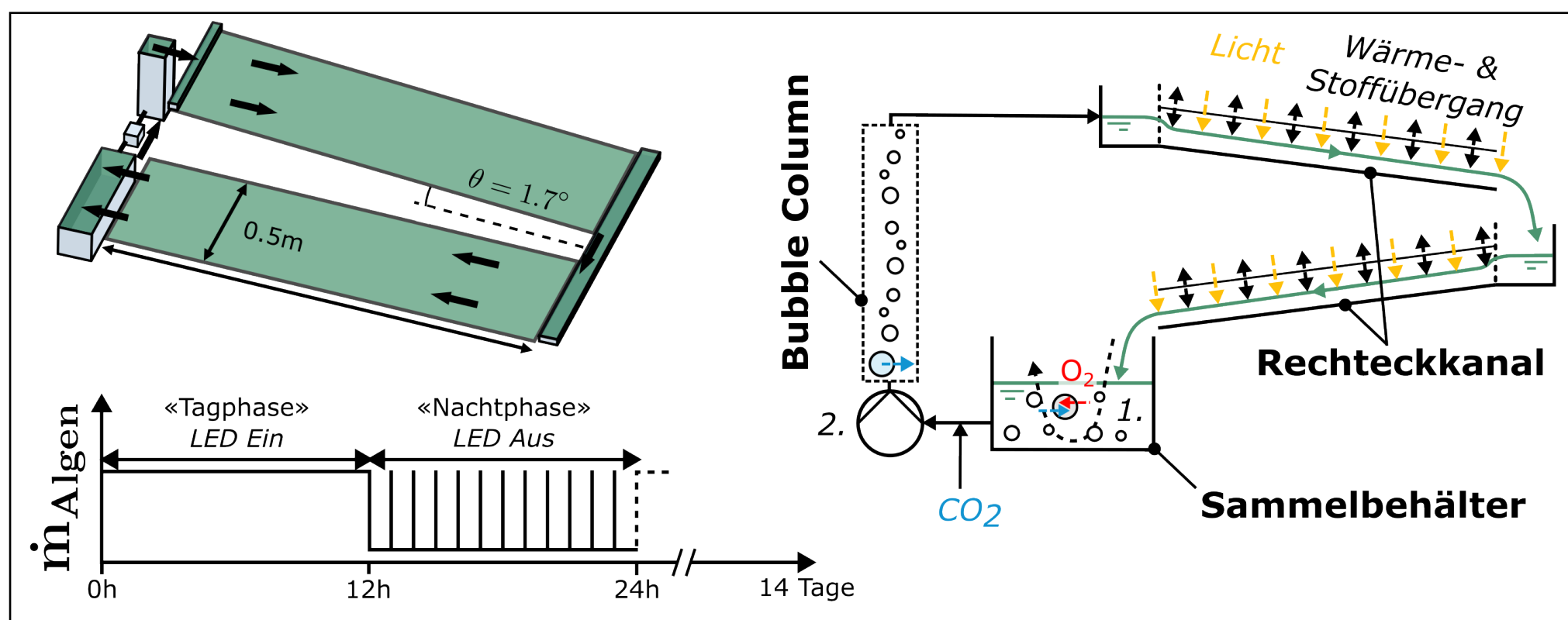
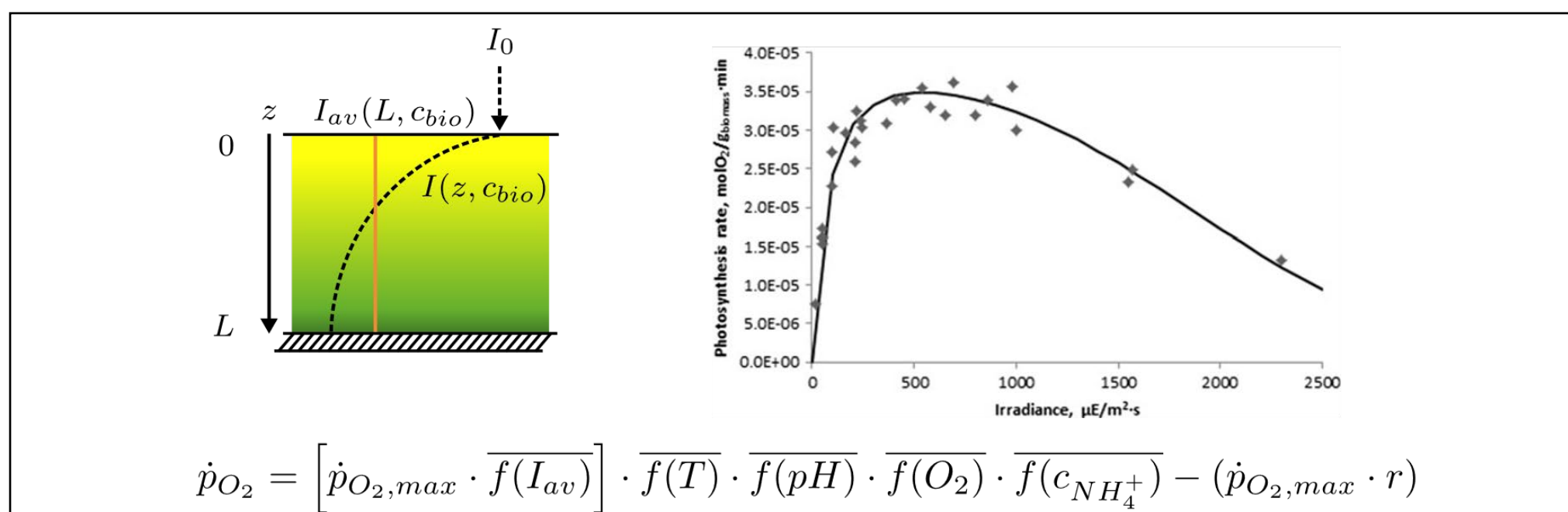


Master-Thesis Studiengang Energy and Environment

Modellierung von Photobioreaktoren zur Kultivierung von Mikroalgen

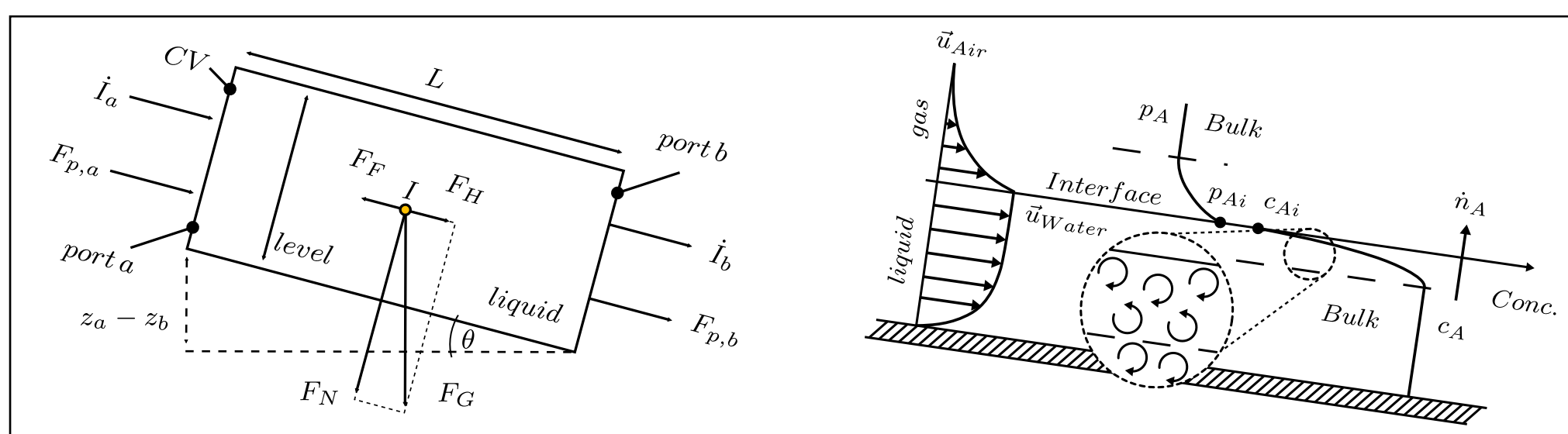


Aufbau und Prozessführung Laborreaktor «Lotus Mini»

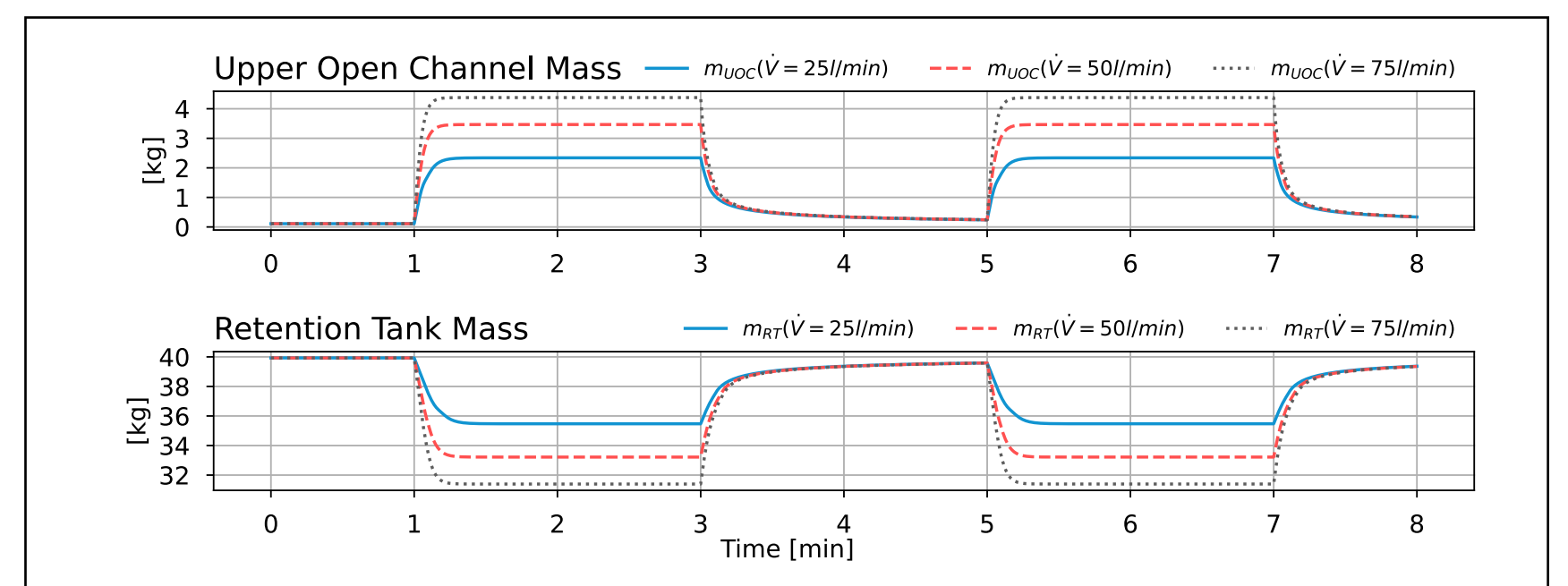


$$\dot{p}_{O_2} = [\dot{p}_{O_2,max} \cdot f(I_{av})] \cdot f(T) \cdot f(pH) \cdot f(O_2) \cdot f(c_{NH_4^+}) - (\dot{p}_{O_2,max} \cdot r)$$

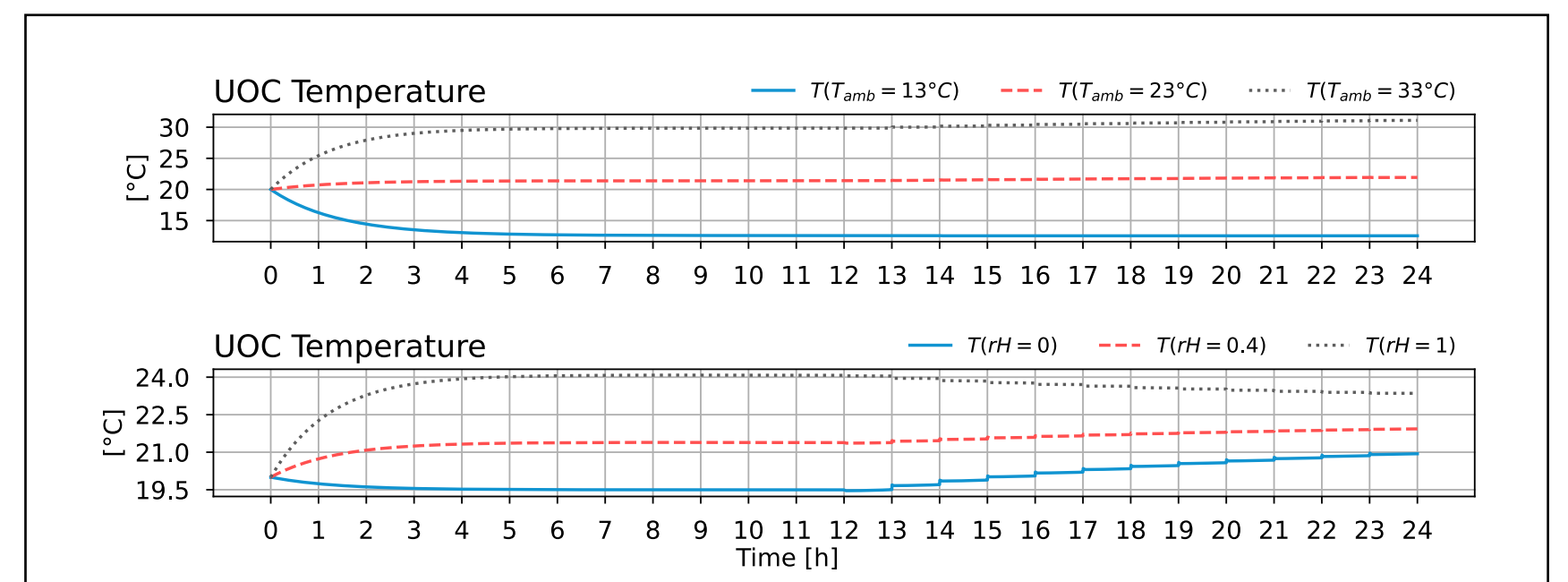
Modellierung Mikroalgen-Stoffwechsel anhand normalisierter Einflussfunktionen $f(\cdot)$ der Kultivierungsbedingungen



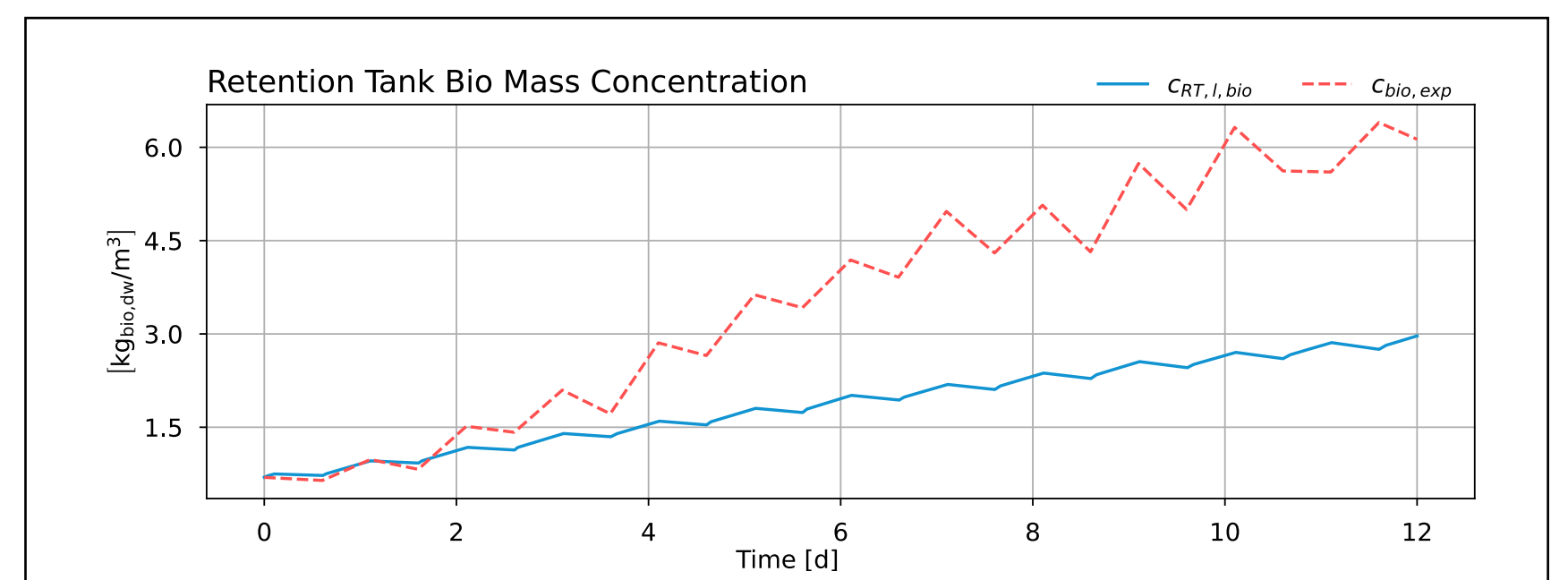
Modellierungsbeispiel Rechteckkanal: links Kontrollvolumen der Impulsbilanz und rechts Stoffdurchgang an der freien Oberfläche



Resultate der Fluidodynamik bei variierendem Volumenstrom im «Start-Stop-Testbetrieb»



Resultate der Thermodynamik im Upper Open Channel bei variierenden Umgebungsbedingungen im «24h-Testbetrieb»



Vergleich simulierter (blau) und gemessener (rot) Biomassenkonzentration während des «Kultivierungs-Testbetriebs»

Ausgangslage und Aufgabenstellung

Die Masterthesis hat ein universelles Modelica-Systemmodell zur Abbildung der Kultivierung von Mikroalgen in Photobioreaktoren zum Ziel. Mikroalgen binden das Treibhausgas CO₂ als Biomasse, ohne die Landwirtschaft zu konkurrieren. Dadurch können Mikroalgen einen relevanten Beitrag zur Erreichung der Sustainable-Development-Goals der Vereinten Nationen leisten. Die Kultivierung in Photobioreaktoren für margenschwache Mikroalgenerzeugnisse steht vor ökonomischen und technischen Herausforderungen. Offene Dünnschicht-Kaskaden-Photobioreaktoren besitzen das Potenzial, die ökonomischen Hürden in der Industrialisierung zu überwinden. Ihre Verbreitung wird durch den Mangel an detaillierten Informationen zum Prozess- und Reaktordesign eingeschränkt. Im Modelica-Modell wird der Dünnschicht-Laborreaktor «Lotus Mini» zur Kultivierung von Chlorella Vulgaris an der Hochschule Luzern abgebildet.

Vorgehen

Der Aufbau des dynamischen Basismodells erfolgte schrittweise durch die Abbildung der Reaktorsubsysteme. Die Reaktorkomponenten Bubble Column, Rechteckkanal und Sammelbehälter umfassen die Domänen Fluid-, Thermo- und Stoffdynamik. Das Mikroalgen-Stoffwechselmodell steht in Wechselwirkung zu den Kultivierungsbedingungen in den Reaktorkomponenten. Es werden die Bestrahlungsstärke, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoff- und Nährstoffkonzentration berücksichtigt. Das Gesamt- und die Modellteilsysteme wurden erfolgreich auf Plausibilität geprüft. Am Projektende wurde ein erster Vergleich zu Labormessdaten möglich.

Ergebnisse

Mit der Modellierung des Lotus Minis wurde erstmals ein physikalisches Systemmodell eines Dünnschicht-Kaskaden-Photobioreaktors erstellt. Systemmodelle ermöglichen eine effiziente Analyse,

Optimierung und Industrialisierung von Photobioreaktoren. Der Implementierungsstand des Modells am Projektende erlaubt eine qualitative Untersuchung der Reaktorprozesse. Von der Plausibilisierung ausgehend sind keine quantitativen Arbeiten möglich. Um dieses Potenzial zu erschließen, wird die Kalibrierung und Validierung des Modells mit Messdaten empfohlen. Die Modellkalibrierung verdeutlicht Reaktorprozesse, die einer tieferen Untersuchung bedürfen. Damit bietet das Systemmodell eine Chance, durch gezielte Experimente den Aufwand in der derzeit laufenden Charakterisierung des Laborreaktors zu reduzieren.

Ivo Steiner

Hauptbetreuer:
Prof. Dr. Ulf Christian Müller

Experte:
Dr. Joel Schlienger