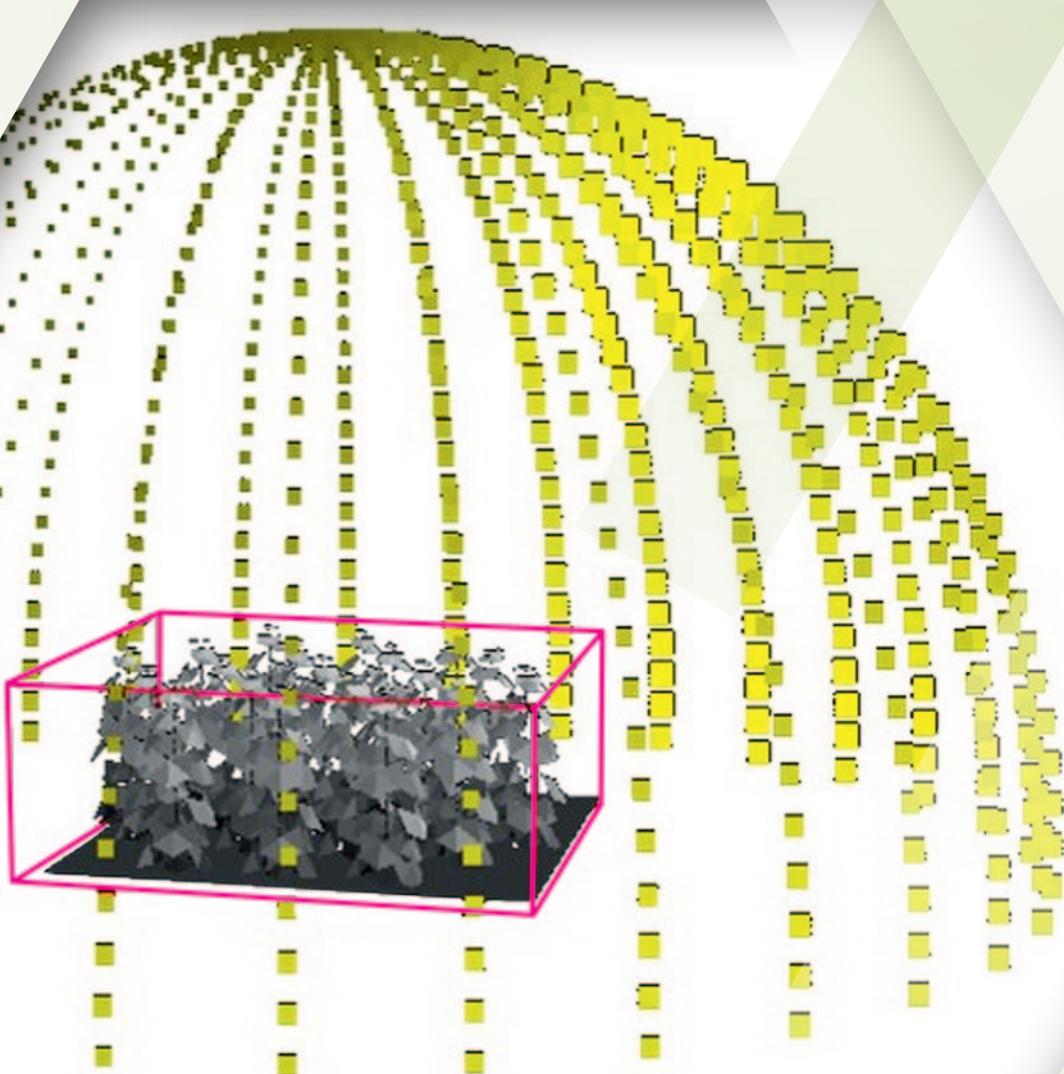




# VIRTUELLE PFLANZEN – UND WAS WIR VON IHNNEN LERNEN KÖNNEN

Eine effiziente Ressourcennutzung – in Verbindung mit optimierter Produktivität und hoher Qualität – ist eines der Hauptziele praxisorientierter Projekte, die an der Hochschule Geisenheim bearbeitet werden. Die Vorhersage der Performance von Pflanzen bei Vorliegen unterschiedlicher Produktions- und Umweltbedingungen stellt hierbei eine besondere Herausforderung dar. Dies liegt unter anderem daran, dass die Ressourcennutzung eines Bestandes in besonderem Maße von der Pflanzenarchitektur abhängt. Pflanzenwachstum und -entwicklung wiederum resultieren in einer dynamischen Bestandsarchitektur, die ganz wesentlich durch Umweltbedingungen beeinflusst wird. Um dieses komplexe Zusammenspiel systematisch analysieren zu können, nutzen wir am Institut für Gemüsebau die Modellierung und dabei insbesondere *Virtuelle Pflanzen*.



## EINLEITUNG

In der pflanzenbaulichen Forschung werden zunehmend Modelle und Simulationsstudien genutzt, um einerseits wissenschaftliche Fragestellungen beantworten zu können und andererseits Prognosen oder konkrete Handlungsoptionen für Praxis und Politik bereitzustellen. Während Modelle reale Systeme anhand mathematischer Funktionen beschreiben, sind Simulationsstudien – salopp formuliert – Experimente am Computer, die auf diesen Modellen basieren. Sie dienen dazu, Erkenntnisse zu gewinnen, die nicht oder nur mit großem Aufwand über reale Experimente erzielt werden können. Die Ressourcennutzung eines Pflanzenbestandes in variablen Umwelten ist ein Beispiel für ein komplexes pflanzenbauliches System, für das das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten nur schwer vorherzusagen ist. Stehen im Fokus der Untersuchungen zudem Fragestellungen, bei denen die besondere Rolle der Pflanzenarchitektur beleuchtet werden soll, muss diese in den Modellen auch entsprechend berücksichtigt werden.

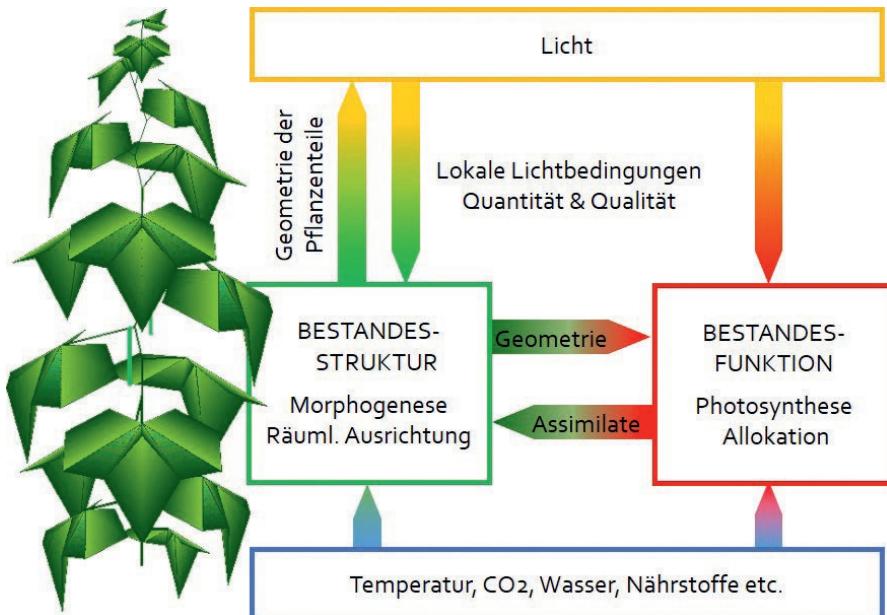
*Virtuelle Pflanzen* beschreiben Pflanzenarchitektur *in silico*, also im Computer. Sie verknüpfen die dreidimensionale Darstellung der Pflanzenarchitektur mit Modellen für physiologische Prozesse, wie zum Beispiel Photosynthese und Verteilung der Assimilate (Abb. 1). *Virtuelle Pflanzen* eignen sich daher in besonderem Maße für die Analyse von komplexen Feedback-Prozessen zwischen Bestandsarchitektur und Umweltfaktoren. Neben der Modellbildung und dem konsequenten Prüfen von Hypothesen zu Wirkungsfunktionen auf verschiedenen Ebenen (Zelle, Organ, Pflanze) steht die

Hochskalierung und Integration auf Bestandslevel im Mittelpunkt dieses Forschungsschwerpunktes. Simulationsstudien, die auf *Virtuellen Pflanzen* basieren, helfen uns schließlich dabei, die besondere Rolle der Pflanzenarchitektur in der Ressourcennutzung systematisch untersuchen zu können.

## MODELLBILDUNG UND SIMULATIONSSTUDIEN

Modelle für die Pflanzenarchitektur können beispielsweise über sogenannte *Lindenmayer-Systeme* aufgebaut werden. Eine besondere Eigenschaft von solchen Systemen ist, dass sie beispielsweise Wachstum und Entwicklung einzelner Organe einer Pflanze anhand weniger Regeln beschreiben können (Lindenmayer & Prusinkiewicz, 1990). Simulationsprogramme wie *L-Studio* ([http://algorithmicbotany.org/virtual\\_laboratory/](http://algorithmicbotany.org/virtual_laboratory/)) können die Modelle, die auf Lindenmayer-Systemen beruhen, interpretieren und die resultierenden virtuellen Pflanzen visualisieren. Sowohl das Wachstum vorhandener Organe als auch das Erscheinen neuer Pflanzenteile kann in Lindenmayer-Systemen in Abhängigkeit von lokalen Umgebungsfaktoren modelliert werden. Die Integration aller lokalen Prozesse führt schließlich zur Darstellung der komplexen Pflanzenarchitektur der Gesamtpflanze im Kontext ihrer Umgebung.

Für die Parametrisierung der Modelfunktionen und die Evaluierung der Modelle sind experimentelle Daten unabdingbar. Erst wenn für ein Modell gezeigt werden konnte, dass es mit einer vorher festgelegten Genauigkeit die gewünschten Zustandsgrößen vorhersagen kann, darf es für Simulationsstudien genutzt werden.



**Abb. 1:** Übersicht über die Komponenten eines *Virtuellen Pflanzenmodells* (Quelle: Kahnen).

## ANWENDUNGSBEISPIELE

Derzeit dienen im Gewächshaus angebaute Gurken und Tomaten als Beispieldülturen für die Analyse komplexer Wirkungszusammenhänge. Hierbei konnte gezeigt werden, wie sich die Pflanzenarchitektur aufgrund variierender Bedingungen hinsichtlich der Lichtquantität und -qualität ändert (z. B. Kahnen & Stützel, 2011). Berücksichtigt man darüber hinaus unterschiedliche Temperaturverläufe und deren zusätzlichen Einfluss auf Organwachstum und Erscheinungsraten, so kann durch Architektur-Variationen in den virtuellen Pflanzen die besondere Bedeutung der Pflanzenarchitektur für die Trockenmassenproduktion verdeutlicht werden (Abb. 2).

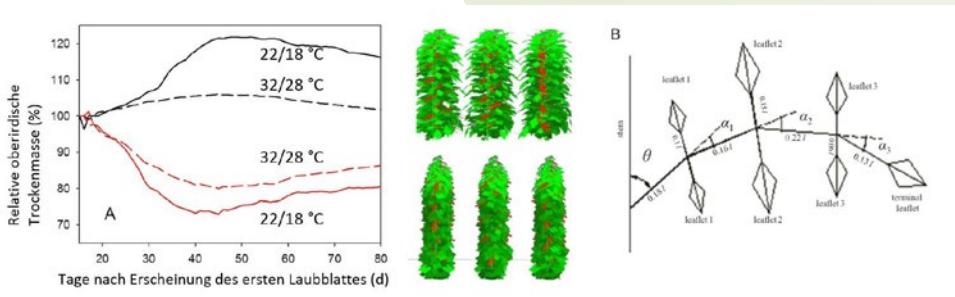
Sollen zudem Wassermangelsituationen Berücksichtigung finden, so werden die Wirkungszusammenhänge aufgrund der Interaktionen der Umweltfaktoren noch komplexer (Abb. 3). Hierzu wurden in Geisenheim im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten umfassende Gewächshausexperimente durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Performance der Pflanzen nur dann vorhergesagt werden kann, wenn prozessorientierte Modelle verwendet werden, welche die Pflanzenarchitektur berücksichtigen (z. B. Olberz, 2012; Klostermann, 2013).

In wieweit diese Modelle auch dazu dienen, um ein verbessertes Grundlagenverständnis des Zusammenspiels von Physiologie und Architektur der Pflanzen entwickeln zu können, zeigen die umfassenden Studien im Promotions-

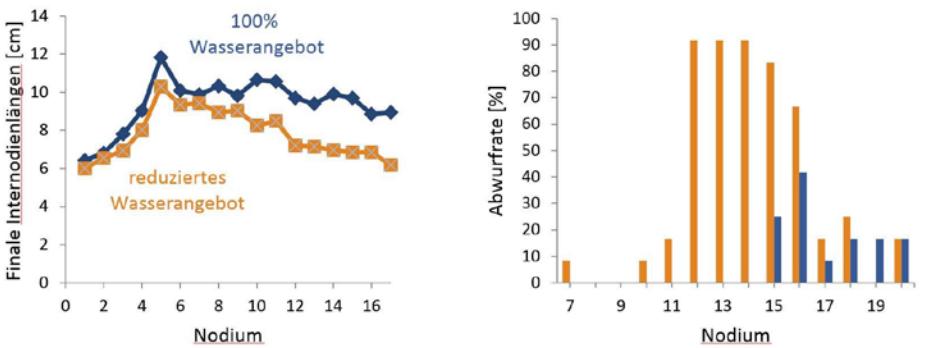
projekt von Herrn Dr. Chen an der Universität Hannover (gemeinsames DFG-Projekt von K. Kahnen und Prof. H. Stützel). Hier wurden die Auswirkungen von Salzstress und die Limitierungen der Photosynthese in Gewächshausbeständen anhand *Virtueller Pflanzen* untersucht (z.B. Chen et al., 2014b).

Auch für die vielfältigen Forschungsschwerpunkte an der Hochschule Geisenheim bieten sich zahlreiche Anknüpfungspunkte. Dies ist insbesondere der Fall, wenn in Forschungsfragen die Pflanzenarchitektur von Bedeutung ist, wie beispielsweise bei der Interaktion von Insekt und Pflanze, der Applikation von Pflanzenschutzmitteln oder der Klimafolgenforschung. So ist davon auszugehen, dass zukünftige Klimaveränderungen die Bedeutung der Umweltfaktoren in pflanzenbaulichen Systemen und damit auch die der Pflanzenarchitektur verstärken werden (Kahnen et al., 2015). Im Rahmen des Verbundprojektes FACE2FACE sollen *Virtuelle Pflanzen* daher künftig eine systematische Analyse des Einflusses prognostizierter Klimabedingungen auf die Bestandsproduktivität unterstützen und die Entwicklung angepasster und optimierter Management-Strategien für die Praxis ermöglichen.

*Virtuelle Pflanzen* können somit in vielen Anwendungsbe reichen als spannendes und innovatives Werkzeug genutzt werden, um unser Wissen über die Ressourcennutzen der Pflanzen stetig zu verbessern.



**Abb. 2:** Ergebnisse einer Simulationsstudie mit virtuellen Tomaten (Chen et al., 2014a): Einfluss des Blattwinkels auf die Trockenmassen-Produktion über die Zeit für hohe und niedrige Temperaturen (durchgehende, bzw. gestrichelte Linien) und reduzierte Blattwinkel  $\emptyset$  (70% von  $\emptyset$  der Referenzpflanze, Mitte oben; schwarze Linien in A), bzw. erhöhte Blattwinkel (130% von  $\emptyset$ , Mitte unten, rote Linien in A). In B wird die schematische Darstellung des Blattwinkels  $\emptyset$  im virtuellen Tomaten-Pflanzen Modell gezeigt.



**Abb. 3:**

**Links:** Einfluss von Wassermangel auf die finale Internodienlänge. Die Längen in der 100% bewässerten Variante (blaue Symbole) folgen einem gemittelten Strahlungsverlauf. Die reduziert bewässerten Pflanzen (orange Symbole) haben kürze Internodien. Der nicht-proportionale Verlauf deutet darauf hin, dass weitere Faktoren und Interaktionen eine Rolle spielen. Das zeigt sich auch bei den Frucht-Abwurfraten.

**Rechts:** Einfluss von Wassermangel auf die Abwurfraten von Früchten an den Nodien 7 bis 20 der Hauptsprossachse. Würde man nur die Abwurfraten an den oberen Nodien (17-20) berücksichtigen, käme man zu dem (falschen) Schluss, dass das Wasserangebot keinen Einfluss auf die Abwurfraten hat.

## LITERATUR

**CHEN, T.W., NGUYEN, T.M.N., KAHLEN, K. & STÜTZEL, H. (2014A):** Quantification of the effects of architectural traits on dry mass production and light interception of tomato canopy under different temperature regimes using a dynamic functional-structural plant model. *Journal of Experimental Botany* 65, 6399-6410.

**CHEN, T.W., HENKE, M., DE VISSER, P.H.B., BUCK-SORLIN, G., KAHLEN, K., WIECHERS, D. & STÜTZEL, H. (2014B):** What is the most prominent factor limiting photosynthesis? – A model study to quantify photosynthetic limitations in different layers of a cucumber canopy. *Annals of Botany* 114, 677-688.

**KAHLEN, K. & STÜTZEL, H. (2011):** Modelling photo-modulated internode elongation in growing glasshouse cucumber canopies. *New Phytologist* 190, 697-708.

**KAHLEN, K., ZINKERNAGEL, J. & CHEN, T.W. (2015):** Towards virtual plant modelling as a tool in climate change impact research. *Procedia Environmental Sciences* 29, 245-246.

**KLOSTERMANN, H.R. (2013):** Auswirkungen von Wasserstress auf Pflanzenwachstum und -entwicklung in Gurkenbeständen (*Cucumis sativus L.*). Master-Thesis, Hochschule Geisenheim University.

**LINDENMAYER, A. & PRUSINKIEWICZ, P. (1990):** The algorithmic beauty of plants. Springer-Verlag.

**OLBERZ, M. (2012):** Wasserstress-induzierte Anpassung der Pflanzenmorphologie in Gurkenbeständen (*Cucumis sativus L.*). Master-Thesis, Hochschule Geisenheim University.