

asso. Prof. Dr. Thomas Hofer

Institut für Allgemeine, Anorganische und
Theoretische Chemie
Leopold-Franzens Universität Innsbruck
Centrum für Chemie und Biomedizin
Innrain 80-82, 6020 Innsbruck

An den Vizerektor für Lehre und Studierende

Univ.-Prof. Dr. Bernhard Fügenschuh

Christoph-Probst-Platz, Innrain 52a
Leopold-Franzens Universität Innsbruck

über

Fakultätenservicestelle

HIER

Innsbruck, 05.07.2024

Reflexion: ProLehre Initiative Projekt "Ψ2Touch - (Be)greifbare Quantentheorie"

Sehr geehrter Herr Vizerektor,

bereits im Mai 2019 wurde mir eine Finanzierung für das oben genannte Projekt im Rahmen der ProLehre Initiative zur Förderung innovativen Lehrens und Lernens an der Universität Innsbruck zuerkannt. Ziel des Projektes war es, Daten aus dem Bereich der quantenchemischen Forschung mittels 3D-Drucktechnologie in ein für den Unterricht zugänglicheres Format zu überführen. Erste Tests, die 2019 gemeinsam mit dem Verein Spielraum Fablab (Franz-Fischer-Straße 12, 6020 Innsbruck, <https://fablab.spielraumfueralle.at/>) durchgeführt werden konnten, waren äußerst positiv.

Aufgrund der Pandemie und dem damit einhergehenden Fernunterricht war es jedoch nicht möglich, die konstruierten 3D Objekte im Unterricht zu verwenden und zu testen. Da der beteiligte Studierende (Herr Dr. Manuel Schuler) im März 2021 seine Dissertation abschloss, musste das Projekt zwischenzeitlich gestoppt werden. Allerdings konnten die Aktivitäten Mitte 2022 unter Mitwirkung von Herrn Felix Purtscher, M.Sc. wieder aufgenommen werden.

Auf Basis der Erfahrungen, die während des 3D Drucks in den Jahren 2019/2020 gemacht wurden, konnte der Arbeitsablauf zur Erstellung der 3D-gedruckten Objekte nachhaltig verbessert werden. Darüber hinaus ermöglichten die zahlreichen Innovationen in der entsprechenden Software, das Design eines eigenen für diesen Zweck geplanten, 3D-gedruckten Regals (siehe Abbildung im Appendix, rechts). Letzteres ermöglicht eine Stapelung der 3D-gedruckten quantenmechanischen Wellenfunktionen nach aufsteigender Energie.

Es konnten daher zwei Iterationen der 3D-gedruckten Objekte hergestellt werden. Die Beispiele aus 2019 demonstrieren die symmetrische und antisymmetrische Superposition der Wellenfunktionen im sogenannten „Double-Well“ Potenzial, das als anschauliches Modellsystem für quantenmechanische Tunnelphänomene dient. Die 3D-gedruckten Objekte des Potenzials sowie der beiden Wellenfunktionen konnten mit Hilfe transparenter Stäbe aus Polymethylmethacrylate (PMMA) in Form eines anschaulichen Gerüsts arrangiert werden (siehe Abbildung im Appendix, links). Ein Nachteil der gedruckten Objekte liegt in einem „Farbausbluten“ entlang der Laminierung des 3D Drucks beim Auftragen von Farben zur Kennzeichnung der Koordinatenachsen.

Die zweite Iteration der 3D-gedruckten Flächen entspricht einem kombinierten harmonischen-Morse Oszillator, der als Beispiel für die symmetrische und antisymmetrische Vibration eines Wassermoleküls dient. Wie angesprochen wurde zusätzlich ein speziell entworfenes Gerüst hergestellt, das es wie im vorherigen Beispiel ermöglicht, das Potenzial und die Wellenfunktionen in der energetisch korrekten Abfolge zu stapeln (siehe Abbildung im Appendix, rechts).

Dieses Gerüst wurde so entworfen, dass die einzelnen gedruckten Flächen entnommen und individuell manipuliert werden können. Um die Kennzeichnung der Achsen zu verbessern, wurden diese mit einer anderen Breite des Filaments gedruckt. Zusätzlich wurde eine aufgedruckte Markierung vorgesehen, die die relative Anordnung der Flächen zueinander klar darstellt. Da diese Markierungen einen zusätzlichen taktilen Charakter einbringen, ist die zweite Iteration der 3D-gedruckten Objekte für Studierende mit eingeschränkter Sehfähigkeit von besonderem Vorteil.

Die 3D-gedruckten Flächen wurden bereits in verschiedenen Lehrveranstaltungen (Vorlesungen und Praktika) aus dem Bereich der theoretischen Chemie zur Verdeutlichung quantenmechanischer Prinzipien verwendet. Die Rückmeldungen von Seiten der Studierenden waren durchwegs positiv, da die Objekte deutlich mehr zum Verständnis dieser komplexen Themen beitragen als beispielsweise Projektionen der 3D-Flächen im Hörsaal. Eine explizite Demonstration der Objekte mit entsprechendem Fragebogen ist für das kommende Wintersemester geplant.

Zusätzlich zu diesen positiven Erfahrungen war es möglich, den gesamten Arbeitsablauf zur Erstellung der 3D-gedruckten Objekte aus Forschungsdaten aus dem Bereich der theoretischen Chemie in einem Fachartikel im *Journal of Chemical Education* (doi: [10.1021/acs.jchemed.4c00483](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00483)) der *American Chemical Society* zu publizieren. Der Fokus dieses international-begutachteten, wissenschaftlichen Journals liegt auf neuen Ansätzen in der Pädagogik der chemischen Wissenschaften. Die Initiative ProLehre des Vizerektorats ist selbstverständlich in der entsprechenden Danksagung angeführt.

Als Fazit freut es mich daher zu berichten, dass trotz der sehr langen Verzögerung alle Projektziele erreicht werden konnten und aufgrund der hohen Qualität der Ergebnisse zu einer Veröffentlichung in einem Journal zur chemischen Fachdidaktik geführt haben.

Im Namen aller am Projekt beteiligten Personen bedanke ich mich für Ihr Vertrauen und Ihre Unterstützung im Rahmen der ProLehre Initiative.

Mit herzlichen Grüßen,

Thomas Hofer

Appendix:



Abbildung 1: Links: Erste Iteration der 3D-gedruckten Flächen eines Potentials und der entsprechenden symmetrischen und antisymmetrischen Superposition der Grundzustandswellenfunktion am Beispiel eines kombinierten harmonischen/„Double-well“ Systems als Modell für Quantentunnelphänomene. Das „Farbausbluten“ der Achsenmarkierungen parallel zur Laminierung im 3D Druck ist klar erkennbar. Rechts: Zweite Iteration des 3D Drucks am Beispiel der symmetrischen und antisymmetrischen Vibration eines Wassermoleküls. Durch den direkten Aufdruck der Achsen im 3D Objekt ist eine Farbmarkierung nicht zwingend notwendig. Gemeinsam mit den Orientierungsmarkern in der vorderen, linken Ecke beinhalten diese Objekte taktile Elemente, die speziell für Studierende mit eingeschränkter Sehfähigkeit von Vorteil sind.