



# DGG- Proceedings Vol. 3, 2013

Short Communications – Annual Conference DGG and BHGL  
27.02. - 02.03. 2013, Bonn, Germany  
***Peer Reviewed***

## Editorial Board and Review

Balder, Hartmut *Berlin*  
Dirksmeyer, Walter *Braunschweig*  
Drüge, Uwe *Erfurt*  
Fricke, Andreas *Hannover*  
Grade, Stefanie *Hannover*  
Huchzermeyer, Bernhard *Hannover*  
Huyskens-Keil, Susanne *Berlin*  
Lentz, Wolfgang *Dresden*  
Michaelis, Gerlinde *Bad-Zwischenahn*  
Rath, Thomas *Hannover*  
Schmidt, Uwe *Berlin*  
Schuster, Mirko *Dresden*  
Thomas, Jens *Osnabrück*  
Wackwitz, Wolf-Dietmar *Dresden*  
Winkelmann, Traud *Hannover*  
Zinkernagel, Jana *Geisenheim*  
Zude, Manuela *Berlin*

Manuel Hertel\*, Markus Büchner

Evaluierung einer Kennzahl zur Messung der technischen Energieeffizienz im  
Unterglasanbau

---

\*Corresponding Author:

Manuel Hertel  
Wissenschaftszentrum Straubing  
Professur für Marketing und Management Nachwachsender Rohstoffe  
85354 Freising  
Germany  
Email: [m.hertel@wz-straubing.de](mailto:m.hertel@wz-straubing.de)

## **Evaluierung einer Kennzahl zur Messung der technischen Energieeffizienz im Unterglasanbau**

Manuel Hertel, Markus Büchner

Wissenschaftszentrum Straubing, Professur für Marketing und Management  
Nachwachsender Rohstoffe

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

Die Steigerung der Energieeffizienz ist ein viel diskutiertes Thema. Die im Oktober 2012 initiierte "Mittelstandsinitiative Energiewende" der Bundesregierung belegt den Anspruch, auch in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) die Energieproduktivität zu verbessern. Die Anwendung innovativer, energieeffizienter Produktionstechniken im produzierenden Gewerbe ist ein wichtiger Bestandteil zur Erreichung der Effizienzziele (BMU-PRESSEDIENST 2012).

Für energieintensiv produzierende Gartenbaubetriebe kann die Produktivität bzw. Effizienz des Produktionsfaktors Energie ein Erfolgskriterium sein. Um ein Benchmarking der Energieeffizienz einzelner Gewächshäuser oder ganzer Betriebe durchführen zu können und Einsparpotenziale aufzudecken bzw. besonders effiziente Gewächshäuser und Produktionsweisen herauszustellen, ist ein geeigneter Maßstab der Energieeffizienz notwendig. Insbesondere in der Gartenbaubranche stellt sich die Evaluierung der Energieeffizienz als schwierig dar. Auf Grund der unklaren Definition der Systemgrenzen, der Verschiedenartigkeit der angebauten Produkte, der Vielfalt der eingesetzten Produktionstechniken, der unterschiedlichen Standortbedingungen usw. wurde bislang keine Methode etabliert, die zum Vergleich der Energieeffizienz von Gartenbaubetrieben geeignet ist (COCK, L. de & VAN LIERDE D. 2000).

Das Ziel dieser Arbeit ist die Konzeption eines Bewertungsmaßstabs der Energieeffizienz von Unterglasbetrieben. Zu diesem Zweck wird eine Kennzahl der Energieeffizienz entwickelt, welche in der Folge durch Korrelationsrechnungen mit Einflussfaktoren der Energieeffizienz (LANGE, D. u.a. 2002; ARAMYAN, L.H. u.a. 2007) evaluiert wird.

### **2. Material und Methoden**

Der Energieverbrauch zur Beheizung der Unterglasflächen eines Gartenbaubetriebes unterliegt einer Vielzahl von Einflussfaktoren, welche in ihrer Gesamtheit nur schwer zu erfassen und zu evaluieren sind. Für die Ermittlung einer Kennzahl, welche ein Betriebs-Benchmarking ermöglicht, wird daher ein ganzheitlicher, empirischer Bewertungsansatz gewählt, dessen Bilanzgrenze das gesamte Unterglasproduktionssystem umfasst (s. Abbildung 1).

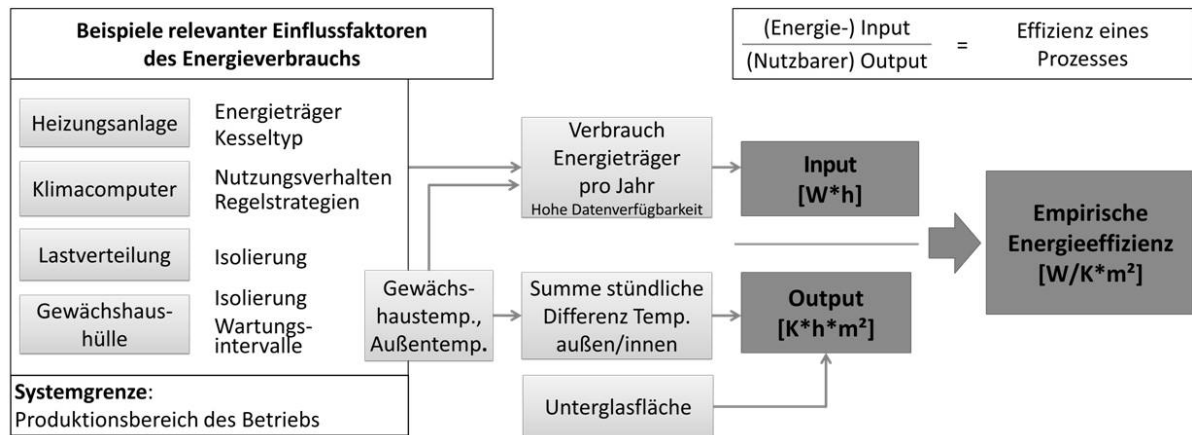


Abbildung 1: Schema zur Bestimmung der Energieeffizienzkennzahl

Einige Beispiele von Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch eines solchen Produktionssystems sind in Abbildung 1 aufgeführt. Neben den rein bautechnisch relevanten Merkmalen der Gewächshaus-hülle (Baumaterial, Isolierung etc.), deren Dämmeigenschaften durch den theoretischen Ucs-Wert (TANTAU, H. 2012) beschrieben werden können, sind durch eine ganzheitliche Betrachtung auch Eigenschaften der Heizungsanlage (Art des Energieträgers, Kesseltyp etc.), des Klimacomputers (Nutzungsverhalten, Regelstrategien etc.) und des Wärmetransportes berücksichtigt. Die Effizienz eines Prozesses wird allgemein über das Input/Output-Verhältnis gemessen (PATTERSON, M.G. 1996). Der Energieeinsatz zur Erwärmung der Gewächshausfläche ist hier als Input zu betrachten und wird durch die Verbrauchsangaben der Energieträger (Öl, Gas, Holz etc.) pro Betrieb und Jahr aufgenommen. Diese Inputwerte sind um den zweckfremden Verbrauch (z. B. beheizte Betriebs- oder Wohngebäude) zu bereinigen. Als nutzbarer Output des Produktionssystems Gewächshaus ist die erwärmte Kulturfläche aufzufassen. Zur Quantifizierung des Outputs wird für jeden Betrieb eine mit der Gewächshausfläche gewichtete Summe der stündlichen Differenzen von Außen- und Innentemperatur bestimmt. Die Prozesseffizienz ergibt sich nunmehr aus dem Quotienten Energieaufwand [W h] sowie Gradstunden Temperaturdifferenz unter Berücksichtigung der Fläche [K h m<sup>2</sup>] und wird hier als empirische Energieeffizienz eines Gartenbaubetriebs [W K<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>] bezeichnet.

### 3. Ergebnisse

#### A. Deskriptive Analyse

Die Kennzahl zur Bewertung der Energieeffizienz wurde anhand von Betriebsdaten bzw. vermuteten Einflussfaktoren der Energieeffizienz auf Plausibilität geprüft (Tabelle 1). Die Datenerhebung erfolgte zwischen August und November 2010 in 112 bayerischen Gartenbaubetrieben. Von den befragten Unternehmen konnten 104 in die empirische Auswertung aufgenommen werden. 85 % der Unternehmen produzierten vorwiegend Zierpflanzen, 15 % der Betriebe waren vollständig oder überwiegend dem Gemüsebau zuzuordnen. Bezüglich der Produktionsflächen unter Glas sind die Dezile in Tabelle 1 zu

beachten. Der Median von 4 015 m<sup>2</sup> Hochglasfläche deckt sich weitgehend mit dem Wert der Grundgesamtheit (STATISTISCHES BUNDESAMT 2006). 50 % der Betriebe produzierten auf Flächen zwischen 2 622 und 6 598 m<sup>2</sup>, 10 % der Unternehmen besaßen Flächen größer 16 946 m<sup>2</sup>. Der Flächenanteil mit installierten Energieschirmen betrug im arithmetischen Mittel 65 %, wobei 40 % der Betriebe einen Energieschirmanteil von größer 80 % aufwiesen, nur 10 % der Unternehmen setzten auf weniger als 15 % ihrer Produktionsflächen Energieschirme ein. 70 % der Betriebe nutzten einen Klimacomputer. Bezüglich des Energieverbrauchs unterschieden sich die untersuchten Betriebe erheblich. 70 % der Betriebe hatten einen Jahresverbrauch kleiner als 1 000 000 kW h, wobei das Maximum bei 6 630 000 kW h lag. Werden die Flächen und Solltemperaturen der Gewächshäuser berücksichtigt, so ergibt sich der Heizbedarf pro Flächeneinheit (m<sup>2</sup>). Auch hier unterschieden sich die Produktionsbetriebe erheblich. 10 % der Unternehmen heizten weniger als 13 355 Gradstunden pro Jahr und Quadratmeter, das 90-prozentige Quantil liegt mit 59 535 mehr als viermal so hoch und das Maximum mit 112 668 fast zehnmal höher als das untere Dezil. Damit zeigen sich erhebliche Unterschiede bezüglich der Temperaturanforderungen in der Gewächshausproduktion einzelner Betriebe.

Tabelle 1: Dezile ausgewählter Merkmale (n=104)

| Dezil  | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7         | 8         | 9         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Hochglasfläche [m <sup>2</sup> ]   | 1.598   | 1.974   | 2.622   | 3.196   | 4.015   | 5.330   | 6.598     | 9.128     | 16.946    |
| Heizkosten [€/a] /<br>Gesamtkosten [€/a]   | 4,0 %   | 5,0 %   | 6,3 %   | 7,0 %   | 8,0 %   | 9,0 %   | 10,9 %    | 13,0 %    | 21,0 %    |
| Unterglasfläche m.<br>Energieschirm [m <sup>2</sup> ] /<br>Unterglasfläche [m <sup>2</sup> ] | 15 %    | 37 %    | 48 %    | 60 %    | 74 %    | 80 %    | 88 %      | 98 %      | 100 %     |
| Energieverbrauch [kW h/a]  | 227.222 | 301.270 | 360.226 | 449.775 | 597.769 | 852.000 | 1.026.812 | 1.200.000 | 3.111.500 |
| Heizbedarf pro m <sup>2</sup> [K h/a]  | 13.355  | 17.632  | 20.592  | 23.838  | 27.945  | 30.625  | 34.615    | 42.544    | 59.535    |
| Energieeffizienz [W / K m <sup>2</sup> ]   | 3,33    | 4,05    | 4,60    | 5,17    | 5,81    | 6,52    | 7,52      | 8,91      | 11,14     |

Die empirische Energieeffizienz der Betriebe weist ein arithmetisches Mittel von 5,8 W K<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> auf. 10 % der Betriebe haben einen Wert von unter 3,3 W K<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, die ineffizientesten 10 % der Unternehmen zeigen einen Index größer 11,1 W K<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Insgesamt ist auch hier die Variabilität groß, was aufgrund der unterschiedlichen Produktionstechniken und Strukturen zu erwarten war. Das Maximum der Häufigkeitsverteilung liegt bei ca. 4 W K<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, wobei die Verteilungskurve rechtsschief von der Normalverteilung abweicht. Somit wird deutlich, dass wenige sehr effiziente Betriebe in der Untersuchung enthalten sind, ein Großteil einen Indexwert zwischen 4 und 6 W K<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> aufweist und wenige Betriebe vergleichsweise ineffizient produzieren.

Tabelle 2: Korrelation der Energieeffizienz mit ausgewählten Merkmalen (n=104)

| Merkmal  | Korrelationskoeffizient nach Pearson |
|--|--------------------------------------|
| Altersdurchschnitt Hochglasfläche [a]  | -0,58**                              |
| Unterglasfläche m. Energieschirm [m <sup>2</sup> ] / Unterglasfläche [m <sup>2</sup> ] | 0,45**                               |
| Umsatz [€/a]   | 0,43**                               |
| Einsatz Klimacomputer [ja/nein]  | 0,42**                               |
| Hochglasfläche [m <sup>2</sup> ]   | 0,41**                               |
| Heizbedarf pro m <sup>2</sup> [K h/a]  | 0,40**                               |
| Indirekter Absatz [€/a] / Umsatz [€/a]   | 0,34**                               |
| Energieverbrauch [kW h/a]  | 0,30**                               |
| Umsatz Gemüse [€/a] / Umsatz [€/a]   | 0,21*                                |
| Hüllfläche [m <sup>2</sup> ] / Grundfläche [m <sup>2</sup> ]                           | -0,17                                |
| Biogene Heizstoffe [kW h/a] / Fossile Heizstoffe [kW h/a]                              | 0,13                                 |
| Heizkosten [€/a] / Gesamtkosten [€/a]  | -0,04                                |

\*\*Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.  
\*Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

## B. Induktive Analyse

Um den Zusammenhang zwischen verschiedenen technischen Merkmalen der Betriebe und der Energieeffizienzkennzahl zu untersuchen, wurde für die relevanten Aspekte jeweils der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet (Tabelle 2). Besonders signifikant (Niveau von 0,01; zweiseitig) erwiesen sich die Korrelationen der Merkmale Altersdurchschnitt der Hochglasfläche (-0,58), Energieschirmanteil (0,45), Umsatz (0,43), Einsatz Klimacomputer (0,42), Hochglasfläche (0,41), Heizbedarf pro m<sup>2</sup> (0,40), Absatzweganteil indirekt (0,34) sowie der Energieverbrauch insgesamt (0,30). Noch auf dem Niveau 0,05 (zweiseitig) signifikant zeigte sich die Korrelation zum Produktionsanteil Gemüse (0,21). Keine signifikante Korrelation ergab sich hinsichtlich des Verhältnisses von Hüll- und Grundfläche (-0,17), des Anteils biogener Heizstoffe (0,13) und des Heizkostenanteils an den Gesamtkosten (-0,04).

## 4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen weitgehend signifikante Korrelationen zwischen der berechneten Energieeffizienz und den vermuteten technischen Einflussfaktoren der Energieeffizienz. Dadurch bestätigt sich zunächst die Eignung der getesteten Methode zur Evaluierung der Energieeffizienz von Gartenbauunternehmen. Gemäß der angewandten Evaluierungsmethode produzieren Betriebe, deren Gewächshausflächen im gewichteten Durchschnitt älter sind, ineffizienter als Gartenbaubetriebe mit modernen Anlagen. Mit dem zunehmenden Einsatz der im Gartenbau als bedeutend geltenden Techniken Energieschirm und Klimacomputer steigt die Energieeffizienz signifikant an. Es zeigt sich, dass durch den Einsatz moderner Techniken eine höhere Energieeffizienz gemessen werden kann. Größere Betriebe (Umsatz bzw. Produktionsfläche) besitzen eine signifikant

höhere Energieeffizienz. Des Weiteren wurde vermutet, dass energieintensiv produzierende Gartenbaubetriebe einen besseren Energieeffizienzwert aufweisen. Auch dies lässt sich durch die Korrelationsberechnung der Effizienzkennzahl mit dem absoluten Energieverbrauch sowie der Heizintensität belegen. Darüber hinaus zeigen sich Gemüsebetriebe und vorwiegend indirekt absetzende Unternehmen als effizienter bezüglich des Produktionsfaktors Energie. Keine signifikanten Zusammenhänge zeigen sich hingegen hinsichtlich des Verhältnisses der Hüllfläche zur Grundfläche von Gewächshäusern eines Betriebes, des Anteils biogener Heizstoffe sowie des Heizkostenanteils an den Gesamtaufwendungen eines Unternehmens.

## 5. Schlussfolgerung

Die entwickelte Energieeffizienzkennzahl zeigt das Verhältnis des gemessenen Energieaufwands eines Betriebes und dem nutzbaren (Wärme-) Output. Korrelationsberechnungen der Energieeffizienzkennzahl mit verschiedenen Betriebsmerkmalen belegen durch plausible Ergebnisse (z. B. höherer Energieschirmanteil gleich höhere Energieeffizienz) die Eignung der dargestellten Methode zur Bewertung der Energieeffizienz von Gartenbaubetrieben. Die empirische Energieeffizienz kann als Grundlage für weitere Berechnungen herangezogen werden, mit denen z. B. der Energieaufwand pro Produkt- oder Geldeinheit verglichen werden kann.

Bei der Bewertung der Kennzahl sind verschiedene einschränkende Faktoren zu nennen. Zum einen ist die nicht berücksichtigte Globalstrahlung zu beachten, wodurch jeder Kennzahlenvergleich die Annahme impliziert, dass die betrachteten Betriebe die gleiche Menge an Globaleinstrahlung aufweisen. Zum anderen konnte die Evaluierungsmethode lediglich auf den Zeitraum eines Jahres angewandt werden, da für den Energieverbrauch der Betriebe nur Jahreswerte vorlagen. Durch eine bessere Datengrundlage (z. B. Wärmemengenzähler) könnten kleinere Zeiteinheiten und engere Systemgrenzen die innerbetriebliche Bewertung vereinfachen und eine permanente Evaluierung des Energieverbrauchs gewährleisten. Eine kontinuierliche Bewertung der Ist-Energieeffizienz wäre wiederum Grundlage für die Evaluation von energieeffizienzsteigernden Maßnahmen.

## 6. Literatur

ARAMYAN, L.H., LANSINK, A.G.J.M.O. & VERSTEGEN, J.A.A.M. (2007): Factors underlying the investment decision in energy-saving systems in Dutch horticulture. – *Agricultural Systems* 94, 2, 520–527.

BMU-PRESSEDIENST (2012): "Mittelstandsinitiative Energiewende" neu ins Leben gerufen. Berlin, [www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle\\_pressemitteilungen](http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen).

COCK, L. de & VAN LIERDE D. (2000): Evaluation of energy efficiency indicators in Belgian greenhouse horticulture. – *Acta Horticulturae*, 519, 199–206.

LANGE, D. u.a. (2002): Rationelle Energienutzung im Gartenbau. Leitfaden für betriebliche Praxis. Vieweg, Braunschweig.

PATTERSON, M.G. (1996): What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. – *Energy Policy* 24, 5, 377–390.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2006): Gartenbauerhebung: Fachserie 3.

TANTAU, H. (2012): Das Niedrigenergiegewächshaus – Methode zur Analyse der Wärmeströme und der PAR-Durchlässigkeit. – *Landtechnik* 67, 196–204.