

Tafel 6. Beispiel für Druckliste 2

Betrieb ... Anbaufläche 45 ha		Fruchtart: PV-Nr.: 1		Wintergerste (Korn)		Ertrag Hauptprodukt: 35 dt/ha		Ertrag Koppelprodukt: -				
Arbeitskräfte		Stahl		Mat./Hima.		gesamt						
GJ	MJ/ha	MJ/dt	GJ	MJ/ha	MJ/dt	GJ	MJ/ha	MJ/dt	GJ	MJ/ha	MJ/dt	
%		MJ/GE	%		MJ/GE	%		MJ/GE	%		MJ/GE	
Summe												
PA 3	0,11	2,42	0,07	2,63	58,44	1,67	426,46	9 476,80	270,77	442,65	9 836,71	281,05
:	10,68		0,07	4,81		1,67	94,83		270,77	70,98		281,05
PA 11	0,17	3,71	0,11	5,37	119,40	3,42	0,00	0,00	0,00	19,87	441,60	12,62
:	16,37		0,11	9,84		3,42	0,00		0,00	3,19		12,62
PV 1	1,02	22,64	0,65	54,61	1 213,62	34,67	449,70	9 993,40	285,53	623,60	13 857,81	395,94
:	100,00		0,65	100,00		34,67	100,00		285,53	100,00		395,94
darunter:												
UL	0,01	0,20	0,01	0,25	5,65	0,16	0,00	0,00	0,00	0,95	21,13	0,60
:	0,89		0,01	0,47		0,16	0,00		0,00	0,15		0,60
TRP	0,34	7,45	0,21	10,51	233,56	6,67	154,96	3 443,60	98,39	195,46	4 343,46	124,10
:	32,92		0,21	19,24		6,67	34,46		98,39	31,34		124,10
LKW	0,13	2,92	0,08	3,77	83,70	2,39	154,96	3 443,60	98,39	170,81	3 795,86	108,45
:	12,89		0,08	6,90		2,39	34,46		98,39	27,39		108,45
TRA	0,20	4,53	0,13	6,74	149,85	4,28	0,00	0,00	0,00	24,64	547,60	15,65
:	20,03		0,13	12,35		4,28	0,00		0,00	3,95		15,65
S-Nr.	Material/Hilfsmaterial		ME ¹⁾	MJ/ha	MJ/GE	% 1	% 2					
1	Stickstoffdüngem.		0,15	7 808,80	223,11	78,14	56,35					
4	Kalk-Düngem.		0,27	408,00	13,71	4,80	3,45					
6	PK-Düngem. (5 dt/ha)		0,20	1 188,00	33,94	11,89	8,57					
7	Herbizide		0,20	495,00	14,14	4,95	3,57					
22	Gülle		1,62	0,00	0,00	0,00	0,00					
24	Wasser/Sickersaft		0,65	0,00	0,00	0,00	0,00					
25	Saat-Pflanzgut		0,13	0,00	0,00	0,00	0,00					
26	Körner		1,58	0,00	0,00	0,00	0,00					
	gesamt			9 993,40	285,53	99,78	71,96					

1) 1000 dt

führbar. Im Ergebnis der Nutzrechnungen werden sich die hier kurz dargestellten Anwendungsmöglichkeiten beweisen und noch vertiefen lassen.

6. Zusammenfassung

Im Beitrag werden eine Methode und ein Modell zur energetischen Betrachtung von mobilen und z. T. stationären Prozessen der

Pflanzenproduktion vorgestellt. Das bewährte Mechanisierungsplanungsmodell MP84 ist über gemeinsame relevante Eingabedatenträger sowohl zusammen mit dem Modell zur energetischen Bewertung ENEG als auch getrennt von ihm nutzbar. Energetisch betrachtet und bewertet werden sowohl im Detail als auch als Summe:

- Gebrauchsenergie/Primärenergie
- Material/Hilfsmaterial

- lebendige Arbeit
- Stahl.

Alle wichtigen Eingabedatenträger werden aufgeführt bzw. dargestellt. Die Ergebnisse sowie Beispiele für ihre Druckbilder und deren Untergliederung werden ausgewiesen. Das Modell ist zur energetischen Betrachtung bzw. zum Vergleich von Verfahren anwendbar.

A 4648

Berechnung zur Effektivität von Wärmedämmeinrichtungen in Gewächshäusern

Dr. agr. Elsa Leuschner¹⁾

1. Problem und Aufgabenstellung

Durch Wärmedämmeinrichtungen in Gewächshäusern soll erreicht werden, deren Energieverbrauch zu senken. Um die Effektivität solcher Einrichtungen nachweisen zu können, sind Berechnungen notwendig, die problematisch sind, weil der Heizenergieverbrauch in Gewächshäusern von vielen Einflüssen innerhalb und außerhalb des Gewächshauses abhängig ist, die nicht oder schwer zu erfassen sind.

Nicht bekannt ist auch der vergegenständlichte Energieaufwand, der für die energie-

sparenden Wärmedämmeinrichtungen notwendig ist. Erst wenn dieser Energieverbrauch bekannt ist, kann der energetische Effekt wärmedämmender Einrichtungen aus volkswirtschaftlicher Sicht bewertet werden. Die Energieeinsparung im volkswirtschaftlichen Rahmen ist demzufolge die Differenz ΔE von eingesparter Heizenergie E_D und der für die Wärmedämmung notwendig vergegenständlichten Energie E_V :

$$\Delta E = E_D - E_V \quad (1)$$

Die Aufgabe besteht darin, Methoden und Modelle zur Berechnung der Energieeinsparung von Wärmedämmeinrichtungen im Gewächshaus und ihrer vergegenständlichten Energie aufzustellen, um so die tatsächliche volkswirtschaftliche Energieeinsparung zu erkennen.

2. Untersuchungsgegenstand und -methode

Untersucht wurden verschiedene Wärmedämmeinrichtungen in einem Stahl-Glas-Gewächshaus EG 2-2 mit den Abmessungen 24 m x 48 m. Der Energieverbrauch wurde für folgende Wärmedämmeinrichtungen ermittelt:

- Stehwände mit Luftpolsterfolie verkleidet
- Stehwände mit Luftpolsterfolie verkleidet und Wärmedämmschirm, der in den Nachtstunden zugezogen wird.

Der Wärmeverbrauchskoeffizient k' wurde am Objekt direkt gemessen [1].

Zum Vergleich wurden auch Berechnungen an einem Gewächshaus des gleichen Typs mit Doppelverglasung und an einem Gewächshaus aus Thermoglas durchgeführt.

1) Die Arbeit entstand während der Tätigkeit der Autorin an der Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Tafel 1. Errechneter Tagkoeffizient α

Monat	Gewächshausinnentemperatur t_i in °C					
	5,5	8,5	10,5	15,5	20,5	24,5
Januar	0,07	0,15	0,18	0,22	0,25	0,26
Februar	0,02	0,15	0,20	0,27	0,30	0,32
März	-	-	0,14	0,29	0,35	0,38
April	-	-	-	0,23	0,37	0,42
Mai	-	-	-	-	0,29	0,43
Juni	-	-	-	-	-	0,35
Juli	-	-	-	-	-	0,21
August	-	-	-	-	-	0,23
September	-	-	-	-	0,16	0,29
Oktober	-	-	-	0,12	0,25	0,29
November	-	-	0,08	0,19	0,24	0,26
Dezember	-	0,10	0,14	0,19	0,22	0,24

Tafel 2. Errechneter Nachtkoeffizient β

Monat	Gewächshausinnentemperatur t_i in °C					
	5,5	8,5	10,5	15,5	20,5	24,5
Januar	0,93	0,85	0,82	0,78	0,75	0,74
Februar	0,98	0,85	0,80	0,73	0,70	0,68
März	1,0	1,0	0,86	0,71	0,65	0,62
April	1,0	1,0	1,0	0,77	0,63	0,58
Mai	1,0	1,0	1,0	1,0	0,71	0,57
Juni	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,65
Juli	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,79
August	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,77
September	1,0	1,0	1,0	1,0	0,84	0,71
Oktober	1,0	1,0	1,0	0,88	0,75	0,71
November	1,0	1,0	0,92	0,81	0,76	0,74
Dezember	1,0	0,9	0,86	0,81	0,78	0,76

Für die Berechnung der vergegenständlichten Energie konnten Werte aus den Untersuchungen der Ingenieurhochschule Zittau verwendet werden [2].

3. Modell zur Berechnung des Wärmebedarfs

Für die Aufstellung eines Modells zur Ermittlung des Wärmebedarfs wird auf bekannte Berechnungsmethoden zurückgegriffen [3]. Der Wärmebedarf für ein Gewächshaus berechnet sich wie folgt:

$$Q_{Hges} = k' f_D f_A A_G (G_H - G_{St}) n; \quad (2)$$

- Q_{Hges} Wärmebedarf in J
- k' Wärmeverbrauchs-koeffizient in $W/m^2 \cdot K$
- A_G Gewächshausgrundfläche in m^2
- f_D Auslastungsfaktor (Anbauzeit/Bezugszeit)
- f_A Formfaktor des Gewächshauses (Oberfläche/Grundfläche)
- G_H Heizgradstundenanzahl (Anzahl der Heizstunden multipliziert mit der Temperaturdifferenz zwischen Außentemperatur und gewünschter Innentemperatur) in $K \cdot h$
- G_{St} Heizgradstundenanzahl der Globalstrahlung in $K \cdot h$
- n Anzahl der zu berechnenden Gewächshäuser.

Durch Einführen einer Konstanten C_A in Gl. (2) und den Bezug auf die Gewächshausfläche A_G ergibt sich für den spezifischen Wärmebedarf:

$$q_{Hges} = k' C_A (G_H - G_{St}); \quad (3)$$

q_{Hges} spezifischer Wärmebedarf in J/m^2 .
Um den Wärmebedarf für den Tag und die Nacht gesondert zu berechnen, was durch die Anwendung des Wärmedämmschirms notwendig ist, war es zweckmäßig, die Heizgradstundenanzahl G_H entsprechend aufzuteilen:

$$G_H = G_{HT} + G_{HN}. \quad (4)$$

Die dazu notwendigen Nacht- bzw. Tagtemperaturen wurden aus den langjährigen Temperaturverläufen aus 14 Bezirken der DDR entnommen [4]. Dabei konnte festgestellt werden, daß die mittleren Tag- und Nachttemperaturen um den Mittelwert T_{norm} in einem Temperaturbereich von $\pm 5^\circ C$ schwanken. Der dadurch entstehende Fehler ist, wie der Vergleich mit tatsächlichen Temperaturverläufen über längere Zeiträume zeigt, vertretbar klein [5]. Entsprechend den Gln. (5) und (6) ergibt sich:

$$G_{HT} = \alpha G_H \quad (5)$$

$$G_{HN} = \beta G_H. \quad (6)$$

Die Anteile errechnen sich wie folgt:

Tagkoeffizient

$$\alpha = \frac{(t_i - T_T) \lambda_T}{(t_i - T_T) \lambda_T + (t_i - T_N) \lambda_N} = \frac{\Delta t_T \lambda_T}{\Delta t_T \lambda_T + \Delta t_N \lambda_N} \quad (7)$$

Nachtkoeffizient

$$\beta = \frac{(t_i - T_N) \lambda_N}{(t_i - T_N) \lambda_N + (t_i - T_T) \lambda_T} = \frac{\Delta t_N \lambda_N}{\Delta t_N \lambda_N + \Delta t_T \lambda_T} \quad (8)$$

- t_i Gewächshausinnentemperatur in °C
 - T_T mittlere Tagtemperatur in °C
 - T_N mittlere Nachttemperatur in °C
 - Δt_T Heiztemperaturdifferenz am Tag in °C
 - Δt_N Heiztemperaturdifferenz in der Nacht in °C
 - λ_T Anteil der Tagstunden
 - λ_N Anteil der Nachtstunden.
- Die errechneten Werte für die Koeffizienten α und β sind in den Tafeln 1 und 2 dargestellt.

Mit Hilfe der genannten Größen kann der spezifische Wärmebedarf wie folgt berechnet werden:

$$q_{Hges} = C_A [(G_{HT} - G_{St}) k'_T + G_{HN} k'_N]. \quad (9)$$

4. Wärmebedarf im Gewächshaus bei verschiedenen Wärmedämmeinrichtungen

Der für das zu berechnende Gewächshaus gemessene Wärmeverbrauchs-koeffizient k' beträgt:

- für das ungedämmte Gewächshaus nach [1] $k'_1 = 8,856 W/m^2 \cdot K$
- bei Luftpolsterfolie an den Stehwänden nach [1] $k'_2 = 7,642 W/m^2 \cdot K$
- bei Luftpolsterfolie an den Stehwänden und waagrecht über der gesamten Gewächshausfläche angeordnetem Wärmedämmschirm nach [1] $k'_3 = 6,878 W/m^2 \cdot K$
- bei Doppelverglasung (geschätzt aufgrund von Literaturangaben [6]) $k'_6 = 6,55 W/m^2 \cdot K$
- bei Thermoglas (geschätzt aufgrund von Literaturangaben [6]) $k'_5 = 5,33 W/m^2 \cdot K$.

Die Einsparungen, die sich durch die Wärmedämmeinrichtungen ergaben, errechneten sich aus:

$$E_D = q_{Hges,1} - q_{Hges,i}; \quad (10)$$

E_D Energieeinsparung durch Wärmedämmeinrichtung

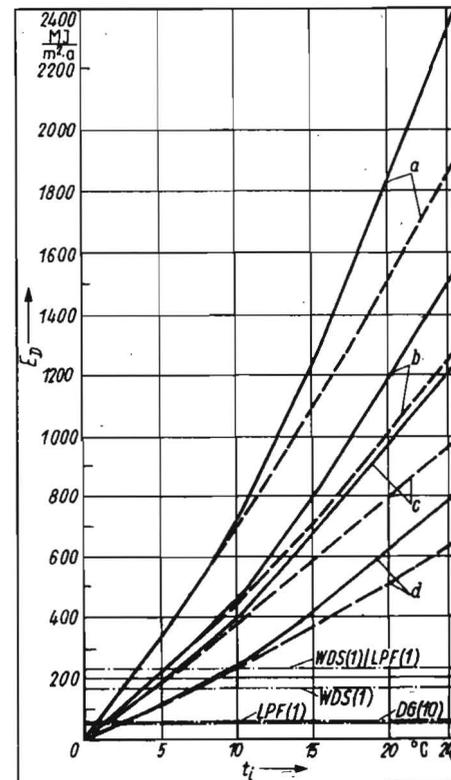
$q_{Hges,1}$ spezifischer Wärmebedarf im ungedämmten Gewächshaus
 $q_{Hges,i}$ spezifischer Wärmebedarf im gedämmten Gewächshaus.

Gegenüber dem einfach verglasten Gewächshaus ergaben sich folgende Einsparungen an Wärmeenergie:

- mit Luftpolsterfolie verkleidete Stehwände rd. 13,7%
- mit Luftpolsterfolie verkleidete Stehwände

Bild 1. Reduzierung des Wärmebedarfs bei verschiedenen Wärmedämmeinrichtungen in 2 Heizperioden; a Thermoglas, b Doppelglas (DG), c Luftpolsterfolie (LPF) und Wärmedämmschirm (WDS), d Luftpolsterfolie

- Heizperiode Januar bis Dezember
- - - Heizperiode Oktober bis April
- - - - vergegenständlichte Energie für 25 Jahre (Zahlenangaben in Klammern $\hat{=}$ Nutzungsdauer in a)



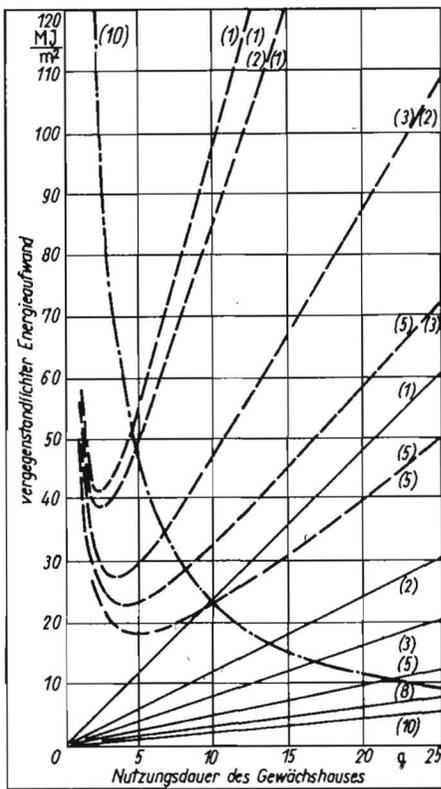


Bild 2. Vergegenständlichter Energieaufwand für Wärmedämmeinrichtungen;
 — Luftpolsterfolie
 - - - Luftpolsterfolie und Wärmedämmschirm
 - - - - Doppelglas
 (Zahlenangaben in Klammern $\hat{=}$ Nutzungsdauer in a LPF/WDS)

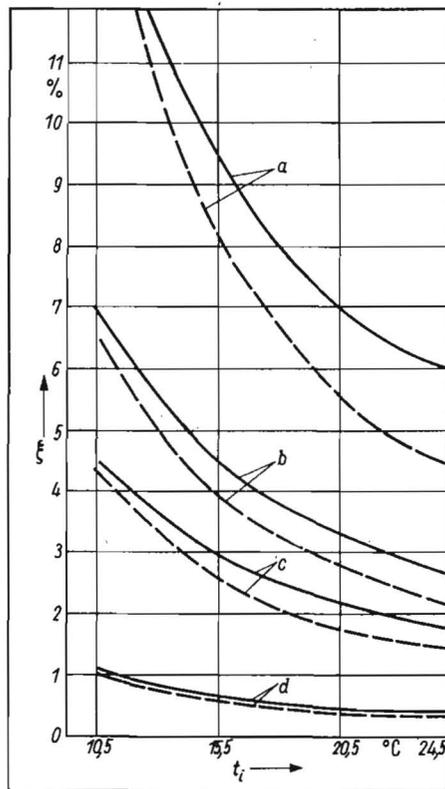


Bild 3. Aufwandskennzahlen für verschiedene Wärmedämmeinrichtungen;
 — Luftpolsterfolie und Wärmedämmschirm,
 a Luftpolsterfolie und Wärmedämmschirm,
 b Doppelglas, c Thermoglas, d Luftpolsterfolie
 — Heizperiode Januar bis Dezember
 - - - Heizperiode Oktober bis April

und Wärmedämmschirm in der Nacht rd. 22,3%

- mit Doppelverglasung rd. 26,0%
- mit Thermoverglasung rd. 40,0%

Die Reduzierung des Wärmebedarfs ist im Bild 1 für 2 Heizperioden dargestellt.

5. Ermittlung des vergegenständlichten Energieaufwands für verschiedene Wärmedämmeinrichtungen

Der vergegenständlichte Energieaufwand wurde aus dem spezifischen Energieaufwand berechnet, der zur Herstellung des Dämmmaterials, bezogen auf die Masse- oder Flächeneinheit, notwendig ist. Nicht berücksichtigt wurde der Energieverbrauch für die Fertigung und Montage der Dämmeinrichtung, der wegen Einfachheit dieser Einrichtungen vernachlässigbar klein ist. Der vergegenständlichte Energieaufwand E_V errechnet sich aus:

$$E_V = \frac{w_{vi} m_i}{A_G} \quad (11)$$

E_V vergegenständlichter Energieaufwand in J/m^2

m_i Masse des Materials in kg

w_{vi} spezifische vergegenständlichte Energie in J/kg oder J/m^2 nach [2] (Folie 65,81 MJ/kg , Stahl 52,0 MJ/kg , Glas 133,0 MJ/m^2).

Für die Wärmedämmeinrichtungen ergab sich folgender vergegenständlichter Energieaufwand je m^2 Gewächshausgrundfläche:

- Luftpolsterfolie an den Stehwänden 2,47 MJ/m^2
- Luftpolsterfolie an den Stehwänden und Wärmedämmschirm 9,38 MJ/m^2

- Halterungen des Wärmedämmschirms aus Stahl 46,9 MJ/m^2
- Doppel- oder Thermoverglasung 196,84 MJ/m^2
- Mehraufwand an Stahl für die Stützkonstruktion infolge größerer Belastung durch die Doppelscheibe 32,24 MJ/m^2 .

Die Ermittlung des vergegenständlichten Energieaufwands E_V für die Wärmedämmeinrichtungen ist hauptsächlich von der Nutzungsdauer der Plastwerkstoffe abhängig. Ihre Haltbarkeit ist relativ gering, so daß sie, bezogen auf die Nutzungsdauer von Glas und Stahl, öfter erneuert werden müssen. Für die unterschiedliche Nutzungsdauer der Luftpolsterfolie und des Wärmedämmschirms sind die Werte im Bild 2 dargestellt. Für den ungünstigsten Fall, d. h. Nutzungsdauer der Plastwerkstoffe nur 1 Jahr, wurden die Werte mit den Einsparungen an Energie verglichen. Dabei konnte festgestellt werden, daß die vergegenständlichte Energie im Vergleich zur eingesparten Energie durch die Wärmedämmeinrichtungen sehr gering ist.

6. Wertung zur Anwendbarkeit der Wärmedämmeinrichtungen

Aus den Berechnungen für den vergegenständlichten Energieaufwand E_V ist zu erkennen, daß dieser gegenüber der eingesparten Energie E_D sehr gering ist. Die Energieeinsparung ΔE ist somit für alle Varianten gewährleistet. Der Unterschied liegt in der Größe der Einsparungen. So verhalten sich die ver-

schiedenen Varianten der Wärmedämmung wie:

- ungedämmtes Gewächshaus 1,0
- Luftpolsterfolie 0,86
- Luftpolsterfolie und Wärmedämmschirm 0,78
- Doppelglas 0,74
- Thermoglas 0,60.

Der Anteil der vergegenständlichten Energie zur Energieeinsparung wird durch die Aufwandskennzahl ξ in % charakterisiert:

$$\xi = \frac{E_V}{E_D} 100. \quad (12)$$

Für eine Gewächshausinnentemperatur t_i von 10,5 bis 24,5 $^{\circ}C$ wurden für verschiedene Wärmedämmeinrichtungen die Aufwandskennzahlen ermittelt (Bild 3). Daraus ist zu erkennen, daß Luftpolsterfolie zwar den geringsten Anteil an Energieeinsparung erreicht, jedoch auch den geringsten Aufwand an Energie zur Herstellung benötigt. Dazu kommt noch, daß der Materialverbrauch nur 37,5 g/m^2 beträgt. Die Kombination Luftpolsterfolie und Wärmedämmschirm ist dagegen die ungünstigste Variante. Die Ursachen sind nicht nur im größeren Stahlaufwand für die Aufhängung der Folie bzw. für die Folie selbst zu suchen, sondern beim untersuchten Muster auch in der Art der Aufhängung. Der Wärmedämmschirm muß vollständig den Pflanzenwuchsraum vom darüberliegenden Giebelraum abschließen. Wird zugelassen, daß Schlitz- und Spalten entstehen, kann die Wirkung der Einsparung vollkommen aufgehoben werden [6]. Im Vergleich mit internationalen Messungen müßte die Einsparung rd. das 4fache, d. h. etwa 30 bis 50 %, betragen.

Von großer perspektivischer Bedeutung für den Gewächshausneubau sind die von der DDR-Glasindustrie entwickelten Thermoscheiben. Mit diesen Scheiben kann der Energieverbrauch auf 33 % reduziert werden. Beim Bau von neuen Gewächshäusern müßte auf eine vollständige Eindeckung mit diesem Thermoglas orientiert werden. Bei entsprechender Nutzungsdauer ist eine Verwendung auch bei den gegenwärtig hohen Glaspreisen ökonomisch vertretbar. Die Doppelverglasung erscheint dann erst zweckmäßig, wenn es gelingt, die Probleme der Verschmutzung und Veralgung der Innenseiten der Scheiben zu lösen.

Literatur

- [1] Förtsch, C.: Messungen des Wärmebedarfs im VEG Gartenbau Berlin, Betriebsteil Heinersdorf, 1982/83.
- [2] Richter, K.: Aspekte der Einbeziehung der vergegenständlichten Energie in die rationelle Energieanwendung. Ingenieurhochschule Zittau, Dissertation 1976.
- [3] Bathke, K.; Hamann, R.: Wärmetechnische Grundlagen und Empfehlungen für eine rationelle Energieanwendung in Gewächshausanlagen. Internationale Gartenbauausstellung der DDR Erfurt, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR Berlin, 1980.
- [4] Wärmeenergetische Grundlagen zur Rekonstruktion von Gewächshausanlagen. Internationale Gartenbauausstellung der DDR Erfurt, Arbeitsgemeinschaft Rekonstruktion und rationelle Energieanwendung im Fachausschuß Gewächshausanlagen der Kammer der Technik. iga-Ratgeber 1980.
- [5] Leuschner, E.: Berechnung zur Effektivität von Wärmedämmeinrichtungen in Gewächshäusern. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1984 (unveröffentlicht).
- [6] Zabeltitz, C. v.: Gewächshäuser, Planung und Bau. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 1978.