

vorteilhaft. Aus diesem GFP wurde in Gemeinschaftsarbeit ein freitragendes Gewächshaus von 12 m Breite in Schalenbauweise entwickelt und im Institut für Gemüsebau Großbeeren errichtet. Schalenbauweise und Konstruktion werden beschrieben. Im Ergebnis bisher durchgeführter Versuche wird eine Einschätzung des neuen Werkstoffes für den Bau und die Nutzung von Gewächshäusern mit Treibgemüse gegeben.

Literatur

- [1] VOGEL, G.: Entwicklungstendenzen und Probleme beim Einsatz von Kunststoffen in der Gemüsefrühproduktion. Dt. Gartenbau (1964) H. 5, S. 123 bis 126.
- [2] GERMANN, L.: Mit Plast schneller, besser, billiger bauen. Technische Gemeinschaft (1964) H. 3, S. 113 bis 117
- [3] VOGEL, G./G. FLEMMING: Vorläufiger Bericht über die Eignung der in der DDR hergestellten Plaststoffe. Dt. Gartenbau (1957) H. 3
- [4] LANCKOW, J./G. VOGEL: Zur Anwendungstechnik der Stahndwandverkleidung von Gewächshäusern mit Polyäthylfolie. Deutsche Agrartechnik (1961) H. 10, S. 498 und 499
- [5] VOGEL, G.: Der Einfluß kurzzeitiger Überdeckung mit Folienzellen auf die Ertragsleistung einiger Gemüsearten im Frühjahrs- und Sommeranbau. Arch. f. Gartenbau (1963) H. 1, S. 27 bis 46
- [6] LUBISCH, H. J.: Über die Herstellung von lichtdurchlässigen Schalen aus glasfaserverstärkten Polyestern. Plaste und Kautschuk (1964) H. 3, S. 152 bis 154
- [7] Autorenkollektiv: PV1-Projekt Gewächshaus aus glasfaserverstärkten Polyestern. VEB Typenprojektierung Berlin 1963
- [8] RENARD, W./L. SIEBERT: Wärmebedarf von Gewächshäusern. Heizung, Lüftung, Haustechnik (1962) Nr. 4, S. 101 bis 105
- [9] BEER, M./A. HEISSNER/G. VOGEL: Bestimmung des Luftaustausches in Gewächshäusern. Deutsche Agrartechnik (1965) H. 4, S. 166
- [10] WERMINGHAUSEN, B.: Gewächshäuser aus Kunststoff. Gartenwelt (1962) Nr. 1, S. 12 bis 14
- [11] - Versuchsberichte der Arbeitsgruppe Anbautechnik des Instituts für Gemüsebau Großbeeren 1963 und 1964
- [12] - Vergleichskennzahlen vom VEB Typenprojektierung Berlin zum 12-m-Haus in Montagebauweise und Mehrzweck-Gewächshaus MZG 0/55, Berlin 1962
- [13] TITTEL, E.: Entwicklungsstand und Perspektive des Gewächshausbaues in der DDR. Tagungsberichte der DAL Berlin 1962, Nr. 58, S. 39 bis 67

A 5947

Dr. M. BEER, KDT*, Dr. A. HEISSNER**, Dr. G. VOGEL, KDT**

Bestimmung des Luftaustausches im geschlossenen Gewächshaus aus Glas oder glasfaserverstärktem Polyester¹

Für das Mikroklima in Gewächshäusern ist der Luftaustausch in zweifacher Hinsicht von ausschlaggebender Bedeutung. Erstens wird durch ihn der Wärmehaushalt und mit diesem eng gekoppelt der Wasserhaushalt in Gewächshäusern beeinflusst, zweitens erfolgt durch den Luftaustausch entweder eine Nachlieferung von CO₂ aus dem Freiland — wenn am Tage durch die Assimilation der CO₂-Gehalt unter den Freilandgehalt abgesunken ist, oder eine Abgabe von CO₂ — wenn der CO₂-Gehalt durch Atmung oder durch das bodenbürtige CO₂ über den Freilandgehalt angestiegen ist. Um die Verluste an Wärme, Feuchtigkeit und CO₂ möglichst niedrig zu halten, ist es seit Jahren Ziel der Gewächshauskonstrukteure, dichte Gewächshäuser zu entwickeln und zu projektieren. Mit der konventionellen Glas-Stahlbauweise ist dieses Ziel bisher noch nicht erreicht worden [1] [2] [3]. Nur durch einen erhöhten technischen und ökonomisch kaum mehr vertretbaren Aufwand ist eine spürbare Senkung des Luftaustausches bei Stahl- und Glasgewächshäusern möglich [3]. Günstigere Ergebnisse dürften dagegen bei Verwendung von Kunststoffen, beispielsweise durch den Einsatz von glasfaserverstärktem Polyester [4], erzielbar sein. Durch ein lückenloses Verkleben der einzelnen Schalenelemente wird das Gewächshaus verhältnismäßig dicht [4].

Die Bestimmung des Luftaustausches von Gewächshäusern aus Kunststoffen im Vergleich zu Gewächshäusern in Glas-Stahlbauweise ist daher von außerordentlich großem Interesse. Um erste orientierende Werte zu erhalten, wurden deshalb im Institut für Gemüsebau Großbeeren der DAL zu Berlin entsprechende Messungen in je einem Gewächshaus aus Glas und glasfaserverstärktem Polyester durchgeführt, wobei gleichzeitig Erfahrungen zur Methodik der Bestimmung des Luftaustausches als Grundlage weiterer systematischer Untersuchungen gesammelt werden sollten.

1. Methode der Luftaustauschmessung mit radioaktiven Gasen

1.1. Der Luftaustausch

Die Höhe des Luftaustausches eines geschlossenen Raumes mit seiner Umgebung wird allgemein durch den Lüftungskoeffizienten z ausgedrückt, der die Zahl der Volumina des betrachteten Raumes angibt, die in der Zeiteinheit ausgetauscht werden. Der Lüftungskoeffizient läßt sich aus der

Konzentration eines Indikatorgases ermitteln, wenn man voraussetzen kann, daß die zeitliche Änderung der Konzentration des Indikatorkoeffizienten im geschlossenen Raum $\frac{dc_i}{dt}$ dem Konzentrationsunterschied $c_i - c_a$ zwischen dem Raum und seiner Umgebung proportional ist:

$$\frac{dc_i}{dt} = -z \cdot (c_i - c_a) \quad (1)$$

Im praktischen Fall des Austausches zwischen Gewächshaus und Freiland ist $c_a \ll c_i$. Integration von (1) ergibt:

$$c_i(t) = c_i(0) \cdot e^{-zt} \quad (2)$$

d. h., der Luftaustausch folgt unter der obengenannten Bedingung einer Exponentialfunktion (die in halblogarithmischer Darstellung eine Gerade ergibt). z läßt sich aus dem Anstieg dieser Geraden oder bequemer aus der Halbwertszeit des Luftaustausches² $t_{\frac{1}{2}}$ nach (3) einfach berechnen:

$$\frac{c_i(t)}{c_i(0)} = \frac{1}{2} = e^{-z \cdot \frac{1}{2}}$$

$$\ln 2 = z \cdot \frac{1}{2}$$

$$z = \frac{0.6931}{t_{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

$t_{\frac{1}{2}}$ erhält man aus der halblogarithmischen Darstellung (gegebenenfalls durch einfache Verlängerung der Geraden).

Als Indikatorgase wurden bisher H₂, CO₂ oder Rauch benutzt, die mit Hilfe der Wärmeleitfähigkeit oder Lichtabsorption gemessen wurden [5] [6]. H₂ kann in bewegter Luft mit der genannten Methode nur sehr ungenau bestimmt werden, CO₂ ist Bestandteil der Assimilations- und Bodenprozesse und Rauch führt bei Pflanzenbeständen leicht zu

* Institut für Landtechnik, Abt. Isotopenanwendung, Potsdam-Bornim, der DAL zu Berlin

** Institut für Gemüsebau Großbeeren der DAL zu Berlin

¹ 4. Mitteilung der Reihe: Isotopenanwendung in der Landtechnik

² Halbwertszeit des Luftaustausches ist die Zeitspanne, bei der die Konzentration eines zu einem Zeitpunkt $t=0$ vorhandenen Indikatorgases auf die Hälfte abgesunken ist.

Schäden. Radioaktive Gase wurden bisher als teuer und ungenau bezeichnet [5]. Diese Behauptung wird durch die vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt.

1.2. Radioaktive Indikator-Gase

Als radioaktive Gasindikatoren könnten prinzipiell die Edelgase Ar-41, Kr-85, Xe-133m/Xe-133 und Br-82- oder J-131-markierte Alkylhalogenide verwendet werden. Ihre wichtigsten Daten sind in Tafel 1 zusammengefaßt.

Aus dieser Reihe fällt vom Standpunkt der Radiotoxizität, des Preises und einer für die Versuchsdurchführung vernünftigen Halbwertszeit³ nur noch Xe-133 und Kr-85 in die engere Wahl. Kr-85 muß zwar importiert werden, ein genauer Vergleich Kr-85/Xe-133 rechtfertigt aber die Einfuhr: Xe-133 kann nicht lange gelagert werden, Messungen in Abhängigkeit von meteorologischen Bedingungen oder bei bestimmten Bestandshöhen und -dichten verlangen aber eine gewisse Vorratshaltung. Ein weiterer Nachteil des Xe-133 ist die nur mit geringer Effektivität registrierbare (niederenergetische) β -Strahlung und die Tatsache, daß nur $\frac{1}{3}$ aller Zerfälle zum β , γ -Zerfall führen; das bedeutet, daß der Preis im Vergleich zum Kr-85, bei dem 100% der Zerfälle zum β -Zerfall führen, je Versuch 3fach höher liegt als der Curie-Preis-Vergleich (Tafel 1) vortäuscht. (Diese Erörterungen wurden durch einen Versuch mit Xe-133 bestätigt.)

1.3. Geräte

Als Detektoren für einen praktisch reinen β -Strahler wie Kr-85 verwendet man die finanziell und elektronisch wenig aufwendigen Geiger-Müller-Zählrohre. Ein Vergleich der Ansprechwahrscheinlichkeit der verschiedenen zur Verfügung stehenden Typen ist in Tafel 2 zusammengefaßt.

Um mit möglichst kleinen Aktivitäten arbeiten zu können, haben wir uns für 3 bis 5 Zählrohre des Typs VA-Z-111 und 113 entschieden. Beim VA-Z-113 muß die Kuppe des Zylinders mit Tusche intensiv geschwärzt werden, weil das Zählrohr bereits auf Licht reagiert. Die Verwendung des Typs CTC-6 wäre trotz der kleineren Effektivität vorteilhafter, weil diese Zählrohre im Gegensatz zu den aus Glas gefertigten VA-Typen viel robuster gegen mechanische Beschädigung sind. Die notwendige Anzahl stand uns aber nicht zur Verfügung.

Das von solchen Zylinderzählrohren bei der Messung von Kr-85 erfaßte Volumen läßt sich experimentell schwer bestimmen. Die Berechnung [9], auf die in diesem Rahmen verzichtet werden soll, ergibt, daß aus einem zylindrischen Volumen mit dem Radius $r = 7,5$ cm 50%, $r = 15$ cm 75%, $r = 30$ cm 90% und $r = 125$ cm 99% zur Gesamtzählrate des Detektors beigesteuert werden.

Als Meßgeräte können einfache Zählgeräte (z. B. VA-M-14⁴) verwendet werden, wenn der Lüftungskoeffizient nicht zu groß, d. h. der Aktivitätsabfall nicht zu schnell ist.

Die Zählrate muß dann von Hand in ganz bestimmten Zeitabständen gemessen werden. Diese Arbeit kann man natürlich durch selbstdruckende Geräte vereinfachen (z. B. Meßplatz VA-M-16 D⁴ mit Ergebnisdrucker VA-G-21⁴). Die bequemste Methode, die auch bei relativ hohen Werten von z noch brauchbar ist, stellt die Verwendung eines Impulsdichtemessers mit Schreiber (z. B. Präzisionsimpulsdichtemesser VA-D-41⁴ mit Kompensationsschreiber⁵ dar. Allerdings bedarf es dabei einer sinnvollen Einstellung der Integrationszeit im Aktivitätsabfall, wenn der wahre Kurvenverlauf nicht verfälscht werden soll.

1.4. Handhabung der Gasproben und Strahlenschutzbetrachtung

Radioaktives Kr-85 wird von Isoconmerz Berlin in abgeschmolzenen Glasampullen von 0,1 bis 0,5 Curie geliefert. Je Versuch werden 10 bis 100 mC Aktivität benötigt. Diese wechselnden Mengen lassen sich ohne großen apparativen Aufwand schwer entnehmen und dosieren. Da der Indikator bei der Messung ohnehin stark verdünnt wird, haben wir für die Vorratshaltung und schnelle Entnahme eine einfache Apparatur aufgebaut: zwei 10-l-Flaschen I und II, sind, wie in Bild 1 skizziert, durch Glasrohre mit den Hähnen a, b, c verbunden. Die Glasampulle wird unter dem Gefäß III erbrochen und mit Luft verdünnt.

Durch Anlegen eines leichten Vakuums bei Hahn a kann das Gas leicht über Hahn c in das Vorratsgefäß II gezogen und noch weiter verdünnt werden. Das Füllen der Vorratsgefäße erfolgt bei offenem Hahn a und b auf umgekehrte Weise. Als Vorratsgefäße wurde 0,25- bis 2-l-Kochflaschen mit Gummistopfen verwendet, in denen das Gas ebenfalls längere Zeit aufbewahrt werden kann.

Die Oberflächendosis an solchen Gefäßen beträgt 25 mr/h. Man kann sie ohne spezielle Werkzeuge kurze Zeit handhaben. Bei Einhaltung von 1 m Abstand ist die Aufbewahrung in allen verschlossenen Räumen möglich.

Bei den Messungen im Gewächshaus besteht keine Gefährdung des Arbeitspersonals, selbst wenn sie mit den Geräten in den Häusern bleiben. Die zum Erreichen genügend hoher Zählraten (1 bis $5 \cdot 10^4$ Ipm) notwendigen Ausgangsaktivitäten an Kr-85 betragen bei Verwendung von 5 Zählrohren 10 bis $50 \mu\text{C}/\text{m}^3$ oder 1 bis $5 \cdot 10^{-8}$ C/l. Das ist, wie ein Vergleich mit der MZK_{Luft} (Tafel 1) zeigt, weniger als für Arbeitsräume zugelassen ist. Beim Luftaustausch mit der

Tafel 1. Eigenschaften von Nukliden für Gas-Indikatoren (nach [7] [8])

Nuklid	Ar-41	Xe-133m/Xe-133	Kr-85	Br-82	J-131	
HWZ ¹	1,8 h	2,3 d	5,27 d	9,4 a	1,5 d	8,14 d
Strahlung β -MEV ²	0,25	—	0,35	0,67	0,47	0,61
γ	1,29	0,23	0,08	0,52	0,27...	0,08...
MZK Luft ³				1,47	0,72	
Kat. A	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-11}$	
Kat. C	$1 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-13}$	
Preis für 1000 mC ⁵ [MDN]	> 200	400	120	6520	4020	

¹ HWZ Halbwertszeit, Zeit, in der die Hälfte der zu einem Zeitpunkt $t=0$ vorhandenen Menge eines radioaktiven Nuklides zerfallen ist

² MEV Megaelektronenvolt = 10^6 eV, Energiemaß. Zum Vergleich besitzen die Quanten der Röntgenstrahlung 10^3 bis 10^5 eV und die des unsichtbaren Lichtes 1,5 bis 3 eV

³ MZK maximal zulässige Konzentration in der Luft; Kategorie A in Arbeitsräumen für radioaktive Nuklide, Kategorie C in Wohngebieten

⁴ C 10^3 mC = Curie = Maßeinheit für die Radioaktivität; in 1 Curie finden $2,22 \cdot 10^{12}$ Zerfälle/min statt

⁵ Preise laut Katalog der Isotopenverteilungsstelle Berlin-Buch. Der Preis für Kr-85 ist in letzter Zeit stark gesenkt worden.

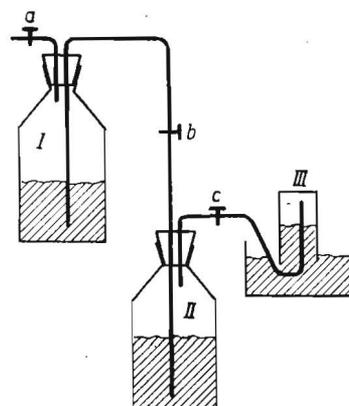


Bild 1 Apparatur zur Verdünnung und Entnahme des Indikatoren (Erläuterung im Text)

³ In der näheren Umgebung eines Reaktors ist Ar-41 unter bestimmten Bedingungen anwendbar.

⁴ Hersteller VEB Vakutronik Dresden

⁵ Hersteller MAW Magdeburg

Umgebung des Hauses erfolgt sofort eine so starke Verdünnung, daß auch die MZK_{Luft} für Wohngebiete in keinem Falle überschritten wird.

2. Messung an den beiden Gewächshäustypen

Die vergleichenden Messungen wurden an einem Gewächshaus aus freitragenden, glasfaserverstärkten Polyester-schalen von 12 m Breite und 24 m Länge („12-m-Polyesterhaus“) [4] sowie in einem aus 4 Einzelschiffen (12×48 m) bestehenden Großraumgewächshaus in Glas-Stahlbauweise („12-m-Glasgewächshaus“) durchgeführt. Das Polyester-gewächshaus ist mit 4 Wandluftheizgeräten (Luftleistung 5200 m³/h), je 2 an einer Giebelwand, das SW-Schiff des Glasgewächshauses mit insgesamt 6 Wandluftheizgeräten (Luftleistung 8000 m³/h), je 3 an den beiden Stirnseiten, aus-gestattet. Weitere Angaben können Tafel 3 entnommen werden.

Sämtliche Messungen wurden bei eingeschalteten Luftheizgeräten durchgeführt, da dies den Bedingungen während der Heizperiode entspricht. Gleichzeitig wurde dadurch für eine gute Einmischung der ausgetauschten Luft gesorgt. Die durch die Luftheizgeräte erzeugte Strömung hat in unmittelbarer Nähe der Glas- bzw. Polyesteroberfläche eine Geschwindigkeit (Horizontalkomponente in Längsrichtung des Gewächshauses, gemessen mit Flügelradanemometer) von etwa 0,39 m/s im 12-m-Polyester- und von etwa 0,72 m/s im 12-m-Glasgewächshaus.

Um eine möglichst schnelle und vollständige Ausbringung aus den Vorratsgefäßen zu erreichen, wurden diese in unmittelbarer Nähe der Ansaugöffnung der Wandluftheizgeräten geöffnet und das Gas durch Eingießen von Wasser verdrängt. Die Aufstellung der Detektoren erfolgte in unmittelbarer Nähe der Gewächshausmitte in 1,50 m Höhe.

Zur Kontrolle wurden bei den zuerst durchgeführten Meßreihen 2 Meßstellen angelegt (mit druckender und schreibender Registriereinrichtung [5][6]). Sie stimmten auf Grund der guten Luftumwälzung verständlicherweise überein. Bei späteren Messungen haben wir uns für die schreibende Registriereinrichtung entschieden (Bild 2).

Die aufgewendete Aktivitätsmenge je Meßreihe betrug, wie bereits unter 1.4 angedeutet, 10 bis 50 µC/m³. Die Kosten für den Indikator betragen demzufolge nach dem neuesten Kr-85-Preis weniger als 10 MDN je Versuch.

In Bild 3 und 4 sind zwei derartige Kurvenverläufe für die beiden Gewächshäuser in linearer und halblogarithmischer

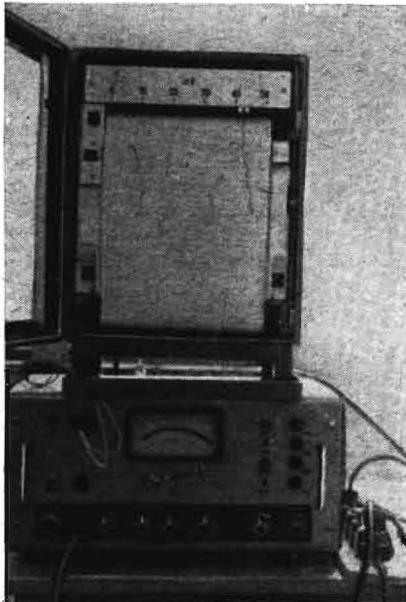


Bild 2
Impulsdichtemesser
VA-D-41 mit Kom-
pensationsschreiber

Tafel 2. Vergleich der Effektivität verschiedener Zählrohre (Kr-85 in einer 1-l-Polyäthylenflasche)

Zählrohrtyp	rel. Effektivität
VA-Z-111 (Vakutronik Dresden)	0,88
VA-Z-113	1,00
VA-Z-117	0,10
VA-Z-310	0,65
VA-Z-320	0,59
CTC-5 (Sowjetunion)	0,29
CTC-6	0,78

Tafel 3. Technische Angaben über die Gewächshäuser, in denen Luft-austauschmessungen durchgeführt wurden

	12-m-Glas-gewächshaus	12-m-Polyester-gewächshaus
Grundfläche	[m ²] 576	288
Oberfläche F	[m ²] 971 ¹	509
Volumen V	[m ³] 2266	975
V/F	[m] 2,33	1,92
Aufstellungsrichtung	NS	NS
Scheiben- bzw. Segmentbreite	[m] 0,75	0,75

¹ Etwa 16% dieser Fläche grenzen an die benachbarten Schiffe der Gewächshausanlage an

Tafel 4. Ergebnis der Lüftungsmessungen vom 16. April 1964

Meßstelle	Meßzeitraum [h]	ΔT^1 [grad]	v^2 [m/s]	z [h ⁻¹]
12-m-Polyestergewächshaus:				
1	11.15 bis 11.45	10,8	2,3	0,404
2				0,428
1	17.30 bis 18.30	4,6	1	0,240
2				0,233
12-m-Glasgewächshaus:				
1	14.15 bis 14.45	11,4	4,2	1,94 ³
2				2,04 ³
1	15.45 bis 16.15	10,7	2,9	1,51

¹ Temperaturdifferenz zwischen Gewächshaus (Meßstelle 1 m hoch) und Freiland (Meßstelle 2 m hoch)

² Windgeschwindigkeit im Freiland in 2,5 m Höhe

³ Bei dieser Meßreihe waren die beiden Dachlüftungsklappen am Nord-ende des Gewächshausschiffes geöffnet

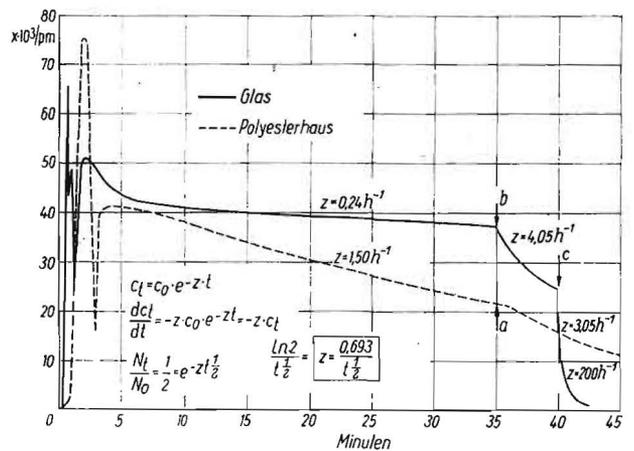
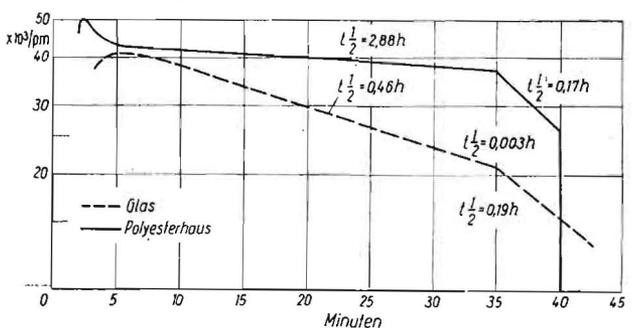


Bild 3. Abnahme der Aktivität im Gewächshaus in linearer Darstellung; a Luftklappen und Türen geöffnet, b Türen geöffnet, c Lüftungs-ventilatoren angeschaltet

Bild 4. Abnahme der Aktivität im Gewächshaus in halblogarithmischer Darstellung



Tafel 5. Ergebnis der Lüftungsmessungen vom 3. Sept. 1964

Meßzeitraum	ΔT [grad]	v [m/s]	z [h ⁻¹]
12-m-Polyestergewächshaus:			
9.00 bis 9.40	13,2	1,3	0,273
13.00 bis 13.35	17,0	1,7	0,334
13.55 bis 14.30	16,6	1,3	0,391
12-m-Glasgewächshaus:			
10.30 bis 10.55	18,1	2,8	2,34
11.25 bis 11.55	18,5	3,2	2,72
15.30 bis 16.00	18,4	2,2	1,96

Darstellung wiedergegeben: nach etwa 5 min war die Durchmischung erreicht und die Meßpunkte paßten sich dem exponentiellen Verlauf ausgezeichnet an. Wie weiterhin ersichtlich ist, kann man mit einer Versuchsreihe die Lüftungskoeffizienten verschiedener Zustände eines Hauses gleichzeitig messen.

3. Ergebnis der Untersuchungen

Die ermittelten Lüftungskoeffizienten wurden den zur gleichen Zeit gemessenen Werten der Temperaturdifferenz ΔT zwischen Gewächshaus und Freiland sowie der Windgeschwindigkeit v im Freien für die beiden Meßreihen vom 16. April und 3. September 1964 in Tafel 4 und 5 gegenübergestellt.

Wie die Werte erkennen lassen, ist die Übereinstimmung der am 16. April 1964 an zwei Meßstellen (Meßstelle 1 und 2) durchgeführten Parallelmessungen recht gut. Die Abweichungen betragen etwa 3 bis 6%. Eine größere Meßgenauigkeit, als dieser Abweichung entspricht, ist im allgemeinen nicht notwendig, da ohnehin die den Luftaustausch beeinflussenden meteorologischen Elemente, insbesondere der Wind, während des erforderlichen Meßzeitraumes nur selten genügend konstant sind. Aus diesem Grunde wird es besonders dann ausreichend sein, sich nur einer Meßstelle im Gewächshaus zu bedienen, wenn durch eine ständige Luftumwälzung zu jedem Zeitpunkt der Messung eine gute Durchmischung der Luft gewährleistet ist.

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen wurden für das 12-m-Polyestergewächshaus zwischen 0,23 und 0,43/h und für das 12-m-Glasgewächshaus zwischen 1,5 und 2,7/h liegende Lüftungskoeffizienten ermittelt, d. h. der Luftaustausch im Glasgewächshaus war rd. 6mal größer als im Polyesterhaus. Für das Stahl-Glasgewächshaus ergibt sich im Mittel der Messungen ein zweifacher Luftaustausch in der Stunde, der auch von RENARD und SIEBERT [1] sowie von BOHN [10] für festverglaste Häuser zugrundegelegt wird. Die Abhängigkeit der Lüftungskoeffizienten von der Windgeschwindigkeit im Freien wird angedeutet. Doch läßt das bisher vorliegende Zahlenmaterial wegen seines geringen Umfanges noch keine statistisch exakte Auswertung bezüglich des Einflusses des Windes sowie auch der Temperatur zu. Das muß weiteren Messungen vorbehalten bleiben.

Weitere Messungen sind auch deshalb notwendig, weil die beiden in die Untersuchungen einbezogenen Gewächshäuser

Tafel 6. Mittlere Wärmedurchgangszahlen k_L infolge Luftaustausch, berechnet auf Grund von gemessenen mikroklimatischen Daten (Nachtwerte) in einem Fensterverbindergewächshaus bei einer Tomatenkultur und im Freien für $z = 0,25/h$ (Polyestergewächshaus) und $z = 1,5/h$ (Glasgewächshaus)

Dekade	Δp^1 [Torr]	ΔT [grad]	k_L	
			Polyestergewächshaus	Glasgewächshaus
März 1964				
I	3,5	18,4	0,19	1,40
II	4,5	18,6	0,21	1,50
III	4,0	15,8	0,21	1,53
April 1964				
I	3,4	15,5	0,20	1,46
II	4,2	12,5	0,23	1,70
III	3,8	11,4	0,23	1,68

¹ Dampfdruckdifferenz zwischen Gewächshaus und Freiland

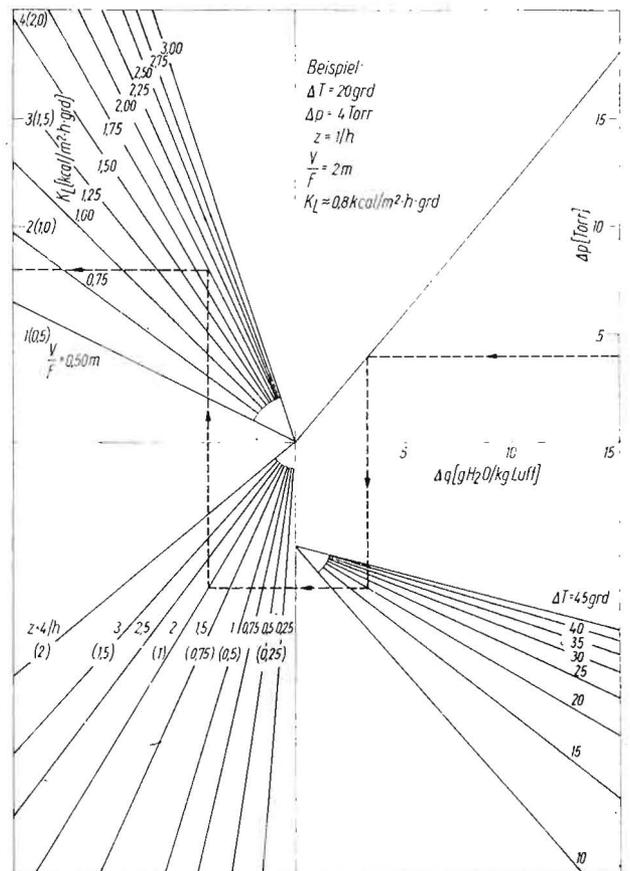


Bild 5. Diagramm zur näherungsweisen Ermittlung der Wärmedurchgangszahl k_L infolge Luftaustausch unter Zugrundelegung der Stoffkennwerte für $T = 20^\circ C$, $p = 760$ Torr und c_p für trockene Luft

räumlich getrennt standen und damit unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten ausgesetzt waren (Tafel 4 und 5). Ferner war das untersuchte 12-m-Stahl-Glas-Gewächshaus der erste Versuchsbau dieser Art [2], bei dem — bedingt durch Scheibensprünge und z. T. mangelnde Scheibenabdichtungen bei den Scheibenüberlagen — Undichtigkeiten auftraten, die nicht allgemein für Stahl-Glas-Gewächshäuser kennzeichnend sind. Interessant dürften daher die Messungen sein, die nunmehr im gleichen Gewächshaus, das neu mit Glas eingedeckt wurde, durchgeführt werden.

4. Schlußfolgerungen

4.1. Einfluß des Luftaustausches auf den Wärmeverbrauch
Der durch Luftaustausch vom Gewächshausraum an die Umgebung abgegebenen Wärmemenge kann eine Wärmedurchgangszahl

$$k_L = z \cdot \rho \cdot \frac{V}{F} \cdot \left(c_p + \frac{r \cdot \Delta q}{\Delta T} \right) \quad (0/0)$$

(ρ = Dichte der Luft; c_p = Spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck; r = Verdampfungswärme von Wasser; Δq = Differenz der spezifischen Feuchte im Gewächshaus und Freiland) zugeordnet werden [1], die man näherungsweise aus dem in Bild 5 dargestellten Diagramm ermitteln kann.

Um die Vorteile des Polyestergewächshauses hinsichtlich des Heizaufwandes abzuschätzen, wurde k_L für das Polyestergewächshaus mit $z = 0,25/h$ und vergleichsweise das Gewächshaus aus Glas mit $z = 1,5/h$ berechnet (Tafel 6). Zur Festlegung des Klimas im Gewächshaus und im Freien wurden mikroklimatische Daten (Dampfdruck- und Temperaturdifferenzen), die während eines Zeitabschnittes von 2 Monaten in einem Fensterverbinder-Gewächshaus fortlaufend gemessen wurden, verwendet (Tafel 6). Die unter Zugrundelegung dieser Daten ermittelten Wärmedurch-

gangszahlen k_L betragen beim Polyestergewächshaus durchschnittlich $1,54 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}$. Die globale Wärmedurchgangszahl eines Gewächshauses beträgt im Durchschnitt 6 bis $6,5 \text{ kcal}$ [1] [10]. Unter der Voraussetzung, daß der Wärmedurchgang durch Polyester und Glas immer gleich hoch ist [11], ergibt sich hieraus und unter Berücksichtigung der für beide Gewächshäuser abgeschätzten Wärmedurchgangszahlen k_L für das Polyestergewächshaus eine globale Wärmedurchgangszahl von etwa $4,7$ bis $5,2 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}$. Die Wärmeeinsparung würde demnach bei gleichen geometrischen Abmessungen beider Gewächshäuser etwa 20% betragen. Erste Meßreihen, die zum Wärmeverbrauch und zur experimentellen Bestimmung der Wärmedurchgangszahl aus dem Jahre 1964 vorliegen, bestätigen dies [4].

5. Zusammenfassung

Im Gegensatz zu früheren Angaben wurde festgestellt, daß die Methode der Luftaustauschmessung mit radioaktivem Krypton-85 genau, schnell und mit geringem finanziellen Aufwand durchgeführt werden kann. Als Meßgeräte dienten G-M-Zählrohre in Verbindung mit Impulsdichtemesser und Schreiber. Es wurden erste vergleichende Messungen an einem 12 m breiten Gewächshaus aus glasfaserverstärktem Polyester in Schalenbauweise und einem Glasgewächshaus durchgeführt. Die Messungen ergaben unter speziellen

äußeren Bedingungen Lüftungskoeffizienten von $0,23$ bis $0,43/\text{h}$ im Polyester- und von $1,5$ bis $2,7/\text{h}$ im Glasgewächshaus. Auf dieser Grundlage wird der Einfluß des Luftaustausches auf den Wärmeverbrauch im Polyestergewächshaus diskutiert.

Literatur

- [1] RENARD, W. / I. SIEBERT: Wärmebedarf von Gewächshäusern. Heizung-Lüftung-Haustechnik (1962) S. 101 bis 105
- [2] WIEJA, K.: Großräumige Gewächshausanlagen in Montagebauweise. Internationale Zeitschr. f. Landwirtschaft. (1962) H. 4, S. 97 bis 102
- [3] VOGEL, G. / J. LANCKOW / A. HEISSNER: Ergebnisse zur Inneuerkleidung von Gewächshäusern mit Plastfolie. Archiv f. Gartenbau (1963) H. 1
- [4] VOGEL, G.: Gewächshaus aus glasfaserverstärktem Polyester in Schalenbauweise. Deutscher Agrartechnik (1965) H. 4
- [5] WHITTLE, R. M. / W. J. C. LAWRENCE: The Climatology of Glasshouses II. Ventilation. J. agric. Angng. res. (1959) S. 36 bis 41
- [6] GEORGI, H. W.: Untersuchungen über den Luftaustausch zwischen Wohnräumen und Außenluft. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie (B), (1953) S. 190 bis 214
- [7] GÜSSEW, N. G.: Leitfaden für Radioaktivität und Strahlenschutz. VEB Verlag Technik 1957
- [8] — Katalog der Isotopenverteilungsstelle Berlin-Duch
- [9] HELBIG, W.: unveröffentlicht
- [10] BOHN, R.: Die Technik im Gartenbau, 2. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1959
- [11] VOGEL, G.: Ergebnisse und Erfahrungen beim Einsatz von GFP-Schalenelementen im Gewächshausbau. Vortrag auf der I. Internationalen GFK-Tagung im Institut für Kunststoffe Berlin-Adlershof (1965) A 6007

Zur Problematik von Tragluftgewächshäusern

Dipl.-Gärtner R. BÜTTNER*

Mit der Herstellung von Plastfolien mit hoher Lichtdurchlässigkeit, wie PVC und Polyäthylen, begannen auch die Bestrebungen, diese Stoffe für Gewächshäuser zu verwenden. Wenn auch der Baustoff Glas sich durch lange Lebensdauer und demzufolge durch niedrige jährliche Kosten auszeichnet, so sind doch wegen der geringen Biegefestigkeit feste Konstruktionen aus Stahl oder Holz und entsprechende Fundamente erforderlich. Für Gewächshäuser sind deshalb hohe Investitionen notwendig, bei dem gegenwärtig in der DDR gebauten Typ 0/55 werden z. B. nur für Konstruktion und Fundamente etwa 42 bis 47 MDN je m^2 gebaute Fläche investiert.

Die Verwendung von Plastfolien anstelle von Glas bedingt Veränderungen der Konstruktion der Gewächshäuser entsprechend den anderen Anforderungen des Deckmaterials. In den letzten Jahren wurden in vielen Ländern, auch in der DDR, Foliengewächshäuser entwickelt. Diese hatten sämtlich die Befestigung der Folien an Konstruktionen aus Metall oder Holz als Grundprinzip. Da Plastfolien eine große Wärmeausdehnung haben, traten dabei als Nachteile besonders Schlägen der Folie bei Wind und Wassersäcke bei Regen auf. Weil außerdem die zur Verfügung stehenden PVC- und Polyäthylenfolien nur etwa 2 Jahre halten, kommt das Auswechseln der Folie hinzu; je nach Befestigungsart ist es mit mehr oder weniger großem Arbeitsaufwand verbunden. Alle diese Gewächshäuser nutzten jedoch die Eigenschaften der Plaste nicht maximal aus. Die Folien waren im wesentlichen nur als Glasersatz gedacht.

Von der gärtnerischen Versuchsanstalt Vineland/Ontario wurde 1958 ein Gewächshaus aus Plastfolien gebaut, das auf Konstruktionsteile verzichtete, die Dachhaut wurde durch Überdruck im Hausinnern gehalten. Seitdem wurden in vielen Ländern derartige Tragluflthäuser gebaut und vor allem im Bauwesen verwendet.

Auch in der DDR wurden 1964 Tragluflthäuser entwickelt, so der Ausstellungspavillon der Landwirtschaftsausstellung Mark-

kleberg (Halbkugel) und die Mehrzweckhalle der Arbeitsgemeinschaft Tragluflthäuser (Halbzylinder). Für diese Tragluflthäuser wurde als Dachhaut Dederongewebe verwendet, das mit PVC beschichtet ist und zum Teil als Schutz vor UV-Strahlung eingefärbt wurde.

Im August 1964 begannen im Institut für Gartenbau Bernburg Versuche zur Verwendung dieses Konstruktionsprinzips beim Bau von Gewächshäusern. Eine der möglichen Varianten wurde zur Information auf der iga in Erfurt errichtet.

Beim Bau von Tragluftgewächshäusern ergeben sich einige Probleme, bedingt durch ihren speziellen Charakter als Produktionsanlage für Pflanzen. Als Material für die Dachhaut können Polyäthylenfolien, PVC-Klarfolien und Gitterfolien verwendet werden. Die erforderliche Dicke richtet sich nach der Beanspruchung. Für große Hausbreiten soll die Folie $0,2 \text{ mm}$ dick sein, während sonst $0,12 \text{ mm}$ genügen. Die Verarbeitung erfolgt durch Schweißen, bei PVC auch durch Kleben.

Die Form der Tragluflthäuser wird durch die allseitige Wirkung des Luftdrucks bestimmt. Statisch am günstigsten ist deshalb die Form der Halbkugel, die jedoch für Gewächshäuser nicht vorteilhaft ist, da bei einer großen überbauten Fläche das Haus sehr hoch wird. Um lange Häuser zu errichten, die in ihrer Form den Gewächshäusern nahe kommen, verwendet man die Form des Halbzylinders, wobei jedoch die Giebel als Viertelkugeln ausgebildet werden. Bei kleinen Häusern bis zu $\approx 6 \text{ m}$ Breite kann man die Giebelseiten auch als plane Flächen herstellen. Nach dem Aufblasen des Hauses wird zwar die Giebelwand ausgebeult, jedoch ist das bei kleinen Häusern hinsichtlich der Haltbarkeit nicht entscheidend.

Die Höhe des Hauses sollte der halben Hausbreite entsprechen, was bei großen Häusern allerdings zu Höhen führt, die für die Nutzung nicht erforderlich sind. Ein Verringern der Höhe durch Herabziehen (mit aufgelegten Netzen u. ä.) führt zwar zu einer Einsparung von Folie, erschwert aber die Bearbeitung und Nutzung der Randfläche an den Längsseiten.

* Institut für Gartenbau der Hochschule für Landwirtschaft Bernburg (Komm. Direktor Dr. habil. H. SCHIRÖDER)