



DGG-Proceedings

Vol. 1, 2011

Short Communications - Annual Conference DGG and BHGL
23.02.-26.02.2011, Hannover, Germany
PeerReviewed

Editorial Board and Review

Balder, Hartmut *Berlin*
Damerow, Lutz *Bonn*
Dirksmeyer, Walter *Braunschweig*
Drüge, Uwe *Erfurt*
Michaelis, Gerlinde *Bad-Zwischenahn*
Rath, Thomas *Hannover*
Schreiner, Monika *Großbeeren*
Schuster, Mirko *Dresden*
Winkelmann, Traud *Hannover*

German Society of Horticultural Sciences (DGG)
Herrenhäuser Str. 2
30419 Hannover
Germany

© DGG, 2011

Andreas Ulbrich*, Gerhard Reisinger, Hans-Jürgen Tantau, Thomas Hofmann,
Johannes F. J. Max, Ulrich Schurr

Innovative Gewächshäuser: Steigerung der Energieeffizienz durch den Einsatz einer
Glas-Folien-Kombination (GFK)

*Corresponding Author:

Andreas Ulbrich

Forschungszentrum Jülich
Institut für Bio- und Geowissenschaften, IBG-2-Pflanzenwissenschaften
52425 Jülich
Germany
Email: a.ulbrich@fz-juelich.de

Innovative Gewächshäuser: Steigerung der Energieeffizienz durch den Einsatz einer Glas-Folie-Kombination (GFK)

Andreas Ulbrich, Gerhard Reisinger, Hans-Jürgen Tantau, Thomas Hofmann, Johannes F. J. Max, Ulrich Schurr

Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften, IBG-2 - Pflanzenwissenschaften, 52425 Jülich; Universität Bonn, Campus Klein-Altendorf; Leibniz Universität Hannover, Fachgebiet Biosystem- und Gartenbautechnik, D-30419 Hannover

1. Einleitung, Stand des Wissens, Zielsetzung

Die Verwendung von Gewächshausbedachungsmaterialien mit höherer Isolierleistung ist in der Regel mit einer verringerten Lichttransmission verbunden (Briassoulis et al. 1997; Bakker 2009) und umgekehrt. Da Licht ein zentraler Wachstumsfaktor in der Pflanzenproduktion ist, birgt jede Reduktion der Einstrahlung das Risiko erheblicher Ertragseinbußen (Bot 2001). Gewächshäuser in Mittel- und Nordeuropa sind daher überwiegend mit Einfachglas eingedeckt (Briassoulis et al. 1997). Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels und weltweit steigender Energiepreise ist sowohl eine Reduzierung des Verbrauches fossiler Energieträger als auch der CO₂ Emissionen dringend geboten. Die Verwendung von Doppelglas-Isolierscheiben erwies sich als wenig erfolgversprechend, da dies aufgrund der reduzierten Lichtdurchlässigkeit mit erheblichen pflanzenbaulichen Nachteilen verbunden ist (vgl. z.B. Pollet und Pieters 2000). Die hier vorgestellte Glas-Folien-Kombination (GFK) ist ein Doppelbedachungssystem, das gegenüber Einfachverglasung keine oder kaum verminderte Lichtdurchlässigkeit aufweist. Große Vorteile dieses Systems gegenüber Doppelverglasungen und Zweilagengliedersystemen sind sowohl die günstige Kombination der positiven Materialeigenschaften (Glas: mechanische Festigkeit, Filmkondensation; ETFE-Folie: geringes Gewicht, hohe Reißfestigkeit, selbstreinigende Oberfläche und lange Haltbarkeit) als auch die Schaltbarkeit der Isolierung durch gezielten Auf- oder Abbau des Luftkissens zwischen Scheibe und Folie. Vor einer Markteinführung der GFK ist eine Überprüfung der Praxistauglichkeit und des tatsächlichen Energieeinsparungspotentials durchzuführen. Ein geeigneter Parameter zur Charakterisierung des Energieeinsparungspotentials ist der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert). Neben der eigentlichen Entwicklung der GFK und der Bestimmung der Transmissionseigenschaften war es deshalb ein wesentliches Ziel ein Verfahren zur Bestimmung des U-Wertes zu erarbeiten und mit dessen Hilfe das Energiesparpotential unterschiedlicher Konstruktionsvarianten der GFK unter gewächshausstypischen Bedingungen zu untersuchen.

2. Material und Methoden

2.1 GFK-Entwicklung

Nach Voruntersuchungen von einigen handelsüblichen Gläsern wurden die Floatglastypen CENTROSOL C+ (3 mm, eisenarm), CENTROSOL HiT C+ 2S (3 mm, eisenarm, beidseitig

AR-beschichtet) (beide Centrosolar Glas, Fürth, Deutschland) und ein eisenarmes 4 mm Floatglas mit einer „low-emissivity“ („low-E“) Wärmeschutzschicht (SANCO SILVERSTAR ENplus, Glas Trösch, Thunstetten Bützberg, Schweiz) als Glaskomponenten für die GFK ausgewählt. Als Folie wurde die 100 µm ETFE-folie NOWOFOLON ET 6235 (NOWOFOL Kunststoffprodukte GmbH & Co. KG, Siegsdorf, Deutschland) verwendet. Zur Einordnung des Energiesparpotentials wurden die Messergebnisse auf Vergleichsmessungen eines Referenzmaterials (3 mm Einscheibensicherheitsglas [ESG], CENTROSOL C, Centrosolar Glas, Fürth, Deutschland) bezogen. Des Weiteren wurde ein Zweischeibenisoliertes Glas (CENTROSOL C) einbezogen.

Es wurden drei prinzipielle Aufbauvarianten der GFK (s. Abb. 1A) entwickelt und getestet: Eine geklebte Version in der die ETFE-Folie mit einem doppelseitigen Klebeband an der Glasscheibe befestigt wird sowie zwei Varianten bei denen entweder eine oder zwei Folien (auf beiden Seiten des Glases: Glas-Folien-Glas-Kombination [FGFK]) mit Hilfe eines Kunststoff-klemmprofils an der Scheibe montiert werden. Durch eine entsprechende Luftversorgung wird zwischen Glas und Folie ein wärmedämmendes Luftkissen erzeugt. Der Abstand zwischen Glas und Folie beträgt in der Scheibenmitte ca. 25 mm.

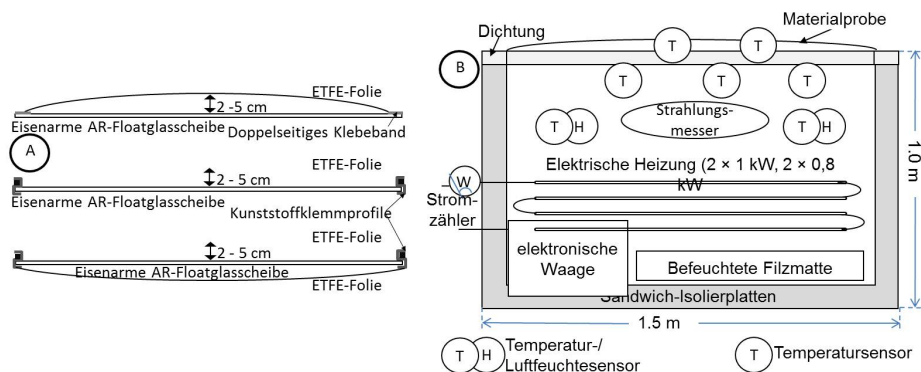


Abb 1: (A): Konstr.varianten der Glasfolienkombination, (B): entwickelte Hotboxen

2.2 Bestimmung der strahlungsphysikalischen Eigenschaften

Die Bestimmung der Strahlungsdurchlässigkeit von Einzelmaterialien und GFK-elementen in verschiedenen Spektralbereichen erfolgte im Labor von Centrosolar Glas gemäß ISO 9050:2003 mit einem UV/Vis/NIR-Spektrometer (Lambda 900, Perkin Elmer, Waltham MA, USA) mit 150 mm Integrationskugel (4P-GPS-060-IG, Labsphere, North Sutton NH, USA; Messbereich 250-2500 nm).

2.3 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert)

Die Bestimmung der U-Werte erfolgte mit drei eigens für diesen Zweck entwickelten Heizkästen (Hot boxen, Außenmaße: 240 x 190 x 120 cm, L x B x H, s. Abb. 1 B) am Institut für Biologische Produktionssysteme der Leibniz-Universität Hannover (52,39° N, 9,706° E, 52.3 m ü. NN) in den Wintern 2007/2008, 2008/2009, und 2009/2010. Die Messungen wurden im Freien und - um Fehler durch Sonneneinstrahlung zu vermeiden - nachts durchgeführt. Boden und Wände der Kästen bestanden aus 200 mm Sandwichisolierrplatten (ESP 040, UNIDEK GEFINEX GmbH, Steinhagen, Deutschland). Die Innenwände waren mit Aluminiumplatten ausgekleidet um langwellige Strahlung nach innen zu reflektieren. Die Beheizung der Boxen erfolgte mit vier Elektroheizstäben (jeweils

zwei Typ 01.123 [800 W, Cr/Ni Ø 6.9 mm, Länge: 1110 mm] und Typ 02.251 [2000 W, Cr/Ni, Ø 8.5 mm, Länge: 1110 mm], beide SELFA, Szczecin, Polen) die die Wärme ähnlich wie Heizungsrohre abgeben. Zur Simulation von Verdunstung waren 1 m² große Filzmatten installiert, die für Messungen mit Kondensation feucht gehalten wurden. Die Öffnung zur Probenaufnahme betrug 150 × 200 cm. Die Boxen können mit einem Winkel von 26° (typische Gewächshausdachneigung), senkrecht oder waagrecht aufgestellt werden. Messungen mit Kondensation erfolgten nur bei gewächshaustypischer Neigung. Das Messequipment jeder Box bestand aus einem Stromzähler (Typ EEM12-25 A, ShellCount, Ahrensburg, Deutschland, Genauigkeit: ±1%), je zwei kombinierten, belüfteten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren (Typ SHT 15, Sensirion AG, Staefa, Schweiz, Genauigkeit: ±0.3 K [Lufttemperatur] / ±2% [rel. Luftfeuchtigkeit]), einem Strahlungsbilanzmesser (Typ 8110, PH. SCHENK, Wien, Österreich, Genauigkeit: ±10%) und K, NiCr-Ni-typ Thermoelementen (Hettstedt, Hanau, Deutschland, Genauigkeit: ±0.2 K) zur Messung der Oberflächentemperaturen der zu untersuchenden Verglasungselemente. Zur Messung der äußeren Bedingungen wurden die gleichen Sensortypen (Temperatur- und Luftfeuchtigkeit, Nettostrahlungsbilanz) sowie ein Schalenkreuz Anemometer (Typ 1440, Lambrecht, Göttingen, Deutschland, Genauigkeit: ±2%) eingesetzt. Neben den Hotbox-messungen wurden Labormessungen nach DIN EN ISO 12567-1 am Institut für Fenstertechnik (IFT) in Rosenheim durchgeführt.

3. Ergebnisse

Erwartungsgemäß war die Lichtdurchlässigkeit der eisenarmen Gläser höher als die des Standard-Einscheibensicherheitsglases (ESG) (Tabelle 1). Die AR-Beschichtung verbesserte die Transmission im sichtbaren Spektralbereich und für PAR (engl.: photosynthetically active radiation) erheblich, führte aber gegenüber dem unbeschichteten eisenarmen Glas zu einer geringfügigen Reduktion der UV-B-Transmission. Das Doppelscheibenisoliertglas hatte von allen untersuchten Glastypeen die geringste Lichtdurchlässigkeit. Die VIS/PAR-Transmission der ETFE-Folie lag im Bereich des eisenarmen Floatglases, die UV-Durchlässigkeit war die höchste aller untersuchten Materialproben. Die vermessene GFK-Variante hatte gegenüber dem ESG eine leicht erhöhte Transmission für VIS und PAR sowie eine deutlich höhere Durchlässigkeit für UV, insbesondere für UV-B.

Tab. 1: Transmission [%] der Einzelmaterialien und einer Version der GFK

Material	Wellenlänge, nm	VIS	PAR	UV _{gesamt}	UV-A	UV-B
		380-780	400-725	300-380	320-380	300-315
Standard Einscheibensicherheitsglas		90	88	63	63	1
Standard Doppelscheibenisoliertglas		80	78	48	48	0
Eisenarmes Floatglas		92	92	88	88	64
Beidseitig AR-beschichtetes eisenarmes		99	99	89	89	61
Low-E-beschichtetes eisenarmes Floatglas		87	84	43	43	11
ETFE-Folie (100 µm)		93	93	73	74	47
GFK (eisenarmes AR Floatglas & ETFE)		91	89	72	73	46

AR: Antireflex, low-E: low-emissivity, GFK: Glass-Folien-Kombination; VIS: sichtbares Licht, PAR: photosynthetically active radiation, UV: Ultraviolettes Licht. Die Bestimmung der VIS, PAR, UV, UV-A und UV-B Durchlässigkeit erfolgte mit Gewichtungsfaktoren für jeden Wellenlängenbereich gemäß ISO 9050

Die Labormessungen der U-Werte am IFT zeigten eindeutig, dass die mit Profilen montierte GFK-Version (U-Wert: $2,8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) ein deutlich höheres Energieeinsparungspotential besitzen als die geklebte Variante. Während der U-Wert der profilmontierten GFK von der Dicke des Luftkissens unabhängig war, variierten die Werte der geklebten GFK zwischen $3,6$ und $3,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ bei $2,5$ bzw. $5,0 \text{ cm}$ Luftkissendicke. Durch die Hotboxmessungen im Freien konnte diese Größenordnung unter praxisnäheren Bedingungen bestätigt werden. Insgesamt lagen die mit den Hotboxen gemessenen U-Werte deutlich über den im Labor ermittelten (Tabelle 2).

Tab. 2: U-Werte verschiedener Glas-Folien-Kombinationsvarianten

(auf Hotboxen montiert, gemessen im Freien, nachts) normalisiert auf eine mittlere Windgeschwindigkeit von 2 m/s (in 2 m Höhe)

System	Neigung	U-Wert (absolut) [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$]		Energieeinsparungspotential [%]*	
		Kondensation		Kondensation	
		mit	ohne	mit	ohne
ESG	horizontal		6,9		0
GFK	horizontal		4,0		42
ESG	vertikal		6,7		0
GFK	vertikal		3,9		42
ESG	26°	8,1	7,2	0	0
GFK geklebt	26°	4,4	4,1	37	37
GFK	26°	4,1	3,8	49	47
FGFK	26°	2,8	2,7	65	62

*relativ zu ESG; ESG: Einscheibensicherheitsglas; GFK: Glas-Folien-Kombination, FGFK: Folie-Glas-Folie-Kombination GFK und FGFK mit beidseitig antireflexbeschichtetem, eisenarmem Floatglas und ETFE-Folie, montiert mit Kunststoffklemmprofil oder doppelseitigem Klebeband (GFK geklebt)

Der Einfluss des Neigungswinkels der Boxenoberfläche blieb im Wesentlichen im Bereich der Messgenauigkeit der eingesetzten Sensoren und wurde dementsprechend als vernachlässigbar eingestuft. Kondensation auf den Innenseiten der GFK führte generell zu einer Erhöhung der U-Werte. Allerdings war dieser Effekt bei der GFK wesentlich schwächer ausgeprägt als für ESG.

4. Diskussion

Gute Isolationseigenschaften und gegenüber ESG sogar leicht höhere PAR-Transmission machen die neu entwickelte GFK zu einer interessanten Alternative als Gewächshauseindeckungssystem. Die hohe UV-Durchlässigkeit der GFK könnte insbesondere für die Produktion von Pflanzenarten von großem Interesse sein, bei denen z.B. die Biosynthese wertgebender Inhaltsstoffe durch UV-Strahlung befördert wird. Demgegenüber ist Doppelglas aufgrund seiner geringen PAR-Transmission nur sehr eingeschränkt zur Verglasung von Gewächshäusern geeignet (Briassoulis et al. 1997). Der gegenüber der profilmontierten GFK höhere U-Wert der geklebten GFK-Variante ist höchstwahrscheinlich auf die geringere thermische Entkopplung der Materialkomponenten im Randbereich zurückzuführen. Darauf deutet auch die Tatsache hin, dass die U-Werte der geklebten GFK anders, als bei den profilmontierten Varianten, mit der Luftkissendicke abnehmen. In erster Linie dürfte dies eine Folge der Ausweitung des Luftkissens in den Randbereichen sein, da Luftpolster mit einer Dicke von über 2 cm ,

wie sie durch die Verwendung von Profilen zur Montage der GFK erzeugt wurden, nicht mehr zu nennenswerten Erhöhungen der U-Wert führen (Nijskens et al., 1984).

Der im Labor gemessene U-Wert der profilmontierten GFK bedeutet gegenüber normaler Einfachverglasung (Literaturwert $6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, z.B. Nijskens et al., 1984) ein Energieeinsparungspotential von mehr als 50%. Die Beobachtung, dass Kondensation auf den Innenseiten der GFK zu einer Erhöhung der U-Werte führte, deckt sich mit Ergebnissen von Feuilloley und Issanchou (1996). Allerdings war der Anstieg der U-Werte mit zunehmender Kondensation bei der GFK wesentlich schwächer ausgeprägt als für ESG, was auf darauf zurückzuführen ist, dass konvektiver Wärmeübergang und Wärmeleitung bei Zweischichtsystemen geringer ausfallen als bei Einschichtsystemen (Nijskens et al. 1984). Diese Eigenschaft ist als ein weiterer Vorteil der GFK gegenüber konventionellem ESG anzusehen.

5. Schlussfolgerung

Es konnte sowohl die Anwendbarkeit des Messsystems als auch die Eignung von GFK-Systemen als energiesparende Alternative zu konventionellen Gewächshauseindeckungsmaterialien demonstriert werden. Die Untersuchungen zeigen, dass die GFK, bestehend aus Solarglas und einer ETFE-Folie gegenüber einer Standardeinfachverglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von ca. $6 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, ein Energieeinsparungspotential von 37% für die geklebte GFK, 47% für die profilmontierte GFK und 65% für die dreilagige Folie-Glas-Folie-Kombination erreicht. Die GFK-Versionen mit Profil schneiden auch im Vergleich zu einer Doppelverglasung (U-Wert = ca. $3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) besser ab und weisen dazu eine wesentlich höhere Lichtdurchlässigkeit auf. Pflanzenbauliche Begleituntersuchungen ergaben, dass die GFK-Eindeckung keine zeitlichen Verzögerungen im Ablauf der Pflanzenproduktionsprozesse bewirkt.

6. Literatur

- Bakker, J.C. (2009): Energy Saving Greenhouses. Chron. Hortic. 49, 19-23.
- Bot, G.P.A. (2001): Developments in indoor sustainable plant production with emphasis on energy saving. Comput. Electron. Agric. 30, 151-165.
- Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Gratraud, J., von Elsner, B. (1997): Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses, General Overview. J. Agric. Eng. Res. 67, 81-96.
- DIN (2009): DIN EN ISO 12567-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern und Türen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens - Teil 1: Komplette Fenster und Türen. Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin.
- Feuilloley, P., Issanchou, G. (1996): Greenhouse covering materials measurement and modeling of thermal properties using the hot box method, and condensation effects. J. Agric. Eng. Res. 65, 129-142.
- ISO (2003): ISO 9050: Glass in building - Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors. International Organization for Standardization, Geneva.
- Nijskens, J., Deltour, J., Coutisse, S., Nisen, A. (1985): radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouses. Agric. For. Meteorol. 35, 229-242.
- Pollet, I. V., Pieters, J. G. (2000): Condensation and Radiation Transmittance of Greenhouse Cladding Materials, Part 3: Results for Glass Plates and Plastic Films. J. Agric. Eng. Res. 77, 419-428.