

# Mathematische und numerische Methoden in der Strömungsmechanik mit Python und KI

## 1 Antragsteller/in

Arbeitsgruppe Apparatedesign  
Dr.-Ing. Konrad Boettcher

## 2 Kurzbeschreibung des Projektes

In der Masterveranstaltung „Mathematische und numerische Methoden in Strömungs- und Transportprozessen“ soll das Computerlabor von der Verwendung von Matlab auf Python umgestellt werden. Dadurch wird diese Veranstaltung auf den aktuellen Stand der Zeit angepasst und folgt der Änderung des Faches „Einführung in die Programmierung“ von Matlab auf Python. Des Weiteren soll die Veranstaltung unter Nutzung von Python um den Einsatz von künstlicher Intelligenz für CFD-Simulationen erweitert werden. Den Studierenden soll damit zum einen der numerische Ansatz von CFD-Simulationen, die beispielsweise den kommerziellen Programmen wie Ansys CFX zugrunde liegen und zum anderen Alternativen zu den herkömmlich verwendeten Tools nähergebracht werden.

## 3 Details zum Projekt

### 3.1 Istzustand vor Beantragung

Die Wahlpflicht-Veranstaltung „Mathematische und numerische Methoden für Strömungs- und Transportprozesse“ aus dem Masterstudiengang Chemieingenieurwesen besteht derzeit aus einer Vorlesung und einer Übung. Die Veranstaltung wird als Blockveranstaltung im Sommersemester angeboten. In der Vorlesung lernen die Studierenden die theoretischen Grundlagen der Thematik und erhalten einen Überblick über das Anwendungsfeld der numerischen Methoden im Fachbereich Transportprozesse. Zu Beginn der Vorlesung werden die Lernziele für die jeweilige Einheit kommuniziert. Bei der Übung handelt es sich um ein Computerlaborpraktikum. In diesem Praktikum sollen die Studierenden das in der Vorlesung erlernte theoretische Wissen auf Fallbeispiele anwenden. Dazu werden sie vor der Veranstaltung in Dreiergruppen eingeteilt. In der Übung haben die Studierenden Zeit die Aufgabenstellungen selbständig zu lösen. Bei Fragen der Studierenden steht der Übungsleiter zur Verfügung. In den circa letzten 20 Minuten wird die Lösung der Aufgabe vorgestellt. Den Studierenden wird die Möglichkeit gegeben ihre Ergebnisse untereinander auf Moodle zu teilen und zu vergleichen. Zur Programmierung und damit zur Visualisierung der Fallbeispiele wird die Software „Matlab“ verwendet. Allerdings besteht ein Großteil der Übung darin, die zur Lösung des Problems notwendigen Erhaltungsgleichungen händisch zu diskretisieren. Der Aufbau der Übung ist mehr oder weniger im Jahr 2010 stehen geblieben. Das bedeutet, dass neu aufkommende Methoden wie KI in CFD-Simulation im Computerlabor nicht thematisiert werden. Des Weiteren werden im Computerlabor auch keine didaktischen Methoden für Laborlehre angewendet und auch das Constructive Alignment ist stark verbesserungsfähig.

### 3.2 Didaktische Grundlagen und Motivation

An unserer Fakultät soll der Fokus in der Veranstaltung „Einführung in die Programmierung“ auf Python gelegt werden. Bis zum aktuellen Zeitpunkt wird noch die Programmierung in Matlab gelehrt. Allerdings ist das nicht mehr zeitgemäß und auch an vielen Lehrstühlen wird vermehrt mit Python anstatt mit Matlab gearbeitet. Aus didaktischer Sicht ist es sinnvoll, dass Studierende die erlernte Theorie und Methoden anwenden, um neue Lerninhalte zu vertiefen und zu verstehen, da

dadurch die extrinsische kognitive Belastung reduziert wird. Dabei wird zwischen verschiedenen didaktischen Einbettungen und dem daraus resultierenden Kompetenzzuwachs unterschieden. Der niedrigste Kompetenzzuwachs wird beim skriptbasierten Lernen und der höchste Kompetenzzuwachs wird beim forschungsbasierten Lernen erzielt. Die Kompetenzentwicklung nach [1] ist in Abbildung 1 dargestellt.

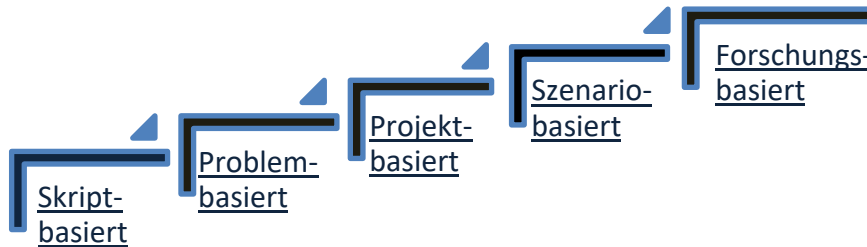


Abb. 1: Schematische Darstellung der Kompetenzentwicklung durch verschiedene didaktische Einbettungen. [1]

Demnach sollten Studierenden unterschiedliche Aufgabentypen bereitgestellt werden, damit diese einen möglichst hohen Kompetenzzuwachs erlangen können. Nach dem Constructive Alignment ist eine Abstimmung und gegenseitige Auslegung der Lehr-Lern Aktivität, der Lernziele und der Lernzielkontrolle jeder Lehr- und Lerneinheit wichtig. Die Umstellung der Programmiersprache hin zu Python bietet die optimale Gelegenheit, Übungsaufgaben entsprechend der Kompetenzentwicklung zu gestalten. Aus zeitlichen Gründen ist es vermutlich nicht möglich szenariobasiertes oder forschungsbasiertes Lernen in der Übung anzuwenden. Allerdings ist es möglich verschiedene Lernmethoden wie beispielsweise Gruppenpuzzle zu implementieren. Dabei bearbeiten die Studierenden in Kleingruppen unterschiedliche Aufgabenteile und tragen die erzielten Ergebnisse in einer großen Diskussionsrunde vor. Dieses Verfahren steigert den Lernzuwachs trotz Zeitbegrenzung der Veranstaltung. Prinzipiell soll in der Übung problembasiertes Lernen angewendet werden. Dafür können die Studierenden zu Beginn ein allgemeines Ablaufschema entwickeln, dessen Aufwand durch didaktische Reduktion unter zur Hilfenahme von beispielsweise Google Collabs unterstützt werden kann. Entsprechend der Fähigkeiten der einzelnen Studierenden können die Aufgaben daran angepasst werden (differenzierte Lehre).

Auf technischer und organisatorischer Seite bietet Python gegenüber Matlab den Vorteil, dass es sich dabei um eine Open-Source Sprache handelt und somit kostenfrei und plattformunabhängig ist. Die Studierenden benötigen keine Matlab Lizenz, keinen VPN-Tunnel zur BCI, kein bestimmtes Betriebssystem, um an der Veranstaltung teilnehmen zu können. Zudem sind die Studierenden an kein Gerät gebunden, was Kompatibilitätsprobleme verhindert, wenn unterschiedliche Geräte für die Lösung eines Projektes verwendet werden. Dadurch wird der Zugang zu dieser Veranstaltung erleichtert. Ein weiterer Vorteil von Python liegt darin, dass die Studierenden diese im Bachelor bereits gelernt haben werden. Das führt zu einer didaktischen Reduktion und insbesondere zu einer Reduzierung der kognitiven Belastung. Des Weiteren bietet Python eine Vielzahl von Bibliotheken, die im wissenschaftlichen Kontext eine sinnvolle Anwendung finden. Dazu zählt beispielsweise NumbPy für numerische Berechnungen, Pandas für Datenmanipulation und Matplotlib für die Visualisierung der Ergebnisse. Zudem kann eine KI zur Erstellung von Anfangsbedingungen verwendet werden. Da es sich bei Python um eine Open-Source Sprache handelt, ist die Community der Nutzer groß, wodurch viele Problemstellungen schon bei vorangegangenen Nutzern aufgetreten sind und Erfahrungsberichte sowie Lösungsansätze oder vollständige Lösungen online abrufbar sind. Zudem ist Python eine der führenden Sprachen im Bereich der künstlichen Intelligenz und des

maschinellen Lernens. Auch für dieses Anwendungsfeld bietet Python Bibliotheken wie scikit-learn, TensorFlow und PyTorch.

TensorFlow wird beispielsweise für KI-Anwendungen im Bereich numerischer Simulationen verwendet und passt damit optimal in die Umstellung der Veranstaltung auf Python. Obwohl Matlab ebenfalls in vielen wissenschaftlichen Bereichen verwendet wird und spezifische Stärken hat, bietet Python aufgrund seiner Offenheit, Vielseitigkeit und aktiven Community die entscheidenden Vorteile für wissenschaftliche Anwendungen.

### **3.3 Projektziel/Projektbeschreibung**

Die Übung/Computerlabor der Lehrveranstaltung „Mathematische und numerische Methoden für Strömungs- und Transportprozesse“ soll verbessert werden, indem das Übungskonzept umgestellt wird. Dabei spielt zum einen die Umstellung von Matlab auf Python, als auch die Umstellung der Übungsdurchführung eine wichtige Rolle um den Lernzuwachs der Studierenden zu erhöhen. Gleichzeitig steigt auch die Effizienz, da das Ziel der Veranstaltung nicht ist die Programmierung zu vermitteln. Die Programmierung kann beispielweise durch Google Collabs oder JupyterNotebooks unterstützt werden. In der Veranstaltung sollen die numerischen und mathematischen Methoden in der Strömungsmechanik vermittelt werden.

Den Studierenden sollen Einführungstutorien für Python vor der ersten Übung zur Verfügung gestellt werden. Dadurch verschwenden die Studierenden keine Zeit in der Selbstbearbeitungsphase der Übung mit den Grundlagen von Python. Zu Beginn jeder Übung werden die Lernziele nach dem Constructive Alignment adressiert. Die Übungsaufgaben sollen anwendungsbezogener gestaltet werden, indem aktuelle Forschungsarbeiten aus dem Fachgebiet Transportprozesse dargestellt werden. Des Weiteren soll der Lernzuwachs für die Studierenden durch Variation der Gruppenarbeit verbessert werden. Beispielsweise soll ein Gruppenpuzzle eingeführt werden, indem die Studierenden in Kleingruppen Aufgabenteile bearbeiten und später in einer Diskussionsrunde die erzielten Ergebnisse vorgestellt und interpretiert werden. Dadurch kann ein größerer Lernzuwachs in der Übungszeit im Vergleich zum aktuellen Vorgehen erzielt werden. Zusätzlich soll die Veranstaltung zu den bis jetzt gelehrteten numerischen Methoden um die Anwendung von KI für numerische Simulationen ergänzt werden. Dafür wird ein neues Kapitel in der Vorlesung, sowie eine neue Lehr-Lernaktivität mit Lernzielkontrolle entworfen. Dadurch soll das Verständnis für numerische Methoden und KI im Bereich Transportprozesse und deren Anwendungsgebiet verbessert werden. Es werden die Vor- und Nachteile beider Verfahren aufgezeigt und mit realweltlichen Anwendungen veranschaulicht.

### **3.4 Einzelmaßnahmen, Schritte etc.**

1. Die wichtigsten Lernziele aus den alten Übungsaufgaben extrahieren
2. Aufgaben entsprechend den oben genannten Forschungsgebieten und Übungstypen erstellen
3. Entwicklung einer KI für numerische Simulationen
4. Überarbeitung der Vorlesung für die Thematik KI für numerische Simulationen
5. Python Tutorials entwickeln und implementieren, um ein Grundverständnis zu schaffen
6. Ausschreiben von Abschlussarbeiten und Hiwis einstellen und diese betreuen
7. Organisation des Projektes
8. Einpflegen in Moodle

### **3.5 Geplante Laufzeit**

Das Projekt soll von 05/2024 bis zum 05/2025 laufen und spätestens mit dem Start des SoSe 2025 sukzessive in der Lehrveranstaltung „Numerische und mathematische Methoden in Strömungs- und Transportprozessen“ eingesetzt werden.

### **3.6 Indikatoren zur Evaluation des Projektes**

Die weiter entwickelte Lehrveranstaltung bestehend aus der Vorlesung und der Übung/Computerlabor wird mit einem Evaluationsbogen am Ende der Veranstaltung evaluiert. Dieser Evaluationsbogen fragt gezielt nach den Dimensionen Constructive Alignment, Attraktivität, Effektivität und Effizienz. Zudem beinhaltet der Fragebogen qualitative Fragen, um deren Kreativität für Verbesserungsvorschläge und konstruktiver Kritik ein offenes Ohr zu geben. Zusätzlich dient die Lernzielkontrolle (Klausur) zur Überprüfung, ob alle Lernziele erreicht wurden und dadurch die Studierenden den zum Bestehen der Klausur notwendigen Wissensstand aufweisen. Zudem wird zur Überprüfung der Effektivität ein Pre-/Post-Test durchgeführt.

### **3.7 Nachhaltigkeit/Verstetigung**

Da es sich bei der Veranstaltung „Numerische und mathematische Methoden für Strömungs- und Transportprozesse“ um ein Wahlpflichtfach im Masterstudiengang handelt, wird diese auch in Zukunft weiter bestehen bleiben. Das bedeutet, dass sobald die Veranstaltung auf Python umgestellt wurde, die Übungsaufgaben sowie die Durchführung optimiert wurde diese nachhaltig und ohne größere zusätzliche Arbeit in den nächsten Jahren fortgeführt werden kann. Die Veranstaltung muss lediglich entsprechend der aktuellen Python-Packages und entsprechender Tutorials instandgehalten werden.

### **3.8 Das Wichtigste in Kürze**

Die technische Komponente des Projekts zielt darauf ab, das Computerlabor der Masterveranstaltung "Mathematische und numerische Methoden in Strömungs- und Transportprozessen" von Matlab auf Python umzustellen. Diese Anpassung folgt dem aktuellen Trend in der Programmierung an unserer Fakultät und vereinfacht die Integration von künstlicher Intelligenz (KI) in die mathematischen Methoden der Computational Fluid Dynamics (CFD), welche die inhaltliche Komponente darstellen. Die didaktische Komponente des Projektes zielt darauf ab, die veralteten Lehrmethoden der Veranstaltung zu erneuern.

Die Umstellung auf Python bietet einige Vorteile, da es eine Open-Source-Sprache ist, kostenfrei und plattformunabhängig verwendet werden kann. Python wird bereits im Bachelorstudium gelehrt, was zu einer Reduzierung der kognitiven Belastung für die Programmierung führt, wodurch die numerischen Methoden der Strömungsmechanik im Fokus stehen. Die Einführung von KI in CFD-Simulationen sollen den möglichen Lernzuwachs der Studierenden erweitern. Neue Lernmethoden und anwendungsbezogene Aufgaben sollen die Effizienz, den Kompetenzzuwachs und die Attraktivität steigern. Die Veranstaltung wird zeitgemäßer und praxisorientierter gestaltet, wobei Python als vielseitige und offene Programmiersprache die notwendigen Werkzeuge bietet.

[1] Tekkaya, A.E., Wilkesmann, U., Terkowsky, C., Pleul, C., Radtke, M., Maevus, F.: Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab. acatech Studie. Herbert Utz Verlag GmbH, München (2016)