

Forschungsschwerpunkt: solar beheizte Gewächshäuser

10 Jahre Solarenergieforschung am Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft der Universität Hannover

Ein Bericht von Christian von Zabeltitz

Vor mehr als zehn Jahren wurde am Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft der Universität Hannover damit begonnen, die Nutzung der Solarenergie für die Gewächshausheizung und zur Wassergewinnung zu erforschen. Seitdem ist die Solarenergieforschung für die Pflanzenproduktion in Gewächshäusern ein Schwerpunkt der Institutsarbeit. Über sie berichtet hier der Leiter dieses Instituts.

1975 ergaben erste Berechnungen, daß es für Heizzwecke günstiger ist, das Gewächshaus selbst als Kollektor zu nutzen, statt separate Solarkollektoren neben ihm aufzustellen [1]. Die Ergebnisse wurden auf der ersten Tagung "Heizen mit Sonne" der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie im Februar 1976 in Göttingen vorgetragen [2]. Das erste Solargewächshaus wurde 1976 geplant und mit Unterstützung des Bundesforschungsministeriums 1977 im Institut gebaut. Mit Hilfe der experimentellen Ergebnisse aus diesem Haus ist ein Simulationsmodell entwickelt und damit Auslegungsdaten für solare Heizsysteme berechnet worden [3, 4].

Mit einem weiterentwickelten Simulationsmodell konnte auch der mögliche Einsatz der Solartechnik zur Gewächshausheizung in Griechenland untersucht werden [5]. Das Bundesernährungsministerium unterstützte den Aufbau einer Solaranlage mit Steinspeicher unter dem Gewächshaus in einem Gartenbaubetrieb Westdeutschlands. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitung sind 1984/85 Messungen und danach theoretische Berechnungen über Auslegung und Wirtschaftlichkeit [6] durchgeführt worden.

Seit 1980 werden im Rahmen eines deutsch-zypriotischen Gemeinschaftsprojekts im Auftrag der GTZ (Gesellschaft für technische Zusammenarbeit) Solarheizsysteme für Gewächshäuser im Mittelmeerraum entwickelt und untersucht. Inzwischen sind einfache Systeme mit Wärmetauschern und Kollektoren aus Folien in Betrieben installiert. Im Auftrag der Food and Agriculture Organisation of the UN (FAO) ist eine Studie erarbeitet worden, in der alle solaren Heizsysteme für Gewächshäuser, die in Europa und rund um das Mittelmeer eingesetzt und erprobt werden, in vergleichbarer Form dargestellt und beschrieben werden [7].

Im Jahre 1979 wurde mit Unterstützung des Bundesforschungsministeriums die Entwicklung eines geschlossenen Gewächshausystems mit integrierter solarer Wasserentsalzung für aride Gebiete begonnen. Die erforderlichen Auslegungskriterien, Klimaverhältnisse im Gewächshaus und die Produktivität der Entsalzungsanlage sind

experimentell und theoretisch durch Simulationsrechnungen ermittelt worden [8]. 1986 konnte die Produktivität der so-

laren Wasserentsalzung wesentlich verbessert werden.

Zur Zeit wird eine Pilot-Gewächshausanlage in Zusammenarbeit mit einer Gewächshäuser herstellenden Firma entwickelt und danach in der Süd-türkei aufgebaut und durchgemessen. Diese gemeinsam mit der Industrie betriebenen Entwicklungsarbeiten unterstützt das niedersächsische Wirtschaftsministerium.

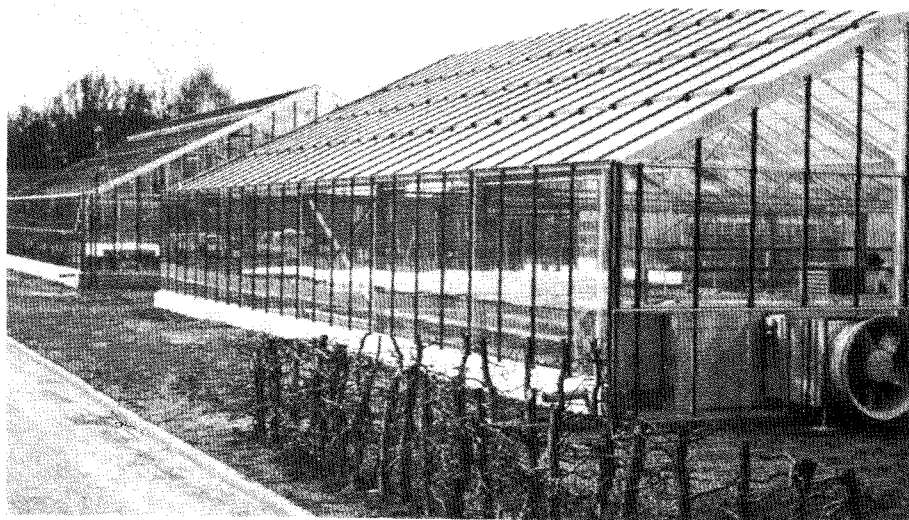


Abb. 1. Solargewächshaus (Vordergrund) und übliches Gewächshaus für Vergleichsuntersuchungen (Hintergrund)

Solare Gewächshausheizung für Deutschland

Für die 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 in der Nacht.

Die Möglichkeiten zur Lösung dieser Fragen lassen sich auf drei Grundprinzipien zurückführen [9]:

1. Separate Sonnenkollektoren außerhalb des Gewächshauses.
2. Sonnenkollektoren, die in die Gewächshauskonstruktion integriert sind.
3. Verwendung des Gewächshauses selbst als Kollektor.

In Hannover wurden eingehende Untersuchungen zu dem System „Gewächshaus als Kollektor“ durchgeführt, nachdem Voruntersuchungen ergeben hatten, daß dieses System am ehesten wirtschaftlich einsetzbar sein würde [1]. Abb. 2 zeigt das Prinzip des nach den ersten Berechnungen geplanten und gebauten Solargewächshauses in Hannover. Am Tag wird kaltes Wasser mit 2 bis 6 °C aus einem Kaltwasserspeicher durch zwei Luft-Wasser-Wärmetau-

scher im Gewächshaus gepumpt. Die Gewächshausluft, die durch den Gewächshauseffekt erwärmt ist, kühlt sich ab, 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 Heizwärme in der Nacht wird aus dem Warmwasserspeicher über dieselben Wärmetauscher im Gewächshaus bezogen. Im Warmwasserspeicher ist eine Zusatzheizung für den Winter eingebaut. Außerdem ist eine Zwangslüftung mit Wärmerückgewinnung installiert, um im geschlossenen Zustand die für das Pflanzenwachstum

Prof. Dr.-Ing. Christian von Zabeltitz, Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Herrenhäuser Straße 2, 3000 Hannover 21.

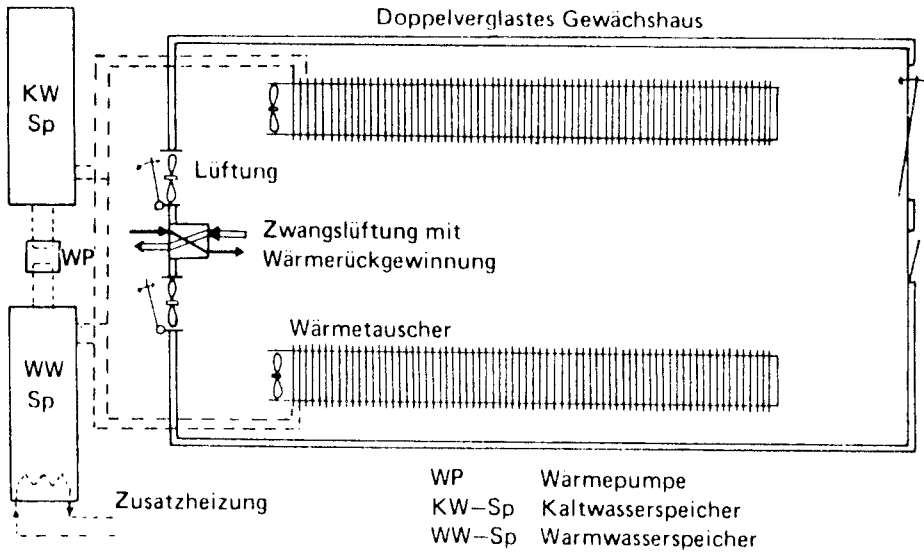


Abb. 2. Prinzip des Systems „Gewächshaus gleich Kollektor“

Durchströmungslänge unterteilt ist. Am Tag wird warme Luft aus dem Gewächshaus durch den Speicher gefördert. Im Heizfall wird nachts die Strömungsrichtung umgekehrt, Kaltluft aus dem Gewächshaus im Speicher erwärmt und wieder in das Haus geblasen. Zusätzlicher Energiebedarf wird von der Bodenheizung gedeckt.

1984 und 1985 sind die Leistungsfähigkeit der Anlage gemessen und Kennlinien für alle Anlagenteile erstellt worden. Die Kennlinien wurden in ein umfangreiches Simulationsrechenprogramm eingegeben und mit mehrjährigen Klimadaten für die Standorte Hannover, Hamburg, München und Trier durchgerechnet. Mit dem Programm sind weiterhin Optimierungsrechnungen und Langzeitanalysen als Grundlage für wirtschaftliche Überlegungen durchgeführt worden. Folgende Ergebnisse wurden ermittelt:

erforderliche CO_2 -Konzentration aufrechtzuerhalten.

Aufbauend auf den experimentellen Ergebnissen, die mit diesem System gewonnen wurden, ist ein theoretisches Modell erstellt worden, mit dem sich allgemeingültige Auslegungsdaten für eine solche Solaranlage an verschiedenen Standorten berechnen lassen [3, 4]; Klimadaten von 20 Jahren sind dabei verarbeitet worden. Abb. 3 zeigt für den Jahresablauf die erforderliche tägliche Heizenergie Q_H und die täglich aus dem Gewächshaus abspeicherbare Solarenergie Q_{SP} für ein Gewächshaus mit Isolierverglasung am Standort Hannover. Die Energiewerte sind auf 1 m^2 Gewächshausgrundfläche bezogen.

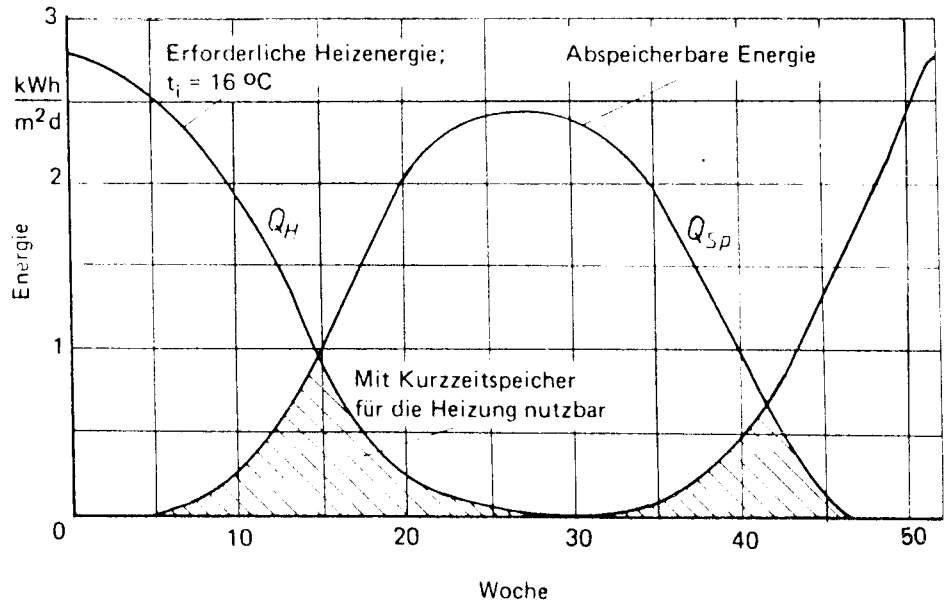


Abb. 3. Im Jahresverlauf täglich erforderliche Heizenergie und abspeicherbare Energie für ein Gewächshaus mit Isolierverglasung bei 16 °C Innentemperatur am Standort Hannover

Langzeit- und Kurzzeit-Wärmespeicherung

Bei der aus dem Gewächshaus abspeicherbaren Energie ergaben sich im Sommer große Überschüsse, die nur bei einer Langzeitspeicherung Sommer-Winter genutzt werden könnten. Für eine Langzeitspeicherung würden sehr große Speichervolumina von etwa 12 bis 18 m^3 Wasser je m^2 Gewächshausgrundfläche benötigt. Bei einer Kurzzeitspeicherung Tag-Nacht mit Speichervolumina von $0,2\text{ m}^3/\text{m}^2$ ist von der abspeicherbaren Solarenergie der schraffierte Anteil unter den Kurven Q_H und Q_{SP} für die Heizung verwendbar. Dies ist ein Anteil von 18 bis 20 Prozent von der Jahresheizenergie. Man kann das Gewächshaus von Mitte April bis Mitte Oktober mit Sonnenenergie beheizen, von Februar bis November wird teilweise geheizt. Der solare Anteil läßt sich durch Senkung des winterlichen Heizenergiebedarfes mit verbesserter Wärmedämmung in der Nacht erhöhen.

Für eine ökonomische Betrachtung sind Investitionen und Stromverbrauch in eine Gesamtbetrachtung einzubeziehen.

Optimierungsrechnungen wurden durchgeführt [3, 4]. Da Wasserspeicher und Wärmepumpe aufwendige Investitionen darstellen, wurden Untersuchungen mit Stein speichern unter den Gewächshausstischen begonnen, die von der Gewächshausluft durchströmt werden und gleichzeitig Speicher und Wärmetauscher darstellen [10]. Inzwischen ist ein Steinspeichersystem unter einem Gewächshaus in einem Gartenbaubetrieb in Westdeutschland gebaut und untersucht worden.

Das Gewächshaus mit einer Grundfläche von 1700 m^2 hat eine Eindeckung mit Steg-Dreifachplatten aus Polycarbonat, 16 mm dick, und zusätzlich einen beweglichen Energieschirm, der nachts zur weiteren Energieeinsparung zugezogen wird [6]. Unter einem Betonfußboden, in dem eine Bodenheizung installiert ist, befindet sich eine 60 cm tiefe Kiesschüttung als Wärmespeicher, der in parallele Speicherkammern von 3 m

- Die Energieeinsparung des stark wärme gedämmten Gewächshauses beträgt im Vergleich zu einem Einfach-Glasgewächshaus 65 %. Allerdings beträgt die Lichtdurchlässigkeit nur 36 % im Vergleich zur Freilandstrahlung.

- Durch Solarenergie werden bei diesem System etwa 30 % der Jahresheizenergie gedeckt.

- Die erforderliche Investitionssumme für das solare System ist mit $\text{DM } 90,-/\text{m}^2$ Gewächshausgrundfläche relativ hoch. Die Betriebskosten werden durch die in den Stromtarifen der EVU festgelegten Bereitstellungspreise stark belastet. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist zur Zeit nicht zu errechnen.

- Bei sorgfältiger Dimensionierung, angemessenen Strompreisen und Bereitstellungsstarifen können Solaranlagen dieses Typs aus heutiger Sicht in die Nähe der Wirtschaftlichkeit kommen.

Solare Gewächshausheizung in Mittelmeerländern

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. Hier kann eine geringe Heizleistung in Zeiten des Wärmedefizits eine wesentliche Verbesserung bringen.

Mit einem erweiterten Simulationsmodell für die Versuchsanlage System Hannover wurden Berechnungen für Foliengewächshäuser auf Kreta angestellt [5]. Dabei wurde eine Innentemperatur von 12 °C zugrundegelegt und auf die Wärmepumpe verzichtet. Abb. 4 zeigt mit der ausgezogenen Kurve die für einfachbedachte Foliengewächshäuser erforderliche Heizenergie auf der Insel Kreta. Mit den unteren Kurven sind die aus dem Gewächshaus abspeicherbare Energiemengen für verschiedene flächenbezogene Speichervolumen eingezeichnet. Ein großer Teil der Heizenergie kann aus Solarenergie gedeckt werden, eine hundertprozentige Deckung ist aber nicht möglich. Bei 0,5 m³ Speichervolumen je m² Gewächshausfläche sind 67 % der Heizenergie durch Solarenergie zu decken. Weitere Untersuchungen sind über die Deckung der Heizenergie mit Solarkollektoren angestellt worden.

Seit 1980 wird in Zusammenarbeit mit dem Agricultural Research Institute in Nicosia an der Entwicklung einfacher und leistungsfähiger Solarsysteme für die Gewächshausheizung in mediterranen Gebieten gearbeitet. Die Untersuchungen werden von der deutschen Entwicklungshilfe (GTZ) unterstützt. Um solche Systeme wirtschaftlich in der

gärtnerischen Praxis einsetzen zu können, müssen sie im Eigenbau aus örtlich verfügbaren Materialien und Geräten herstellbar sein und möglichst geringe Investitionskosten verursachen. In den Mittelmeerregionen kann zwar ein hoher Anteil der Heizenergie durch Solarenergie gedeckt werden, die erforderliche Heizenergie ist aber mit 5 bis 8 l Heizöl je m² Gewächshausfläche relativ gering.

In Zypern wurden Kollektor- und Wärmetauschersysteme aus Folie entwickelt, die einfach zu installieren sind. Nach mehrjähriger experimenteller Arbeit in dem genannten Institut ist 1984/

85 die Kooperation mit Praxisbetrieben aufgenommen und Solarheizsysteme in Praxisbetrieben installiert worden. Zur Zeit werden im Rahmen des GTZ-Projektes 23 Gewächshäuser mit einer Fläche von rund 22 000 m² in drei Versuchsstationen und sieben Praxisbetrieben experimentell und meßtechnisch betreut.

In der FAO-Studie über Gewächshausheizung mit Solarenergie sind alle Systeme und Projekte in einheitlicher, vergleichbarer Form beschrieben, die in Europa und in Mittelmeerländern gebaut worden sind. Insgesamt sind 49 Projekte aufgeführt [7].

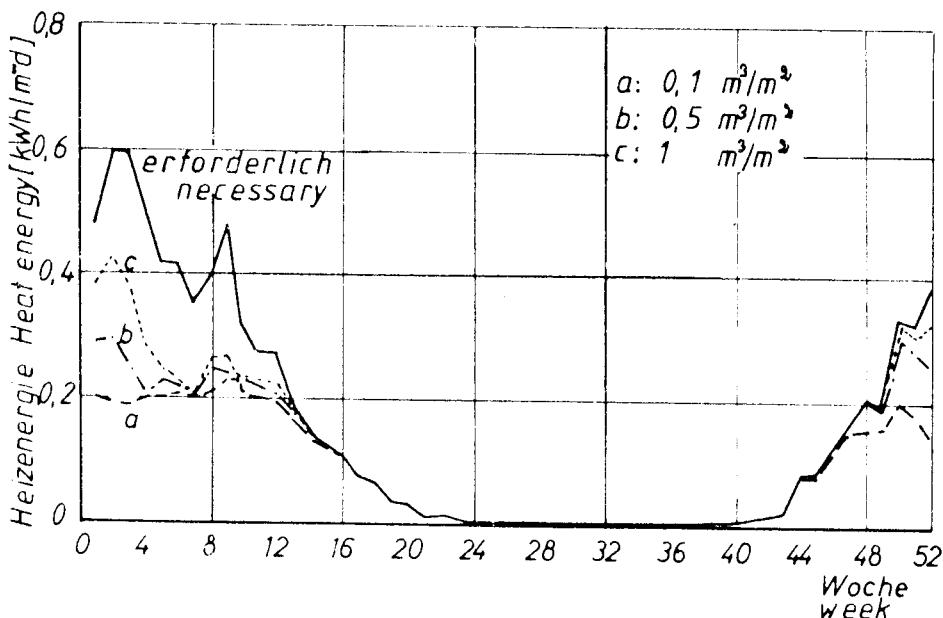


Abb. 4. Täglich erforderliche Heizenergie und abspeicherbare Energie in einem Foliengewächshaus mit 12 °C Innentemperatur auf Kreta bei verschiedenen Speichervolumen

Geschlossenes Gewächshausystem mit solarer Wasserentsalzung

Die Pflanzenproduktion in ariden Regionen wird stark beeinträchtigt durch Wasserknappheit, zu geringe Luftfeuchte, Staub und Wind sowie kalte Nächte. Es besteht daher die Forderung nach Gewächshausystemen, in denen vor allem Gemüse mit geringem Energie- und Wasseraufwand produziert werden kann. Mit Unterstützung des Bundesforschungsministeriums ist in Hannover ein geschlossenes Gewächshausystem mit integrierter solarer Wasserentsalzung entwickelt worden, das folgende Eigenschaften aufweist [8]:

- eine geschlossene Atmosphäre
- Betrieb ohne aktive Kühlsysteme
- Erstellung mit kommerziellen Gewächshaus-Profilsystemen
- Rückgewinnung des von Boden und Pflanzen im Gewächshaus verdunsteten Wassers
- Integrierte solare Wasserentsalzungsanlage mit geringem Energieverbrauch zur Nutzung von Brackwasser
- Einhaltung zulässiger Innentemperaturen durch konstruktive Maßnahmen.

Abb. 5 zeigt das Prinzip und den Aufbau der Konstruktion. Das Norddach und die Nordstehwand sind aus normalem Einfachglas und stellen Kondensationsflächen dar, an denen das von Pflanzen und Boden verdunstete Wasser kondensiert und zurückgewonnen wird. Die Neigung des Norddaches ist so berechnet, daß die direkte Sonnenstrahlung bei höchstem Sonnenstand total reflektiert wird. Auf der Nordseite tritt daher nur diffuse Strahlung in das Gewächshaus ein. Das Süddach ist aus sogenanntem Grünglas hergestellt, das einen großen Anteil der unsichtbaren Globalstrahlung im nahen Infrarotbereich absorbiert. Das Glas erwärmt sich stark. Die absorbierte Energie wird größtenteils durch Konvektion außen abgeführt. Nur die photosynthetisch wirksame Strahlung gelangt in das Gewächshaus. Dadurch gelingt es, die Temperaturen ohne geschlossenes Gewächshaus in pflanzenverträglichen Bereichen zu halten.

Das von den Pflanzen und aus dem Boden verdunstete Wasser wird tagsüber an der Nordseite und nachts an al-

len Flächen als Gießwasser wiedergewonnen. Das restliche Gießwasser wird in der solaren Wasserentsalzungsanlage gewonnen, die an der Südstehwand installiert ist. Die Entsalzungsanlage sowie alle Auffangrinnen sind aus normalen Gewächshausprofilen aufgebaut. Sie besteht aus einem Salzwasserbecken im Boden sowie einem schrägen Absorber, über den Tag und Nacht Salzwasser gepumpt wird. Die Abdeckung und die Konstruktionsfläche bestehen aus Glas.

Am Tag wird das Salzwasser soweit erwärmt, daß die Anlage auch nachts arbeitet, wobei die Produktivität nachts wegen der kälteren Kondensationsflächen höher ist als am Tag. Die gesamte Anlage wurde unter Sommerbedingungen in Hannover experimentell untersucht. Die Resultate gingen dann in eine Simulationsrechnung ein, mit der die Klimabedingungen im Gewächshaus und die Produktivität der Entsalzungsanlage auf Wüstenklima umgerechnet wurden. Mit Hilfe der Simulation sind auch generelle Auslegungsdaten und die Auswirkung verschiedener Modifi-

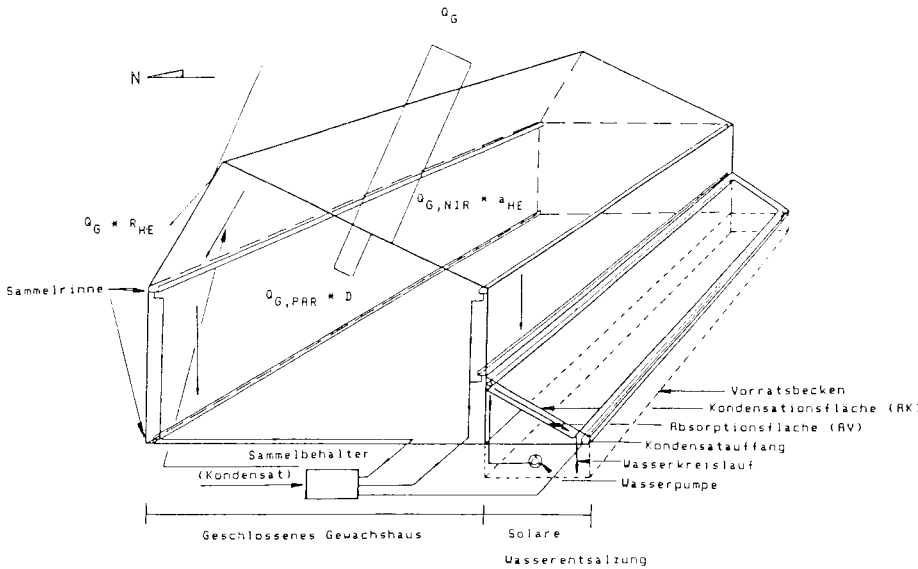


Abb. 5. Geschlossenes Gewächshaus mit integrierter solarer Wasserentsalzungsanlage

kationen des Systems berechnet worden. In der Negevüste herrschen im April im Vergleich zu den Juliwerten für Hannover folgende durchschnittliche Klimabedingungen:

	Negevüste	Hannover
Außentemp.	24,5 °C	29,2 °C
Windgeschw.	8 m/s	2,8 m/s
Einstrahlung mittags	827 W/m ²	711 W/m ²
tägl. Strahlungsenergie	5,84 kWh/m ² d	5,95 kWh/m ² d.

Für die Negevüste wurden beispielsweise folgende maximale Klimabedingungen im Gewächshaus ermittelt:

Innentemperatur	38 °C
Pflanzentemperatur	40 °C
Luftfeuchte	92 %

Diese Bedingungen sind nicht optimal, aber erträglich; durch eine Außenschattierung können sie verbessert werden. — Mit Förderung des niedersächsischen Wirtschaftsministeriums und in Zusammenarbeit mit einer Gewächshaus-Bau-firma wird 1987 in der Südtürkei eine Pilotanlage eines geschlossenen Gewächshauses mit solarer Wasserentsal-

zung aufgebaut, um Pflanzenwachstum und Süßwasserproduktion unter wüsten-ähnlichen Praxisbedingungen zu erproben.

1986 sind Entwicklungsarbeiten begonnen worden, um die Produktivität der solaren Entsalzungsanlage noch weiter zu verbessern. Abb. 6 zeigt zwei Systeme, das bisher eingesetzte mit dem glasparallelen Absorber und eine verbesserte Ausführung, bei der der Absorber im Salzwasserbecken angeordnet ist. An der senkrechten Rückwand fließt zusätzlich Salzwasser durch und über ein schwarzes Bewässerungsvlies. Die Wasserproduktivität wurde im August bei einer täglichen Globalstrahlungsenergie von 5 kWh/m²d beim ersten System mit 2,7 l/m²d und beim zweiten verbesserten System mit 3,4 l/m²d gemessen. Zusammen mit der im Gewächshaus zurückgewonnenen Wassermenge reicht die Produktivität der Entsalzungsanlage aus, um das Verhältnis der Flächen von Entsalzungsanlage zu Gewächshausgrundfläche kleiner als 1 : 10 zu bauen.

Sollten die Messungen in der Türkei die bisherigen Untersuchungen bestätigen, ist eine Möglichkeit eröffnet, an Wüstenstandorten mit Brackwasser Gemüse zu produzieren.

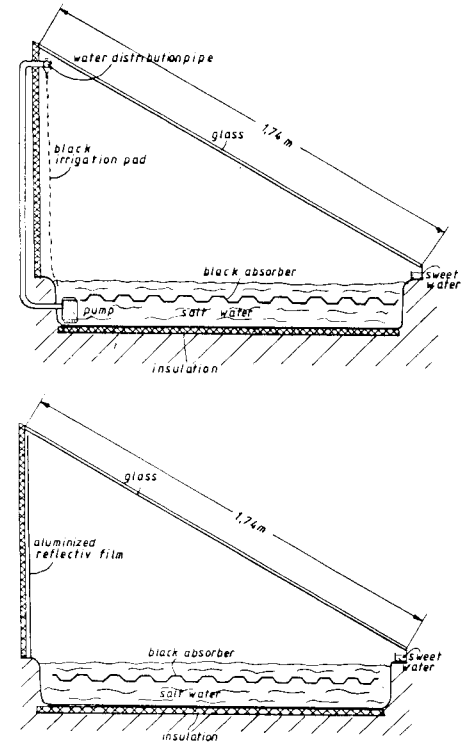


Abb. 6. Solare Wasserentsalzungssysteme

Literatur

[1] von Zabeltitz, Chr.: Möglichkeiten zur Nutzung der Sonnenenergie für die Beheizung von Gewächshäusern. Gartenbauwissenschaft 41 (5), 1976.
 [2] von Zabeltitz, Chr.: Die Nutzung der Sonnenenergie für die Gewächshausheizung. Erste Tagung „Heizen mit Sonne“. Tagungsbericht. 259-271, Göttingen, Februar 1976.
 [3] Damrath, J.: Solarenergienutzung im Gewächshaus. Eine energetische Darstellung des doppelbedachten Gewächshauses mit solarunterstützter Heizung. Schriftenreihe Gartenbautechnische Informationen aus dem ITG Hannover, Heft 14, 1982.
 [4] Damrath, J.: Solarenergienutzung im Gewächshaus. Ergänzende Untersuchungen zur Solaranlage Hannover. Schriftenreihe Gartenbautechnische Informationen, Heft 15, 1983.
 [5] Bredenbeck, H.: Studie über die Nutzung der Solarenergie für die Gewächshausheizung in Griechenland. Schriftenreihe aus dem ITG Hannover, Heft 16, 1982.
 [6] Bredenbeck, H.: Energiesparendes Gewächshausssystem mit Solarenergienutzung. Schriftenreihe Gartenbautechnische Informationen, Heft 26, 1986.
 [7] von Zabeltitz, Chr.: Greenhouse Heating with Solar Energy. Studie im Auftrag der FAO-Rom, erscheint 1987.
 [8] Strauch, K.H.: Geschlossene Gewächshausssysteme mit integrierter solarer Wasserentsalzungsanlage für aride Gebiete, Gartenbautechnische Informationen, Heft 22, 1985.
 [9] von Zabeltitz, Chr.: Gewächshausheizung mit Sonnenenergie. Grundlagen der Landtechnik 34, Nr. 4, 1984.
 [10] Bredenbeck, H.: Rock Bed Storage inside of Greenhouses. Acta Horticulturae 148, 733-44, 1984.

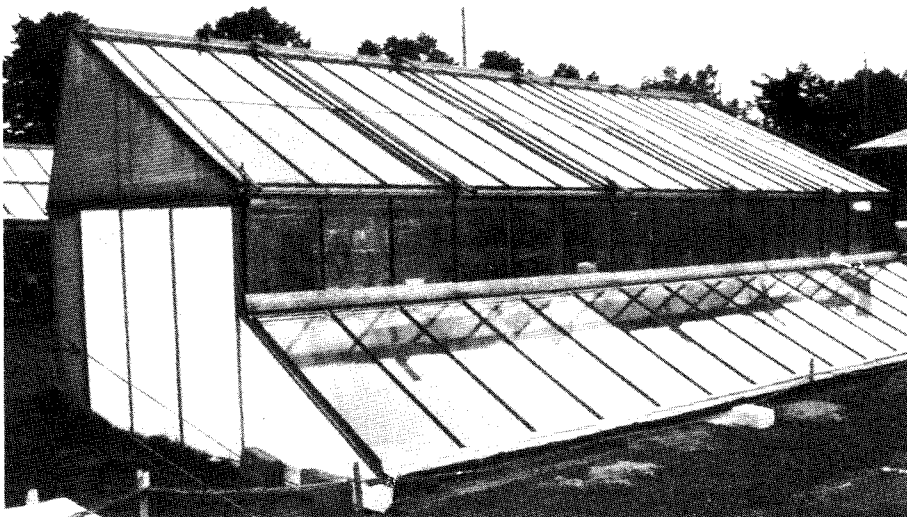


Abb. 7. Erste Ausführung eines geschlossenen Gewächshaussystems mit solarer Wasserentsalzung