

Sven Grebe, Sebastian Wulf, Helmut Döhler und Christian Reinhold

# Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch effizienten Energieeinsatz im Unterglasgartenbau

Abhängig von der technischen Ausstattung, Betriebsweise und der angebauten Kultur werden pro Jahr ca. 500 000 kWh Wärmeenergie für ein Gewächshaus mit 1 000 m<sup>2</sup> Grundfläche benötigt. Zur Erhöhung der Energieeffizienz und somit zur Senkung von Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen kommt der Verminderung von Wärmeverlusten aus Gewächshäusern eine große Bedeutung zu. Eine sehr effiziente Maßnahme ist die Installation eines Energieschirms, welcher ca. 25 % Energieeinsparung bewirkt. Weitere Energieeinsparungen können über eine zweischalige Gewächshaushülle erreicht werden. Mit der Kombination technischer und Management-Maßnahmen kann der Heizenergiebedarf für ein 1 000 m<sup>2</sup> Gewächshaus bis zu 60 % gesenkt werden. Ausgehend von einer heizölbasierten Wärmebereitstellung können damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei einem Venlo-Gewächshaus um 124 t pro Jahr vermindert werden. Da einige Maßnahmen zur Energieeinsparung die Betriebskosten senken, errechnen sich in den meisten Varianten negative CO<sub>2</sub>-Minderungskosten.

## Schlüsselwörter

Unterglasgartenbau, Energieeinsparung, Wärmeverluste, Energiekosten

## Keywords

Horticultural glasshouse production, energy saving, heat losses, energy costs

## Abstract

Grebe, Sven; Wulf, Sebastian; Döhler, Helmut and Reinhold, Christian

portant for increasing energy efficiency through less energy costs and CO<sub>2</sub> emissions. The installation of an energy shield is very efficient in this respect, offering energy savings of approximately 25 %. Further energy savings can be achieved with two-layer greenhouse walls and roof. Combining technical and management measures heating energy requirement for a 1 000 m<sup>2</sup> greenhouse can be reduced by up to 60 %. This could mean an around 124 t reduction in annual CO<sub>2</sub> emissions from a Venlo greenhouse with oil-fired heating. In that some of these energy saving actions also save operating costs, negative CO<sub>2</sub> reduction costs are achieved in most variants.

## Reducing CO<sub>2</sub> emissions through efficient use of energy in horticultural glasshouses

Landtechnik 66 (2011), no. 5, pp. 325-328, 3 tables, 7 references

Depending on the technology used, the operational system and the crop being grown, around 500 000 kWh heating energy per year is required for a 1 000 m<sup>2</sup> ground area greenhouse. Reducing heat losses from such buildings is very im-

Der Unterglasgartenbau ist durch einen sehr hohen Bedarf an Heizenergie gekennzeichnet und gehört zu den energieintensivsten Produktionsbereichen der Landwirtschaft und des Gartenbaus. Bei den derzeitigen Energiepreisen betragen die Kosten der Wärmeenergiebereitstellung im Unterglasgartenbau zwischen 7 und 12 % [1] der gesamten Herstellungskosten. Dies veranlasst Gewächshausgärtner dazu den Energiekonsum zu vermindern oder die verwendete Energie effizienter zu nutzen. Im Unterglasgartenbau lässt sich durch die Dämmung der Gewächshaushülle und den Einbau von Energieschirmen eine erhebliche Minderung des Energieeinsatzes und somit der klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen erreichen. Im Folgenden wird

Tab. 1

Modernisierungsvarianten im Vergleich zum Referenzgewächshaus

Table 1: Modernisation variants compared with reference greenhouse

Gewächshaushülle <i>Greenhouse walls and roof</i>	Referenz <i>Reference</i>	Modernisierungsvarianten <i>Modernisation variants</i>		
Dach <i>Roof</i>	Einfachglas <i>single glass</i>	Einfachglas <i>single glass</i>	Doppelfolie <i>dual plastic film</i>	Stegdreifachplatten <i>triple cross-braced panes</i>
Stehwand <i>Wall</i>	Einfachglas <i>single glass</i>	Stegdreifachplatten <i>triple cross-braced panes</i>	Doppelfolie <i>dual plastic film</i>	Stegdreifachplatten <i>triple cross-braced panes</i>
Energieschirm <i>Energy shield</i>	einlagig, gering aluminisiert <i>single layer, slightly aluminised</i>	zweilagig, stark aluminisiert <i>double layer, strongly aluminised</i>		

anhand von Berechnungen gezeigt, wie sich Maßnahmen zur Energieeinsparung auf die Klimagasemissionen und auf die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten auswirken.

Die Arbeiten wurden im Rahmen der Klimaschutzinitiative vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert und sind in der „Richtlinie zur Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau“ [2] berücksichtigt. Mit dieser Richtlinie sollen kostenintensive Maßnahmen in der Landwirtschaft und im Gartenbau gefördert werden, die der Verringerung der Kohlendioxid-Emissionen dienen.

### Referenzverfahren, Berechnungsmethoden und Annahmen

Am Beispiel eines bestehenden Venlo-Gewächshauses mit 1 000 m<sup>2</sup> Grundfläche, an dem Modernisierungsmaßnahmen zur Energieeinsparung durchgeführt werden sollen, wird im Folgenden die Berechnung der Energieeinsparung, der Klimagas-Emissionen und der Emissionsminderungskosten dargestellt. Die vergleichsweise geringe Größe wurde gewählt, weil viele der sanierungsbedürftigen Gewächshausanlagen in dieser Größenklasse liegen. Die Effizienz der Maßnahmen wird auf eine bautechnische Referenz bezogen [3]. Deren wichtigste Merkmale sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

Bei den Kalkulationen wird davon ausgegangen, dass sich Naturalerträge und Qualitäten sowie monetäre Leistungen nicht verändern.

Die Energieeinsparungen wurden für eine auf Heizöl bzw. Anthrazitkohle basierende Wärmebereitstellung berechnet. Als Preis der Wärmebereitstellung sind für den Brennstoff Heizöl 0,86 Cent/kWh und für die Anthrazitkohle 0,56 Cent/kWh zugrunde gelegt [4]. Die Berechnung der Effizienz von Maßnahmen zur Einsparung von Wärmeenergie wurde mit dem Programm HORTEx [5] durchgeführt. In der Berechnung werden zwei verschiedene Temperaturanforderungen der Gewächshauskulturen berücksichtigt. Zum einen eine temperierte Kulturführung bei 12–18 °C, wie sie bei Primeln, Hortensien und Weihnachtssternen gefahren wird, und zum anderen eine warme

Kulturführung mit über 18 °C, wie sie bei Orchideen, Begonien und Tomaten erforderlich ist.

Die eingesparten Energiekosten sind den fixen Kosten der Modernisierungsinvestitionen angerechnet, und in den Tabellen als Mehrkosten ausgewiesen.

Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Referenzgewächshauses bzw. der modernisierten Varianten sind die Emissionen aus der Wärmebereitstellung und der Wärmeverteilung (Strom) angesetzt. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Strommix lagen im Jahr 2009 bei 575 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> [6]. Die Emissionen für den Heizölverbrauch bzw. der Anthrazitkohle sind mit 268 bzw. 341 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>th</sub> angesetzt [7]. Es wurden nur die Energieaufwendungen bilanziert, die durch die Bereitstellung und Verwendung von Energieträgern entstehen. Vorleistungen wie die Energieaufwendungen für die Herstellung von Bauteilen und deren Einbau bleiben unberücksichtigt.

### Ergebnisse

Für den definierten Beispielbetrieb liegen die Investitionen für den Einbau von Stegdreifachplatten im Dach und in der Stehwand bei ca. 147.000 € (**Tabelle 2**). Die jährlichen fixen Kosten für diese Investition betragen ca. 24.000 €. Durch die damit verbundene Wärmeverlustminderung um 60 % benötigt der Gartenbaubetrieb bei einer temperierten Kulturführung ca. 250 000 kWh<sub>th</sub>/a weniger Wärmeenergie. Werden die eingesparten Betriebskosten (Energiekosten) mit den fixen Kosten verrechnet so ergeben sich negative Mehrkosten in Höhe von -319 € pro Jahr. Bei dieser Effizienzsteigerung wird bei einer Wärmebereitstellung aus Heizöl pro Jahr die CO<sub>2</sub>-Emission um ca. 77 t vermindert. Daraus ergeben sich Minderungskosten von -4 €/t CO<sub>2</sub>.

Bei den anderen beiden Maßnahmen mit Stegdreifachplatten im Stehwandbereich bzw. der Installation von Doppelfolie im Stehwand- und Dachbereich sind die verminderten Emissionen geringer, da die durchgeführten Umbaumaßnahmen eine geringere Energieeinsparung beinhalten. Bei diesen beiden Varianten sind die Minderungskosten auch im negativen Bereich; was bedeutet, dass die eingesparten Energiekosten höher sind als die fixen Kosten.

Tab. 2

Modernisierungsmaßnahme bei temperierter Kulturführung, Gewächshaustyp: Venlo, 1 000 m<sup>2</sup> Grundfläche, Wärmebereitstellung mit Anthrazitkohle (grau hinterlegt) und Heizöl

Table 2: Modernisation measures with temperate crop production. Greenhouse type: Venlo, 1 000 m<sup>2</sup> ground area, anthracite coal-fired heating (grey background) and oil-fired heating

Temperaturführung Heating	Temperiert (12–18 °C) Temperate (12–18 °C)			
		Doppelfolie dual plastic film	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes
Dach Roof		Doppelfolie dual plastic film	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes
Stehwand Wall	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes	Doppelfolie dual plastic film	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes
Energieschirm Energy shield	zweilagig, stark aluminisiert double layer, strongly aluminised			
Investitionen [€] Investment [€]	63.505	82.155	146.555	146.555
Fixe Kosten [€/a] Fixed costs [€/a]	11.564	13.980	24.284	24.284
Energieeinsparung [%] Energy saving [%]	30	34	60	60
Einsparte Energiekosten [€/a] Saved energy costs [€/a]	12.259	14.026	24.603	16.366
Mehrkosten [€/a] Additional costs [€/a]	-695	-47	-319	7.917
Verminderte CO <sub>2</sub> -Emissionen [t CO <sub>2</sub> /a] Reduced CO <sub>2</sub> emissions [t CO <sub>2</sub> /a]	38	44	77	97
Minderungskosten [€/t CO <sub>2</sub> ] Costs of reduction [€/t CO <sub>2</sub> ]	-18	-1	-4	82

Tab. 3

Modernisierungsmaßnahme bei warmer Kulturführung, Gewächshaustyp: Venlo, 1 000 m<sup>2</sup> Grundfläche Wärmebereitstellung mit Anthrazitkohle (grau hinterlegt) und Heizöl

Table 3: Modernisation methods with crop production at warmer temperatures. Greenhouse type: Venlo, 1 000 m<sup>2</sup> ground area, anthracite coal-fired heating (grey background) and oil-fired heating

Temperaturführung Heating	Warm (> 18 °C) Warm (> 18 °C)			
		Doppelfolie dual plastic film	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes
Dach Roof		Doppelfolie dual plastic film	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes
Stehwand Wall	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes	Doppelfolie dual plastic film	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes	Stegdreifachplatten triple cross-braced panes
Energieschirm Energy shield	zweilagig, stark aluminisiert double layer, strongly aluminised			
Investitionen [€] Investment [€]	63.505	82.155	146.555	146.555
Fixe Kosten [€/a] Fixed costs [€/a]	11.564	13.980	24.284	24.284
Energieeinsparung [%] Energy saving [%]	30	38	59	59
Einsparte Energiekosten [€/a] Saved energy costs [€/a]	20.179	25.832	39.810	26.482
Mehrkosten [€/a] Additional costs [€/a]	-8.615	-11.852	-15.527	-2.199
Verminderte CO <sub>2</sub> -Emissionen [t CO <sub>2</sub> /a] Reduced CO <sub>2</sub> emissions [t CO <sub>2</sub> /a]	63	81	124	157
Minderungskosten [€/t CO <sub>2</sub> ] Costs of reduction [€/t CO <sub>2</sub> ]	-137	-147	-125	-14

Bei der Wärmebereitstellung mit Anthrazitkohle ergeben sich höhere Mehrkosten als bei Heizöl, da die hier eingesparten Energiekosten geringer sind. Im Vergleich zu der Wärmebereitstellung aus Heizöl vermindern sich die Energiekosten nur um 16.000 €. Hierdurch ergeben sich Mehrkosten von ca. 8.000 €, was die hohen Minderungskosten erklärt. Die verminderten CO<sub>2</sub>-Emissionen erhöhen sich von 77 auf 97 t CO<sub>2</sub> pro Jahr, da die Anthrazitkohle einen höheren Emissionsfaktor hat.

Bei der warmen Temperaturführung ist bedingt durch den höheren Wärmeenergiebedarf die eingesparte Energie und die verminderte CO<sub>2</sub>-Emission höher. Bei der Modernisierungsvariante mit Stegdreifachplatten steigt z. B. die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 77 auf 124 t pro Jahr. Bei einer Wärmebereitstellung mit Anthrazitkohle werden die Minderungskosten durch den Einfluss der hohen Energieeinsparung negativ.

### Schlussfolgerungen

Für ein Venlo-Gewächshaus mit 1 000 m<sup>2</sup> Kulturfläche wurden Modernisierungsmaßnahmen zur Energieeinsparung hinsichtlich der Kosten, der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der CO<sub>2</sub>-Minderungskosten analysiert.

Bei warmer und temperierter Temperaturführung ist in Abhängigkeit von der Modernisierungsmaßnahme ein Einsparungspotenzial an Wärmeenergie von 30 bis 60 % realisierbar.

Pro Jahr können bis zu 124 t CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Wärmebereitstellung aus Heizöl und 157 t CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Wärmebereitstellung mit Anthrazitkohle eingespart werden.

Die Minderungskosten sind bei den dargestellten Varianten mit Wärmebereitstellung aus Heizöl negativ, da die eingesparten Energiekosten höher sind als die fixen Kosten. Bei der Variante mit Anthrazitkohle sind nur die Minderungskosten bei warmer Kulturführung negativ, da hier durch den benötigten höheren Energiebedarf entsprechend hohe Wärmeenergiekosten eingespart werden können.

Wird Anthrazitkohle als Energieträger eingesetzt, ist die Rentabilität durch den geringeren Bereitstellungspreis von Wärme bei allen Varianten geringer, wobei aber durch den höheren Emissionsfaktor des Energieträgers bei diesen Varianten die höchsten Potenziale zur Minderung von Emissionen bestehen.

Für alle Varianten gilt, dass die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung des Einsatzes an Wärmeenergie stark von der Höhe der benötigten Wärmeenergie in der Kultur und vom eingesetzten Energieträger beeinflusst wird.

### Literatur

- [1] ZBG (2010): Kennzahlen für den Betriebsvergleich im Gartenbau 2010. 53. Jahrgang, Zentrum für Betriebswirtschaft im Gartenbau e.V., Leibniz Universität Hannover
- [2] Bundesanzeiger (2011): Richtlinie für ein Bundesprogramm zur Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau. [http://www.ble.de/cln\\_099/nn\\_1666708/SharedDocs/Downloads/05\\_Programme/04\\_BundesprogrammEnergieeffizienz](http://www.ble.de/cln_099/nn_1666708/SharedDocs/Downloads/05_Programme/04_BundesprogrammEnergieeffizienz), Zugriff am 01.8.2011
- [3] FNR (2006) Leitfadens Bioenergie im Gartenbau, Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe, Gülzow
- [4] Heise, P. (2009): Energie im Gartenbau, Vortrag an der Landesakademie Esslingen zur Lehrerfortbildung. Aktuelles im Bereich Gartenbau vom 4. Februar 2009 Peter Heise, Landratsamt Ludwigsburg
- [5] Hortex Programm Version 4.1. [http://bgt-hannover.de/projekte/Themengebiete/Energie-%20und%20Verfahrenstechnik%20moderner%20Gewachshausanlagen/HORTEX-Planung\\_der\\_Energieversorgung\\_von\\_Gewachshausanlagen.php](http://bgt-hannover.de/projekte/Themengebiete/Energie-%20und%20Verfahrenstechnik%20moderner%20Gewachshausanlagen/HORTEX-Planung_der_Energieversorgung_von_Gewachshausanlagen.php), Zugriff am 01.8.2011
- [6] Umweltbundesamt (2009), Abteilung 12 Klimaschutz und Energie; Fachgebiet 2.5 Energieversorgung und -daten. Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990–2008 und erste Schätzung 2009 Stand: März 2010, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau. <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>, Zugriff am 15.06.2011
- [7] GEMIS 4.6 (2011), Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. <http://www.oeko.de/service/gemis/de/material.htm>, Zugriff am 28.6.2011

### Autoren

**Dipl. Ing. agr. Sven Grebe, Dr. Sebastian Wulf, Dipl. Ing. Helmut Döhler** und **Dipl. Ing. (FH) Christian Reinhold** sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) in Darmstadt, Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt; E-Mail: [s.grebe@ktbl.de](mailto:s.grebe@ktbl.de)



## Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven

FNR/KTBL-Kongress am 20./21. September 2011 in Göttingen  
2011, 406 S., 25 €, Best.-Nr. 11488

Der Tagungsband fasst den aktuellen Stand des Wissens zu biologischen, verfahrens- und betriebstechnischen Maßnahmen zur Stabilisierung und Verbesserung des Anlagenprozesses zusammen. Schwachstellen an Biogasanlagen und rechtliche Neuerungen werden vorgestellt und die Schrift durch Kurzfassungen der ausgestellten wissenschaftlichen Poster ergänzt.