

# **Überregionale Simulationen zum zukünftigen Energieverbrauch von Gewächshäusern unter Berücksichtigung von IPCC-Szenarien**

Holger Hoffmann, Thomas Rath

Leibniz Universität Hannover, Fachgebiet Biosystem- und Gartenbautechnik, Herrenhäuser Str. 2, D 30419 Hannover. rath@bgt.uni-hannover.de

Anhaltend steigende Energiekosten stellen für die pflanzliche Produktion in Gewächshäusern und damit für eine gesamte Erwerbssparte ein wachsendes Problem dar. Hierbei ist nicht bekannt, wie der Klimawandel dieses Problem langfristig beeinflusst. Änderungen in Temperatur und Strahlung könnten den Energiebedarf maßgeblich bestimmen. Auf der Basis hochaufgelöster Klimadaten und verschiedener Zukunftsszenarien wurden daher für die einzelnen Jahre 2008 und 2033 und im 15-jährigen Mittel 2001-15 und 2031-45 Simulationsrechnungen durchgeführt. Hierzu wurden für Deutschland Klimadaten aus dem regionalen Model REMO mit einem 10 x 10 km - Raster verwendet und der Energiebedarf mit dem Energiesimulationssystem HORTEX berechnet. Die Simulationen zeigen, dass im Mittel deutliche Energieverbrauchsreduktionen zu erwarten sind, die regional aber sehr unterschiedlich ausfallen. Im Warmhausbereich wird dieser Effekt im Vergleich zu den zu erwartenden Energiepreissteigerungen ökonomisch wahrscheinlich nur von untergeordneter Rolle sein. Im Kalthausbereich könnte er aufgrund von veränderten Nutzungskonzepten jedoch größere Wichtigkeit erlangen.

## **Einleitung**

Ein Anstieg der Energiekosten in den letzten Jahrzehnten lässt in Zusammenhang mit Einflussfaktoren wie Rohstoffverknappung, Preispolitik und Umweltvorgaben auf einen weiter anhaltenden Trend schließen. Dies stellt insbesondere für energieintensive Branchen wie die pflanzliche Produktion in Gewächshäusern ein möglicherweise existenzbedrohendes Problem dar. Neben den fluktuierenden Energiekosten ist nicht bekannt, inwiefern der Klimawandel dieses Problem langfristig beeinflusst. Zukünftige Änderungen in Temperatur und Strahlung könnten, als treibende Kraft, den Energieverbrauch maßgeblich beeinflussen. Bisher existieren keine Untersuchungen, inwiefern der Klimawandel den energieintensiven Gartenbau beeinflussen wird. Besondere Bedeutung sollte bei den notwendigen Untersuchungen den Aspekten Gewächshauseinsatz als Warm- oder Kalthaus und regionaler Differenzierung des Klimaeinflusses gewidmet werden.

## **Material und Methoden**

### **Klimadaten**

Um den Einfluss etwaiger Klimaveränderungen auf den Energieverbrauch von Gewächshäusern zu ermitteln, wurden regional aufgelöste Simulationsrechnungen mit simulierten Klimadaten durchgeführt. Als Berechnungsgrundlage dienten Klimasimulationen des Max-Planck-Institutes für Meteorologie, HH, [MPI08] aus für die vom IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) entwickelten Zukunftsszenarien (A2, B1). Szenario A2 stellt eine regionalisierte Welt dar - wirtschaftliches Wachstum sowie technologischer Wandel sind fragmentiert. Die Art der Energiequelle wird durch die verfügbaren Ressourcen bestimmt, wobei in weiter entwickelten Regionen vermehrt post-fossile Energieformen eingesetzt werden. Szenario B1 hingegen beschreibt eine konvergierende-ökonomische Welt mit rascher Veränderung der wirtschaftlichen Struktur. Für beide Szenarien, die beide als gleich wahrscheinlich zu betrachten sind, wurde aufgrund der jeweiligen Emissionen ein deutlicher Anstieg der globalen Temperatur bis zum Ende des Jahrhunderts vorausgesagt, nämlich 2,5°C (B1) und 4,1°C (A2), bezogen auf das Mittel der Jahre 1961-1990 [RBGJRS06]. In Mitteleuropa hingegen steigt die Temperatur bis 2038 um 0,1°C (B1) bzw. 0,9°C (A2), bezogen auf 2008 (jeweils 15-Jahresmittel).

### **Vergleichende Berechnungen des Energieverbrauches von Gewächshäusern 2008 zu 2038 (15-Jahresmittel)**

Für die Berechnungen wurden die regional differenzierten REMO-Klimadaten (2001-15 und 2031-45) verwendet [MPI08]. Es wurde das 15-jährige Mittel jeder der 8760 Jahresstunden gebildet. Folgende Datensätze wurden eingesetzt: Lufttemperatur (2 m Höhe), Windgeschwindigkeit sowie ab- und aufwärts gerichtete Oberflächen-Netto-Strahlungen mit einem etwa 10 x 10 km – Raster. Die innerhalb der Rasterquadranten liegenden Werte wurden gemittelt. Eine Höhenkorrektur der Lufttemperaturdaten erfolgt mit  $-0,64 \text{ }^{\circ}\text{C}$  pro 100 m Höhe [MPI08]. Die mittlere virtuelle geodätische Höhenlage jedes Rasterfeldes wurde auf der Basis von jeweils 9 gleichmäßig verteilten Punkten mithilfe von Google Earth [Go08] ermittelt. Um überlagernde geographische Randeffekte in den Tendenzbetrachtungen zu berücksichtigen, wurden Randregionen, die über das bundesdeutsche Gebiet hinausgehen, in die Berechnungen mit einbezogen, so dass 57 über Deutschland gleichmäßig verteilte Berechnungsquadrate von jeweils  $\sim 100 \text{ km}^2$  entstanden. Der Gewächshausenergieverbrauch wurde mit dem Simulationssystem HORTEX [Ra06] jeweils für die ganzjährigen Sollwerttemperaturen (Tag/Nacht) 5/5 °C und 18/16 °C simuliert. Es wurde von einem 10000 m<sup>2</sup> großen Venlo-Gewächshaus mit entsprechenden geometrischen Abmessungen, Einfachglasbedachung und Energieschirmeinsatz ausgegangen.

### **Vergleichende Berechnungen des Energieverbrauches von Gewächshäusern 2008 zu 2033 (Einzeljahresberechnungen)**

In einem zweiten Abschnitt erfolgten Berechnungen analog zu dem oben beschriebenen Verfahren, jedoch mit Fokussierung auf die Betrachtung von Einzeljahren. Dabei können Betrachtungen von Einzeljahren durchaus von langfristigen Trends abweichen und jährliche Klimaschwankungen langfristige Trends überlagern. Die Berücksichtigung solcher Singularitäten ist in Energieberechnungen von großer Relevanz. Hier wurde der Ver-

gleich zwischen dem Jahr 2008 und 2033 herausgegriffen, da die zu erwartenden bundesweiten Temperaturdifferenzen zwischen diesen beiden Jahren gering ausfallen und die Probleme von singulären Zukunftsbetrachtungen somit verdeutlicht werden können. Im Gegensatz zu den ersten Berechnungen erfolgte die Höhenkorrektur mit einem simulationspezifischen Modell ( $-0,82 \text{ °C pro } 100 \text{ m Höhe}$ , s.[BHKP86]). Die Anzahl der Rasterpunkte wurde auf die nur in Deutschland liegenden Punkte beschränkt und der Energieverbrauch wurde auf eine Windgeschwindigkeit von 4 m/s normiert, um kleinräumige Ortseffekte einzubeziehen aber gleichzeitig eine Vergleichbarkeit noch zu gewährleisten. Diese Normierung ist notwendig, da der Gewächshausenergiebedarf auf der einen Seite von der Windgeschwindigkeit abhängt, auf der anderen Seite aber örtlich und punktuell unterschiedliche Windbedingungen herrschen (Bebauung, Windabschirmung, etc.).

## Ergebnisse

Die Tabellen 1 und 2 zeigen die resultierenden Energieverbrauchsänderungen, wobei sich Tabelle 1 auf allgemeine Tendenzen und Tabelle 2 auf spezifische Einzeljahre bezieht.

Szenario	A2		B1	
	5/5	18/16	5/5	18/16
Sollwert ( $^{\circ}\text{C}$ , Tag/Nacht)				
mittl. Differenz [ $\text{kWh m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ ]	-17,8	-44,9	-4,7	-7,4
mittl. Differenz (%)	-44,7	-11,3	-10,0	-1,9
min. Differenz (%)	-89,6	-14,7	-30,2	-3,7
max. Differenz (%)	-15,3	-6,7	3,1	-0,1

Tabelle 1: Differenz des Energieverbrauches 2008 zu 2038 (15-Jahresmittel, Bundesdurchschnitt, 2008 Ausgangswert)

Szenario	A2		B1	
	5/5	18/16	5/5	18/16
Sollwert ( $^{\circ}\text{C}$ , Tag/Nacht)				
mittl. Differenz [ $\text{kWh m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ ]	-4,7	-22,4	-2,6	11,4
mittl. Differenz (%)	-6,3	-4,8	-7,2	2,5
min. Differenz (%)	-31,3	-8,7	-29,9	-2,9
max. Differenz (%)	25,8	1,5	8,5	8,3

Tabelle 2: Differenz des Energieverbrauches 2008 zu 2033 (Einzeljahrbetrachtung, Bundesdurchschnitt, 2008 Ausgangswert)

Bei Betrachtung des 15-jährigen Mittels projizieren beide Szenarien durchschnittlich eine Verringerung des Energieverbrauches für Gewächshausanlagen für Deutschland zwischen 2 und 45 % (siehe Tab. 1). Die Differenzen werden maßgeblich durch die Szenarien beeinflusst (A2 deutlich höher als B1) und differieren bei Verwendung von Prozentangaben natürlich stark durch die unterschiedlichen Bezugsgrößen (Sollwerte). Im Warmhausbereich ist beim Szenario A2 mit einer Reduktion von ca. 10 %, im Kaltbereich von ca. 50 % zu rechnen.

Tabelle 2 zeigt, dass regionale Unterschiede auftreten (da hier ja nur Einzeljahre verglichen werden). Teilweise treten Energieverbraucherhöhungen oder -reduktionen auf.

Zudem wird durch die Zahlenvergleiche zwischen Tabelle 1 und 2 deutlich, dass Einzeljahresaussagen oder –berechnungen nur im Zusammenhang mit Gesamttendenzen analysiert werden können.

Eine Betrachtung der regionalen Unterschiede (nicht dargestellt) ergibt, dass es bei niedrigen Sollwerten ( $5/5^{\circ}\text{C}$ ) zu einem stärkeren Rückgang des Energieverbrauches im Süd-Osten Deutschlands (Berglagen) kommt als im Norden bzw. Nord-Westen. Dieses Muster ergibt sich auch im Szenario B1 für Sollwerttemperaturen von  $18/16^{\circ}\text{C}$ , nicht jedoch für das Szenario A2. Letzteres weist den stärksten Rückgang im Osten, den niedrigsten im Westen auf.

## Diskussion

Mithilfe der REMO-Klimadaten kann der Energieverbrauch von Gewächshausanlagen in Deutschland regional aufgelöst auf die nächsten 30 Jahre projiziert werden. Hierbei führen folgende Aspekte zu Unsicherheiten:

1. Zugrunde liegende Klimasimulationen und Szenarien
2. Regionalisierung und regionale Verdichtung der Klimadaten
3. Verwendung von unterschiedlichen Simulationsparametern (Höhenkorrekturen, Windgeschwindigkeit, Gewächshaus-sollwertverläufe, techn. Ausstattung)
4. Statistische Zusammenhänge in den klimatischen Zeitreihen

Die Simulationen zeigen, dass die Energieverbrauchsreduktionen in Deutschland regional sehr unterschiedlich ausfallen, dass sie aber mit 10 % (Warmhaus) bis 50 % (Kalt-haus) innerhalb der nächsten 30 Jahre durchaus von Bedeutung sein können. Eine Relativierung dieser Aussage ergibt sich durch die Tatsache, dass aufgrund des hohen Energiekostenanteils im Warmhausbereich (z.B. Zierpflanzen wie Orchideen oder Gemüse-kulturen wie Ganzjahreskulturen von Tomaten/Gurken),s. [KRR07], die Energiekosten-steigerungen diesen Kostenvorteil durch Klimawandel wahrscheinlich deutlich überla-gern werden.

## Literatur

- [BHKP86] Blümel, K., Hollan, E., Kähler, M., Peter, R.: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-Bericht FB-T 86-051, FU Berlin., 1986.
- [Go08] Google Earth 4.3. Google Inc. Mountain View, Ca. USA. [kh.google.com](http://kh.google.com), 2008.
- [KRR07] Krug, H., Romey, A., T. Rath T.: Decision support for climate dependent greenhouse production planning and climate control by modelling. II. Modelling plant growth. European J. Hortic. Science 72, 145-151, 2007.
- [MPI08] Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg. Regional Climate Modelling – REMO. <http://www.mpimet.mpg.de/en/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/publications-and-presentations.html>, 2008.
- [Ra06] Rath T.: Hortex 3.0 und Hortexlight 1.0- grafisches Softwaresystem zur Planung der Energieversorgung von Gewächshausanlagen. <http://www.bgt.uni-hannover.de/software/>, 2006.
- [RBGJJRS06] Erich Roeckner, Guy P. Brasseur, Marco Giorgetta, Daniela Jacob, Johann Jungclaus, Christian Reick, Jana Sillmann: Klimaprojektionen für das 21. Jahr-hundert. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg. <http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/grafik/presse/Klimaprojektionen2006.pdf>