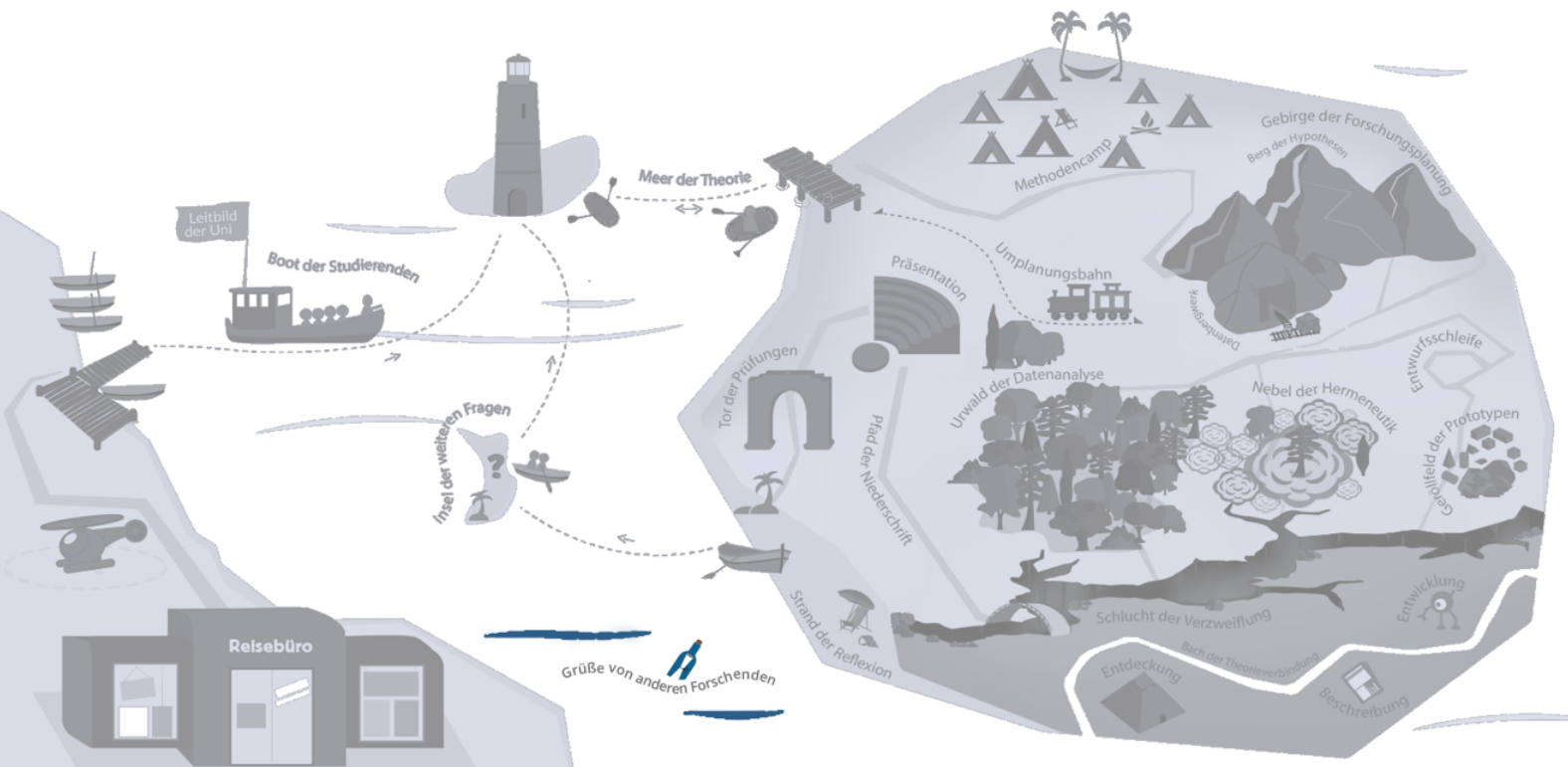




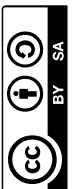
Beispiele & Good Practices

Quantencomputing und forschendes Lernen



SCHLAGWÖRTER:

SIMULATION VON QUANTEN-
COMPUTERN, ANWENDUNG VON
GRUNDLAGENFORSCHUNG, FOR-
SCHUNGSPROJEKT



Diese Praxisbeispiel ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz. Der Urheber soll bei einer Weitergabe unter gleichen Bedingungen wie folgt genannt werden:

Herzberg, Dominikus (2024). Quantencomputing und forschendes Lernen. Insel der Forschung: Beispiele & Good Practices.

Metadaten

Name: Prof. Dr. Dr. Dominikus Herzberg

Hochschule: Technische Hochschule Mittelhessen

Fach: Informatik

Abstract: Das hier vorgestellte Angebot zum forschenden Lernen richtet sich an Studierende der Informatik. Im Zentrum steht ein Programmierprojekt, das Quantenphänomene simuliert und medial aufbereitet.

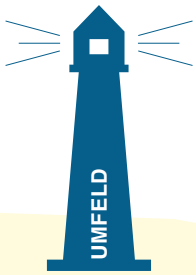
Besonderheiten: Programmierprojekt

Creative Commons: CC BY SA



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

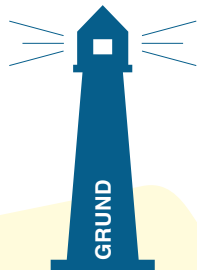


- Technische Hochschule Mittelhessen
- Informatik
- Bachelor-Studierende
- Durchführung: 1-mal
- 6 CP 4 SWS
- Anzahl der Studierenden: 7



UMFELD:

Bei meinem Angebot zum forschenden Lernen handelt es sich um ein Wahlpflichtangebot für Studierende der höheren Semester (ab 4. Semester) des Bachelorstudiengangs Informatik an der Technischen Hochschule Mittelhessen. Es geht um das neu von mir entworfene Modul *Simulation von Quantencomputern und ihren Grundlagen*. Zur Entstehung gibt es eine kurze Historie: Meine Kollegin, Mathematikerin, hat das Modul *Einführung in das Quantencomputing* vor einigen Jahren eingeführt und dazu ein Buch verfasst; sie suchte nach einem Mitstreiter zum Quantencomputing. So nahm ich zum Einstieg als Co-Dozent und gleichzeitig Lernender an ihrer Lehrveranstaltung teil. Um mich in die Thematik einzuarbeiten, habe ich einen Simulator für einen Quantencomputer programmiert. Daraus entstand dann die Idee, dass ich einen eigenständigen Kurs dazu anbieten könnte, der die Programmierung eines Quantencomputers als didaktisches Element nutzt; denn im Grunde benötigt man zur Umsetzung der physikalisch-logischen Grundlagen lediglich komplexe Zahlen und lineare Algebra, die man programmierend zusammenbringt, was Informatiker:innen in Form von Programmcode gut zugänglich ist. Damit haben wir nun zwei Kurse zum Quantencomputing im Angebot, die unabhängig voneinander belegt werden können und sich dennoch gut ergänzen, aber durch den unterschiedlichen Hintergrund der Dozent:innen und die verschiedenen Ansätze jeweils für sich attraktiv und gewinnbringend bleiben.



- Eine vorweggenommene Herausforderung
- Ein persönliches professionelles Anliegen

GRUND:

Der Entschluss zum forschenden Lernen hat wesentlich damit zu tun, dass ich mich zum einen selbst als Neuling im Quantencomputing begreife und mir deshalb mit meinen Studierenden das Thema gemeinsam erarbeiten wollte. Zum anderen hat die Quantenlogik so wenig gemein mit unserer Alltagserfahrung, dass ich es als sehr spannend empfand, wenn sich die Studierenden selbstständig um die (angeleitete) Aufarbeitung mathematischer Grundlagen bemühen und sich an informatischen Simulationen und Visualisierungen dazu versuchen. Außerdem zieht der Kurs aufgrund der mathematischen Grundlagen und Anforderungen nur eine begrenzte Zahl von Studierenden an. Mit dieser Kleingruppe (7 Studierende) kann man sehr gut forschendes Lernen umsetzen.



- Ein Semester lang
- In eine Veranstaltung eingebettet
- Curricular verankert & verpflichtend
- Forschungsprozess: selbstständig und bei Bedarf von Lehrenden unterstützt
- Feedback: Peers & Lehrende
- Forschungsergebnisse: teilweise öffentlich

UMSETZUNG:

Der Kurs thematisiert die informatische Simulation von Quantencomputern und grundlegenden physikalischen Quantenphänomenen. Dabei lernen die Studierenden forschend zu arbeiten, indem sie selbstständig Simulationen programmieren. Mein Angebot zum forschenden Lernen lässt sich in fünf Phasen gliedern.

Da die Simulation von Quantenschaltkreisen sehr voraussetzungsreich ist, bedarf es zunächst einer Einführung in die theoretischen und technischen Grundlagen, die in den ersten beiden Phasen fokussiert werden. In der ersten Phase wird das Themenfeld der komplexen Zahlen behandelt. Dabei werden den Studierenden die komplexen Zahlen einerseits durch inhaltliche Inputs vermittelt. Andererseits setzen sich die Studierenden über konkrete Übungen mit diesem Thema auseinander, indem sie eine Bibliothek zum Rechnen mit komplexen Zahlen programmieren. Durch meinen inhaltlichen Input und die Auflage, einen konzeptionellen Programmierstil umzusetzen, können die Studierenden dieses Grundlagenwissen verinnerlichen.

Die zweite Phase ist ähnlich aufgebaut und beginnt mit einer Einführung in die Quantentheorie (Schrödinger'sche Wellengleichung; Quantenbit). Es folgen praktische Übungen, in denen die Studierenden einen Quantenschaltungssimulator selbst aufbauen und typische Quantengatter programmieren.

Nach den beiden Einführungsphasen beginnt die eigentliche Projekt- und Forschungsarbeit, die ebenfalls in zwei Phasen unterteilt ist. In der dritten Phase bauen die Studierenden (in Einzelarbeit oder in Zweierteams) zunächst einen Simulator in einer Programmiersprache ihrer Wahl, um in die Materie einzutauchen und ein tieferes Verständnis der Thematik zu erlangen. Darauf aufbauend wählen die Studierenden in der zweiten Semesterhälfte, der vierten Phase, ein eigenes Programmierprojekt, das Quantenphänomene simuliert und medial ansprechend aufbereitet. Neben der eigenständigen Forschungstätigkeit ist diese Phase durch regelmäßige Präsentationen des Projektfortschritts und der Dokumentation des Programmcodes gekennzeichnet.

In der fünften und letzten Phase des Kurses werden die verschiedenen Projekte inklusiv einer Programmdemo im Seminar vorgestellt, diskutiert und von mir bewertet. Das Projekt und die dazugehörige Präsentation stellen die zu erbringenden Prüfungsleistungen dar.





Spannung zwischen...

- Arbeitsaufwand und dem formal berechneten Zeitaufwand für Studierende
- Veränderte Lehrenden-Rolle und der vorhandenen Lehrtradition

SPANNUNGEN UND WIDERSPRÜCHE:

Ein grundsätzliches Spannungsverhältnis besteht darin, dass Studierende der Informatik die mathematischen Grundlagen der Quantenphysik und des Quantencomputings bis auf Wissen der linearen Algebra nicht beherrschen. Diese Lücke in den mathematischen Grundlagen habe ich als Herausforderung für die Gestaltung der Lehrveranstaltung gesehen. Wir lösten dieses Problem im Kurs, indem wir Programmieraufgaben mit Mathematik verknüpften. Durch diesen Ansatz entwickelten die Studierenden ein gutes Gespür dafür, was die Physik durch die Mathematik ausdrücken möchte, und konnten sich so mit dem Thema vertraut machen. In diesem Zusammenhang muss jedoch auch darauf hingewiesen werden, dass sich die Studierenden wesentlich intensiver in die Materie einarbeiten mussten, als dies in anderen Seminaren ohne eine derart tiefe und spezifische mathematische Fundierung der Fall gewesen wäre.

Eine weitere Spannung ergab sich aus meiner veränderten Rolle. So war ich hier nicht in der Rolle der „allwissenden“ Lehrperson und konnte keine verlässliche Hilfestellung geben. Vielmehr war ich selbst eine forschende und lernende Person, welche den Studierenden als erfahrener Mitdenker zur Seite stand. Aufgelöst habe ich dieses Spannungsfeld durch die direkte Kommunikation meines Rollenwechsels mit den Studierenden. Bezogen auf den Forschungsprozess entstand aus dieser Spannung ein Gewinn. So nahm ich bei den Studierenden wahr, dass sie eine forschende Haltung einnahmen, Verantwortung für ihr Projekt übernahmen und sich sehr selbstständig organisierten.





Ziele und Werte:

- Nachgehen von Forschungsinteressen
- Entwicklung und Ausbau von forschender Neugier
- Auseinandersetzung mit Fachliteratur
- Erkennen von Zusammenhängen zwischen Studieninhalten

WIRKUNGEN:

Grundsätzlich hatte ich bei der Konzeption der Lehrveranstaltung gehofft, dass die Studierenden tief in die Materie einsteigen und selbstständig in einem Programmierprojekt Quantenphänomene simulieren und ansprechend aufbereiten.

Ich hatte aber nicht mit einem so ausgeprägten Engagement der Studierenden gerechnet. Dieses äußerte sich auf unterschiedliche Weise und an verschiedenen Stellen des Forschungszyklus und kann an drei Beispielen skizziert werden:

(1) So holten sich die Studierenden eigenständig externe Hilfe. Sie besprachen Fragen mit einem Mitbewohner, der Physik studierte, und einer Kurs-Kommilitonin, deren Studienschwerpunkt Physik und Technologie für Weltraumanwendungen war. Sie gingen auch auf andere Professor:innen zu, um spezifische Probleme und Verständnisfragen zu diskutieren. Dieses Verhalten zeigt, wie selbstständig und unerschrocken die Studierenden sich mit vielen interessanten und teils komplizierten Themen auseinandersetzten und sich an verschiedenen Stellen Unterstützung holten.

(2) Das Engagement der Studierenden wird auch darin deutlich, wie sie ihre Vorkenntnisse aus der linearen Algebra mit der Simulation von Quantencomputern verknüpften und so eine praktische Anwendbarkeit der Mathematik erkannten, die sich stimulierend auf ihre Projekte auswirkte und ihnen zeigte, wie abstrakte Grundlagenforschung praktische Anwendung finden kann. Gleichzeitig entwickelten die Studierenden beim Programmieren unter der Prämisse konzeptionellen Programmierens als Erkenntniszugang selbst hohe Ansprüche an den Aufbau und die Struktur ihrer Programme und waren bereit zu experimentieren und ihre Programmierfähigkeiten auszubauen.

(3) Ein weiterer Effekt des Seminars, der mich sehr gefreut hat und das Engagement der Studierenden unterstreicht, war, dass zwei Studierende auf meinen Rat hin ihr Projekt auf einer Konferenz in Schweden vorgestellt haben. Zurück kamen zwei Forschende, die von der Konferenz begeistert waren, Kontakte knüpften, Anerkennung für ihre Arbeit erhielten und lernten, wie eine wissenschaftliche Community funktioniert.



Weitere Informationen zu dem Projekt können Sie unter dem Link <https://github.com/denkspuren/qcsim/> finden.