Beheizung von grossen Gewächshäusern durch Verwendung von Niedertemperaturwärme aus thermischen Kraftwerken

Autor(en): **Bódás, J. / Papp, I.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 10

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905381

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Beheizung von grossen Gewächshäusern durch Verwendung von Niedertemperaturwärme aus thermischen Kraftwerken

Von J. Bódás und I. Papp

Zur Bewältigung der zunehmenden Versorgungsprobleme der Bevölkerung mit Früchten und Gemüsen in Ländern mit ungünstigen klimatischen Bedingungen bieten sich grosse beheizte Gewächshäuserkomplexe an. Eine neue Methode, die das Treibhaus-Heizsystem mit der Abwärme aus einem Kraftwerk-Trockenkühlturm verbindet, wurde in Ungarn entwickelt.

Die erste Versuchsanlage mit dem Anbau von Tomaten und Gurken hat bereits erste erfolgversprechende Resultate geliefert. Die beiden in den Jahren 1977 und 1978 durchgeführten Versuchsprogramme beweisen, dass dieses neuentwickelte Heizsystem wirtschaftlich zur Verwendung von Niedertemperaturwärme (Abwärme) aus thermischen Kraftwerken eingesetzt werden kann.

Aux pays présentant des conditions climatiques défavorables pour la production de fruits et légumes, de nouvelles perspectives semblent s'ouvrir pour leur approvisionnement. La solution, mise au point en Hongrie, consiste en de grands complexes de serres chauffées au moyen de la chaleur de rejet provenant de tours de refroidissement du type sec de centrales thermiques.

Une installation expérimentale, dans laquelle on pratique la culture de tomates et de concombres, a donné de premiers résultats prometteurs. Deux programmes d'essais menés en 1977 et 1978 montrent que le nouveau système de chauffage à basse température est économique.

1. Einleitung

In vielen Ländern Europas und Nordamerikas wie auch in weiten Teilen der Sowjetunion usw. könnte die Erstellung von grösseren, beheizten Gewächsanlagen, die einen von den herrschenden Wetterbedingungen unabhängigen Gemüseanbau erlauben würden, zu einer Lösung der wachsenden Probleme der ausreichenden Versorgung der Bevölkerung mit Früchten und Gemüsen beitragen. Auch in Ländern mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung sowie mit erheblichen Exporten von landwirtschaftlichen Gütern, wie zum Beispiel die Niederlande, Frankreich, Japan, Deutschland, Bulgarien, Rumänien und Ungarn, wäre die Erstellung solcher Gewächshausanlagen von grossem Nutzen.

Auch Arbeitsplatzmangel und die Forderung nach besseren Arbeitsbedingungen könnten in einigen Ländern zu einer Förderung solcher Entwicklungsprogramme führen. Bei den heutigen Förderungsplänen für Treibhausanlagen in osteuropäischen Ländern und in der Sowjetunion liegt die Hauptaufgabe bei der Lösung der Heizwärmeversorgung für solche Grossanlagen. Nach den vorliegenden Veröffentlichungen dürften in der Sowjetunion bis zum Jahre 1990 rund 90000 ha Unterglastreibhäuser zur Deckung des minimalen Gemüsebedarfes der Bevölkerung vorgesehen sein. Auch bei dieser enormen Erweiterung wird die Gewächshausfläche pro Kopf der Bevölkerung erst bei rund 1,5 m^2 liegen, was wesentlich unterhalb dem bisherigen Mittel in Ländern wie Bulgarien, den Niederlanden oder Rumänien liegt.

Der Heizölbedarf zur Beheizung der Treibhäuser beträgt insgesamt weltweit jährlich über 60 bis 70 Millionen Tonnen (oder eine entsprechende Menge an Gas oder Kohle). Etwa 50% des Erlöses des in Treibhäusern angebauten Gemüses entfallen heute auf die Heizkosten, und es ist wahrscheinlich, dass sich dieser Anteil mit den zu erwartenden, rasch steigenden Erdölpreisen in Zukunft noch erhöht.

Falls Ungarn eine Unterglas-Gemüseanbaufläche von relativ bescheidenen 1 m^2 pro Kopf der Bevölkerung erreichen will, müssen zusätzlich rund 1000 ha Treibhausfläche mit einem Heizölbedarf von 1 Million Tonnen erstellt werden. Dies allein würde 10% des gegenwärtigen Heizölbedarfs Ungarns erfordern.

2. Verwendung von Abwärme aus therm. Kraftwerken

Da die Bereitstellung der Heizwärme eines der gewichtigsten Hindernisse zur Erfüllung der grossen Förderungsprogramme für Gewächshausanlagen darstellt, könnte die Möglichkeit der Verwendung von Abwärme aus öl- oder nuklearthermischen Kraftwerken (als Nebenprodukt der Elektrizitätserzeugung) eine wirksame Lösung bieten.

Die Kosten eines Kondensations- oder Kühlsystems sind umgekehrt proportional zur Differenz zwischen der tiefsten Temperatur des thermodynamischen Kreislaufs und der Umgebungstemperatur (Kühlwasser oder Kühlluft). Obschon der thermische Wirkungsgrad mit Annäherung an die Kühlmitteltemperatur steigt, liegen in der Praxis die Kondensations- bzw. Kühlwassertemperaturen doch erheblich über der Umgebungstemperatur. Deshalb steht immer ausreichend Niedertemperaturwärme zur Abgabe an die Umgebung zur Verfügung.

Zudem spricht noch ein weiterer, gewichtiger Faktor für die Verwendung der Kondensatwärme aus Kraftwerken zu Heizzwecken. Infolge der raschen Industrialisierung wird nämlich die Kühlwasserversorgung von thermischen Kraftwerken immer schwieriger.

Bisher wurde meistens das aus Flüssen oder Seen entnommene Wasser im Kondensator erwärmt und anschliessend wieder an das Gewässer abgegeben. Umweltschutzauflagen verhindern heute oft diese einfache und kostengünstige Kühlmethode. Die heute übliche Kühlung erfolgt durch Verdunstung in Nasskühltürmen. Sofern das erforderliche Kühlwasser zu teuer oder nicht verfügbar ist, lassen sich auch kombinierte Nass/Trocken- wie auch reine Trockenkühlturmsysteme einsetzen.

Die Kosten der Kühlung sinken mit zunehmender Kühlwassermenge. Zum Beispiel ist Frischwasserkühlung am kostengünstigsten, Nasskühltürme sind bereits etwas teurer im Betrieb, und kombinierte Nass/Trocken- oder reine Trockenkühlturmsysteme sind am aufwendigsten. Daraus folgt, dass sich die optimale Annäherungstemperatur eines Kühlsystems an die Umgebungstemperatur kostenproportional verhält, das heisst mit andern Worten, dass beim System mit Trockenkühltürmen die optimale Kondensatortemperatur über derjenigen bei Frischwasserkühlung liegt. Aus diesem Grund lässt sich Abwärme aus Kraftwerken mit Trockenkühltürmen wirtschaftlicher einsetzen als solche aus Anlagen mit Nasskühltürmen oder mit Frischwasserkühlung.

Die Tabelle I zeigt zusammenfassend die üblichen Kondensattemperaturen verschiedener Kühlsysteme.

3. Entwicklung einer Gewächshaus-Heizanlage

Der zunehmende Bedarf an Treibhausflächen wie auch die steigenden Heizölpreise, die die Verwendung von billigen Wärmequellen (vorwiegend Abwärme) zu Heizzwecken erfordern, als auch die in Industrieländern infolge von Wasserknappheit feststellbare Tendenz zu vermehrtem Einsatz von kombinierten Nass/Trocken- oder reinen Trockenkühlturmsystemen haben das ungarische Energieinstitut Höterv bewogen, ein Gewächshaus-Heizsystem zu entwickeln, das die Abwärme von grossen thermischen Kraftwerken wirtschaftlich zu nutzen vermag. Die entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten haben vor rund fünf Jahren begonnen, so dass heute bereits auf einen erfolgreichen, mehrjährigen Versuchsbetrieb zurückgeblickt werden kann.

Das Gewächshaus-Heizsystem basiert im Prinzip auf dem Heller-Trockenkühlsystem, das ebenfalls von Höterv entwickelt worden ist. Dieses Trockenkühlturm-System arbeitet nach folgendem Prinzip:

Das Kühlwasser zirkuliert im geschlossenen Kreislauf. Wasser, das im Einspritzkondensator der Dampfturbine erwärmt worden ist, wird in Aluminium-Wasser/Luft-Wärmetauscher gepumpt, wo es mit der Umgebungsluft gekühlt wird. Die Kühlluft wird über Kühltürme mit forcierter Ventilation oder Naturzug durch die Wärmetauscher geleitet.

Sofern die gesamte, den Wärmetauscher verlassende Kühlluft in die Gewächshäuser geleitet wird, erfolgt die Beheizung vollständig über die Kondensatorabwärme des Kraftwerks. Die Kondensatoren müssen allerdings unabhängig vom Wärmebedarf der Treibhäuser gekühlt werden. Dieses Problem lässt sich auf zwei Arten lösen:

a) Verwendung separater Kühltürme zur Ableitung der von den Gewächshäusern nicht benötigten Abwärme des Kraftwerkes.
b) Entwicklung eines Wärmetauschersystems, das die erforderliche Wärme an die Gewächshäuser liefert und den Rest an die Atmosphäre abgibt.

Die zweite Lösung erscheint aus wirtschaftlichen Gründen attraktiver und wurde deshalb gewählt. Als Kondensator/Heizanlage wurde folgender Vorschlag gemacht:

Die Wasser/Luft-Wärmetauscher sollen beidseitig an einem standardisierten Gewächshaus von 80 bis 100 m Länge angebracht werden. Das Kondensatorkühlwasser wird mit den Kraftwerk-Hauptkühlpumpen durch diese Wärmetauscher geleitet. Die Kühlluft zirkuliert über Axialventilatoren durch die Wärmetauscher.

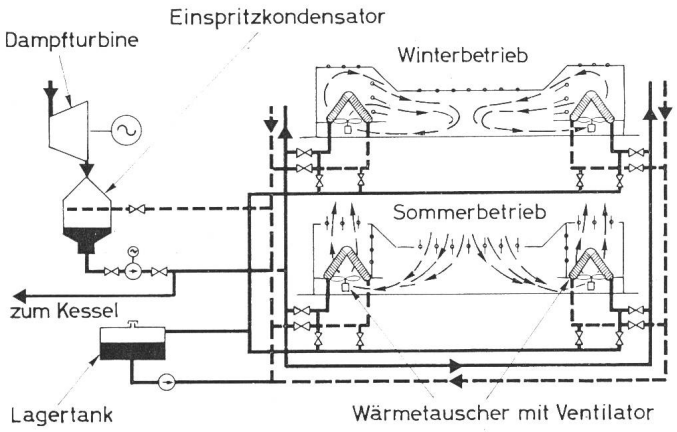

Fig. 1 Konzept des Heizsystems für die Gewächshäuser

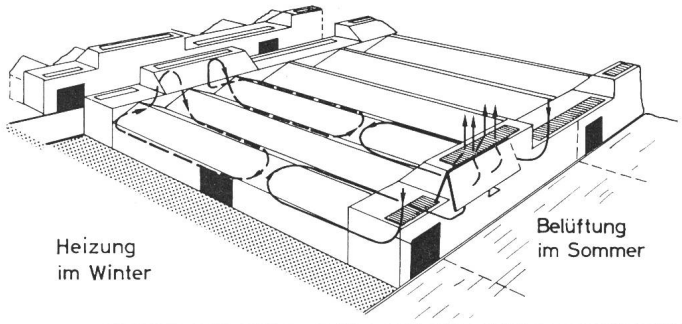

Fig. 2 Heizung und Lüftung der Gewächshäuser

Die Wärmetauscher sind mit einer automatisch gesteuerten Wendeklappenlüftung ausgerüstet, die folgende Betriebsweise erlaubt:

a) Die Luft zirkuliert durch Wärmetauscher und Gewächshaus im geschlossenen Kreislauf. Bei diesem Betrieb erfolgt die Wärmeabgabe an die Atmosphäre durch Konvektion und Strahlung über die Glasflächen (Winterbetrieb).
b) Ein Teil der Luft wird im geschlossenen Kreislauf durch das Gewächshaus geleitet. Zusätzlich wird die über Wärmetauscher erwärmte Aussenluft wieder nach aussen abgeleitet.
c) Es wird nur Aussenluft benötigt und wieder nach aussen abgegeben. Diese Betriebsweise erfolgt, wenn das Gewächshaus keine Wärme benötigt (Sommerbetrieb).
d) Ein Teil der Kühlluft wird direkt als Frischluft von aussen bezogen, während der restliche Luftbedarf dem Gewächshaus über Lüftungsfenster entnommen wird. Bei dieser Betriebsweise wird das Gewächshaus über die Gewächshaus-Ventilatoren belüftet (Sommerbetrieb).

Das beschriebene Wärmetauschersystem ermöglicht eine vom Wärmebedarf des Gewächshauses unabhängige Abgabe der Kondensationsabwärme des Kraftwerkes, und gleichzeitig kann die Wärmeversorgung des Gewächshauses gewährleistet werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der forcierten Belüftung des Treibhauses im Sommer.

In den Fig. 1 und 2 sind die wichtigsten Betriebsarten schematisch aufgezeichnet.

4. Wirtschaftliche Aspekte

Detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnungen haben ergeben, dass die gesamten jährlichen festen und Betriebskosten (ohne Heizölkosten für das Gewächshaus) der konzipierten, kombinierten Kondensationswärme/Heizanlage praktisch mit den Kosten für eine separate Kondensations- und Treibhausheizanlage übereinstimmt. Die Kosteneinsparung zugunsten der Abwärmeheizung liegt deshalb in der Grössenordnung der Heizölkosten für die Gewächshausheizung.

Die Fig. 3 zeigt schematisch ein Gewächshaus, das mit der Abwärme eines Kraftwerkes beheizt wird.

Als Vorteile des gewählten Konzeptes können genannt werden:

- keine Brennstoffkosten für die Treibhäuser
- keine Heizkesselanlagen für die Treibhäuser
- kein Raumbedarf für die Heizradiatoren innerhalb der Treibhäuser (grössere Pflanzfläche)
- Möglichkeit der künstlichen Belüftung im Sommer
- geringer Wasserbedarf der Kraftwerkanlage durch Verwendung des Trockenkühlsystems

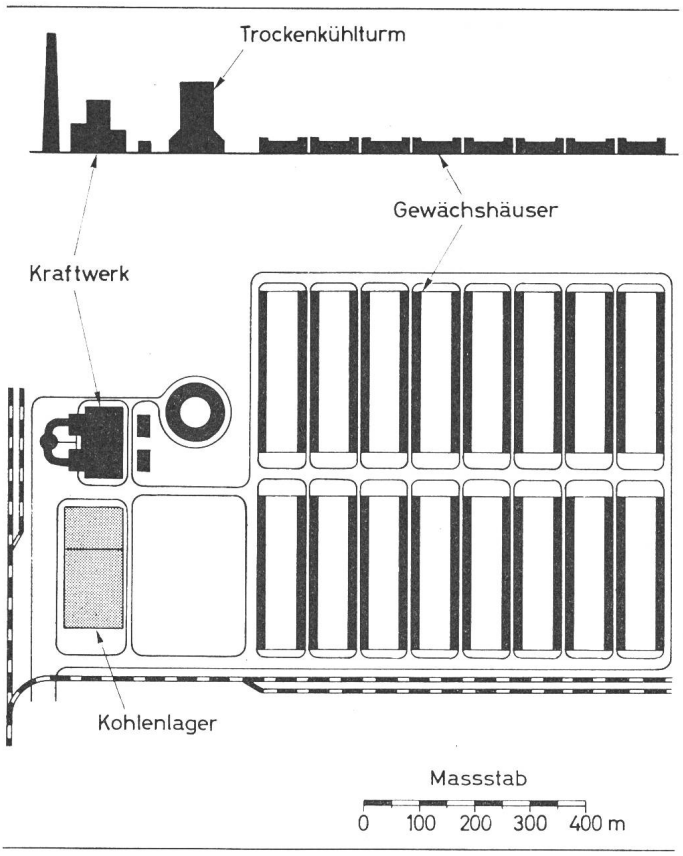

Fig. 3 Generelles Konzept eines Kraftwerkes mit Abwärmeabgabe an eine Gewächshausanlage

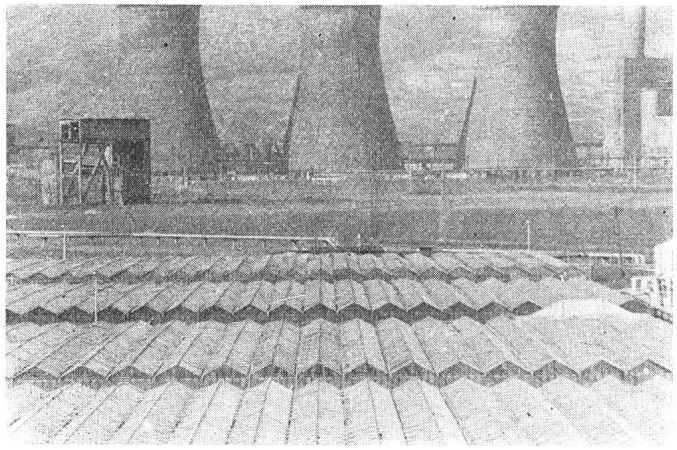

Fig. 4 Teilansicht der Treibhausanlage

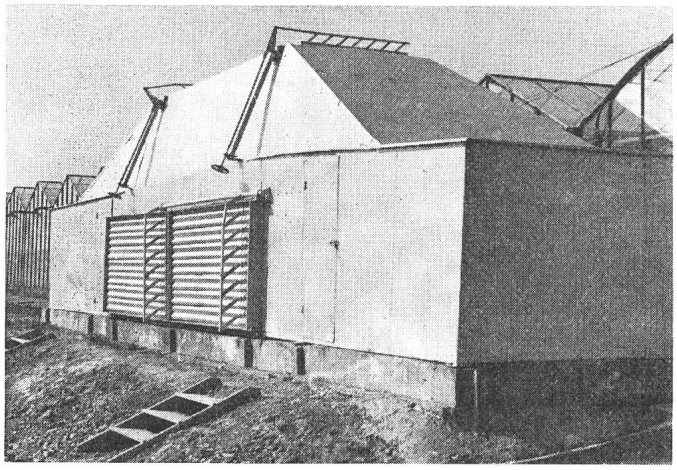

Fig. 5 Provisorische Heizanlage mit regelbaren Wendeklappen

5. Versuchsprogramm

Da das vorgeschlagene Gewächshaus-Heizsystem sehr stark von bestehenden Systemen abweicht (Verwendung grosser Abwärmemengen bei relativ tiefen Temperaturen), war zur Abklärung des Wachstumsverhaltens der wichtigsten Gewächse bei diesen neuen Bedingungen ein Versuch im Maßstab 1 : 1 erforderlich.

Zuerst wurde das Verhalten der Pflanzung im Gewächshaus in einem Luftstrom von 0,5 bis 1,5 m/s Geschwindigkeit untersucht. In konventionellen Treibhausanlagen herrscht praktisch keine Luftbewegung. Deshalb sind der Wärmefluss, die Wasserverdunstung der Pflanzen, der Einfluss des Feuchtigkeitsgehalts der Luft wie auch das Bewässerungssystem usw. sehr unterschiedlich.

Im Jahre 1977 wurde eine Unterglas-Gewächshaus-Versuchsanlage im Ausmass von 500 m² von der konventionellen Haupt-Gartenbauanlage eines grossen landwirtschaftlichen Betriebs (Sárszentmihályi Állami Gazdaság) abgetrennt und mit einer Wärmetauschereinheit des neu konzipierten Heizsystems ausgerüstet. Warmwasser mit einer Temperatur von höchstens 40 °C, welches von einem nahegelegenen Kraftwerk bezogen werden konnte, diente zur Speisung des Wasser/Luft-Wärmetauschers.

Die Fig. 4 zeigt einen Teil der Treibhausanlage. Auf der rechten Seite (dritte Reihe von unten) ist die Heizanlage zur Versorgung von vier Gewächshaussektoren mit Heizluft sichtbar. Die Fig. 5 zeigt in einer Nahaufnahme die provisorische Heizanlage mit den regelbaren Lufteintritt- und Austritts-Wendeklappen.

Zusammen mit der Versuchsfläche wurde auch ein Kontrollgebiet ausgeschieden, in dem dieselben Gemüsesorten gleichentags gepflanzt wurden. Damit konnte ein kontinuierlicher Vergleich des Pflanzenwachstums, des Ertrags und anderer Eigenschaften der Pflanzung im Versuchssektor und im Kontrollgebiet erfolgen.

6. Ergebnisse der Versuchspflanzungen

Obschon eine abschliessende Beurteilung der obgenannten Versuche heute noch nicht möglich ist, kann aufgrund der ersten Ergebnisse bereits ausgesagt werden, dass das vorgeschlagene Heizkonzept für alle Gewächshausgrössen und auch für heikle Gemüsesorten, wie zum Beispiel Gurken, erfolgreich und wirtschaftlich verwendbar ist. Im ersten Pflanzversuch 1977 wurden Tomaten (Pflanzung im Juli, Ernte im Dezember), im zweiten Versuch Gurken (Pflanzung am 26. Januar, Erntebeginn am 2. März 1978) gezogen. Die Fig. 6 zeigt die Gurkenpflanzung per Stand Ende Februar 1978 kurz vor der ersten Ernte. Tomaten und Gurken werden als die bedeutendsten Anbaugemüse mit dem besten Ertrag und Wirtschaftlichkeit betrachtet (speziell Gurken, deren Anbau sehr schwierig ist). Gurken benötigen die höchste Temperatur und Luftfeuchtigkeit (25–30 °C, 85–90% relative Feuchtigkeit), und sie sind sehr empfindlich gegenüber Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen. Zudem beanspruchen diese Pflanzen im ausgereiften Stadium beinahe den gesamten Gewächshausquerschnitt, was die Zirkulation der Heizluft erschwert.

Folgende Erfahrungen wurden aus den Versuchspflanzungen gewonnen:

a) Der Tomatenanbau bietet mit dem neuen Heizsystem keine grossen Schwierigkeiten.

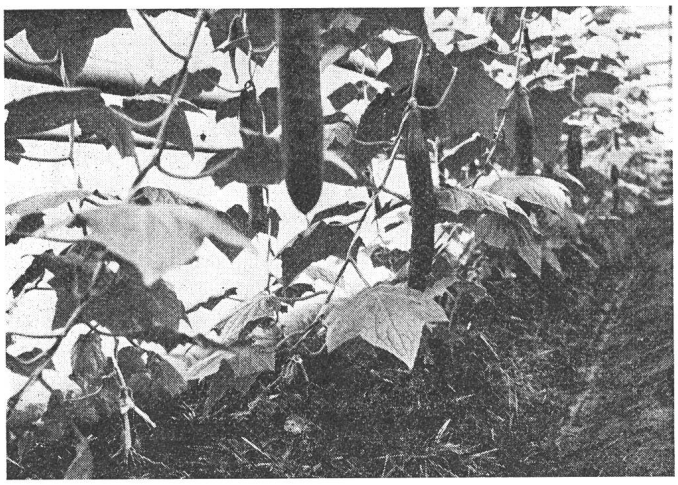

Fig. 6 Gurkenpflanzung

b) Beim Gurkenanbau ist auf folgendes zu achten:

- Aufrechterhaltung einer konstanten Temperatur. Plötzliche Temperaturschwankungen über 5–6 °C schaden der Qualität.
- Die Luftfeuchtigkeit ist streng zu überwachen. Zur Gewährleistung des vorgeschriebenen Feuchtigkeitsgehaltes der Luft sollte eine speziell mit Wasser benetzte Verdunsteroberfläche des Wärmetauschers verwendet werden. (Eine öftere Verwendung des Gewächshaus-Bewässerungssystems zur Regelung der Luftfeuchtigkeit ist schädlich.)
- Die Verwendung einer forcierten Ventilation ist gefährlich, falls die Aussentemperatur unterhalb 20 °C liegt, die Temperatur im Gewächshaus aber infolge des Treibhauseffekts die maximal zulässige Temperaturgrenze übersteigt.

Tabelle I

Kühlsystem	Optimale Kondensattemperatur °C	Kühlwassertemperatur [1]) °C
Frischwasserkühlung mit Oberflächenkondensator	20–30	17–26
Nasskühlturm mit Oberflächenkondensator	25–35	22–30
Nass/Trocken-Hybridkühlturm mit Einspritzkondensator	30–40	30–40
Trockenkühlturm mit Einspritzkondensator	35–45	35–45

[1]) am Kondensatoraustritt

Sofern die Kondensatwärme von Kraftwerken zum möglichst wirtschaftlichen Gemüseanbau genutzt werden soll, so sind Kraftwerktypen mit möglichst hohen Kondensationstemperaturen vorteilhaft. Dies sind vor allem Kraftwerke mit Trocken- oder kombinierten Trocken/Nass-Kühltürmen, in gewissen Fällen auch solche mit Nasskühltürmen (Tabelle I).

Da die Kraftwerkabwärme nur ausgenutzt werden kann, wenn das Kraftwerk-Kühlsystem mit einem entsprechenden Kondensationsheizsystem ausgelegt ist, fallen nur die neu zu erstellenden thermischen Kraftwerke in Betracht.

Die gesamte Abwärmeleistung von Kraftwerken, die in der Zukunft in Ungarn zur Beheizung von Gewächshausanlagen eingesetzt werden könnte, wird bis zum Jahre 1990 auf rund 3500 Gcal/h geschätzt. Bei den gegebenen Klimaverhältnissen benötigt 1 ha Treibhausfläche bei minimalen Wintertemperaturen eine Wärmeleistung von 3,5 Gcal/h. Damit könnten bis zum Jahre 1990 rund 1000 ha mit Wärme versorgt werden, was ungefähr der geplanten Unterglas-Gemüseanbaufläche entspricht.

Es wäre wünschenswert, wenn die gesamte anfallende Abwärme aus thermischen Kraftwerken in dieser Weise genutzt werden könnte. Aber auch wenn nur wenige Grossturbineneinheiten mit diesem Treibhaus-Heizsystem ausgelegt werden, kann bereits eine erhebliche Menge Heizöl oder Erdgas, die bis heute zur Beheizung konventioneller Gewächshäuser eingesetzt wird, eingespart werden.

Adresse der Autoren

J. Bódás und *I. Papp*, Höterv, Energiagazdálkodási Intézet, Bem rkp. 33–34, Postafiók 15, 1027 Budapest.