

German Society of Horticultural Sciences (DGG)  
Lentzeallee 55/57  
Humboldt-Universität zu Berlin  
D-14195 Berlin



# DGG-Proceedings, Vol. 5, 2015

Short Communications – Annual Conference DGG and BHGL  
24.02. - 28.02. 2015, Weihenstephan, Germany

***Peer Reviewed***

## Editorial Board

Dirksmeyer, Walter *Braunschweig*  
Flachowsky, Henryk *Dresden*  
Förster, Nadja *Berlin*  
Geyer, Martin *Potsdam*  
Hardeweg, Bernd *Hannover*  
Mibus-Schoppe, Heiko *Geisenheim*  
Michaelis, Gerlinde *Bad-Zwischenahn*  
Rath, Thomas (Editor in Chief) *Osnabrück*  
Richter, Ellen *Braunschweig*  
Thomas, Jens *Osnabrück*  
Winkelmann, Traud *Hannover*  
Zinkernagel, Jana *Geisenheim*

Hans-Jürgen Tantau\*, Gökhan Akyazi

Wärmetransport durch langwellige Wärmestrahlung bei einem  
Niedrigenergiegewächshaus (ZINEG)

---

\*Corresponding Author:

Hans-Jürgen Tantau  
Leibniz Universität Hannover, Institut für Gärtnerische Produktionssysteme, Abteilung  
Biosystemtechnik  
Email: [tantau@bgt.uni-hannover.de](mailto:tantau@bgt.uni-hannover.de)

## Wärmetransport durch langwellige Wärmestrahlung bei einem Niedrigenergiegewächshaus (ZINEG)

Hans-Jürgen Tantau, Gökhan Akyazi

Leibniz Universität Hannover, Institut für Gärtnerische Produktionssysteme, Abteilung Biosystemtechnik

### 1. Einleitung, Stand des Wissens, Zielsetzung

Das Ziel des ZINEG Projektes ist die Entwicklung und Untersuchung von Niedrigenergiegewächshäusern. Zur Bewertung technischer Ansätze zur Energieeinsparung ist neben den Messungen des Wärmeverbrauches die Modellierung der Wärmeströme und des Wärmedurchgangs durch das Bedachungsmaterial erforderlich. Zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten eines Gewächshauses sind das Bedachungsmaterial, die Energieschirme sowie der Wärmeübergang am Dach innen und außen entscheidend. Den Wärmeübergang innen kann man in Anlehnung an die alte DIN 4701 (1983) mit einem Widerstandsmodell relativ gut beschreiben, wenn man die Widerstände für den latenten Wärmeübergang („scheinbarer Widerstand“) und für die Energieschirme ergänzt (Abb. 1)(Tantau und Akyazi, 2014).

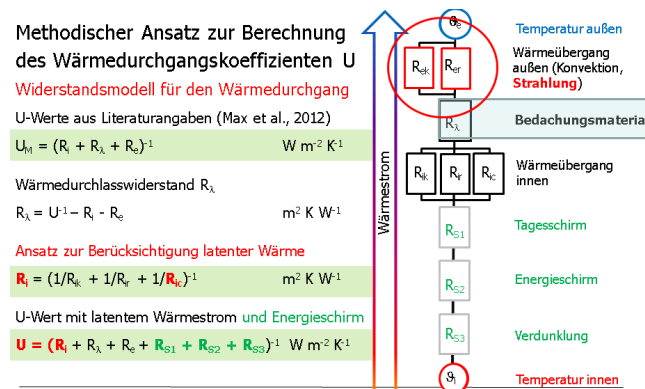


Abb. 1: Methodischer Ansatz zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Jeder zusätzliche Energieschirm geht als (serieller) Widerstand in das Modell ein und ermöglicht damit eine Berechnung der zusätzlichen Energieeinsparung (Tantau, 2012; Tantau, 2013). Außen am Gewächshaus wird Wärme konvektiv durch Luftströmung (Wind) und durch langwellige Wärmestrahlung an die Wolken oder den Himmel (Atmosphäre) übertragen (Ronoh und Rath, 2014). Bei der Wärmeübertragung durch langwellige Wärmestrahlung ist das Widerstandsmodell nicht anwendbar. Die Gewächshausoberfläche gibt langwellige Wärmestrahlung entsprechend der absoluten Temperatur ab und empfängt die Gegenstrahlung der Atmosphäre. Wichtig ist die Differenz zwischen Zu- und Abstrahlung, die Nettostrahlung.

Das Ziel dieses Beitrags ist die Messung und Modellierung der Nettostrahlung eines Niedrigenergiegewächshauses um den Einfluss auf den Wärmeverbrauch zu quantifizieren

und Berechnungsgrundlagen für den Praxiseinsatz von Niedrigenergiegewächshäusern zu schaffen.

## 2. Material und Methoden

Das Niedrigenergiegewächshaus System ZINEG Hannover ist im Dach mit einer Isolierverglasung eingedeckt. Zusätzlich sind zwei Energieschirme und eine Verdunklung installiert (Abb. 2).



Abb. 2: Konzept zur Wärmedämmung, ZINEG-Haus Hannover mit Isolierverglasung + zwei Energieschirme + Verdunklung

Damit konnte der Wärmeverbrauch nachts um ca. 70 % im Vergleich zu einem Referenzgewächshaus mit Einfachverglasung und einem Energieschirm reduziert werden. Der von innen nachgelieferte Wärmestrom kann deshalb kleiner sein als die langwellige Abstrahlung außen. Die Folge ist ein Absinken der Glasaußentemperatur unter die Lufttemperatur außen. Die Berechnung der Abstrahlung ( $q_{(s,lang)}$ ) erfolgte mittels einer vereinfachten Energiebilanz außen am Dach:

$$q_{(s,lang)} = q_{Dach} + q_{(konv,a)} \quad [W/m^2] \quad \text{Gl. 1}$$

$q_{Dach}$ : Wärmestrom von innen durch das Dach  $W/m^2$

$q_{(konv,a)}$ : konvektiver Wärmestrom außen am Dach  $W/m^2$

$$q_{Dach} = (Q_{zu} - Q_{Steh} - Q_{Gieb}) / A_{Dach} \quad [W/m^2] \quad \text{Gl. 2}$$

$Q_{zu}$  gemessene zugeführte Wärmeleistung  $W$

$Q_{Steh}$  berechnete Wärmeleistung Stehwände  $W$

$Q_{Gieb}$  berechnete Wärmeleistung Giebel  $W$

$A_{Dach}$  Dachfläche  $m^2$

$$q_{(konv,a)} = h_{(conv,a)} \cdot (T_{Da} - T_a) \quad [W/m^2] \quad \text{Gl. 3}$$

$h_{(conv,a)}$  konvektiver Wärmeübergangskoeffizient außen  $W/(m^2K)$

$$h_{(conv,a)} = f(v_w) \quad [W/(m^2K)] \quad \text{Gl. 4}$$

Wenn die Dachaußentemperatur ( $T_{Da}$ ) unter der Lufttemperatur ( $T_a$ ) liegt, wird dem Gewächshaus mit zunehmender Windgeschwindigkeit ( $v_w$ ) konvektiv Wärme zugeführt.

### 3. Ergebnisse

Entscheidend für den o.a. Ansatz zur Berechnung der langwelligen Wärmestrahlung sind die gemessenen Temperaturen.

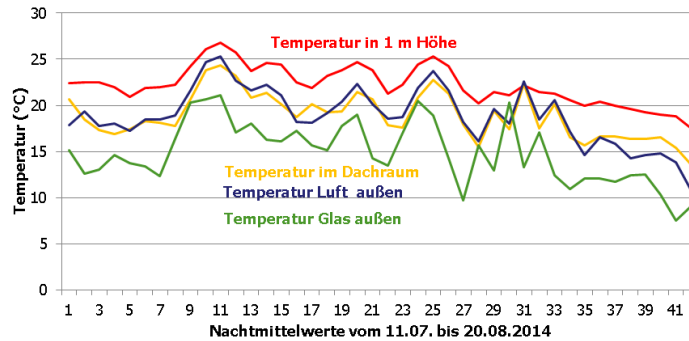


Abb. 3: Temperatur Glas außen, Lufttemperatur außen, Lufttemperatur Dachraum, Lufttemperatur in 1 m Höhe (11.07. bis 20.08.2014)

In Abbildung 3 sind beispielhaft gemessene Temperaturen als Nachtmittelwerte für Sommerbedingungen (ohne Heizung) dargestellt. Die gemessenen Glastemperaturen (außen) liegen unter der Außentemperatur. Die Temperaturen im Dachraum (oberhalb der Energieschirme) liegen etwa gleichauf mit der Außentemperatur. In einigen Nächten sinkt die Dachraumtemperatur sogar unter die Lufttemperatur außen. Mit den Gleichungen 1 bis 4 wurde die langwellige Abstrahlung (Nettostrahlung) des Gewächshausdaches berechnet.

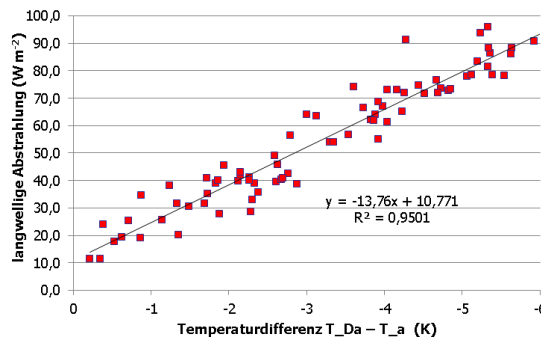


Abb. 5: Langwellige Nettostrahlung (berechnet) in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz Glas außen - Luft außen (5.04. bis 5.07.2014)

In Abbildung 5 sind die berechneten Werte für die Nettostrahlung über der Temperaturdifferenz (Glasaußentemperatur - Lufttemperatur außen) aufgetragen. Die lineare Regression ist mit einem  $R^2$  von über 0,9 signifikant. Bei Temperaturdifferenzen von -6 K erreicht die Nettostrahlung Werte von knapp 100  $W/m^2$ .

Angesichts dieser Größenordnung der Nettostrahlung ist der Einfluss auf den Wärmeverbrauchskoeffizienten interessant.

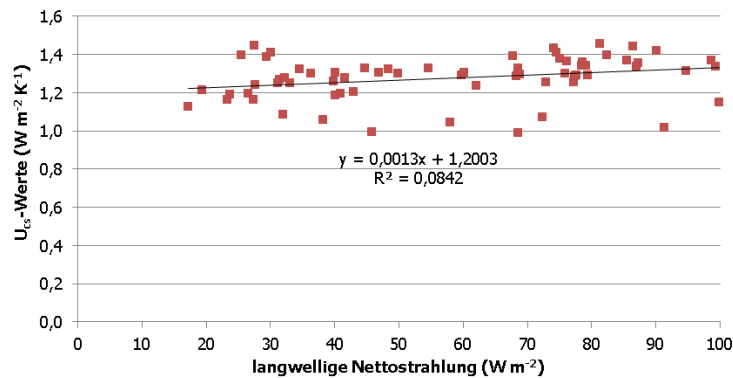


Abb. 4: Wärmeverbrauchs­koeffizient  $U_{cs}$  in Abhängigkeit der Nettostrahlung (Nacht­mittelwerte 25.01. bis 9.04.2014)

In Abbildung 4 sind die gemessenen Wärmeverbrauchs­koeffizienten als Funktion der Nettostrahlung aufgetragen. Es ist ein Anstieg des Wärmeverbrauchs­koeffizienten mit steigender Nettostrahlung zu erkennen. Dieser Anstieg ist aber nicht signifikant. Das bedeutet, dass trotz der Größenordnung von bis zu  $100 \text{ W/m}^2$  die Nettostrahlung den Wärmeverbrauch dieses Niedrigenergiegewächshauses nicht signifikant beeinflusst. Dieses Ergebnis lässt sich mit dem Widerstandsmodell (s. Abb.1) erklären. In dem Niedrigenergiegewächshaus ergibt sich ein großer Widerstand für den inneren Wärmeübergang, der maßgeblich den Wärmeverbrauch bestimmt, so dass die Wärmeübertragung außen am Dach von untergeordneter Bedeutung ist. Die Wärmeverbrauchs­messungen zeigten, dass auch die Windgeschwindigkeit bei einem Niedrigenergiegewächshaus den Wärmeverbrauch nicht beeinflusst (Tantau, 2012).

#### 4. Diskussion

Ein Vergleich der ermittelten Daten für die langwellige Nettoabstrahlung mit Literaturwerten für eine Freilandfläche (DWD, 2011) und für einfach verglaste Dächer (Ronoh und Rath, 2014) zeigt eine relativ gute Übereinstimmung. Mit dem Widerstandsmodell (Tantau, 2013) lassen sich die Wärmeströme am Gewächshausdach innen inklusive des latenten Wärmestroms berechnen. Am Gewächshausdach außen ist das Widerstandsmodell nicht geeignet. Die langwellige Nettostrahlung muss separat berechnet werden. Aus Daten des Testreferenzjahres (TRY) (DWD, 2011) („Bestrahlungsstärke aufwärts – abwärts“) erhält man die Nettostrahlung einer Freilandoberfläche.

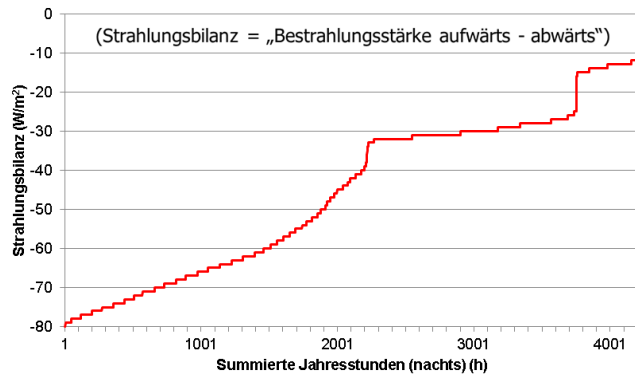


Abb. 6: Summierte Jahresstunden (nachts) der langwelligen Strahlungsbilanz berechnet mit Daten des Testreferenz-Jahres (TRY Hamburg) (DWD, 2011)

In Abbildung 6 sind als Beispiel die aufsummierten Jahresnachtstunden der Nettostrahlung (TRY Hamburg; DWD, 2011) dargestellt. Zur Umrechnung für ein Gewächshausdach kann daraus eine virtuelle "Himmelstemperatur" ermittelt werden.

## 5. Schlussfolgerung

Mit dem beschriebenen Ansatz lässt sich die Nettostrahlung nicht nur für Niedrigenergiegewächshäuser berechnen. Sie ist damit eine wichtige Ergänzung für das o.a. Widerstandsmodell und schafft eine Berechnungsgrundlage für den Wärmebedarf eines Niedrigenergiegewächshauses unter Praxisbedingungen.

Wir danken für die Förderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie der Landwirtschaftlichen Rentenbank unter Federführung des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft mit Unterstützung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

## 6. Literatur

- DIN 4701-1 (1983): Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden - Teil 1: Grundlagen der Berechnung. Beuth Verlag
- DWD (2011): Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse (TRY). <http://www.dwd.de/TRY> 25.11.2014
- Ronoh, E.K. and Rath, T. (2014): Investigations on the external thermal radiation exchanges between the glass-covered greenhouse surfaces and the sky. , DGG-Proceedings, 4(6): 1-5 DOI: 10.5288/dgg-pr-04-06-er-2014
- Tantau, H.-J. and Akyazi, G. (2014): Latent Heat Transfer in a Low Energy Greenhouse (ZINEG). Acta Hort. (ISHS) 1037:137-145
- Tantau, H.-J. (2012): Das Niedrigenergiegewächshaus – Methode zur Analyse der Wärmeströme und der PAR-Durchlässigkeit. Low Energy Greenhouse – Method to Analyse Heat Flux and PAR-Transmittance. Landtechnik 67, 3.2012, 196 – 204
- Tantau, H.-J. (2013): Wärmebedarf von Gewächshäusern unter Berücksichtigung des latenten Wärmetransportes. Heat Requirement of Greenhouses Including Latent Heat Flux. Landtechnik 2013, 68(1), 43–49.