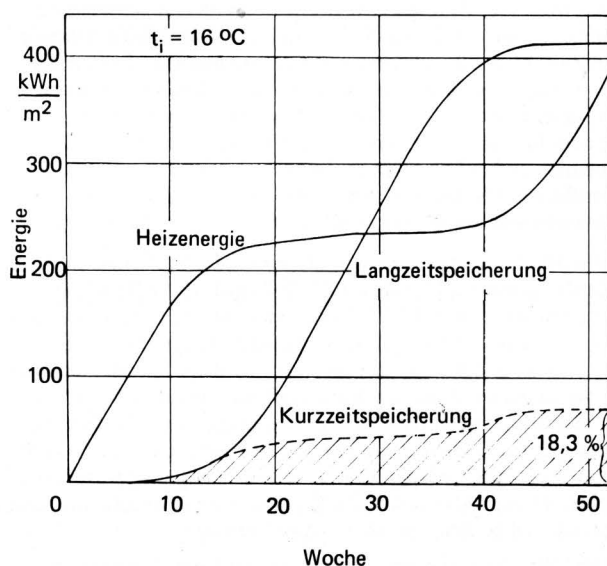


Bild 4. Summenkurven der erforderlichen Heizenergie sowie der aus dem Gewächshaus abspeicherbaren Energie bei Langzeit- und Kurzzeitspeicherung.

Langzeitspeicherung werden aber sehr große Speichervolumen benötigt. Bei einer Kurzzeitspeicherung Tag – Nacht ist von der abspeicherbaren Solarenergie der schraffierte Anteil unter den Kurven  $Q_H$  und  $Q_{SP}$  für die Heizung zu verwenden. Man kann das Gewächshaus von Mitte April bis Mitte Oktober nur mit Sonnenenergie beheizen. Eine teilweise Beheizung erfolgt von Februar bis November.

Die Energiemengen, die sich für bestimmte Zeiten im Jahr und für das ganze Jahr ergeben, sind aus den Summenkurven in Bild 4 zu entnehmen. Dargestellt sind die von Januar bis Dezember laufend aufsummierte Heizenergie sowie die insgesamt abspeicherbare und bei Kurzzeitspeicherung Tag – Nacht aus dem Gewächshaus abspeicherbare Solarenergie. Bei der 52. Woche sind die Jahresenergiemengen abzulesen. Die Jahresheizenergie beträgt, auf die Gewächshausgrundfläche bezogen, 388 kWh/m<sup>2</sup>. Davon sind bei Kurzzeitspeicherung Tag – Nacht ohne Einschränkung durch Anlagenkomponenten 71 kWh/m<sup>2</sup> aus Solarenergie zu decken. Dies entspricht einem Anteil von 18,3 %. Dieser prozentuale Anteil läßt sich natürlich wesentlich verbessern, wenn im Winter weniger Energie benötigt wird. Wenn eine Langzeitspeicherung Sommer – Winter möglich wäre, ließe sich die gesamte Heizenergie durch Solarenergie decken.

Aus den Kurven sind auch Teilzeitbeträge zu entnehmen. Beispielsweise gilt für die Zeitspanne 12. bis 15. Woche:

Erforderliche Heizenergie:  $(211 - 190) \text{ kWh/m}^2 = 21 \text{ kWh/m}^2$   
 Kurzzeitspeicherung:  $(23 - 11) \text{ kWh/m}^2 = 12 \text{ kWh/m}^2$   
 Anteil der Solarenergie: 57 %.

Die in Bild 3 und 4 dargestellten Werte für die aus dem Gewächshaus abspeicherbare Energie sind als obere Grenzwerte bei überdimensionierter Auslegung von Speicher und Wärmepumpe zu betrachten. Die Auslegung der Anlagenkomponenten Wärmetauscher, Speicher und Wärmepumpe hat wesentlichen Einfluß auf die gewinnbaren Energieanteile. Die Anlagenbauteile beeinflussen sich gegenseitig.

In Bild 5 ist für Kurzzeitspeicherung die Abhängigkeit zwischen der abspeicherbaren Energie, der Speichergröße (bezogen auf die Gewächshausfläche) und der Wärmeleistung der Wärmepumpe auf der Warmwasserseite (ebenfalls bezogen auf die Gewächshausfläche) dargestellt. Gleichzeitig ist die mit der Wärmepumpe erzielbare Leistungszahl als Maß für den elektrischen Energieverbrauch eingetragen. Die Darstellung gilt für eine bestimmte Wärmetauschergröße. Bei einer warmwasserseitigen flächenbezogenen Wärmepumpenleistung von  $20 \text{ W/m}^2$  und einem flächenbezogenen Gesamtspeichervolumen von  $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$  lassen sich für die Kurzzeitspeicherung im Jahr  $50,5 \text{ kWh/m}^2$  gewinnen. Bei Steigerung der Wärmepumpenleistung wächst die abspeicherbare Energie noch an, die Leistungszahl sinkt aber. Oberhalb eines Speichervolumens von  $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$  steigt die abspeicherbare Energie im Vergleich zur Volumenvergrößerung nur geringfügig an.

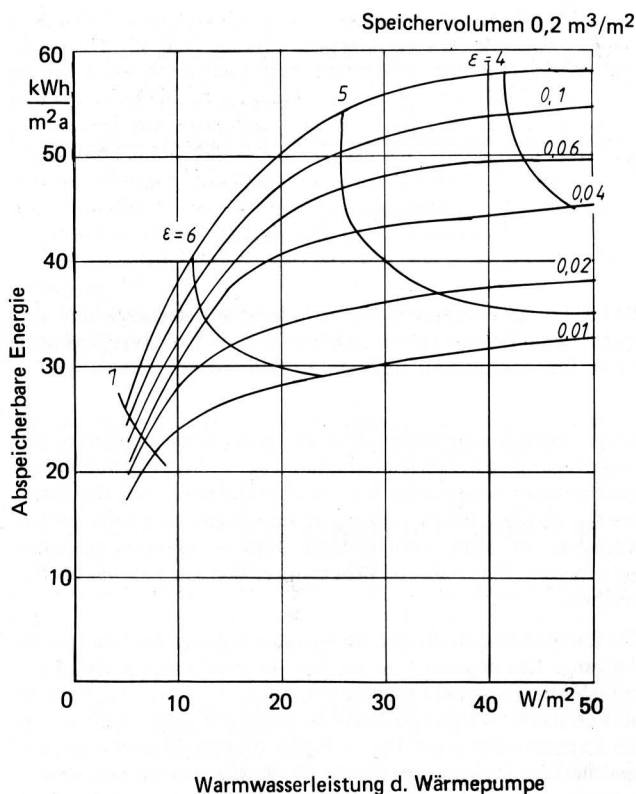


Bild 5. Abhängigkeit zwischen abspeicherbarer Energie, Warmwasserleistung der Wärmepumpe, Leistungszahl und Speichervolumen bei Kurzzeitspeicherung und  $18^\circ\text{C}$  Innentemperatur (Leistung der Wärmepumpe und Speichervolumen sind auf Gewächshausgrundfläche bezogen).

Für eine Kurzzeitspeicherung ist ein Speichervolumen von  $0,2 \text{ m}^3$  pro  $\text{m}^2$  eine angemessene Größe. Für eine Langzeitspeicherung Sommer – Winter würde man ein flächenbezogenes Speichervolumen in der Größenordnung  $15-20 \text{ m}^3/\text{m}^2$  benötigen. Daher kommt eine Langzeitspeicherung Sommer – Winter für den Produktionsgartenbau kaum in Frage, wenn Speicher gebaut werden müssen. Entsprechende Diagramme für die Langzeitspeicherung sind bei Damrath [1] enthalten.

Um die abspeicherbare Energiemenge zu erhöhen, wurde in Ergänzung zu dem System "Gewächshaus als Kollektor" ein sogenannter Energieturm gebaut, Bild 6.

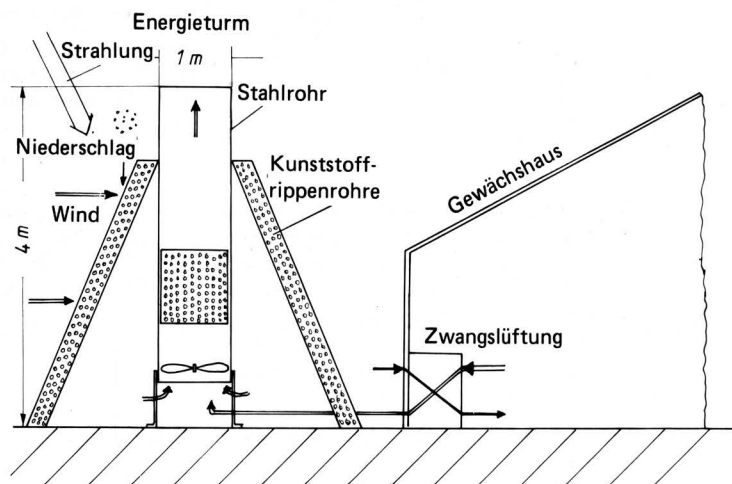
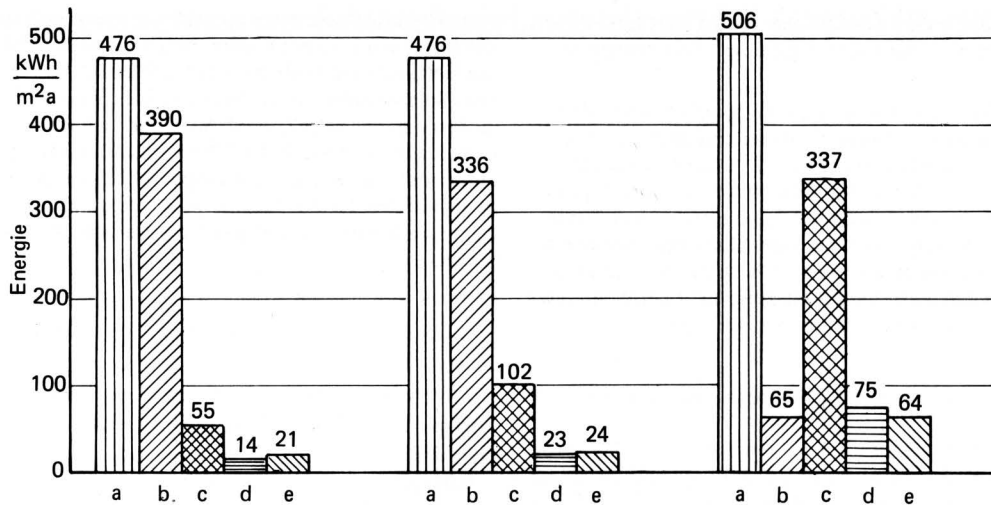


Bild 6. Energieturm zum Sammeln abspeicherbarer Energie.

Die Versuchsausführung des Energieturmes besteht aus einem 4 m hohen Blechrohr mit 1 m Durchmesser. An der Außenseite des Turmes sind auf der Seilverspannung drei Lagen von Kunststoffrippenrohren um den Turm herumgewickelt. Die Gesamtlänge beträgt etwa 2500 m, wobei mehrere Stränge von je ca. 250 m parallel geschaltet sind. Im Rohr befindet sich ebenfalls ein gewickelter Strang von Rippenrohren. Durch den Turm strömt Luft entweder durch freie oder Zwangskonvektion. Wenn im Gewächshaus ein Wärmetauscher für Zwangsluftwechsel mit Wärmerückgewinnung zum Zwecke der Regulierung von Feuchte und  $\text{CO}_2$ -Konzentration installiert ist, kann die Abluft ebenfalls durch den Energieturm geleitet werden. Da eine Wärmepumpe vorhanden ist, kann mit dem Energieturm Energie aus Luft, Regen und Solarstrahlung gewonnen und auf ein höheres Temperaturniveau für die Heizung gebracht werden. Die Kunststoffrohre werden mit Wasser aus dem Kaltwasserspeicher durchströmt.

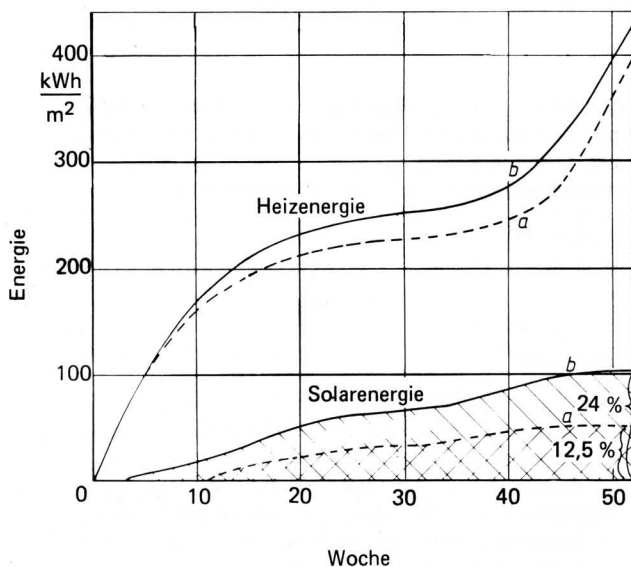
Es wurden die Energieströme in den einzelnen Sektionen des Energieturmes gemessen [2] und mit Hilfe langjähriger Klimadaten eine Energiebilanz erstellt, Bild 7. Verglichen sind die Kurzzeitspeicherung allein aus dem Gewächshaus, die Kurzzeitspeicherung mit Energieturm und die Langzeitspeicherung. Beim Energieturm sind nur die außen angebrachten Kunststoffrohre berücksichtigt. Die aus dem Gewächshaus abspeicherbare Energie von  $55 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (Säule c, linker Bildteil) kann mit drei Energietürmen auf  $102 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  gesteigert werden (Mitte). Bei der Langzeitspeicherung (rechts) ist der Anteil mit  $337 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  sehr viel größer, es werden aber sehr viel größere Speichervolumen benötigt.

In der Versuchsanstalt Bonn-Friesdorf sind Untersuchungen in Gewächshäusern durchgeführt worden, bei denen Luft- und Wasserkollektoren im Dach der Gewächshäuser nach dem Prinzip von Bild 1b und c installiert waren. Bild 8 zeigt Versuchsergebnisse von Eggers [3] aus dem Jahre 1981. Aufgetragen sind wiederum die



**Bild 7.** Einzelposten einer jährlichen Energiebilanz für Gewächshäuser mit Solaranlage; links: Kurzzeitspeicherung ohne Energieturm, Mitte: Kurzzeitspeicherung mit drei Energietürmen, rechts: Langzeitspeicherung.

- a Jährliche Heizenergie einschließlich der Energie für Gebläse und Pumpen
  - b Zusatzheizenergie
  - c Abgespeicherte Energie
  - d Elektrische Energie für die Wärmepumpe
  - e Elektrische Energie für Gebläse und Pumpen
- Auf Gewächshausgrundfläche bezogenes Speichervolumen:  
 Kurzzeitspeicherung: 0,2–0,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Langzeitspeicherung: 12–18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>



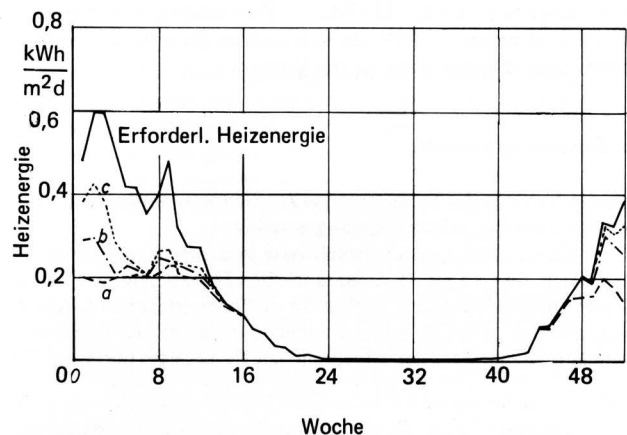
**Bild 8.** Summenkurven der erforderlichen Heizenergie und der abspeicherbaren Energie bei Kurzzeitspeicherung für verschiedene Solarsysteme nach [3].

- a Abspeicherung aus dem Gewächshaus in Schotterspeicher
- b Abspeicherung durch Wasserlamellenkollektoren im südlichen Dachraum

Summenkurven für die erforderliche Heizenergie und die bei Kurzzeitspeicherung abgespeicherte Energie. In einem Gewächshaus wurde (entsprechend Bild 1b) die Warmluft aus dem Gewächshaus abgesaugt und durch einen Schotterspeicher geblasen. Es ist somit das gleiche Prinzip "Gewächshaus gleich Kollektor" eingesetzt wie bei der Versuchsanlage Hannover — allerdings ohne Wärmepumpe. Für das Jahr 1981 ergab sich ein Anteil der Solarenergie an der Heizung von 12,5%. In einem anderen Haus waren Wasserlamellenkollektoren parallel zur südlichen Dachseite installiert. Die Kollektoren sind drehbar. Hier betrug der Anteil der Solarenergie an der gesamten Heizenergie 24%.

#### 4. Ergebnisse für Kreta

Mit dem Simulationsmodell, welches für die Versuchsanlage Hannover entwickelt worden ist, wurden Berechnungen für Foliengewächshäuser unter den Klimaverhältnissen in Kreta angestellt [4]. Es wurde dabei eine Soll-Innentemperatur von 12 °C zugrunde gelegt. Eine Wärmepumpe wurde nicht eingesetzt. Die Heizung in der Nacht erfolgt bei dem Temperaturniveau, welches am Tag bei Abspeicherung aus dem Gewächshaus vorliegt. Bild 9 zeigt mit der ausgezogenen Kurve die für einfachbedachte Foliengewächshäuser erforderliche Heizenergie bei einem Sollwert der Innentemperatur von 12 °C in Kreta. Mit den weiteren Kurven sind die aus dem Gewächshaus abspeicherbaren Energiemengen für verschiedene flächenbezogene Speichervolumen eingezeichnet. Es zeigt sich, daß die erforderliche Heizenergie auch bei großem Speichervolumen nicht über das ganze Jahr aus Solarenergie gedeckt werden kann.



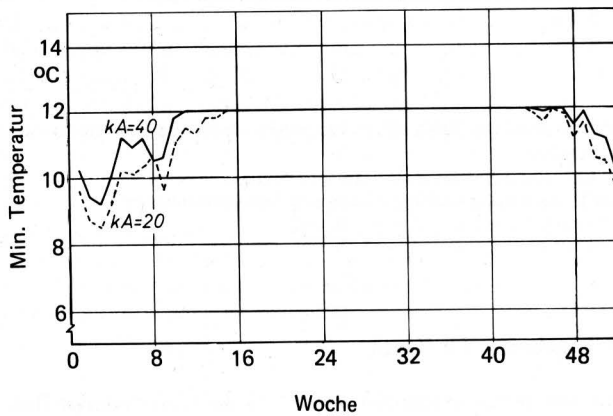
**Bild 9.** Täglich erforderliche Heizenergie und abspeicherbare Energie in einem Foliengewächshaus mit 12 °C Innentemperatur in Kreta bei verschiedenem Speichervolumen.

- Auf Gewächshausgrundfläche bezogenes Speichervolumen
- a 0,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>
  - b 0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>
  - c 1,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>



Der Anteil der Solarenergie an der Heizenergie ist aber relativ hoch. Bei  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$  sind 67 % der Heizenergie durch Solarenergie zu decken.

Es stellt sich nun die Frage, wie weit die Temperatur in den Zeiten im Gewächshaus absinkt, in denen die Wärmeerzeugung aus Solarenergie nicht für die volle Beheizung auf  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  Innentemperatur ausreicht. Diese Verhältnisse sind in **Bild 10** für zwei verschiedene Wärmetauschergrößen, gekennzeichnet durch verschiedene Werte für das Produkt  $k \cdot A$ , dargestellt. Die Gewächshausinnentemperatur sinkt bei einer Solltemperatur von  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  in den Wintermonaten, in denen die Solarenergie für die Heizung nicht ausreicht, nicht unter  $8,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ab.



**Bild 10.** Auftretende Minimaltemperaturen bei Solarheizung von Gewächshäusern in Kreta mit einer Soll-Innentemperatur von  $12 \text{ }^\circ\text{C}$ ; zwei verschiedene Wärmetauscher.

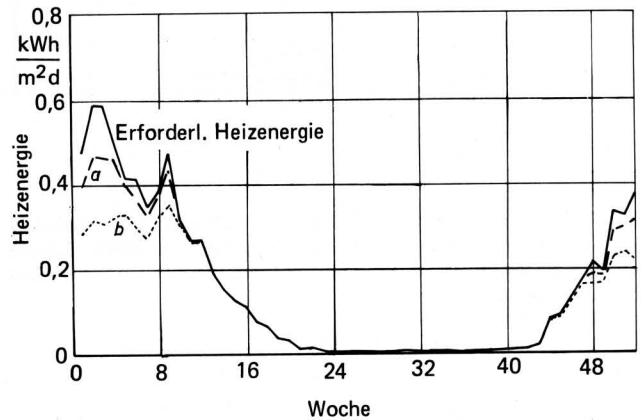
Zum Vergleich mit dem Wärmeeintzug aus dem Gewächshaus selbst ist in **Bild 11** die über Kollektoren außerhalb des Gewächshauses nutzbare Solar-Wärmeenergie dargestellt. Die Kollektorflächen werden auch hier auf die Gewächshausgrundfläche bezogen. Bei einer bezogenen Kollektorfläche von  $0,25 \text{ m}^2/\text{m}^2$  beträgt der Anteil der Solarenergie an der Heizenergie bei  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  Innentemperatur 75 %, bei  $1 \text{ m}^2/\text{m}^2$  91 %. Die gesamte Jahresheizenergie bei  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  Innentemperatur beträgt  $52 \text{ kWh}/\text{m}^2$ . Dies entspricht dem Heizwertäquivalent von 5,2 l Öl. Im Vergleich zu der erforderlichen Heizenergie in Nordeuropa ist dies gering.

## 5. Zusammenfassung

Für die Nutzung der Sonnenenergie zur Gewächshausheizung lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

Unter Klimaverhältnissen beispielsweise in der Bundesrepublik lassen sich etwa 15 bis 25 % der jährlichen Heizenergie für Gewächshäuser durch Solarenergie decken. In südlicher gelegenen Ländern beispielsweise in der Mittelmeerregion kann der Anteil der Solarenergie nahezu 100 % der erforderlichen Heizenergie betragen. Die

gesamte jährliche Heizenergie liegt hier aber so niedrig, daß im Vergleich zu einer konventionellen Heizung und den damit verbundenen Heizkosten nur sehr geringe Geldbeträge für die Investitionen einer Solarheizung zur Verfügung stehen. Wenn die Solarenergie für den Gartenbau in Zukunft wirtschaftlich genutzt werden soll, muß in allen Ländern beste Ingenieurkunst eingesetzt werden, um funktionsfähige Billigstechnologien mit Eignung zum Selbstbau zu entwickeln. Hocheffiziente industriell gefertigte Technologie kann eine Wettbewerbsfähigkeit wahrscheinlich nicht gewährleisten.



**Bild 11.** Erforderliche Heizenergie und durch zwei verschieden große Kollektoren erbrachte Wärmeenergie für Gewächshäuser bei  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  Innentemperatur in Kreta.

Auf Gewächshausgrundfläche bezogene Kollektorfläche  
a  $1 \text{ m}^2/\text{m}^2$   
b  $0,25 \text{ m}^2/\text{m}^2$

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] ● **Damrath, J.:** Solarenergienutzung im Gewächshaus. Gartenbautechnische Informationen Heft 14, Braunschweig: Taspo Buchvertrieb 1982.
- [ 2 ] ● **Damrath, J.:** Solarenergienutzung im Gewächshaus. Ergänzende Untersuchungen zur Solaranlage Typ Hannover. Gartenbautechnische Informationen Heft 15, Braunschweig: Taspo Buchvertrieb 1983.
- [ 3 ] **Eggers, H.:** Vergleichendes Forschungs- und Demonstrationsprojekt zur Nutzung der Sonnenenergie für die Beheizung energiesparender Gewächshäuser (ET 5217 A). Statusbericht Sonnenenergie 1982. Nutzung der Sonnenenergie in der Landwirtschaft. Bundesministerium für Forschung und Technologie.
- [ 4 ] ● **Bredenbeck, H.:** Studie über die Nutzung der Solarenergie für die Gewächshausheizung in Griechenland. Gartenbautechnische Informationen Heft 16, Braunschweig: Taspo Buchvertrieb 1982.