

Einsatz von CFD-Software zur numerischen Simulation der Strömungsvorgänge im Gewächshaus

Rainer Zierer, Georg Ohmayer

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Fakultät für Gartenbau und Lebensmitteltechnologie
85350 Freising, Am Staudengarten 10
rainer.zierer@hswt.de

Abstract: Bei der Betrachtung physikalischer Vorgänge im Gewächshaus wird in aktuellen Modellen der klimatische Zustand als räumlich homogen angenommen. Mit Hilfe von CFD-Software ist eine differenziertere Betrachtung in Bezug auf Konvektion, Einstrahlung und Wärmeleitung möglich. Durch die Programmierung eines Interface zwischen OpenFOAM® und ProDIS-Plant können bereits existierende sowie geplante Gewächshäuser unter Einbeziehung realer Klimadaten simuliert werden. Der Einfluss der Pflanze sowie deren Wechselwirkung mit den Umweltbedingungen muss dabei in ein exaktes Modell einfließen, auf diesem Gebiet ist allerdings noch Forschungsbedarf gegeben.

1 Einleitung und Stand des Wissens

Die Betrachtung physikalischer Vorgänge in Gewächshäusern zielt zumeist auf die Berechnung des Energiebedarfes ab, denn im Unterglas-Produktionsgartenbau stellen die Kosten für Primärenergie einen wesentlichen Kostenfaktor dar. Zur Berechnung des Energiebedarfes wird in der Praxis das U_{cs} -Wert-Modell [Me11] herangezogen, das sich im einfachsten Fall, unter Vernachlässigung der Energiezufuhr durch Einstrahlung und Energiespeicherung, wie folgt darstellt:

$$\Phi = U_{cs} \cdot A_g \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Der Wärmestrom Φ [W], der dem Gewächshaus zur Einhaltung eines Temperatur-Sollwertes ständig zugeführt werden muss, ergibt sich aus dem Produkt des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung U_{cs} [$W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$], der Hüllfläche A_g [m^2] und der Differenz zwischen Innentemperatur θ_i [K] und Außentemperatur θ_e [K]. Bei dieser Berechnungsmethode wird das Gewächshaus als „Perfectly Stirred Tank (PST)“ betrachtet, in dem die räumliche Verteilung der Temperatur homogen ist. Das reicht für eine ungefähre Einschätzung des Energieverbrauchs aus und hat in der Praxis durchaus seine Berechtigung. Um eine genauere Aussage über das klimatische Geschehen machen zu können, ist es allerdings notwendig, die physikalischen Vorgänge in Gewächshäusern differenzierter zu betrachten und das Klima als ein komplexes

Geflecht aus Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Konvektion zu betrachten, wie in Abb. 1 schematisch veranschaulicht wird. Mit CFD (Computational Fluid Dynamics, Numerische Strömungsmechanik) stehen dafür mathematische Verfahren zur Verfügung.

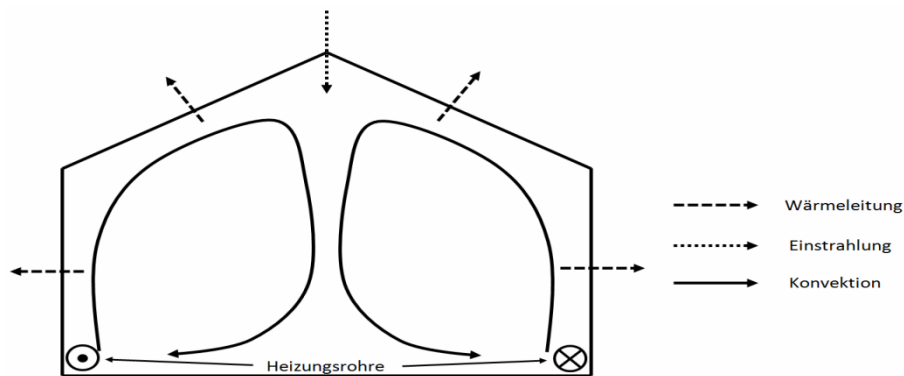


Abb.1: Schematische Darstellung der Energieflüsse im Gewächshaus (Querschnitt)

CFD hat bereits Einzug in verschiedene Industriezweige wie KFZ-Technik und Flugzeugbau gehalten. Auch in der gartenbauwissenschaftlichen Forschung hat sie mittlerweile einen gewissen Stellenwert; allerdings bezieht sich die Forschung hier meist auf die Ventilation von Gewächshäusern, der Heizenergiebedarf im Winter spielt bis dato keine Rolle [Bo11]. Ebenso ist der Einfluss der Pflanzen auf klimatische Vorgänge im Gewächshaus noch nicht hinreichend geklärt. Versuche bestätigen jedoch beispielsweise einen energetischen Einfluss der latenten Wärme [Sc11]; Pflanzen verdunsten kontinuierlich Wasser, wofür der Umgebung Energie entzogen wird (Verdunstungswärme). In der aktuellen Forschung existiert weiter eine Wissenslücke in Bezug auf das Zusammenspiel zwischen der Physiologie der Pflanze und der umgebenden Atmosphäre: Pflanzenphysiologen richten ihr Augenmerk in der Regel auf innerpflanzliche Vorgänge wie Photosynthese und Wassereffizienz, betrachten das Geschehen also aus Richtung der Pflanze. Meteorologen richten den Fokus mehr auf den Stoff- und Energietransport zwischen Pflanze und Atmosphäre und betrachten die Problematik aus der anderen Richtung [PHB10]. Darüber hinaus gibt es noch Wissenslücken in Bezug auf den Zusammenhang zwischen Einstrahlung, Erwärmung der Gewächshauseinrichtung und daraus resultierenden konvektiven Prozessen [Bo11].

2 Konzeption der CFD-gestützten Simulation

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Ressourcenschonung und Effizienzsteigerung in der gärtnerischen Produktion durch ein umfassendes Datenmanagement“ wird im Moment an der Software ProdIS-Plant gearbeitet, die ein Tool für Betriebsleiter im Produktionsgartenbau darstellt und in erster Linie dem Monitoring betriebsinterner Vorgänge dient [ZBO11]. Integraler Bestandteil dieser Software ist ein hierarchisch aufgebautes Polygonmodell des gesamten Betriebes (Abb. 2). Dieses Modell beruht auf einer sehr allgemein formulierten Datenbankstruktur; der Komplexitätsgrad des Modells kann in der Tiefe beliebig gesteigert werden. So besteht beispielsweise ein Gewächshaus

aus Abteilen, die Abteile wiederum sind mit Tischen und Beeten bestückt. Es ist möglich, auch Heizungssysteme incl. Rohrleitungen sowie bewegliche Lüftungsklappen einzuführen. Jeder Gegenstand des hierarchischen Modells bis hinunter zum einzelnen Polygon kann mit Konstanten verknüpft werden (z.B. Wärmedurchgangs- oder Transmissionskoeffizienten der Verglasung, spezifische Wärmekapazität des Bodens etc.). Darüber hinaus bietet ProDIS-Plant eine Online-Schnittstelle zum Klimacomputer eines Betriebes, über die aktuelle und historische Daten zum Gewächshausklima sowie zum Aussenklima leicht abgefragt werden können.

In puncto CFD-Software gibt es verschiedene Lösungen. Neben kommerziellen Produkten steht hier OpenFOAM® zur Verfügung, eine Sammlung von Open Source-Bibliotheken, die über gut dokumentierte Skripten konfigurierbar sind. Vorteile dieses Pakets sind zum einen die Offenheit, wodurch die Programmierung eines Interface zu anderen Programmen erst möglich wird, zum anderen die kostenlose Verfügbarkeit. Abb. 3 stellt beispielhaft eine Momentaufnahme der mit OpenFOAM® berechneten Konvektion in einem Gewächshaus unter Annahme einer kalten Hülle und eines warmen Bodens dar.

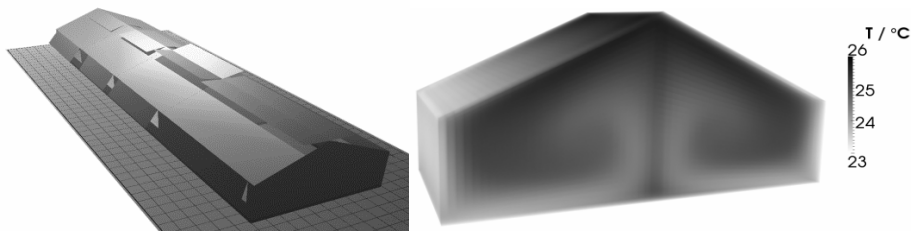


Abb.1: GWH-Modell in ProDIS-Plant

Abb.3: Konvektion in OpenFOAM

Ein Schwerpunkt von CFD-Simulationen des Gewächshausklimas wird in Zukunft auf dem Energiehaushalt liegen. Da allerdings eine energetische Betrachtung des Gesamtsystems nur unter Einbeziehung der Pflanze Sinn macht, muss darüber nachgedacht werden, wie ein Pflanzenbestand in diesem Kontext am besten modelliert wird und auf welche Weise die bestehende Datenstruktur erweitert werden muss.

Ob dabei eine Simplifizierung wie beispielsweise das Big-Leaf-Modell aus der Meteorologie Anwendung findet oder die Pflanze bis hinunter zu ihrem räumlichen Aufbau modelliert wird, sei zunächst dahingestellt. Die Interaktion der Pflanze mit der Atmosphäre ist aus Sicht der Grundlagenforschung im Detail noch nicht hinreichend geklärt, daher müssen sowohl Interface als auch Datenstruktur so allgemein gestaltet sein, dass neue Erkenntnisse aus der Wissenschaft ohne Modifikation des Systems berücksichtigt werden können.

Im Rahmen eines zukünftigen Forschungsprojekts kann eine bidirektionale Schnittstelle zwischen ProDIS-Plant und OpenFOAM® entwickelt werden. Das Interface würde aus dem in ProDIS-Plant vorhandenen Gewächshausmodell das für die Simulation benötigte Mesh generieren, Materialkonstanten zur Verfügung stellen sowie den klimatischen Initialzustand über die Anbindung zum Klimacomputer ermitteln und aus diesen Daten

Skripten generieren, die von OpenFOAM® interpretiert werden. Die errechneten Resultate würden in anderer Richtung wiederum in der Benutzeroberfläche von ProDIS-Plant visualisiert. Eine Verifizierung der Ergebnisse ist durch punktuelle Messungen im realen Gewächshaus mit Hilfe eines funkbasierten Sensor-Netzwerkes möglich. Zusammenfassend ist das Endziel des Vorhabens eine Software, die auf Basis realer oder fiktiver Gewächshäuser, Klimadaten und Pflanzenkulturen eine differenzierte klimatische Betrachtung ermöglicht. Die gewonnenen Erkenntnisse können zur Optimierung der Konstruktion von Gewächshäusern und der Klimaregelung herangezogen werden und einen Ansatz für effizientere und nachhaltigere Energienutzung im Produktionsgartenbau bieten.

Literaturverzeichnis

- [Me11] Meyer, J.: Extremely Insulated Greenhouse Concept with Non-Fossil Fuel Heating System. Proceedings of the International Society on High Technology for Greenhouse Systems – GreenSys2009, Acta Horticulturae 893, S.201-208, 2011.
- [Bo11] Boulard, T.: Advantages and Constraints of CFD Greenhouse Modelling. Proceedings of the International Society on High Technology for Greenhouse Systems – GreenSys2009, Acta Horticulturae 893, S.145-153, 2011.
- [Sc11] Schuch, I. et al.: Das geschlossene Solarkollektorgewächshaus – Anlagenkonzept und energetische Untersuchungen zum Wärmeenergiegewinn im Sommer 2010. DGG-Proceedings Vol. 1, No.10, S.1-5, 2011.
- [PHB10] Pieruschka, R., Huber, G., Berry, J.: Control of transpiration by radiation. Proceedings of the National Academy of Sciences Vol. 107 No. 30, S.13372-13377, 2010.
- [ZBO11] Zierer, R., Beck, M., Ohmayer, G.: Effizientes und umfassendes Datenmanagement im Produktionsgartenbau am Beispiel von ProDIS-Plant. Referate der 31. GIL-Jahrestagung, Lecture Notes in Informatics – Proceedings, Band P-181, Seite 185-188, 2010.