

A photograph of two researchers in a cave. One researcher, wearing a red helmet and a white t-shirt, is crouching and using a light microscope to examine a rock sample. The other researcher, wearing a red helmet and a dark t-shirt, is standing behind him, looking at the same sample. The cave walls are illuminated by a warm, yellowish light, and the rock surfaces show various textures and colors, including white, yellow, and brown. The overall scene is dimly lit, with the primary light source being the microscope's light.

Lehr- forschung

2022

Berichte zur Lehrforschung 2022



Liebe Leser*innen,

Forschung ist nicht nur eine abstrakte Idee, die in den Hinterzimmern der Wissenschaft stattfindet. Sie kann greifbar, spannend und hautnah erlebt werden. Genau dies verfolgt das Förderprogramm „Lehrforschung – forschendes Lernen“ an der Ohm. Unser Ziel ist es, Forschungskontexte verständlich zu machen und Studierenden die Möglichkeit zu bieten, Forschung aktiv zu erfahren – und das bereits während des Bachelorstudiums.

In diesem Programm unterstützen wir Lehrende dabei, studentische Forschungsprojekte und Elemente des forschenden Lernens in die Lehrpläne zu integrieren. Der Fokus liegt auf einem starken Anwendungsbezug, der es den Studierenden ermöglicht, reale Forschungssituationen kennenzulernen. Hierbei erleben sie nicht nur die Erfolge, sondern auch die Herausforderungen, die die Forschung mit sich bringt. Sie lernen, Theorien gezielt auszuwählen, kritisch zu hinterfragen, planvoll zu handeln und stets über ihr Handeln zu reflektieren. Diese aktive Auseinandersetzung mit Forschung weckt Neugier und Begeisterung und befähigt die Studierenden, sich selbst als Teil der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu begreifen.

Ein weiterer Aspekt unserer Initiative liegt in der Vernetzung. Die Projekte fördern nicht nur die interne Zusammenarbeit an der Ohm, sondern auch den Austausch mit externen Partnern und Fachnetzwerken. Studierende haben die Möglichkeit, Kontakte zur Fachcommunity zu knüpfen und Einblicke in potenzielle Berufsfelder zu gewinnen.

Aus diesen Beweggründen unterstützt die Ohm jedes Jahr vielversprechende Lehrforschungsprojekte in einem Wettbewerb. In diesem Sinne freue ich mich, Ihnen den Bericht für das Jahr 2022 vorzustellen.

Christina Zitzmann

Prof. Dr. Christina Zitzmann
Vizepräsidentin Bildung

Inhalt

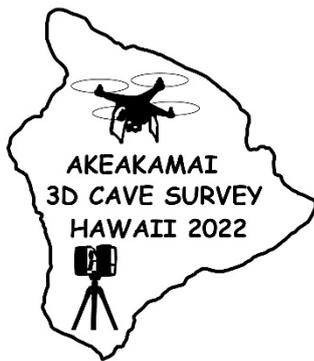
Lehrforschung 2022

| | |
|--|-----------|
| Vorwort Lehrforschung 2022 | 3 |
| Prof. Dr. Christina Zitzmann Vizepräsidentin Bildung | |
| <hr/> | |
| Drittes Interdisziplinäres Projektseminar der Ruhr Universität Bochum (Fakultät für Geowissenschaften) und der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Fakultät Bauingenieurwesen) im Akeakamai-Forschungs-Camp auf Hawaii | 7 |
| Prof. Berthold Best, Michael Kögel, M. Eng, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Killing Fakultät Bauingenieurwesen | |
| Prof. Dr. Andreas Pflitsch Geografisches Institut/Ruhr-Universität Bochum (RUB) | |
| Prof. Diana E. Northup, Ph.D. Biology/University of New Mexico (USA) | |
| <hr/> | |
| AutoMoniScan – Implementierung von automatisierten Verarbeitungsprozessen in die photogrammetrische Datenverarbeitung zur Analyse von Hochwasserereignissen und zur Optimierung von Dauerbeobachtungen | 12 |
| Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen, Michael Kögel, M. Eng. Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, NCT Forschungsprofessur WW | |
| Sina Dornberger, B. Eng., Pietro Zipp, Lilly Feile Fakultät Bauingenieurwesen | |
| <hr/> | |
| Railway Challenge | 17 |
| Lucas Greiner-Fuchs, M. Sc. Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, Institut für Fahrzeugtechnik | |
| Robert Dietze Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik | |
| Tobias Schmidt Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik | |
| Jeremy Gross, B. Sc. Fakultät Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften | |
| Alexandra Arzberger, B. Sc. Fakultät Informatik | |
| Tobias Hofmeier, M. Sc., Steffen Schäfer, M. Sc. Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, Institut für Fahrzeugtechnik | |
| <hr/> | |
| Lokal nachhaltig kommunizieren | 24 |
| Prof. Dr. Beatrice Dernbach Fakultät Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften | |

| | |
|--|-----------|
| Highspeed Electric Compressor for Fuel Cell Electric Vehicle („HEICo“) | 30 |
| Prof. Dr.-Ing. Armin Dietz Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik | |
| Prof. Dr.-Ing. Frank Opferkuch Fakultäten Verfahrenstechnik, Maschinenbau und Versorgungstechnik, Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik | |
| Prof. Dr. Areti Papastavrou, Prof. Dr.-Ing. Franziska Vogel-Brinkmann Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik | |
| Formula Student – Strohm und Söhne e.V. | 35 |
| Arber Aliu, B. Eng. Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik | |
| Etablierung und Integration von Molecular Modelling | 42 |
| Prof. Dr. Markus Hummert Fakultät Angewandte Chemie | |
| Perspektivwechsel: Schmierfett | 50 |
| Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob Fakultät Angewandte Chemie | |
| Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik | |
| Schulsozialarbeit digital – Prozesse und Erfahrungen | 55 |
| Prof. Dr. Johannes Kloha Fakultät Sozialwissenschaften | |
| Dr. Stefanie Gandt Fakultät Sozialwissenschaften | |
| Lehrforschungsprojekt 2022: Die Nachhaltigkeitsziele (SDGs) im Kontext des Studiums an der Technischen Hochschule Nürnberg: NEXT STEP: Nachhaltige Expertise von Studierenden für Studierende | 59 |
| Prof. Dr. Markus Kosuch Fakultät Sozialwissenschaften | |
| KatrIn Schwanke M.A. Projektleitung SDGs go local, Bluepingu e.V. | |
| Kerstin Seeger M.A. wirKSam verändern // Aktivistin Bluepingu e.V. | |
| David Schmierer, Katja Altmann Projektmitarbeiter bzw. Tutorin | |

| | |
|---|-----------|
| Partizipation durch „Mitmachbaustellen“ | 65 |
| M.A. Dipl. Sozpäd. Ulrike Krämer, Dipl. Päd. Univ.; Dipl. Sozpäd. Melanie Mengel Fakultät Sozialwissenschaften | |
| Prof. Ingrid Burgstaller Fakultät Architektur | |
| Friedrich Meyer, Stadtplaner ByAK, Dipl. - Wirtschaftsingenieur (FH), Dipl. Geograf (TU), Planer SRL Fakultät Sozialwissenschaften | |
| M. Eng. Daniela Ullmann Fakultät Bauingenieurwesen | |
| Drucksintern von Hochleistungskeramik | 73 |
| Prof. Dr.-Ing. Hannes Kühl Fakultät Werkstofftechnik | |
| Schlagroboter | 78 |
| Prof. Dr. Alexander Monz Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik | |
| Prof. Peter Gahn Hochschule für Musik Nürnberg | |
| Fabio May, B. Eng. Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik | |
| Transformation und Nachhaltige Ernährungssysteme in der Metropolregion Nürnberg – progressive (TuNErMeNü pro) | 83 |
| Prof. Dr. Jan Niessen Fakultät Betriebswirtschaft | |
| Katrin Schwanke, M.A. Bluepingu e.V., Projektleitung SDGs go local | |
| Felix Hirschberg Fakultät Betriebswirtschaft | |
| Digitale Produktion und Optimierung von Orthesen | 91 |
| Prof. Dr. Areti Papastavrou, Prof. Dr. Michael Koch Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik | |
| Hochtemperatur-Elektrochemie | 99 |
| Prof. Dr. Markus Hornfeck, Prof. Dr. Sven Wiltzsch, Irhad Colovic, Fabio Gygas; B.Sc. Fakultät Werkstofftechnik | |

Drittes Interdisziplinäres Projektseminar der Ruhr Universität Bochum (Fakultät für Geowissenschaften) und der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Fakultät Bauingenieurwesen) im Akeakamai-Forschungs-Camp auf Hawaii



Prof. Berthold Best
Fakultät Bauingenieurwesen

Michael Kögel, M. Eng
Fakultät Bauingenieurwesen

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Killing
Fakultät Bauingenieurwesen

Prof. Dr. Andreas Pflitsch
Geografisches Institut/Ruhr-Universität Bochum (RUB)

Prof. Diana E. Northup, Ph.D.
Biology/University of New Mexico (USA)



Abbildung 1: Nahbereichs-Photogrammetrie der Biomatten.
Bild: Valentin Ott

Zusammenfassung:

In nunmehr drei Projektseminaren wurden in erfolgreicher Teamarbeit durch Studierende des Bauingenieurwesens und der Geografie verschiedene Lavahöhlen auf Big Island mittels Terrestrischem Laser-Scanning und Luftbild-Photogrammetrie dreidimensional vermessen. Auf Anfrage der bekannten Biologin und Expertin für Mikробewuchs in Höhlen, Prof. Diana E. Northup (University of New Mexico), wurde eines der Höhlensysteme in ein 3D-Raummodell überführt, das zukünftig dazu dienen soll, klimatologische und biologische Fragen zu beantworten. Ziel dieses Seminars war es, die Mikroorganismen durch Nahbereichs-Photogrammetrie (Close-Range-Photogrammetry) detaillierter zu erfassen. Zur Integration klimatologischer Aspekte mussten Luftströmungen und Temperaturen innerhalb der Höhle über einen längeren Zeitraum aufgenommen werden. Zudem wurde ein weiterer, klimatologisch wichtiger Höhlenzweig in bewährter Weise vermessen.

1. Projektdaten

| | |
|------------------------------|--|
| Fördersumme | 10.000 Euro |
| Laufzeit | Februar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Bauingenieurwesen |
| Projektleitung | Prof. Berthold Best |
| Projektteam | Dipl.-Ing. (FH) Thomas Killing, Michael Kögel, M. Eng. |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: michael.koegel@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Prof. Dr. Andreas Pflitsch, Leiter der Arbeitsgruppe Höhlen- und U-Bahn-Klimatologie an der RUB betreibt auf Big Island, Hawaii, das Akeakamai-Forschungscamp. In verschiedenen Lavahöhlen mit fest installierten Klimasensoren werden grundlegende Daten zur Höhlenklimatologie erfasst und analysiert. Bereits in den Jahren 2017 und 2020 hatten Studierende der Fakultät Bauingenieurwesen zusammen mit Dipl.-Ing. (FH) Thomas Killing und Michael Kögel, M. Eng., unter der Leitung von Prof. Berthold Best im Rahmen der Lehrforschung Gelegenheit, an zwei gemeinsamen Projektseminaren auf Hawaii teilzunehmen (Killing, T., Kögel, M. 2020).

Aufbauend auf den dabei gesammelten, äußerst positiven Erfahrungen der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Studierenden des Bauingenieurwesens und der Geografie sollte in diesem Projekt das im Seminar 2020 erzeugte 3D-Raummodell der Maelstrom-Höhle weiter verfeinert und vervollständigt werden. Die bisher aufgenommenen Fotos der Biomatten, die aus zwei bis fünf Meter Entfernung fotografiert wurden, bildeten den Mikробenbewuchs zwar deutlich ab, bei der photogrammetrischen Auswertung der Bilder gingen jedoch Details verloren.

Durch Nahbereichs-Photogrammetrie wurde nun versucht, die Detailtreue der erzeugten Punktwolken zu steigern. Des Weiteren wurden klimatologische Daten wie Temperaturverläufe und Luftströmungen innerhalb der Höhle aufgenommen. Das Vorhandensein von Luftströmungen im Inneren der Höhle hat einen erheblichen Einfluss auf die Bildung von Lebensformen an den Höhlenwandungen. Da die Intensität und Entwicklung dieser Strömungen unmittelbar von der Geometrie der Höhle abhängig sind, wurden verschiedene Methoden untersucht, mit denen sich sowohl wandnahe Strömungen als auch Strömungen mitten im Höhlenquerschnitt effektiv, aber genau messen ließen. Abschließend wurde ein parallel zum bisher erfassten Höhlenbereich liegender Höhlenarm aufgenommen.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Ein großer Teil des Studiums im Bereich Bauingenieurwesen fokussiert sich auf die Bemessung und Dimensionierung anhand bereits vorhandener Normen und Regelwerke sowie den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) und ermöglicht nur selten die Erforschung neuer und verbesserter Methoden. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Studierenden der Geografie, die im Studium überwiegend forschend tätig sind, haben die Studierenden des Bauingenieurwesens nun die Gelegenheit, wissenschaftliches Arbeiten kennenzulernen und zu vertiefen. Im Gegenzug lernen die Geografen von den Bauingenieuren modernste digitale Vermessungsmethoden kennen, um diese dann gemeinsam zur Lösung wissenschaftlicher Fragestellungen einzusetzen. Dieser fachliche Austausch wurde bereits in den vorangehenden Seminaren von beiden Seiten als äußerst gewinnbringend festgestellt.

Vorbereitend vermittelte das Wahlfach „3D-Gelände- und Gebäudeaufnahme mittels luftbildgestützter Photogrammetrie und Laser-Scanner“ den beteiligten BI-Studierenden bereits im Vorfeld die erforderlichen Grundlagen der beiden im Projekt eingesetzten Vermessungsverfahren Photogrammetrie (mittels Structure from Motion, SfM) und terrestrisches Laser-Scanning (TLS).

Alle für die Durchführung des Lehrforschungsprojektes notwendigen Arbeiten wurden von den Studierenden in Gruppen vor Ort selbstständig geplant, vorgestellt und ausgeführt. Dazu zählten insbesondere die Vermessungsarbeiten des neuen Höhlenabschnitts, das Fotografieren des Mikробenbewuchses im Nahbereich, die Aufnahme der Temperaturen und die Erfassung der Strömungsgeschwindigkeiten mit

einem Ultraschall-Anemometern (Höhlenquerschnitt) und einem Hitzdraht-Anemometer (wandnahe Bereiche), sowie die Analyse und Überprüfung der gewonnenen Messdaten. Betreut wurden sie dabei vom Projektteam der TH Nürnberg um Prof. Berthold Best, vor Ort vertreten durch Michael Kögel und Thomas Killing sowie vom Projektteam der RUB unter Leitung von Prof. Andreas Pflitsch. Außerdem war der auf Hawaii ansässige amerikanische Physiker und Höhlenspezialist Prof. Peter Bosted regelmäßig im Camp anwesend. Prof. Diana E. Northup und ihr Doktorand Joseph Medley reisten für die Zeit des Projektseminars aus New Mexico an, um die Studierenden vor Ort zu unterstützen.

Ein Teil der erfassten Daten (Temperaturverläufe, Luftströmungen) wurde direkt vor Ort ausgewertet, rechenintensive Prozesse, wie die Vervollständigung der Raummodelle und die Aufbereitung der Fotos mit Hilfe der Nahbereichs-Photogrammetrie, wurden erst nach Rückkehr an der Fakultät BI bearbeitet.

An der Fakultät BI gibt es zur Förderung wissenschaftlichen Arbeitens seit vielen Jahren die Studentische Forschungsgruppe (STUFO). In Form eines ab dem dritten Semester regelmäßig angebotenen Wahlfaches können Studierende unterschiedlichste Laborprojekte eigenständig bearbeiten. Auch ein Teil der neu gewonnenen Daten aus diesem Forschungsprojekt wurden durch Studierende der STUFO ausgewertet.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Schwierigkeit bei der Datenverarbeitung des neuen, im Jahr 2022 generierten Datensatzes lag darin, dass zur Verknüpfung mit dem bestehenden Datensatz aus 2020 keine Referenzobjekte (ground control points, GCP) zur Verfügung standen. Diese werden üblicherweise in den einzelnen Scan-Aufnahmen platziert, um diese miteinander zu kombinieren und somit eine Gesamtpunktwolke zu generieren, die das Höhlensystem vollständig abbildet. Um die Daten aus 2020 und 2022 kombinieren zu können, hätten folglich im Verknüpfungsbereich der beiden Höhlenabschnitte im Jahr 2020 bereits GCP positioniert bleiben müssen, bis die Datenaufnahme 2022 fortgeführt wurde. Da dies meist nicht möglich ist und auch in Zukunft die Möglichkeit gegeben sein muss, Höhlenabschnitte nachträglich zum Gesamtsystem zu ergänzen, galt es hier, eine alternative Herangehensweise zu ermitteln.

Die Verknüpfung der beiden Höhlenabschnitte erfolgte durch Anwendung der Methode „iterative closest point“ in der Open-Source-Software CloudCompare (Girardeau-Montaut 2021). Dabei können zwei Punktwolken, die bereits grob aneinander ausgerichtet wurden, durch iterative Berechnungen mit deutlich höherer Genauigkeit aneinander ausgerichtet werden. Durch diese Methode war es nun möglich, das Höhlensystem zu ergänzen.

Durch die Ergänzung konnte ein wichtiger Bestandteil des Höhlensystems abgebildet werden. Im entsprechenden Abschnitt werden von unterschiedlichen Messgeräten fortwährend Daten wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftströmungsgeschwindigkeit gemessen. Diese Daten sind wichtig, um ein numerisches Modell, das auf Basis der Messdaten aufgebaut werden soll, zu kalibrieren. Mit diesem kalibrierten Modell können anschließend unterschiedliche Parameter im gesamten Höhlenbereich ermittelt werden, die Aufschluss über die dort vorkommenden Mikroorganismen geben sollen.

Abbildung 2 zeigt die Draufsicht auf das Maelstrom-Höhlensystem mit Kennzeichnung der aufgenommenen Bereiche und einer Skizze des Höhlensystems, das aus herkömmlichen Messmethoden entstanden ist.

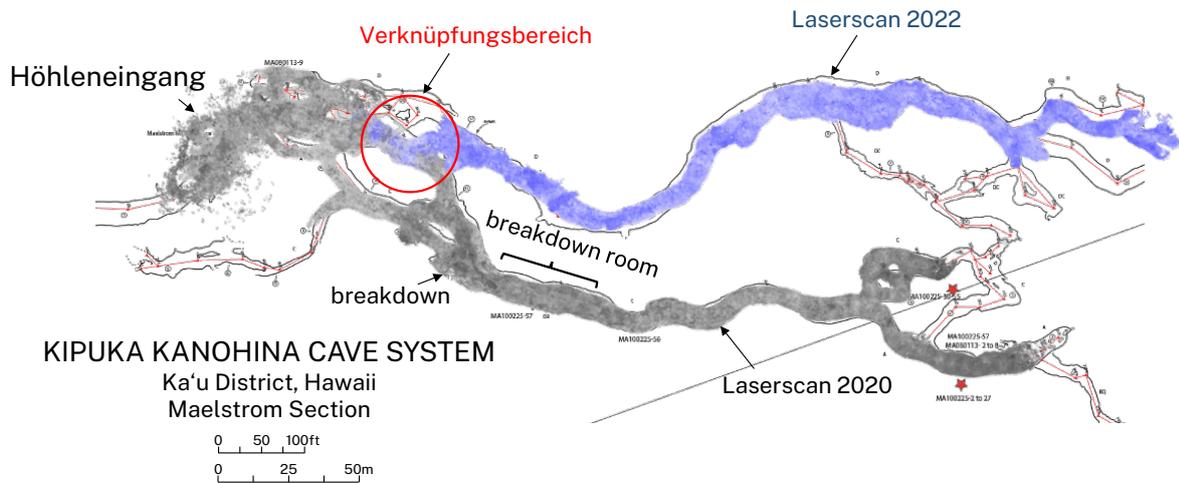


Abbildung 2: Skizze des Maelstrom-Abschnitts des Höhlensystems Kipuka Kanoehina auf Big Island, Hawaii, mit Markierung des in 2020 aufgenommenen (schwarz) und des in 2022 ergänzten Bereichs (blau). Bild: Michael Kögel



Abbildung 3: Terrestrisches Laserscanning der Höhle. Bild: Valentin Ott



Abbildung 4: Luftbild-Photogrammetrie. Bild: Valentin Ott



Abbildung 5: Die gesamte Exkursionsgruppe. Bild: Thomas Killing



Abb. 6: Prof. Diana E. Northup erklärt die in der Höhle vorkommenden Mikrobenarten. Bild: Thomas Killing

5. Vernetzung und Transfer

Die Erforschung des Höhlensystems erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum sowie der University of New Mexico. Die Studierenden der TH Nürnberg hatten während den Exkursionen nach Hawaii die Möglichkeit, interdisziplinäre Forschung zu betreiben und sich mit Studierenden sowie Professor*innen der Geografie sowie der Mikrobiologie auszutauschen. Die Ergebnisse der Forschung bis zum Jahr 2020 wurden bereits in Kögel et al. (2022) als open access veröffentlicht. Aufbauend auf diesen Ergebnissen sowie durch die ergänzenden Daten aus 2022 soll diese Forschung fortgeführt werden, wobei in Kooperation mit den beiden Universitäten weitere Forschungsprojekte akquiriert werden sollen.

6. Fazit und Ausblick

In weiteren Studien sollen die Ergebnisse der Untersuchungen insbesondere in Bezug auf die ermittelten geometrischen Aspekte der Maelstrom-Höhle mit klimatologischen und mikrobiologischen Ansätzen korreliert werden. Die Korrelation mit diesen Datensätzen soll Aufschluss über das Vorkommen der unterschiedlichen mikrobiologischen Lebensformen in der Maelstrom-Höhle geben und Fragen beantworten, die mit herkömmlichen Untersuchungsmethoden nicht zu lösen sind.

Basierend auf den gezeigten Forschungsergebnissen werden in zukünftigen Forschungsprojekten umfangreiche Datenerhebungen durchgeführt, um die Luftströmung im Inneren der Höhle über lange Zeiträume aufzuzeichnen. Diese Daten sollen zur Kalibrierung dreidimensionaler numerischer Simulationen verwendet werden, die anhand des 3D-Modells der Höhle aus den vorangegangenen Untersuchungen durchgeführt werden sollen. Auf diese Weise soll das Modell fortwährend erweitert werden. Durch die Vermessung weiterer Lavahöhlen auf Big Island, Hawaii, soll die Anwendbarkeit der bisherigen Untersuchungsergebnisse auf verschiedene Höhlentypen ermittelt werden.

Literatur

- Girardeau-Montaut, D. (2021): CloudCompare. version 2.10, GPL software. Online verfügbar unter <http://www.cloudcompare.org/>.
- Killing, T., Kögel, M. (2020): Kipuka Kanohina Cave System -Maelstrom Section. Hawaii 2020. In: *Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm - Lehrforschung 2020/2021*, S. 82–91. Online verfügbar unter https://www.th-nuernberg.de/fileadmin/zentrale-einrichtungen/leko/Dokumente/Lehrf%C3%B6rderprogramme/Schriftenreihe_Lehrforschung_2020-2021_150922_web.pdf.
- Kögel, Michael; Pflitsch, Andreas; Northup, Diana E.; Carstensen, Dirk; Medley, Joseph J.; Mansheim, Teresa et al. (2022): Combination of close-range and aerial photogrammetry with terrestrial laser scanning to answer microbiological and climatological questions in connection with lava caves. In: *Appl Geomat*. DOI: 10.1007/s12518-022-00459-7.



Abbildung 7: Das Scanner-Team der Ohm. Bild: Valentin Ott

AutoMoniScan – Implementierung von automatisierten Verarbeitungsprozessen in die photogrammetrische Daten- verarbeitung zur Analyse von Hochwasserereignissen und zur Optimierung von Dauerbeobachtungen

Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen

Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, NCT Forschungsprofessur WW

Michael Kögel, M. Eng.

Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, NCT Forschungsprofessur WW

Sina Dornberger, B. Eng.

Fakultät Bauingenieurwesen

Pietro Zipp

Fakultät Bauingenieurwesen

Lilly Feile

Fakultät Bauingenieurwesen

Zusammenfassung:

Die photogrammetrische 3D-Rekonstruktion mittels des Verfahrens Structure from Motion (SfM) obliegt der Definition einer Vielzahl von Einstellungsparametern und ist zudem aufgrund des hohen Rechenaufwandes sehr zeitintensiv. Insbesondere im Zusammenhang mit Langzeituntersuchungen (monitoring), bei denen von einem Untersuchungsgebiet zeitlich versetzte (multitemporale) Aufnahmen durchgeführt und miteinander verglichen werden, ist ein optimierter und automatisierter Workflow für eine plausible Ergebnisdarstellung zwingend erforderlich.

Der Fokus dieses Projektes lag darin, die Grundzüge der SfM-Software zu verstehen, die Erkenntnisse in einen optimierten Workflow zu überführen und diesen mittels eines Python-Skriptes (ohne Benutzeroberfläche der Software) auszuführen.

1. Projektdaten

| | |
|--|--|
| Fördersumme | 8.000 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft |
| Projektleitung | Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen |
| Projektteam (falls Nennung gewünscht) | Michael Kögel, M. Eng.; Sina Dornberger, B. Eng.; Pietro Zipp; Lilly Feile |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: dirk.carstensen@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Studierende des Bauingenieurwesens sind in ihrem Studium in erster Linie planend, kalkulierend und bemessend tätig. Durch das Lehrforschungsprojekt bekamen die teilnehmenden Studierenden der TH Nürnberg die Gelegenheit, an wissenschaftliches Arbeiten herangeführt zu werden. An der Fakultät Bauingenieurwesen gibt es zur Förderung wissenschaftlichen Arbeitens seit vielen Jahren das Wahlfach „3D-Gelände- und Gebäudeaufnahme mit Laserscanner und luftbildgestützter Photogrammetrie“. In diesem Wahlfach können Studierende unterschiedlichste Programme zur Weiterverarbeitung von Datensätzen eigenständig nutzen. Im Rahmen des AutoMoniScan-Lehrforschungsprojektes sollten Studierende die Möglichkeit haben, durch eigenständige Forschung die verschiedenen Möglichkeiten des photogrammetrischen Arbeitsprozesses zu verstehen, zu verbessern und gegebenenfalls zu optimieren.

Die photogrammetrische Rekonstruktion unter Anwendung des Verfahrens Structure from Motion (SfM) beschreibt grundsätzlich die Methodik, aus Fotoaufnahmen eines Objektes ein hochgenaues, dreidimensionales und fotorealistisches Modell zu erzeugen. Das Verfahren basiert auf einer mathematischen Berechnung der Geometrie auf der Basis bekannter Kameraparameter. Der Vorteil des Verfahrens ist, dass (eine ordnungsgemäße Umsetzung vorausgesetzt) durch herkömmliche Kameratechniken mit verhältnismäßig geringem wirtschaftlichen und zeitlichen Aufwand flächenmäßig große Bereiche hochgenau erfasst werden können. Das Grundprinzip der Photogrammetrie, nämlich die 3D-Rekonstruktion anhand von sich überlappenden Fotoaufnahmen wird beispielsweise in Eltner et al. (2022) erläutert.

Im Fokus der Untersuchungen standen das Optimieren sowie das Automatisieren dieser Vorgänge. Im Rahmen von unterschiedlichen Forschungsaufgaben des IWWN zeigte sich, dass die Beaufsichtigung von SfM-Prozessen unter Umständen sehr aufwendig sein kann und etwaige Einstellungsmöglichkeiten durch die Benutzeroberfläche fehleranfällig sein können. Insbesondere im Rahmen von Langzeituntersuchungen, bei denen temporale Veränderungen im Untersuchungsgebiet dargestellt und analysiert werden sollen, gilt es, eine Kontinuität in den Einstellungsparametern zu wahren. Durch die Festlegung eines optimierten Workflows und Definition der Verarbeitungsparameter in entsprechenden Skripten wird das Fehlerpotenzial minimiert.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

In enger Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Mitarbeitern der Forschungsprofessur Wasserbau und Wasserressourcen-Management des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TH Nürnberg (IWWN) erfolgten die Betreuung, das Anlernen der Methodik, sowie die Absprachen im Zusammenhang mit den Untersuchungen. Nachdem die Studierenden die für die Untersuchungen notwendigen Grundlagen vermittelt bekommen hatten, galt es, eine fundierte Literaturrecherche durchzuführen, um einen Einblick zu Methoden und Anwendungsfällen aus aktuellen Forschungsprojekten zu erhalten. Die Erkenntnisse wurden unter den Projektteilnehmern diskutiert und zur Umsetzung der zu klärenden Fragestellungen adaptiert. Auf diese Weise konnte eine umfangreiche Literatursammlung zur photogrammetrischen Rekonstruktion erlangt werden, auf die im Rahmen dieser Untersuchungen aufgebaut werden konnte. Zur Ermittlung und Optimierung des Workflows arbeiteten sich die Studierenden autodidaktisch und iterativ in neue Arbeitsprozesse ein, welche die Grundlage zur Erreichung des angestrebten Ziels stellten. Die Anwendung der erarbeiteten Methoden erfolgte sowohl im

Zusammenhang mit einem eigens dafür konstruierten Versuchsstand sowie anhand von Datensätzen eines weiteren Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit dem Wasserwirtschaftsamt Nürnberg, bei dem das Monitoring von Hochwasserereignissen im Fokus steht.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Ausbau Versuchsstand

Im Wasserbaulabor der Fakultät Bauingenieurwesen wurde ein Beispieldatensatz für Vergleichszwecke mittels SfM aufgenommen (Abbildung 1). Hierzu wurde anhand einer Sandauflage eine Fläche von etwa 1,2 m x 1,2 m abgesteckt. Im Laufe des Versuches wurden verschiedene Aushubzustände simuliert, indem aus der Sandauflage Material entfernt wurde. Zur Überlagerung der Daten aus den unterschiedlichen Zuständen wurden Referenzobjekte (englisch: Ground control points, GCP) verwendet.

Der Bereich wurde auch mit einem 3D-Laserscanner aufgenommen. Durch den Vergleich der SfM-Ergebnisse mit den Daten aus dem 3D-Laserscanning konnten die Genauigkeit der SfM-Daten ermittelt und der Workflow optimiert werden.

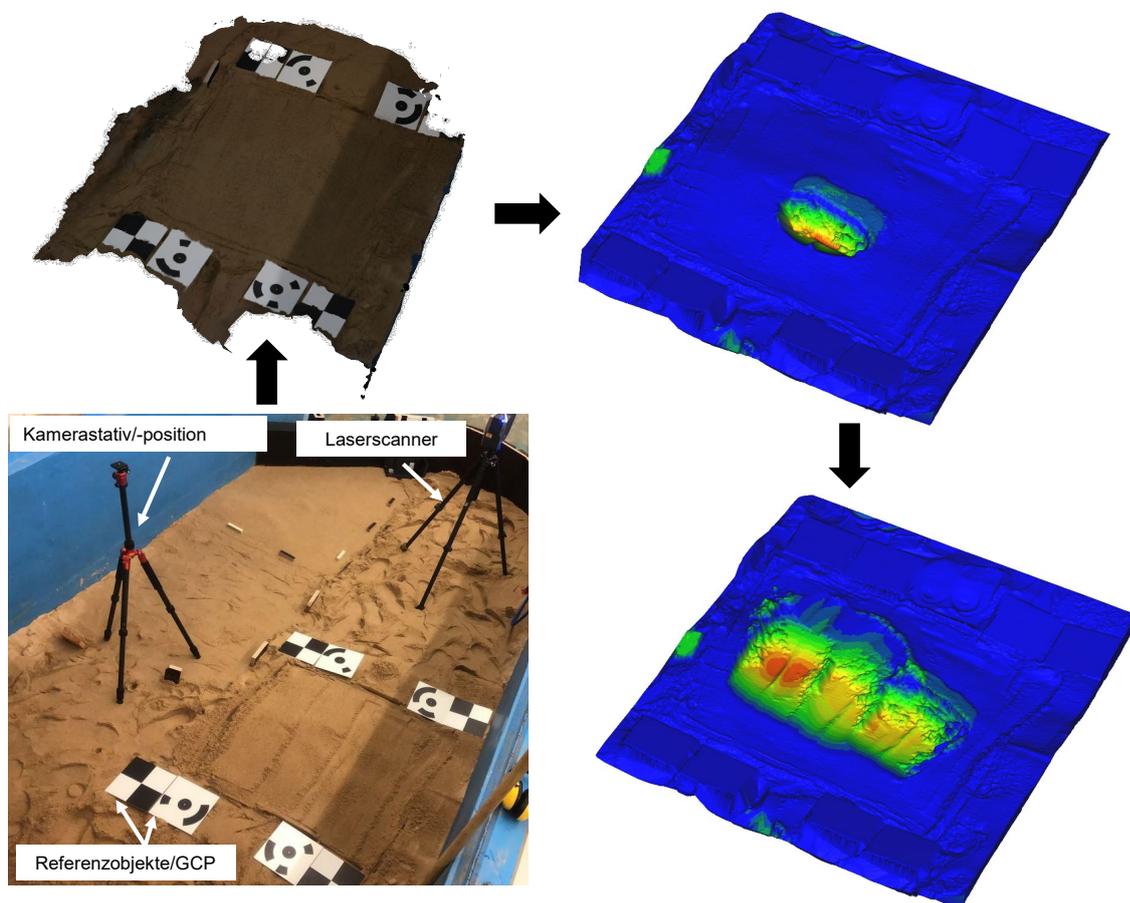


Abbildung 1: Versuchsstand (links unten) im Wasserbaulabor der Fakultät Bauingenieurwesen (TH Nürnberg) mit Kennzeichnung der Referenzobjekte (ground control points, GCP), des 3D-Laser-Scanners sowie der Kameraposition bei den Fotoaufnahmen für den SfM-Prozess (links oben). Die 3D-Rekonstruktionen unterschiedlicher Bodenstrukturen konnten aus den Daten abgeleitet und miteinander verschnitten werden (rechte Seite). Blau: Keine Veränderung; Rot: Maximale Veränderung. Bild: Pietro Zipp

4.1. Standard-Workflow im Vergleich zu Optimierter Workflow

Im Gegensatz zum standardisierten Workflow von Agisoft Metashape Pro wurden beim eigens optimierten Workflow einige Prozesse abgeändert beziehungsweise hinzugefügt. Diese sind in nachfolgender Tabelle gegenübergestellt.

Tabelle 1: Vergleich der Parameter des Workflows in der Standard- und der optimierten Variante

| | Standard-Workflow | Optimierter Workflow |
|----------------------------|--|--|
| Fotos hinzufügen | - Fotos werden dem Programm hinzugefügt | - Zusätzliche Analyse der Bildqualitäten, deaktivieren, wenn < 0,5 (interner Qualitätswert) - Erkennung von kodierten GCP |
| Fotos ausrichten | - Genauigkeit: Hoch - Schlüsselpunktlimit = 40.000 - Verknüpfungspunktlimit = 4.000 - Adaptive Kameramodellanpassung: Nein | - Genauigkeit: Hoch - Schlüsselpunktlimit = 250.000 - Verknüpfungspunkte-Limit = 10.000 - Adaptive Kameramodellanpassung: Ja - Nachbearbeitung der Verknüpfungspunkte mit der sukzessiven Auswahl, nach jedem Bearbeitungsschritt die Kameraausrichtung optimieren: → Bildanzahl auf 2 → Rekonstruktionsunsicherheit aus 25-50 → Projektionsungenauigkeit auf 10 → Reprojektionsfehler auf 1 bis 0,5 |
| Dichte Punktwolke erzeugen | - Qualität: Medium - Tiefenfilterung: Mild - Punktfarben berechnen: An - Punktfarben Konfidenz: An - Maximale Nachbarn: 16 | - Qualität: Hoch - Tiefenfilterung: Je nach Anwendung - Punktfarben berechnen: An - Punktfarben Konfidenz: An - Maximale Nachbarn: 1.000 - Nachbearbeitung durch Homogenisieren: Festlegen auf 0,05 m |
| Mesh erzeugen | - Quelldatei: dichte Punktwolke | - Quelldatei: dichte Punktwolke - Nachbearbeitung: → Mesh glätten: Für eine bessere Textur → Schließen der Löcher → Löschen isolierter Fragmente: 20 % |
| Textur erzeugen | - Texturtyp: Diffuse Map - Überlagerungsmodus: Mosaik - Texturgröße: 8.192 - Lochfüllung: An | - Texturtyp: Diffuse Map - Überlagerungsmodus: Je nach Anwendung - Texturgröße: 8.192 - Lochfüllung: An |

Damit nicht alle Einzelschritte des optimierten Workflows separat abgearbeitet werden müssen, wurden im nächsten Schritt die Prozesse in einem Python-basierten Skript zusammengeführt. Dank der internen Python-Schnittstelle der SfM-Software können Python-Skripte direkt über die Kommandozeile des jeweiligen Betriebssystems abgerufen werden. Durch diese Möglichkeit ist die Verwendung einer Benutzeroberfläche der SfM-Software lediglich zur Visualisierung der Berechnungsergebnisse notwendig.

Durch diesen Umstand konnte neben den oben genannten Hauptuntersuchungspunkten ein weiteres Ziel erreicht werden, das zu Beginn der Untersuchungen so noch nicht vorgesehen war.

Zur Bewältigung sehr rechenintensiver Berechnungen im Rahmen von Strömungssimulationen von Wasser ist das IWWN auf die Unterstützung eines Hochleistungsrechners (englisch: High Performance Cluster,

HPC) angewiesen. Nur durch die Verfügbarkeit eines solchen Clusters war es möglich, diese Simulationen effektiv durchzuführen. Der HPC ist allerdings so aufgebaut, dass er weitestgehend ohne eine Benutzeroberfläche (wie beispielsweise üblicherweise durch das Betriebssystem Windows vorgegeben) funktioniert, da auch hier die verschiedenen Befehle ausschließlich über die Kommandozeile ausgeführt werden. Durch die skriptbasierte Umsetzung des SfM-Prozesses wurde es ermöglicht, die Berechnungen in Zukunft über den HPC auszuführen. Dadurch können nun

- die Berechnungen immens beschleunigt werden,
- mehrere Berechnungen sowohl gleichzeitig als auch durch ein Warteschlangensystem nacheinander durchgeführt werden, ohne dass diese eine aktive Beaufsichtigung eines Mitarbeiters benötigen,
- die üblicherweise verwendeten Computer der wissenschaftlichen Mitarbeiter während des SfM-Prozesses weiterhin betrieben werden, da der SfM-Prozess einen Computer beinahe vollständig auslastet.

Durch diese Möglichkeit konnte beispielsweise der Zeitaufwand bei der Durchführung einer Langzeituntersuchung, in der 16 unterschiedliche photogrammetrisch aufgenommene Datensätze miteinander verglichen wurden, von mehreren Wochen auf drei Tage reduziert werden. Somit werden die in diesem Lehrforschungsprojekt erlangten Erkenntnisse und Tools langfristig zu einer enormen Effektivitätssteigerung der SfM-Prozesse an der Forschungsprofessur WW des IWWN führen.

5. Vernetzung und Transfer

Die Erkenntnisse können nicht nur im Rahmen der wasserbaulichen Fragestellungen, wie sie in der Forschung am IWWN in der Regel vorkommen, angewendet werden. Im Rahmen weiterer interdisziplinärer Forschungsprojekte in Kooperation mit der Ruhr Universität Bochum werden bereits photogrammetrische Untersuchungen im Bereich von Lavahöhlen durchgeführt. Auch in diesem Zusammenhang können die entwickelten Methoden angewendet werden. Weiterhin gab es bereits Absprachen mit Mitarbeitern der Fakultät Design der TH Nürnberg, die an die bisherigen Forschungsergebnisse anknüpfen wollen.

6. Fazit und Ausblick

Durch das Lehrforschungsprojekt AutoMoniScan konnten wichtige Erkenntnisse im Zusammenhang mit der photogrammetrischen Rekonstruktion erzielt werden. Durch die Optimierung und Automatisierung der Prozesse wurden neue Wege für künftige Untersuchungen erschlossen, wodurch nun auch umfangreiche und langjährige Untersuchungsergebnisse schnell und genau erzielt werden können. Dies ermöglicht die Umsetzung völlig neuer Forschungsvorhaben, wodurch auch in Zukunft neue Kompetenzen entstehen werden.

7. Literatur

- Eltner, Anette; Hoffmeister, Dirk; Kaiser, Andreas; Karrasch, Pierre; Klingbeil, Lasse; Stöcker, Claudia; Rovere, Alessio (Hg.) (2022): UAVs for the environmental sciences. Methods and applications. Darmstadt: wbg Academic.

Railway Challenge

Lucas Greiner-Fuchs, M. Sc.

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, Institut für Fahrzeugtechnik

Robert Dietze

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Tobias Schmidt

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Jeremy Gross, B. Sc.

Fakultät Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften

Alexandra Arzberger, B. Sc.

Fakultät Informatik

Tobias Hofmeier, M. Sc.

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, Institut für Fahrzeugtechnik

Steffen Schäfer, M. Sc.

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, Institut für Fahrzeugtechnik

Zusammenfassung:

In dem Projekt „RWC“ (= Railway Challenge) geht es um Entwicklung, Konstruktion und Bau einer batteriebetriebenen Kleinstlokomotive im Maßstab 1:5,5 mit einer Spurweite von 10,25“ für die Teilnahme an der Railway Challenge, einem Wettbewerb zwischen mehreren Teams. Die Studierenden stammen aus verschiedenen MINT-Studiengängen, darunter Maschinenbau, Elektrotechnik, angewandte Mathematik und Physik (AMP) und Informatik. Die Mitglieder kommen aus unterschiedlichen Semestern, darunter sowohl Erstsemester, Bacheloranden als auch Masteranden. In wöchentlichen Treffen an der Hochschule werden Ergebnisse ausgetauscht und Aufgaben verteilt, die dann in kleineren Teams separat bearbeitet werden. Durch das Projekt können die Studierenden viele Erfahrungen in der Organisation und Durchführung von Projekten sammeln und sich mit Ihrem aus dem Studium Gelernten direkt einbringen.

1. Projektdaten

| | |
|---------------------------------------|--|
| Fördersumme | 10.000 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Maschinenbau und Versorgungstechnik, Institut für Fahrzeugtechnik |
| Projektleitung | Steffen Schäfer, Lucas Greiner-Fuchs, Tobias Hofmeier, Prof. Dr.-Ing. Martin Cichon |
| Projektteam (falls Nennung gewünscht) | Team EAGLE |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: railway-challenge@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die IMechE Railway Challenge findet seit 2016 in Stapleford, UK statt. Ziel dabei ist die Entwicklung, Konstruktion und Montage einer Kleinstlokomotive mit einer Spurweite von 260 mm. Die von den Studienteams gebauten Lokomotiven treten an der Challenge in verschiedenen Wettbewerben gegeneinander an. Als einziges deutsches Team nimmt die FH Aachen unter der Leitung von Prof. Pfaff an dem Event teil. Dieser startete Ende 2021 einen Aufruf an deutsche Universitäten, weitere Teams zur Teilnahme an der RWC zu gründen. Parallel dazu richtete die FH Aachen im Jahr 2022 die erste kontinentale Railway Challenge in Bad Schussenried aus, um den neuen Teams einen einfacheren Einstieg zu ermöglichen. Für das Jahr 2022 war das Ziel des Teams der TH Nürnberg, mit einem Konzeptentwurf zur kontinentalen RWC zu fahren und dort viele Erfahrungen von den Aachenern sammeln zu können. Für das Jahr 2023 möchte man mit einem eigenen angetriebenen Fahrzeug teilnehmen.



Abbildung 1: RWC-Team bei der kontinentalen Railway Challenge in Bad Schussenried Bild: Jan Feldhoff

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im ersten Schritt musste ein Team aus Studierenden für das Projekt gewonnen werden. Eine kleine Gruppe von zunächst fünf Studierende konnte schnell gefunden werden, die mit der ersten konzeptionellen Ausarbeitung startete. Parallel dazu wurde weiter an der Anwerbung von Teammitgliedern gearbeitet und Werbung in Vorlesungen, Einführungsveranstaltungen und an einem Infoabend gemacht. So wuchs das Team auf eine Größe von etwa zehn Studierenden.

Parallel dazu wurde zur Unterstützung durch Bauteile oder Sponsoring Kontakt mit unterschiedlichen Firmen aufgenommen. Des Weiteren fand ein Austausch mit dem bereits sehr erfahrenen Team der FH Aachen sowie dem Formula Student Team der TH Nürnberg statt. Zunächst arbeitete das Team auf das Ziel zur konzeptionellen Teilnahme an der RWC 2022 hin, entwickelte jedoch von vornherein das Fahrzeugkonzept für eine Teilnahme mit Fahrzeug bei der RWC 2023.

Nach der Einarbeitungszeit in das Regelwerk und die Challenge einigte sich das Team schnell auf einen Konzeptentwurf und startete mit der Umsetzung einzelner Bestandteile. Neben der mechanischen, konstruktiven und elektrischen Auslegung und Entwicklung des Fahrzeugs befassten sich die Studierenden auch mit Bestandteilen von Projektplanung, Marketing, Finanzierung und Öffentlichkeitsarbeit.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Durch die Einarbeitung in die Challenge sowie den vorangegangenen Austausch mit der FH Aachen wurde dem Team schnell der enorme Umfang für die Entwicklung einer Lokomotive bewusst. Deshalb hat man sich in der Konzeptplanung darauf festgelegt, zunächst ein angetriebenes modulares Drehgestell zu entwickeln, das im weiteren Projektverlauf einfach zu einer Drehgestell-Lok mit zwei Drehgestellen erweitert werden kann. Das Gesamtkonzept besteht dabei aus elektrischen Antriebskomponenten, einer Energieversorgung, einer Steuerungs- und Regelungseinheit, einer Einheit zur Fahrwegüberwachung, sowie der eigentlichen Rahmenstruktur des Drehgestells.

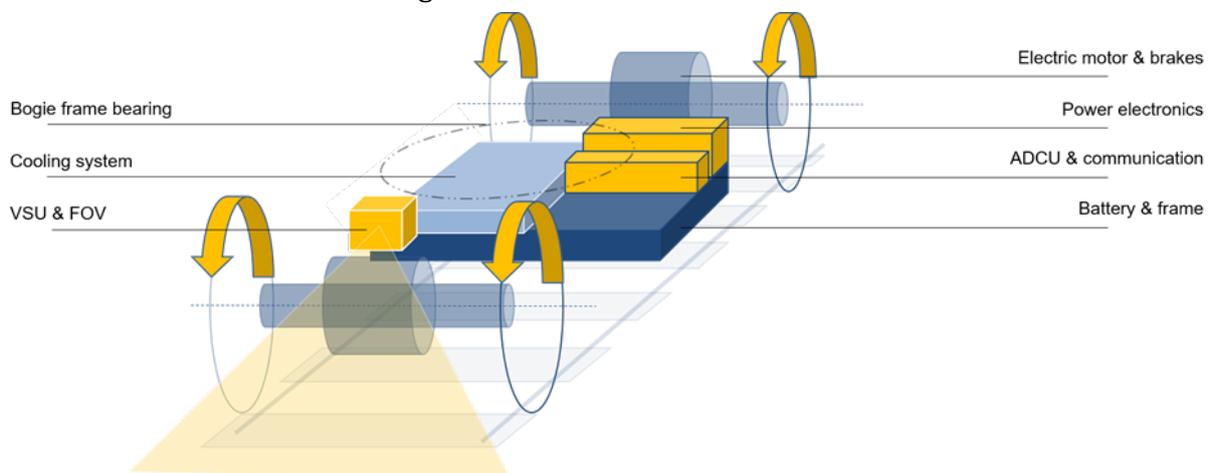


Abbildung 2: Konzeptidee Bild: Team EAGLE

Nach der Betrachtung verschiedener Umsetzungsmöglichkeiten entschied sich das Team, das Drehgestell mit vier Radnabenmotoren auszurüsten. Dieses innovative Antriebskonzept bietet die Möglichkeit, im weiteren Projektverlauf Funktionen wie zum Beispiel Torque Vectoring umzusetzen. Zur Motorenauswahl wurden die benötigten Motorparameter berechnet. Nach längerer Recherche und Anfragen wurde mit der Firma MTA GmbH ein geeigneter Partner gefunden. Die direkte Kombination der Motoren und Motorcontroller von einer Firma ermöglicht eine einfache und schnelle Umsetzung mit späterem Erweiterungspotential. Die Elektromotoren ermöglichen darüber hinaus generatorisches Bremsen sowie die daraus resultierende Rekuperation. Da jedoch seitens des Regelwerks eine mechanische Rückfallebene gefordert ist, werden zusätzlich mechanische Bremsen verbaut.

Die konzeptionelle Auslegung der Antriebsanlage macht klassische Lösungen einer gebremsten Welle, die verzögernd auf Räder wirkt nicht möglich. Zudem ist durch die Motoren der verfügbare Bauraum begrenzt.

Außerdem stellt das Antriebskonzept auch direkte Anforderungen an die Bremsen. So ist es sinnvoll, dass einzeln angetriebene auch möglichst mit einzeln verzögernden Rädern kombiniert sind. Dadurch kann zum Beispiel das Gleiten beim Verzögern in einer Kurve reduziert werden.

Mit diesen Punkten und den Anforderungen der Railway Challenge wurden Überlegungen angegangen, welche Bremssysteme überhaupt möglich und praktikabel sind.

Es zeigte sich zum Beispiel, dass Bremsen basierend auf Bremsscheiben nur außerhalb des Rades angebracht werden können. Die Verwendung eines Kfz-Bremssystems ist durch die Geometrie des Rades und der möglichen Bautiefe schwierig, da zum Beispiel durch den Spurkranz keine einheitliche, beidseitige Bremsflächengeometrie möglich ist. Der Einsatz von Industriebremsen, die direkt auf das Rad wirken, ist grundsätzlich möglich, allerdings finanziell nicht tragbar. Diese Gründe und der Wunsch, selbst entwickelnd tätig zu sein, führten zur Konzeption eines eigenen Bremssystems. Zudem hat dieser Ansatz mehr Potenzial für spätere Entwicklungen im Bereich Mechanik, Hydraulik und Programmierung für zukünftige Wettkämpfe.

Durch die Anforderung der Wartbarkeit konnte schnell entschieden werden, dass die Bremse veränderbar ausgelegt werden muss. Jedes Bauteil muss ersetzbar sein. Außerdem darf die Bremse den Ausbau eines Rades nicht nennenswert verzögern. Darum sind viele Verbindungen möglichst als versplintete Stifte ausgelegt. Ein Aktuator wirkt mittels eines Hebels über einen Aufhängepunkt und durch Bremsbacken direkt auf das Rad. Der Einsatz einer Bremsscheibe wurde vorerst zurückgestellt, da der UseCase Verzögern mit $a_{\text{verz}} = -1,3 \text{ m/s}^2$ aus $v_{\text{brems}} = 15 \text{ km/h}$ und eine geringe Laufleistung nicht zu signifikantem Verschleiß und Wärmeentwicklung führt. Ein späterer Einbau wurde jedoch berücksichtigt.

Zur Betätigung der Bremsen werden ein Sekundärzylinder, ein Hauptzylinder und ein Servomotor genutzt. Der Servomotor betätigt dabei den Hauptzylinder, dieser baut einen Druck auf, der wiederum den Sekundärzylinder an der Bremse aktuiert. Durch diese Aufteilung ist es möglich, einen Teil des Bremssystems vom Rad in das Drehgestell zu verlagern.

Eine weitere konstruktive Fragestellung adressierte das zur Verwendung kommende Druckmedium. Durch den Bauraum und die Zielsetzung einzeln verzögerter Räder hat man sich auf eine hydraulische Lösung geeinigt. Sie ist platzsparender, da auf Komponenten wie Kompressor, Lufttanks, oder ähnliches verzichtet werden kann. Bei möglichst vielen Bauteilen soll dennoch auf Normteile zurückgegriffen werden. So sind zum Beispiel die Bremsbeläge aus dem Kartsport und der Sekundärzylinder aus dem Modellbau abgeleitet. Das Hauptbremssystem wird jedoch die Rekuperation der Fahrmotoren sein. Zusätzlich ist das mechanische Bremssystem so ausgelegt, dass es vollständig im Rahmen der Anforderung als Notbremse wirkt.

Zur Energieversorgung des Fahrzeugs wurden ebenfalls verschiedene Batteriekonzepte durchgegangen. Das Team legte von vornherein aus Gründen der Sicherheit und Handhabbarkeit fest, mit der Stromversorgung im Niederspannungsbereich zu bleiben. Aufgrund des hohen Energiebedarfs durch das verhältnismäßig schwere Fahrzeug (bis zu 2 t maximal erlaubt), sowie der Anforderungen im Regelwerk, mindestens drei Stunden im Dauerbetrieb fahren zu können, sind die Ansprüche an die Batterien entsprechend hoch. Mit Nierlich Technical Evolutions konnte ein regionaler Partner gefunden werden, der dem Team entsprechende LiFePo4-Batterien organisierte und zur fachlichen Unterstützung bei der Inbetriebnahme und Ansteuerung zur Verfügung steht.

Ein weiterer Bereich im Gesamtkonzept umfasst den automatisierten Betrieb der Lokomotive. Geplant ist eine optionale Unterstützung des Fahrers mithilfe von Sensorik, die auf lange Sicht gesehen auch das vollständig autonome Fahren ermöglicht. Dazu sollen Parameter wie Geschwindigkeit, Position (GNSS in Verbindung mit Streckenkarten), Objekte im Fahrweg (LiDAR, gegebenenfalls Unterstützung mit Kameras) und die vorliegenden Schienen (Gleiserkennung über eine Kamera) überwacht werden. Diese verschiedenen Subsysteme werden im Laufe des Projekts zusammenarbeiten, um korrigierte Positionsdaten zu liefern. Des Weiteren soll die Schienenerkennung genutzt werden, um den vorliegenden Gleisbogenradius abzuschätzen. Damit kann das Torque-Vectoring der Motoren unterstützt werden.

Zuerst müssen die Anforderungen an die Sensoren verfasst werden. Aufgrund der aktuellen Überlegungen zum LiDAR-Sensor ist eine Sichtweite von mindestens 20 m auf gerader Strecke erforderlich. Bei einer Höchstgeschwindigkeit von 15 km/h und einer maximalen Verzögerung von $-1,3 \text{ m/s}^2$ liegt der erwartete Bremsweg unter sieben Meter. Dementsprechend sind 20 m Voraussicht auf jeden Fall ausreichend, um eine Reaktion auf ein erkanntes Objekt einleiten zu können. Die engsten Bogen haben eine Bogenradius von ungefähr zehn Meter. Angestrebt für den LiDAR-Sensor ist ein Lichtkegel mit einem Öffnungswinkel von mindestens 80° . Dies ermöglicht die Einsicht von 15 m Strecke innerhalb der engsten Bogen.

Da die Lok in einem solch scharfen Bogen mit verringerter Geschwindigkeit fahren muss, verkürzt sich hier der Bremsweg, weshalb diese Strecke zur Reaktionsfindung ausreichend ist. Die Anforderungen an die restlichen Sensoren müssen noch formuliert werden.

Basierend auf den aufgestellten Anforderungen wird eine Sensorbox mit allen benötigten Sensoren entwickelt. Mit dieser können dann erste Sensordaten aufgenommen werden, um mit der Softwareentwicklung für die Interpretation der Daten zu beginnen. Im ersten Schritt soll ein bereits vorhandener LiDAR-Sensor zur Objektdetektion verwendet werden. Dabei kann auf eine Bachelorarbeit eines Team-Mitglieds aufgebaut werden, in der bereits eine deterministische Objektdetektion auf der Basis einer LiDAR-Punktwolke implementiert wurde. Parallel können die Anforderungen für andere Sensoren aufgestellt und ein Gesamtkonzept der Zusammenarbeit der einzelnen Subsysteme entwickelt werden.

Zudem steht noch offen, nicht-deterministische Verfahren wie Neurale Netze zu verwenden. Dafür muss abgeschätzt werden, inwiefern Methoden des maschinellen Lernens die klassischen Methoden sinnvoll erweitern oder sogar ersetzen können.

Grundlegend für die Integration der einzelnen aufgeführten Bestandteile ist die Drehgestell-Rahmenstruktur. Im ersten Ansatz für die RWC 2023 wird ein Drehgestell mit festen Achsen konstruiert, um das grundlegende Ziel „entgleisungsfreies Fahren und Bremsen“ umzusetzen. Bei der Konstruktion des Drehgestells wird auf die Verwendung möglichst weniger Fertigungsteile geachtet, um Kosten und Fertigungszeit zu reduzieren. Das Gestell wird primär aus Aluminiumprofilen aufgebaut, die neben den Vorteilen kostengünstig und gewichtsarm auch die Möglichkeit der Modularität schaffen. Beispielsweise kann zu Versuchszwecken der Achsabstand des Drehgestells ohne großen Aufwand angepasst werden. Des Weiteren bieten die Profile viele Montagepunkte für die einzelnen Fahrzeugkomponenten und können auch bei der Erweiterung des Fahrzeugs einfach wiederverwendet werden.

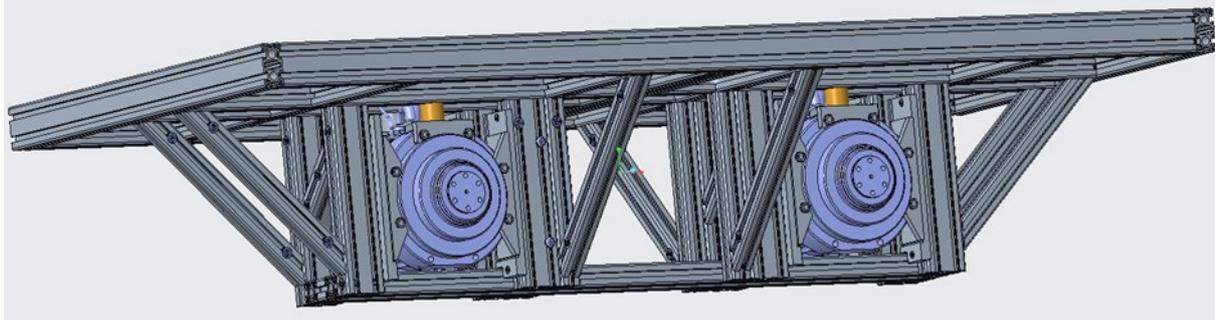


Abbildung 3: Konstruktion Drehgestell Bild: Team EAGLE

Das Zwischenziel für das Jahr 2022 war die Teilnahme an der RWC im Juni 2022. Nach nur wenigen Monaten der Konzeptausarbeitung wurden wir nach Bad Schussenried eingeladen. Dort hatten wir die Möglichkeit, uns mit dem Aachener Team, das schon mehrjährige Erfahrung in der Railway Challenge hat, auszutauschen.

Bei unserer Ankunft wurden wir von dem Aachener Team wärmstens in Empfang genommen und schnell konnten wir uns gut mit ihnen verstehen. Dabei war kaum zu bemerken, dass wir eigentlich konkurrierende Teams in einem Wettbewerb waren, sondern man hat sich freundschaftlich geholfen. Die Lok „MOLLY“ aus Aachen lag weit vor uns, da wir bis dahin nur ein Konzept erarbeitet hatten – dementsprechend beeindruckend wirkte sie. Sehr spannend war es zu sehen, wie die Größenverhältnisse der Lok in Realität aussehen, womit wir unser eigenes Konzept nochmals überdenken konnten.

Am Abend gingen wir noch mit Prof. Dr.-Ing. Martin Cichon, dem Institutsleiter des IFZN, über unser aktuelles Konzept und arbeiteten die neuen Impressionen des Tages und die Gespräche mit den Aachenern in dieses ein.

Dieses Konzept konnten wir dann auch am nächsten Tag noch dem Team aus Aachen vorstellen, um deren Gedanken und auch Kritik mit einfließen lassen zu können. Dadurch konnten wir am Ende mit viel neuem Wissen, etwas realistischeren Vorstellungen und einem überarbeiteten Konzept wieder zurück nach Nürnberg fahren.



Abbildung 4: Teilnahme an der kontinentalen Railway Challenge 2022 Bild: Jan Feldhoff

5. Vernetzung und Transfer

Ein wichtiger Bestandteil für die erfolgreiche Umsetzung des Projekts ist der Austausch mit Firmen und Sponsoren. Dies bietet den Studierenden auch die Möglichkeit, Kontakte zu knüpfen und Einblicke in die Industrie zu erhalten.

Der Partner Serto unterstützt das Team bei den Hydraulikangelegenheiten und schult die richtige Auslegung und Montage. MTA GmbH assistiert dem Team bei der Inbetriebnahme und Programmierung der Motoren und Controller. Nierlich Technical Evolutions hilft dem Team bei der Energieversorgung und steht als Ansprechpartner zur Verfügung.

Als letzten Partner konnte das Team zum Jahresende 2022 das Werk der DB Fahrzeuginstandhaltung Nürnberg dazugewinnen und bekommt dort eine Werkstattfläche zur Montage des Fahrzeugs gestellt. Zudem wird die Möglichkeit zum Austausch mit DB-Ingenieuren und Unterstützung bei der Fertigung von Bauteilen gegeben.

6. Fazit und Ausblick

Voraussichtlich von 2. bis 4. Juni 2023 findet auf der Anlage Kürnbach des Schwäbischen Eisenbahnvereins in Bad Schussenried die Railway Challenge 2023 „Continental Edition“ statt, bei der das Team der THN gegen das Team Emma loves JIM der FH-Aachen antreten wird. Bis dahin liegt noch einiges an Arbeit vor uns, jedoch sind wir davon überzeugt, bis dahin mit dem funktionsfähigen Fahrzeug ADLER 23 aufwarten zu können. Dazu werden wir nach der Prüfungsphase des WS2022/23 die Konstruktion finalisieren, bei der DB FZI die Fertigung der Nicht-Serierteile in Auftrag geben und mit dem Zusammenbau beginnen wird, sodass wir möglichst bald die ersten Testfahrten durchführen und Optimierungen vornehmen können. Bei dem Wettbewerb hoffen wir auf einen regen Austausch mit dem erfahrenen Team der Aachener, sodass wir für das Jahr 2024 unser Fahrzeug über den derzeit noch etwas rudimentären Aufbau weiterentwickeln und vielleicht schon auf eine erfolgreiche Teilnahme in England hoffen können.

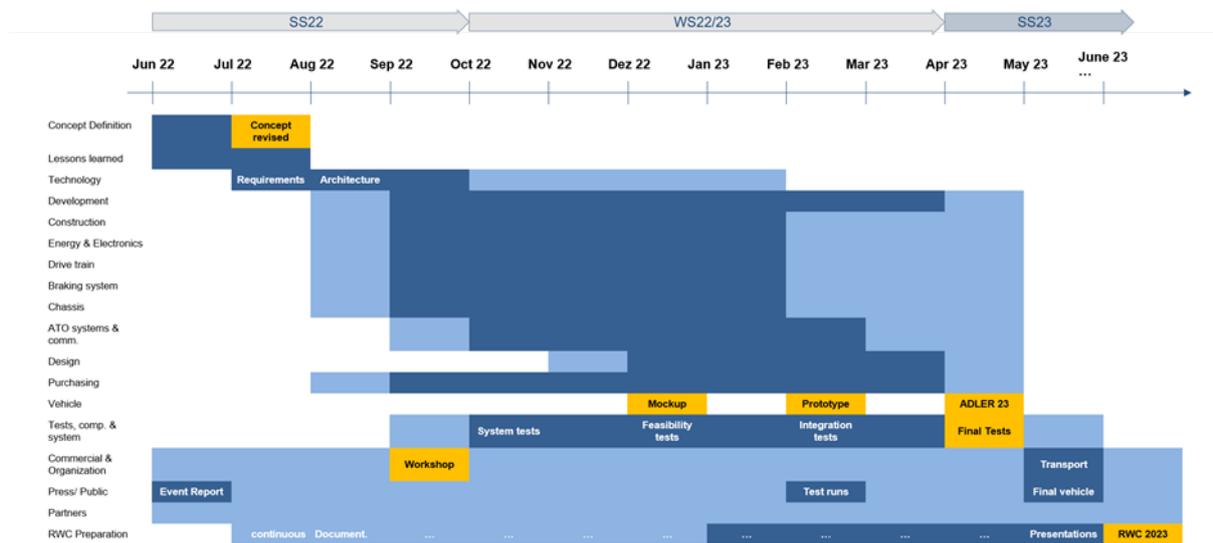


Abbildung 5: Roadmap zur Teilnahme an der RWC 2023 mit einem eigenen Fahrzeug Bild: Team EAGLE

Lokal nachhaltig kommunizieren

Prof. Dr. Beatrice Dernbach

Fakultät Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften

Zusammenfassung:

In dem Lehrforschungsprojekt „Lokal nachhaltig kommunizieren“ wurde – basierend auf einer im Jahr 2021 durchgeführten, zweiteiligen Studie über Nachhaltigkeitsakteure in der Metropolregion Nürnberg – die Idee einer Nachhaltigkeitsplattform ausgearbeitet. Studierende, das heißt insbesondere die studentischen Hilfskräfte aus dem Studiengang Technikjournalismus/Technik-PR, haben sowohl bestehende Plattformen als auch potenzielle Geldgeber recherchiert und analysiert. Das zentrale Dokument ist die Bestandsaufnahme von kommunalen Nachhaltigkeitsplattformen des Umweltbundesamtes. Die Analyse der darin beschriebenen 55 Angebote ergab unter anderem, dass die Plattformen jeweils stark an den Interessen des jeweiligen Initiators ausgerichtet sind. Eingesetzt werden zwar unterschiedliche Tools, aber selten wird der Anspruch erhoben beziehungsweise umgesetzt, eine unabhängige Informations- und Austauschplattform sowohl für die Stakeholder als auch für die Bürgerinnen und Bürger zu sein. Ausgehend von dieser Prämisse hat eine Studierendengruppe ein Konzept für eine digitale Nachhaltigkeitsplattform in der Metropolregion skizziert, die in der letzten Projektphase von einer Mediendesignerin angelegt wird. Im WS 2022/2023 wurden im Modul „Nachhaltigkeit kommunizieren“ Beiträge für diese Plattform von TJ- und Studierenden anderer Fakultäten verfasst.

1. Projektdaten

| | |
|---------------------------------------|--|
| Fördersumme | 10.000 Euro |
| Laufzeit | März bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften |
| Projektleitung | Prof. Dr. Beatrice Dernbach |
| Projektteam (falls Nennung gewünscht) | Julia Hufsky, Elvire Frank, Christian Kalisch, Jasmin Jansen |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: beatrice.dernbach@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

In einer Ende September 2021 abgeschlossenen, zweiteiligen Studie (Webseitenanalyse und Befragungen) zum Thema „Nachhaltigkeitskommunikation in der Metropolregion Nürnberg“ (gefördert von der Staedtler-Stiftung, durchgeführt mit einem vierköpfigen studentischen Projektteam) wurde festgestellt, dass es zahlreiche Nachhaltigkeitsakteure in der Zivilgesellschaft sowie in Politik und Wirtschaft gibt, dass diese aber nicht miteinander vernetzt sind und nicht miteinander kommunizieren. Dies führt auch dazu, dass die Menschen in der Region beziehungsweise vor allem in der im Fokus stehenden Großstadt Nürnberg nicht wahrnehmen können, welche Projekte existieren und wie sie sich aktiv in den nachhaltigen Transformationsprozess einbringen können. Um dies zu verbessern, soll eine digitale Nachhaltigkeitsplattform aufgebaut werden. Dazu wird sowohl eine Bedarfs- als auch eine Finanzierungsanalyse im Vorfeld benötigt. Beides wurde in dem Projekt im Sommersemester 2022 mit Studierenden in den unten genannten Lehrveranstaltungen durchgeführt.



Abbildung 1: Die 17 von den Vereinten Nationen festgelegten Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals, SDGs)

<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-erklart-232174>

Auf der Plattform sollen auf regionaler Ebene die 17 von den Vereinten Nationen 2017 formulierten Nachhaltigkeitsziele sichtbar werden. Vor allem geht es darum zu zeigen, wie sie aus ihrer Abstraktion gelöst und im Einzelnen konkret umgesetzt werden können. Damit die Transformation der Gesellschaft angesichts des Klimawandels gelingt, müssen die Handlungsoptionen in der persönlichen Lebenswelt plausibel und praktikabel sein. Mit Best-Practice-Beispielen sollen Bürgerinnen und Bürger der Metropolregion zum Handeln angeregt werden. Da vor allem die jüngeren Generationen angesprochen sind, werden sie bei der Konzeptionierung der digitalen Plattform beteiligt.



Abbildung 2: Auch die Europäische Metropolregion Nürnberg setzt die 17 SDGs um.

<https://www.metropolregionnuernberg.de/ueber-uns/leitbild-und-vision/nachhaltigkeitscharta>

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die Module „Wissenschaftliches Arbeiten“ und „Nachhaltigkeitsjournalismus“ (als FWP im Studiengang Technikjournalismus, als AWP für Studierende anderer Studiengänge) sind Projektseminare und damit die geeigneten Lehrveranstaltungen, um sowohl Fachwissen (Wie kann Nachhaltigkeit vermittelt und journalistisch dargestellt werden? An welche Zielgruppen? Wie und mit welchem Ziel?) als auch Methodenkenntnisse (Bedarfs-, Marktanalyse; Finanzierungsmodelle wie Crowdfunding, Stiftungsförderung und anderes) sowie soziale Kompetenzen (Projektmanagement, Arbeit im Team mit hohen Anforderungen an Zuverlässigkeit, Verantwortlichkeit, Koordination, Kooperation und Kommunikation) zu fördern – in einem Rahmen, der Spielräume für angeleitete Kreativität mit einem konkreten Ergebnis (einer digitalen Plattform zur Nachhaltigkeit) bietet. In einem iterativen Prozess wurde das Lehrforschungsprojekt geplant und durchgeführt, in dem alle studentischen Teilnehmer in allen Phasen beteiligt wurden. Unterstützt haben die Studierenden als Tutoren, die bereits im Staedtler-Projekt mitgearbeitet haben. Sie haben so ihre ersten Projekt- und Forschungserfahrungen an ihre Kommilitonen weitergegeben und waren eine gute Vermittlungsinstanz zwischen der wissenschaftlichen Projektleitung und den Studierenden.

Zwischen März und Juni 2022 konzentrierten sich die Tätigkeiten auf die Recherche, Planung und Durchführung der Bedarfs-/Marktanalyse und die Sichtung verschiedener Finanzmodelle. Zunächst wurden relevante und zielführende Dokumente identifiziert; dazu gehört vor allem ein Bericht des Umweltbundesamtes, auf der 55 Plattformen und Angebote für Kommunen ausgewertet worden sind, die ihnen bei der Umsetzung der Agenda 2030 helfen könnten.

Der UBA-Bericht wurde als Teilbericht im Rahmen des Vorhabens „Umsetzung der Agenda 2030 (SDGs) auf kommunaler Ebene“ erstellt, um die Arbeit der interministeriellen Arbeitsgruppe "Nachhaltige Stadtentwicklung in nationaler und internationaler Perspektive" (kurz: IMA Stadt) zu unterstützen, die die Bundesregierung 2015 ins Leben gerufen hat¹. Bundesländer beziehungsweise Regionen oder Ministerien wie Brandenburg² und Baden-Württemberg führen Fakten und Daten zusammen und/oder bieten Umweltinitiativen ein Forum. Andere Plattformen sind beispielsweise auf Umwelt-, Natur- und Klimaschutz spezialisiert³. Die Auswertung hat ergeben, dass nur wenige unabhängige, journalistisch kuratierte und an den SDGs orientierte Informations- und Kommunikationsplattformen existieren.

Parallel dazu sind mögliche Geldgeber identifiziert und im Hinblick darauf überprüft worden, wie die Bedingungen für eine Bewerbung sind. Dazu gehörten sowohl Stiftungen (wie die Allianz Umweltstiftung und die Bürgerstiftung Nürnberg), Crowdfunding- und insbesondere Green-Crowdfunding-Plattformen (zum Beispiel Startnext oder EcoCrowd) sowie Spendenaufrufe und Förderer, vor allem aus der Industrie. Hier zeigten sich teilweise hohe Hürden, entweder durch fixe Antragstermine, ein sehr begrenztes Budget oder die fehlende Kompatibilität zwischen Förderer und dem Projektkonzept. Darüber hinaus wurden die Optionen über Medienpartnerschaften (insbesondere mit einem Nürnberger Verlag) und die Gründung eines gemeinnützigen Vereins oder eines gemeinnützigen Unternehmens eruiert. Ins Auge gefasst wurde auch die Gründung eines (studentischen) Startups. Diese Idee erwies sich als derzeit nicht tragfähig, da die TJ-Studierenden sich zum Zeitpunkt des Studiums nicht an ein Projekt binden wollen, das zudem finanziell nicht gesichert ist und auch in kurzer Zeit mehr Investment fordert, als Gewinne erzielen wird.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Ergebnisse der Auswertungen wurden von den Projektmitarbeitern dokumentiert, präsentiert und mit Studierenden diskutiert. Auf dieser Basis wiederum wurde das erste Konzept für die digitale Nachhaltigkeitsplattform für die Metropolregion Nürnberg erstellt. Die Webdesignerin Jasmin Jansen nahm ab Juli 2022 regelmäßig an den Treffen des Projektteams statt. Das Webangebot so zu gestalten, dass die Inhalte gleichermaßen gut präsentiert, aber auch gut aufgefunden und genutzt werden können (Navigation und Usability), sind die bis heute nicht vollständig gelösten großen Herausforderungen. Nicht alle 17 SDGs spielen in der Metropolregion eine gleich große Rolle (wie beispielsweise SDZ 14: Leben unter Wasser); nicht alle Best-Practice-Beispiele lassen sich eindeutig und nur einem SDG zuordnen. Sind die Dimensionen der Nachhaltigkeit – ökologisch, ökonomisch und sozial – leitend? Muss es eine diversifiziertere Kategorisierung geben? In den Studien 2021 hatte sich beispielsweise gezeigt, dass die Frage der Nachhaltigkeit im Alltag (Wie vermeide oder entsorge ich Abfälle?) häufig thematisiert wird, wohingegen Aspekte wie Freiheit, Frieden und Partnerschaften (SDGs 16 und 17) eine geringere Rolle spielen.

¹ Siehe unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_46-2021_bestandsaufnahme_von_nachhaltigkeitsplattformen.pdf

² Plattform Brandenburg unter <https://plattform-bb.de/>, Baden-Württemberg siehe <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/nachhaltigkeit/nachhaltige-digitalisierung/projekte/digitale-nachhaltigkeitsplattform/>

³ Beispielsweise <https://reset.org/> oder <https://geo-naturpark.net/bewahren/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsplattform/>

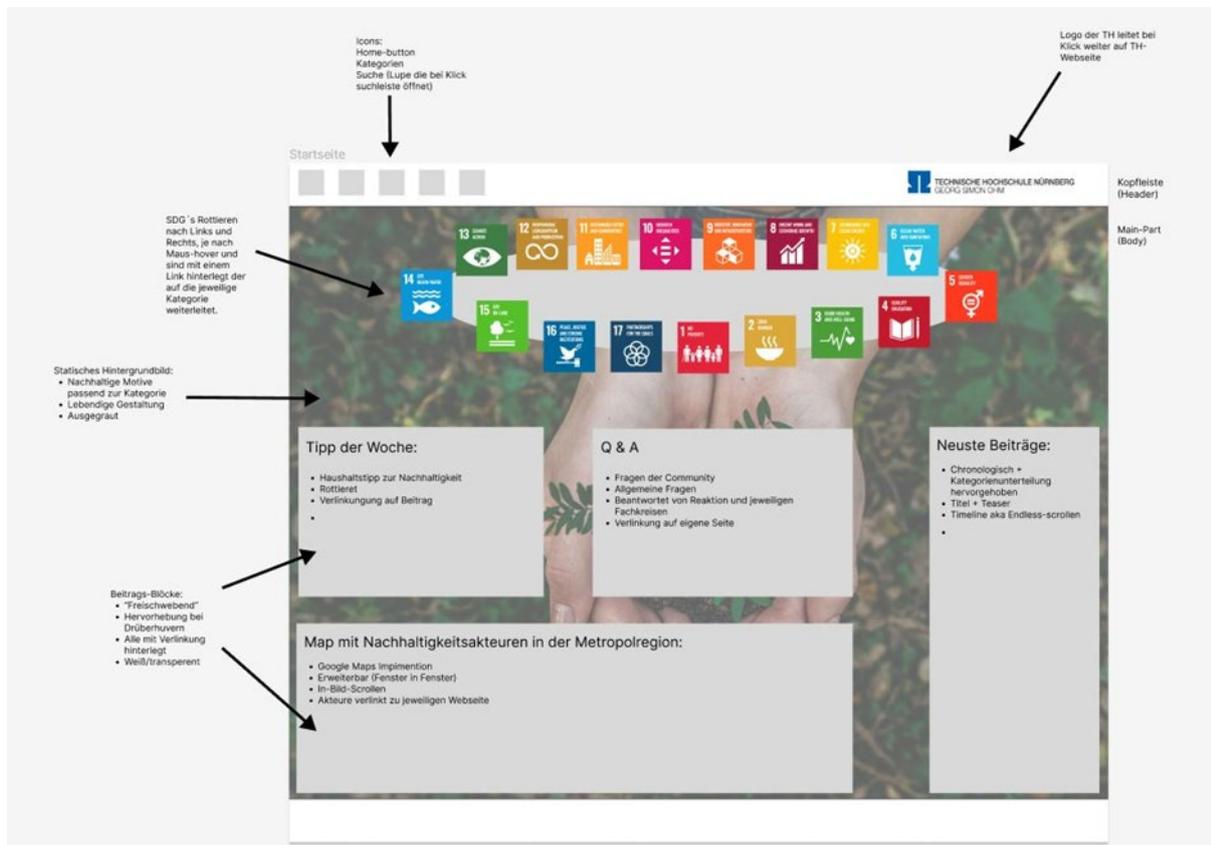


Abbildung 3: So könnte die Navigation der Nachhaltigkeitsplattform aussehen. Entwurf: Christian Kalis (2022)

Im Wintersemester 2022/2023 haben Studierende aus unterschiedlichen Studiengängen im Modul „Nachhaltigkeit kommunizieren“ zu unterschiedlichen Nachhaltigkeitsprojekten in der Metropolregion Nürnberg recherchiert und Beiträge verfasst. In einer Seminarsession wurden diese Beiträge kategorisiert, um auf diesem Wege herauszufinden, wie eine inhaltlich geleitete Navigation aussehen könnte. Der gemeinsame Nenner dieser beiden Herangehensweisen ist in dieser Tabelle abgebildet: Den Dimensionen ökologisch, ökonomisch, sozial und technisch werden die 17 SDGs untergeordnet. Das Setzen von Tags soll Beiträge, die mehrere SDGs und mehrere Dimensionen ansprechen, auffindbar machen.

| Ökologisch | Ökonomisch | Sozial | Technisch |
|----------------------------|--|-------------------|--|
| 6 (Wasser) | 1 (Armut) | 2 (Hunger) | 3 (Medizintechnik) |
| 7 (Energie) | 5 (Geschlechtergerechtigkeit) | 3 (Gesundheit) | 4 (Digitale Bildungstools) |
| 11 (Städte) | 8 (Arbeit) | 4 (Bildung) | 6 (sauberes Wasser – neue Reinigungstechniken u.a.) |
| 12 (Konsum und Produktion) | 9 (Industrie, Innovation, Infrastruktur) | 16 (Frieden u.a.) | 7 (neue Technologien → Produktion – Verbreitung – Nutzung) |
| 13 (Klimaschutz) | 10 (weniger Ungleichheiten) | | 8 (Einsatz von Robotern) |
| 14 (Leben unter Wasser) | | | 9 + 11 (Sektorenkopplung vor allem in Städten, Quartiersmanagement) |
| 15 (Leben an Land) | | | 12 (Konsum + Produktion = Kreislaufwirtschaft, Recycling, neue Materialien) |
| | | | 13 (technische Maßnahmen zum Klimaschutz, zum Beispiel CO ₂ -Reduktion) |
| | | | 14 + 15 (Schutz der Artenvielfalt) |

Tab. 1: Prinzipiell sind die SDGs immer in den Dimensionen ökologisch, ökonomisch und sozial verankert; die Technik-Perspektive ist für viele Ziele wesentlich. In der Tabelle sind die SDGs nach ihrem Schwerpunkt zugeordnet.

5. Vernetzung und Transfer

Aufgrund der Recherchen und der Beiträge haben die Studierenden im Modul Nachhaltigkeits-Journalismus zahlreiche Kontakte zu Nachhaltigkeitsakteuren in der Region geknüpft (siehe zum Beispiel <https://n-land.de/lokales/im-repaircafe-in-feucht-wird-wieder-repariert-statt-weggeworfen>).

Gleichzeitig haben sie – besonders intensiv die Projektmitarbeiter – nicht nur journalistische Kompetenzen ausgebildet und eingesetzt, sondern sich auch mit Fragen der Usability und Navigation sowie der potenziellen Finanzierung einer digitalen Plattform beschäftigt. Sie haben sich dafür verschiedene Gesprächspartner innerhalb (Ohm-Potenziale) und außerhalb der TH (zum Beispiel Relevanzreporter, forum 1.5 Mittelfranken, Bluepingu, Bürgerstiftung Nürnberg, und viele andere) erschlossen. Diese Kontakte werden für die weitere Planung und Umsetzung genutzt.

6. Fazit und Ausblick

Das Lehrforschungsprojekt ist abgeschlossen – das Projekt der digitalen Plattform für Nachhaltigkeit noch nicht. Weitere Studierendengruppen werden daran weiterarbeiten, indem sie vor allem Beiträge zu Themen und Projekten in der Metropolregion schreiben. Die Tutoren haben potenzielle Geldgeber identifiziert und gemeinsam mit der Projektleiterin Anträge/Bewerbungen vorbereitet, die gegebenenfalls in diesem Jahr eingereicht werden.

Inhaltlich wird weiter an der zentralen Frage geforscht, wie im Kontext der globalen gesellschaftlichen Transformation die Relevanz und Dringlichkeit des nachhaltigen Lebens an die Menschen vermittelt werden kann, sodass sie sich beteiligen und aktiv werden. Inwiefern eine digitale, frei zugängliche, unabhängige und auf dem Fundament journalistischer Qualitätsmaßstäbe kuratierte Informations-/Kommunikations- und Interaktionsplattform dazu beitragen kann, soll in weiteren Lehrveranstaltungen mit Studierenden unterschiedlicher Studiengänge diskutiert und idealerweise ausprobiert werden. Diese Idee als Lehrforschungskonzept zu bearbeiten hat sich vor allem deshalb bewährt, weil Forschung sehr niedrigschwellig von den Studierenden selbst erschlossen wird. Sie setzen sich mit dem komplexen Feld der Nachhaltigkeit auseinander, indem sie einerseits konkrete Projekte kennenlernen, sich aber gleichzeitig mit den verschiedenen Ansätzen der Nachhaltigkeitswissenschaften auseinandersetzen (von Natur- und Technikwissenschaften bis hin zu den Geistes- und Sozialwissenschaften).

Highspeed Electric Compressor for Fuel Cell Electric Vehicle („HEICo“)

Prof. Dr.-Ing. Armin Dietz

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Prof. Dr.-Ing. Frank Opferkuch

Fakultäten Verfahrenstechnik, Maschinenbau und Versorgungstechnik, Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Prof. Dr. Areti Papastavrou

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Franziska Vogel-Brinkmann

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Zusammenfassung:

Der Betrieb von PEM-Brennstoffzellen erfordert neben Wasserstoff auch Sauerstoff, der als verdichtetes, hochreines Luftgemisch der Brennstoffzelle geliefert werden muss. Nachdem bislang auf diesem Gebiet der kathodenseitigen Gasströmung noch keine Forschungen an der TH durchgeführt wurden, begann man in dem Projekt zunächst damit, die Randbedingungen zu recherchieren und Simulationen zur Luftmassenströmung durchzuführen. In der Projektarbeit der Studierenden der Verfahrenstechnik Jolanda Prinz und Caroline Stranzinger wurden die Parameter für das kathodenseitige Strömungssystem ausgearbeitet.

Mit nachfolgenden studentischen Arbeiten soll nach und nach der angestrebte Prüfstand für die kathodenseitige Gasströmung vervollständigt werden. Die Arbeiten stehen im direkten Zusammenhang mit dem Institut für Angewandte Wasserstoffforschung, Elektro- und Thermochemische Energiesysteme (H₂-Institut), das Forschungen zu Wasserstofftechnologien an der TH Nürnberg betreibt.

1. Projektdaten

| | |
|------------------------------|---|
| Fördersumme | 10.000 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik, Maschinenbau und Versorgungstechnik, Verfahrenstechnik |
| Projektteam | Prof. Dr.-Ing. Areti Papastavrou, Prof. Dr.-Ing. Franziska Vogel-Brinkmann, Prof. Dr.-Ing. Frank Opferkuch, M.Sc. Thomas Schötz, M.Sc. Nico Karg, M. Eng. Timo Wilfling |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: armin.dietz@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Wasserstoffbasierte Technologien werden nicht nur als zukunftsfähige Option für eine CO₂-freie Energietechnik, sondern vor allem auch als alternative Antriebstechnik für PKW, LKW, Schiffe und Flugzeuge gesehen. Die geplanten Wertstoffketten der Wasserstoffwirtschaft (Abbildung 1) bilden vielfältige Anknüpfungspunkte an die, an der TH vorhandenen Lehr- und Forschungsgebiete und können damit den Studierenden eine zukunftsorientierte und nachhaltige Ausbildung eröffnen. Dieses Projekt soll ebenso wie andere Aktivitäten an der TH dazu dienen, an diesen neuen Technologiepfad anzuknüpfen und insbesondere Studierenden die Möglichkeit bieten, diese damit verbundenen Technologieansätze in anwendungsorientierten Fragestellungen kennenzulernen. Darüber hinaus soll das Projekt einen kleinen Baustein für den Aufbau der Laborinfrastruktur des Institutes für Angewandte Wasserstoffforschung, Elektro- und Thermochemische Energiesysteme (H₂Ohm) leisten, indem Spezifikationsdaten für den Luftpfad eines Brennstoffzellensystems abgeleitet werden, um dann daraus einen Prüfstand zu konzipieren.

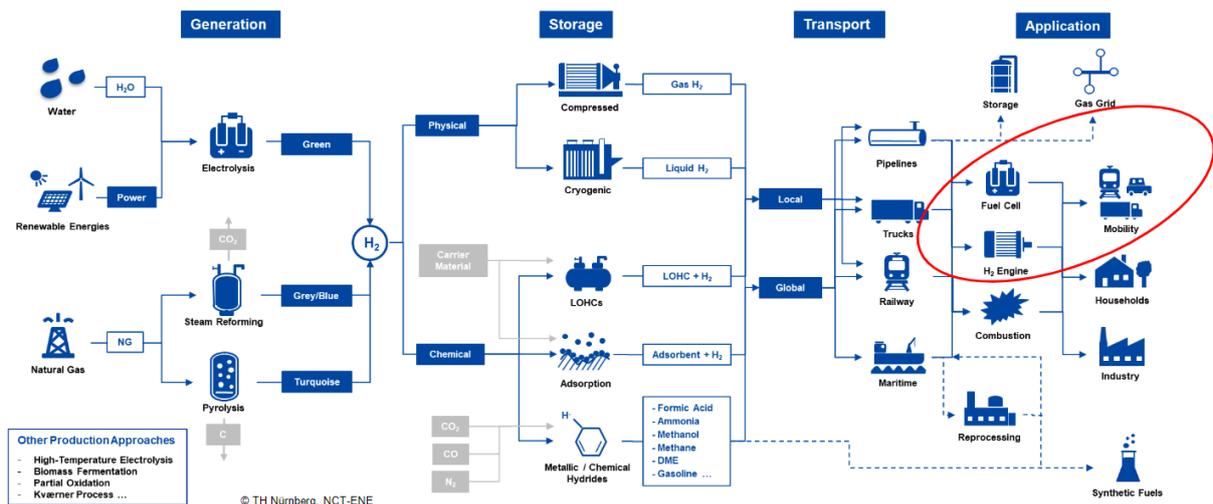


Abbildung 1: Wertschöpfungskette der Wasserstofftechnologien Quelle: TH Nürnberg, NCT-ENE, Nico Karg.

Im Bereich der Anwendungen im Mobilitätssektor – in der Abbildung 1 rot umrandet – bietet sich für die TH Nürnberg ein Einstiegsszenario in diese noch junge Technologie. Durch Unternehmen, die vor allem im Mobilitätssektor und der zugehörigen Zulieferindustrie in der Region produzierend tätig sind, bietet es sich an, diese Entwicklungen an der TH zu forcieren und sowohl Lehrenden und Forschenden als auch den Studierenden diese neuen Felder zu erschließen.

PEM-Brennstoffzellen bilden dabei eine Schlüsseltechnologie für wasserstoffbasierte Antriebssysteme. Der Betrieb von PEM-Brennstoffzellen erfordert neben der Zufuhr von Wasserstoff auch Sauerstoff, der als verdichtetes, hochreines Luftgemisch der Brennstoffzelle geliefert werden muss (Abbildung 2).

Diese Luftzufuhr erfordert Luftverdichter mit besonderen Eigenschaften, insbesondere der Einhaltung höchster Luftreinheit. So sind zum Beispiel auch Verunreinigungen der Luft durch Schmierstoffeinträge auf alle Fälle zu vermeiden, denn diese würden die Brennstoffzellen zerstören. Werden die Luftverdichter als radiale Verdichter ausgeführt, sind höchste Drehzahlen von mehr als 100.000 min^{-1} notwendig. Für die LKW-Anwendungen werden darüber hinaus sehr hohe Laufleistungen von mehr als 30.000 Stunden gefordert. Eine besondere Herausforderung dieser Aggregate stellen die Lagerung des Rotors des Elektromotors und des Verdichterrades dar. In dem Lehrforschungsprojekt sollen zunächst technologische Konzepte für die Lösung dieser Aufgaben recherchiert und in vereinfachten Simulationsmodellen untersucht werden. Für diese höchsten Drehzahlen bieten sich verschiedene Technologien für die Lagerung an, die nach heutigem Stand noch nicht den technologischen Reifegrad erreicht haben und sich daher hier noch keine Standardlösung durchgesetzt hat. Durch diese an den technischen Grenzen betriebenen Verdichter sollen den Studierenden Anreize gegeben werden, zum einen innovative Konzepte und Lösungen zu erforschen und zum anderen durch Zusammenwirken verschiedener Ingenieurdisziplinen moderne Entwicklungsmethoden kennenzulernen und Erfahrung in interdisziplinären Teams zu sammeln.

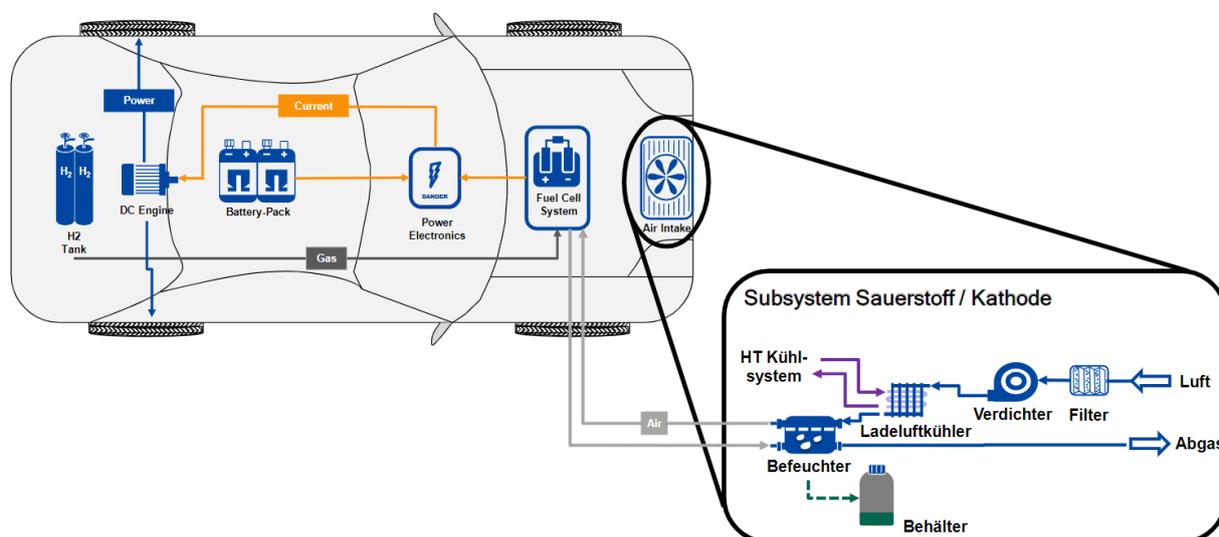


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung eines mobilen Brennstoffzellensystems und der Hervorhebung des Subsystems Sauerstoff/Kathode. Quelle: TH Nürnberg, NCT-ENE, Nico Karg

Da die TH Nürnberg bislang auf diesem Gebiet der kathodenseitigen Gasströmung bei Brennstoffzellensystemen noch nicht geforscht hat, wurden in dem Lehrforschungsprojekt zunächst die technologischen Randbedingungen recherchiert und Simulationen zur Luftmassenströmung durchgeführt.

In der Projektarbeit der Studierenden der Verfahrenstechnik Jolanda Prinz und Caroline Stranzinger wurden die Parameter für das kathodenseitige Strömungssystem und ein Prüfstandkonzept (Abbildung 3) ausgearbeitet. Mit den simulierten Massenströmen konnte ein Verdichter spezifiziert und von der Fa. Celereton beschafft werden (Kosten 10.000 EUR).

Damit konnte mit diesem Lehrforschungsprojekt die Basis für einen Verdichterprüfstand und somit weitere Forschungsaktivitäten und eine Stärkung der Lehre an der TH Nürnberg erzielt werden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

In dem geplanten Projekt sollen Studierende im Rahmen von Projektarbeiten einen Prüfstand für die kathodenseitigen Gasströmung inklusive des hochdrehenden Luftverdichters entwickeln. Insbesondere soll der Prüfstand für forschungsbezogene Fragestellungen zu verschiedenen Lagertechnologien für hohe Drehzahlen konzipiert und später weiter entwickelbar sein. Der Prüfstand soll so modular und flexibel konzipiert werden, dass in nachfolgenden Forschungsprojekten zum Beispiel verschiedene Lagertechnologien für hochdrehende Luftverdichter untersucht werden können.

Um allen Projektbeteiligten grundlegende Zusammenhänge für dieses Thema zu vermitteln und ihnen das wissenschaftliche Arbeiten möglichst rasch zu erschließen, werden zu Projektbeginn die Studierenden in die Forschungsgruppen von Prof. Opferkuch und Prof. Dietz eingebunden und regelmäßige Besprechungen durchgeführt.

Lehrkontext

Den Studierenden wurden zu Beginn des Projektes durch den betreuenden Professor Opferkuch grundlegende Zusammenhänge des Themenfeldes vermittelt. Damit sollte sichergestellt werden, dass alle Projektbeteiligten eine gemeinsame Sprache und Verständnis zum Themenfeld entwickeln und ihnen das wissenschaftliche Arbeiten in Kleingruppen (Teams) möglichst rasch und zielgerichtet ermöglicht wird.

Wichtig erscheint, dass alle Studierende die wesentlichen Phasen des wissenschaftlichen Arbeitens kennengelernt und neue Methoden erlernt haben und am Diskurs von Ergebnissen und bei der Definition und Aufteilung der Aufgaben beteiligt waren. Das im Rahmen der Wasserstoff-Aktivitäten angesiedelte Projekt vermittelte den beteiligten Studierenden die Erfahrung über die eigene Ingenieurdisziplin hinaus zu denken und sich mit anderen angrenzenden Disziplinen auseinanderzusetzen und sich qualifiziert an Diskussionen zu technischen Sachverhalten zu beteiligen. Vielleicht konnten die Studierenden mitnehmen, dass Forschungsarbeit letztendlich im Team bewältigt wird und ingenieurwissenschaftliches Arbeiten Spaß und Freude bereiten kann und daraus sich intrinsische Motivationen für ein „Weitermachen“ in Entwicklung und Forschung eröffnen.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Projektarbeit „Verfahrenstechnische Analyse und Auslegung eines hochdrehenden Luftverdichters in PEMFC-Systemen“ von Jolanda Prinz und Caroline Stranzinger hat grundlegende Parameter und strömungstechnische Spezifikationsdaten für das kathodenseitige Strömungssystem in einem PEM-Brennstoffzellensystem für LKW-Anwendungen geliefert. Die Studierenden haben ein Fließbild (Abbildung 3) entwickelt und die Spezifikationen aller notwendigen Komponenten des Kathoden- und Abluftpfades ermittelt.

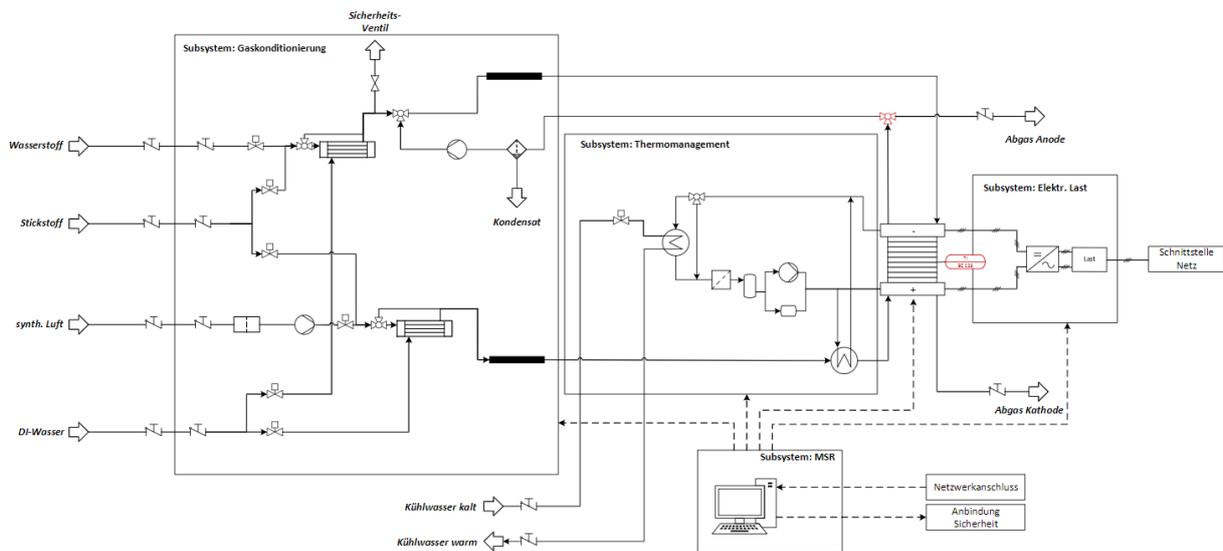


Abbildung 3: Fließbild des Brennstoffzellen-Teststandes. Quelle: TH Nürnberg, NCT-ENE, Nico Karg

5. Vernetzung und Transfer

Die durch das Projekt gewonnenen Basisdaten für einen Brennstoffzellenprüfstand werden unmittelbar in Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den Instituten ELSYS zu hochdrehenden elektrischen Antrieben, im NCT im Bereich Energietechnik und in das fakultätsübergreifende Institut für Angewandte Wasserstoffforschung, Elektro- und Thermochemische Energiesysteme (H₂Ohm) eingehen. Die Studierenden konnten durch die Projektarbeit wissenschaftliche Mitarbeiter aus den Instituten kennenlernen und haben erfahren, wie zu Beginn von Forschungsarbeiten offene Fragestellungen durch Literaturrecherchen und durch strukturiertes Vorgehen angegangen werden.

Diese Arbeiten und der sich daraus ergebende Prüfstand stehen im direkten Zusammenhang mit dem Institut für Angewandte Wasserstoffforschung, Elektro- und Thermochemische Energiesysteme (H₂-Institut), das unter anderem im Rahmen eines DFG-Vorhabens Forschungen zu Wasserstofftechnologien an der TH Nürnberg etablieren möchte.

6. Fazit und Ausblick

Das Lehrforschungsprojekt und die damit gewonnenen Daten haben einen guten Beitrag für den angestrebten Prüfstand für Luftverdichter in Brennstoffzellensystemen erbracht. Aus einer Projektarbeit ergaben sich Spezifikationsdaten für einen Luftverdichter, der schließlich aus den Projektmitteln beschafft werden konnte und für nachfolgende Projekt- und Abschlussarbeiten zur Verfügung steht.

Allerdings ist es noch nicht gelungen, interdisziplinäre Projektteams mit Studierende aus verschiedenen Fakultäten zu bilden. Hier bilden offensichtlich auch die unterschiedlich ausgeprägten Studienmodelle ein Hindernis. Wünschenswert wäre eine über die Studiengangmodelle hinweg mögliche Zusammenarbeit und die gleichwertige Anrechnung der ECTS-Punkte für Projektarbeiten.

Des Weiteren zeigte dieses Projekt, dass für die Bearbeitung und Umsetzung mehr Zeit beziehungsweise ein großzügigerer Zeitraum eingeräumt werden muss. Man darf nicht erwarten, dass Studierende, die erste Erfahrungen in einem Forschungsprojekt sammeln, ebenso effektiv wie wissenschaftliche Mitarbeiter sind. Deshalb bieten sich für Lehrforschungsprojekte Themen an, die zwar Relevanz für die Forschung an der TH Nürnberg haben, aber keiner strengen zeitlichen Beschränkung unterliegen sollten.

Insgesamt kann aber konstatiert werden, dass die Ergebnisse des Lehrforschungsprojektes einen Beitrag im Forschungskontext Wasserstofftechnologie gebracht haben und der Beitrag nachhaltig im Institut für Angewandte Wasserstoffforschung, Elektro- und Thermochemische Energiesysteme (H₂Ohm) weiterverwertet wird.

7. Literatur

- Kell, M., Eichseder, H. und Trattner, A.: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik, 4. Aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden, Springer 2018
- Klütsch, J., Pischinger, S., Schloßhauer, A., und Lückmann, D.: Simulationsgestützte Auslegung von Brennstoffzellen-Luftverdichtern, Motortechnische Zeitschrift, 2021, 82, Seite 28-37

Formula Student – Strohm und Söhne e.V.

Herr Arber Aliu, B. Eng.

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Zusammenfassung:

Das Formula Student Team Strohm und Söhne e.V. der Technischen Hochschule arbeitet derzeit an der Entwicklung seines achten, rein elektrisch angetriebenen Rennfahrzeugs. Anhand dieses Projektes ist es den Studierenden aus verschiedensten Semestern und Studiengängen möglich, ihr gelerntes Wissen praktisch anwenden zu können und sich neues Wissen in diversen Bereichen anzueignen. Ziel des Projektes ist es, am Ende ein reglementkonformes Rennfahrzeug zu konstruieren und zu fertigen, um damit an verschiedenen europaweiten Events teilzunehmen.

Ob Maschinenbau, Elektrotechnik oder Betriebswirtschaftslehre – jede und jeder Studierende der Hochschule findet eine passende Position und Aufgabe, die dazu beiträgt, das Ziel zu erreichen. Zusätzlich haben Studierende die Möglichkeit, Projekt- und Abschlussarbeiten in Kooperation mit Strohm und Söhne e.V. anzufertigen.



*Abbildung 1: NoRa8 bei Formula Student Spain
Quelle: Strohm und Söhne 2022*

Ziel des Projektes ist es, die aktuelle Generation unseres Rennboliden – NoRa 9 (Noris Racing) – für die Saison 2023 fertigzustellen, um an verschiedenen internationalen Wettbewerben in ganz Europa teilzunehmen.

Des Weiteren unterstützt das Team die Hochschule zusätzlich bei diversen Veranstaltungen, wie beispielsweise bei der Langen Nacht der Wissenschaften, Studien-Infotagen oder bei Messen, zum Beispiel der Consumenta.

1. Projektdaten

| | |
|------------------------------|--|
| Fördersumme | 10.000 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Maschinenbau und Versorgungstechnik |
| Projektleitung | Prof. Dr.-Ing. Ulrich Grau |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: ulrich.grau@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Das Motorsportteam Strohm und Söhne e.V. wurde im Jahr 2011 von engagierten Studierenden gegründet und dient als Repräsentant der TH Nürnberg beim größten internationalen Konstruktionswettbewerb für Studierende – der Formula Student (FS).



Abbildung 2: NoRa8 bei Formula Student Germany
Quelle: Strohm und Söhne 2022

Im Vordergrund des Formula Student steht zunächst die jährliche eigenständige Konstruktion und Fertigung eines Prototyp-Rennfahrzeugs, wobei die technischen und sicherheitskritischen Rahmenbedingungen des Fahrzeugs durch ein regelmäßig weiterentwickeltes Reglement vorgegeben werden. Seit Beginn fokussiert sich Strohm und Söhne e.V. ausschließlich auf elektrisch betriebene Fahrzeuge, wobei das Antriebskonzept der Boliden besonders im Vordergrund steht.

Im Laufe der Vereinshistorie konnten durch die harte Arbeit des Teams der TH Nürnberg bereits acht solcher Rennwagen fertiggestellt werden. Hierbei wurden hochrangige Platzierungen auf internationalen Wettbewerben der Formula Student erreicht. Darunter zählen unter anderem der zweite Platz in der Effizienzwertung auf dem Spielbergring in Österreich 2021. Das Jahr 2022 war das erfolgreichste der Vereinsgeschichte. Insgesamt nahm man an den Events in der Schweiz, Deutschland, Kroatien und Spanien teil und erreichte dabei folgende Platzierungen:

- 2. Platz Gesamtwertung FS Switzerland
- 3. Platz Efficiency FS Switzerland
- 6. Platz Gesamtwertung FS Alpe Adria
- 3. Platz Efficiency FS Alpe Adria
- 5. Platz Gesamtwertung FS Spain
- 2. Platz Efficiency FS Spain

Evolution statt Revolution – mit dieser Einstellung konzentriert sich das Projektteam auch zu Beginn der neuen Saison 2022/2023 auf eine intensive Konzept- und Grundlagenarbeit. Hierbei wurde ein gemeinsames Basiswissen aufgebaut, um damit die präzise durchdachten und gemeinschaftlich getroffenen Entscheidungen über grundlegende Entwicklungen des Rennwagens fällen zu können.

Jede Saison geht mit Neubesetzungen von Plätzen einher. Teammitglieder verlassen das Team nach mehreren Saisons aufgrund der erfolgreichen Beendigung des Studiums oder aus anderen Gründen. Eine Neubesetzung des Leitungsteams, Neuzusammenstellung der untergeordneten Baugruppen aus den Bereichen Elektrotechnik, Mechanik, sowie Teamorganisation und -management gehört in jeder neuen Saison dazu. Dadurch wird gewährleistet, dass alle Studierenden eine individuelle Aufgabe in ihrem gewünschten Fachbereich finden, die auf den Interessen und persönlichen Entwicklungswünschen basieren.

Strohm und Söhne e.V. ist davon überzeugt, das Team mit Hilfe dieser neuen Organisations- und Wissensstruktur als Grundlage nachhaltig und solide aufgestellt zu haben. Auch im Bereich Technik konnten im Jahr 2022 im Sinne der Lehrforschung große Fortschritte gemacht werden. Diese werden im Verlauf des Dokuments im Detail vorgestellt.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Projekt beginnt mit einer Konzeptphase und läuft dann über die Konstruktions- und Fertigungsphase hin zur Eventphase, der Formula Student. Durch die detaillierte Grundlagenarbeit des Teams in der Konzeptfindungsphase können Anforderungen an das neue Fahrzeug definiert und anschließend technische Konzepte für die Umsetzung in der aktuellen NoRa erarbeitet werden.

Der Wissenstransfer von ehemaligen Teammitgliedern ist neben dem eigenständigen Erarbeiten von Kenntnissen in den verschiedenen Baugruppen des Fahrzeugs eines der zentralen Stützpunkte des Projektes. Hierfür wenden die Studierenden ihr gelerntes Wissen vom Studium an, wobei auch die praktischen Fähigkeiten während des Projekts vertieft und erweitert werden. Die individuelle Weiterentwicklung erfolgt hierbei nicht nur durch das erworbene Fachwissen, sondern auch durch die praktische Applikation von eigenständiger Organisation sowie der interdisziplinären Teamarbeit.

Das Projekt ermöglicht es Studierenden aus unterschiedlichen Fachrichtungen und Semestern innerhalb des Teams, gemeinsam auf ein kollektives Ziel hin zu arbeiten – den Bau des Rennbolids NoRa. Durch die Kommunikation unter den Baugruppen werden vor allem Soft Skills und Teamfähigkeit gefördert.

Nach dem Erstellen eines detaillierten Konzepts starteten die Studierenden mit der Konstruktion und der Entwicklung des Rennwagens. Wichtige Bereiche dieser Phase sind beispielsweise die Konstruktion des Monocoques oder die Entwicklung und das Layout von Platinen für die elektronische Steuerung des Bolids. Ebenfalls essenziell ist der regelmäßige Kontakt zu Sponsoren, die überwiegend ihren Sitz in Mittelfranken haben. Diese konnten das Team finanziell oder mittels spezifischem Fachwissen unterstützen.

Durch die langsamen Lockerungen der Regeln bezüglich COVID-19 war das Team wieder in der Lage, sich vermehrt in Präsenz zu treffen und zu arbeiten. Die Teamkommunikation und alle Abteilungs-, Baugruppen- sowie Teamtreffen fanden in Hybridform statt.

Aufgrund der Erkenntnisse, die durch die Pandemie gewonnen wurden, war es möglich, einzelne Arbeitspakete und den Gesamtprojektstatus auch vom Homeoffice aus transparent und steuerbar zu gestalten. Das hybride Konzept wird auch in Zukunft bei Bedarf angewandt, falls zeitliche und örtliche Schwierigkeiten bei den Mitgliedern anstehen.

Nach dem Abschluss der Konstruktionsphase folgt die Fertigungsphase. Dabei treten die Studierenden vermehrt in Kontakt mit Firmen, die das Team in der Einzelteilfertigung der Fahrzeugkomponenten unterstützen. Hierbei können die Studierenden nicht nur wichtiges Networking betreiben, das für ihr späteres Berufsleben essenziell ist, sondern sie haben auch die Möglichkeit sich für künftige Forschungsprojekte zu vernetzen.

Sobald das Fahrzeug fertiggestellt ist, folgt eine Testphase, in der das Team durch das Sammeln und Auswerten von Daten letzte Fehler beheben und das Fahrzeug weiter verbessern kann. Hierbei spielt die Reflexion der geleisteten Projektarbeit eine wichtige Rolle.

Nach der Testphase wird das Team mit dem gebauten Rennfahrzeug auf internationalen Wettbewerben am Ende der Formula-Student-Saison teilnehmen, um sich dort mit anderen Hochschulen und Universitäten aus der ganzen Welt zu messen. Einerseits wird hier die Leistung des Fahrzeugs in verschiedenen dynamischen Disziplinen auf der Rennstrecke bewertet. Andererseits dienen die statischen Disziplinen der

Wettbewerbe dazu, das Vorgehen und die Arbeitsweise der Studierenden während der Fahrzeugentwicklung zu evaluieren.

Deshalb ist es für die Teammitglieder bei Strohm und Söhne e.V. unerlässlich, während ihrer Arbeit am Projekt eine strukturierte und gut dokumentierte Arbeitsweise an den Tag zu legen, die daraufhin auch den folgenden Teamgenerationen bei der Projektarbeit zugutekommt

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

4.1 Fahrzeugentwicklung: Technische Ergebnisse der Arbeit

Die wohl größte Veränderung von NoRa9 im Vergleich zum letzten Fahrzeug stellt das weiterentwickelte Chassis dar, sowie die Entwicklung eines Aeropakets. Dafür überarbeitete das Team das Konzept des Monocoque der vorhergehenden Fahrzeuggeneration.



Abbildung 3: Ausreißversuch an der TH
Quelle: Strohm und Söhne

Dabei wurde eine neue Form des Monocoques ausgearbeitet. Durch Anpassen der Hardpoints und Verkleinerung des Chassis wird eine Gewichtseinsparung erzielt. Auch die erstmalige Neuentwicklung eines Aeropakets ist ein Meilenstein der Vereinsgeschichte sowie dieser Fahrzeuggeneration. Dadurch wurde ebenso die Lenkung überarbeitet und die Lenkradaufnahme nun direkt mit dem Chassis verbunden, damit das Fahrzeug präziser um die Kurse bewegt werden kann.

In der E-Technik wurde der letztjährige, neu entwickelte Akkumulator weiterentwickelt, um das Fahrzeug noch effizienter mit Strom versorgen zu können. Die Studierenden bleiben weiterhin bei einem Rundzellen-Konzept, das auf insgesamt 432 Zellen des Typs 21700 in 144S-3P-Verschaltung beruht. Die maximale Systemspannung bleibt im Vergleich zum letzten Jahr – bedingt durch das Reglement – unverändert.

Durch ein verbessertes Kühlkonzept sowie einem neuen DC/DC-Spannungswandler wird der Akkumulator effizienter und leistungsfähiger. Dies soll auch das Team im Bereich der Rekuperation voranzubringen, bei der hohe Ladeströme zusätzliche Abwärme im System verursachen. Auch wurde das Einschaltkonzept grundlegend überarbeitet. Zusätzlich arbeitet das Team seit Beginn der Saison an einer Eigenlösung zur Übertragung der Daten auf den CAN-Bussen im Fahrzeug.

Des Weiteren wurde eine eigene Telemetrie entwickelt, die nun in das Fahrzeug implementiert werden soll. Anhand der Telemetrie ist es möglich, Echtzeitdaten während des Betriebs zu erhalten und diese baugruppenübergreifend zu visualisieren. Der Zugriff auf diese Daten ist nicht eingeschränkt, sondern von überall aus möglich.

Neben der bloßen Datenübertragung wird auch eine Benutzeroberfläche selbst programmiert. Trotz der Tatsache, dass das letzte Fahrzeug sich als außerordentlich zuverlässig auf den Rennstrecken erwiesen hat, wurden bei vielen Platinen noch Verbesserungen eingepflegt, nur vereinzelt wurden Konzepte aus dem Vorjahr unverändert übernommen. Des Weiteren wurden auch Konzepte und erste Schritte ausgearbeitet, um in Zukunft auch das autonome Fahren bei Strohm und Söhne zu implementieren.



Abbildung 4: Geöffneter Akkumulator
Quelle: Strohm und Söhne 2022

4.2 Teamaufbau: Strukturelle Ergebnisse der Arbeit

Zu Beginn der Saison 2022 konnten Abteilungsstrukturen sowie Baugruppen und deren Zuständigkeitsbereiche eindeutig aufgestellt, festgelegt und definiert werden, sodass ein produktives Schnittstellen-Management und eine durchgängige Teamorganisation erreicht wurde.

Hierbei unterteilt sich die Teamstruktur in eine Mechanik-, Elektrotechnik- und Team-Organisations-Abteilung. Für jede der genannten Abteilungen gibt es jeweils ein bis maximal zwei zuständige Personen, die den Überblick über die jeweilige Abteilung bewahren. Diese arbeiten eng zusammen mit der Gesamt-Teamleitung, um das Projekt bestmöglich ausführen zu können.

Die mechanisch angelegte Abteilung ist in die Baugruppen Chassis/Cooling, Akkumulator/Suspension/Powertrain unterteilt. In der elektrotechnischen Abteilung besteht das Team aus den Baugruppen Kabelbaum, Akkumulator, Traction System, Steuergerät und Sensorik. Die Bereiche Marketing, Business-Plan, Kostenverfolgung, Projektsteuerung und Sponsoren/PR sind Elemente der Abteilung Teamorganisation und Management. In jeder Abteilung und Baugruppe finden wöchentlich – zusätzlich zum gemeinsamen Arbeiten – Treffen statt, in denen die Fortschritte besprochen und weitere Arbeitspakete diskutiert werden.

Für ein Gesamt-Team-Update findet ebenso jede Woche ein Teamtreffen für alle Mitglieder von Strohm und Söhne statt. So ist sichergestellt, dass zwischen Baugruppen, Abteilungen und individuellen Mitgliedern Informationen kontinuierlich fließen und erarbeitetes Wissen weitergegeben werden kann, was den Projekterfolg und die interdisziplinäre Weiterentwicklung aller Studierenden nachhaltig sicherstellt.

Mit diesem Aufbau ergibt sich eine gut organisierte Teamstruktur, in der alle beteiligten Studierenden eine individuelle, wichtige Rolle einnehmen.

5. Vernetzung und Transfer

Das Motorsportteam Strohm und Söhne e.V. bietet eine Vielzahl an Vernetzungsmöglichkeiten für Studierende. Das Team besteht aus Studierenden aller Fachrichtungen vom klassischen Maschinenbau über Medizintechnik, Betriebswirtschaftslehre hin zu sozialen Arbeiten oder technischem Journalismus – jeder Studiengang ist bei Strohm und Söhne willkommen. Des Weiteren befinden sich im Team auch Studierende, die an der FAU und nicht an der Technischen Hochschule ihren Abschluss anstreben. Die Events, die im Rahmen der Formula Student jährlich und weltweit stattfinden, bieten eine perfekte Plattform für einen Erfahrungs- und Wissensaustausch. Studierende haben nicht nur die Möglichkeit, sich mit anderen Teams auszutauschen, auch hochkarätige Expert*innen nehmen an diesen Events als Sponsoren, Besucher oder auch als Offizielle teil.

Schiedsrichter, Beobachter bewerten die einzelnen Disziplinen und nehmen technische Abnahme der Rennboliden vor. Während der Saison haben Studierende auch Kontakt zu Sponsoren, mit denen ein qualitativer Wissensaustausch möglich ist. Fragen zu spezifischen Bauteilen oder Themen finden hier eine professionelle Anregung.



Abbildung 5: Team bei FS Switzerland 2022. Quelle: FS Switzerland

6. Fazit und Ausblick

Jedes Jahr ist es Ziel des Projektes, einen voll funktionsfähigen Rennboliden zu konstruieren und zu fertigen und an den im Sommer stattfindenden Events der Formula Student in ganz Europa teilzunehmen und gute Platzierungen zu erreichen. Die Konstruktion und Fertigung erfolgt dabei auf der Wissensgrundlage und den Entwicklungsfortschritten der vorherigen Teambesetzungen. Dieses Fundament gilt es weiter auszubauen, um einen Wissenstransfer zu ermöglichen, und damit nachfolgende Teams nicht immer von vorne beginnen müssen.

Frühzeitig, schon während der Saison beginnt die Teamleitung, Nachfolger für die Führungspositionen zu finden und diese einzuarbeiten. Dadurch werden die Nachfolger für die nächste Saison vorbereitet. Des Weiteren werden bereits während der Saison neue Mitglieder rekrutiert und in die aktuelle Teamstruktur eingearbeitet.

Wie bereits erwähnt, ist es wichtig, den Wissenstransfer zwischen alten und neuen Teammitgliedern sicherzustellen, indem eine gemeinsame Konzeptphase für das Nachfolgefahrzeug in Planung ist. Um dies zu gewährleisten, wird eine detaillierte und lückenlose Dokumentation der Fahrzeugentwicklung vom aktuellen Fahrzeug erstellt. Zum übergeordneten Ziel von Strohm und Söhne e.V. gilt der Leitspruch „Evolution statt Revolution“. Mittels der technischen Weiterentwicklung können nachfolgende Teammitglieder an den Wissenstand der Vorgänger knüpfen und somit ein erfolgreiches neues Rennfahrzeug entwickeln.

Beispiele für eine solche zukünftige Entwicklung über den aktuellen Rennboliden hinaus ist der Umstieg von einem Aluminium-Monocoque auf ein Carbon-Monocoque oder die Entwicklung einer ausgereiften Aerodynamik.

Dadurch erhalten die Studierende nicht nur die Möglichkeit, durch dieses Lehrforschungsprojekt Fahrzeugentwicklung und Motorsport am Puls der Zeit zu erleben, sondern auch eine individuelle und besondere Erfahrung, die sie auf das spätere Berufsleben vorbereitet.



Abbildung 6: Team bei FS Germany am Hockenheimring 2022
Quelle: FS Germany

Etablierung und Integration von Molecular Modelling

Prof. Dr. Markus Hummert
Fakultät Angewandte Chemie

Zusammenfassung:

In den Chemie- und Werkstoffwissenschaften bilden computerunterstützte Simulationen auf molekularer Ebene zunehmend die Grundlage zum Verständnis makroskopischer Eigenschaften. Das „Molecular Modeling“ nimmt daher einen immer wichtiger werdenden Platz in der anwendungsorientierten Wissenschaft ein und beeinflusst maßgeblich die Systematik industrieller Forschung. Ziel des Vorhabens war es, der fortschreitenden Digitalisierung gerecht zu werden. Mit den Projektmitteln wurde die technische Voraussetzung geschaffen, um die rechnergestützte Modellierung an der TH Nürnberg zu ermöglichen und zukünftig im Curriculum etablieren zu können. Durch Integration von Molecular Modeling kann der gesamte Lehrplan fachbereichsübergreifend modernisiert und methodisch weiterentwickelt werden. Studierende aller Semester profitieren nicht nur durch interaktive Optionen und vielfältige pädagogische Vorteile der virtuellen Modelle. Sie können Molecular Modeling zudem für ihre Forschungsprojekte nutzen und ihre Forschungsaktivitäten durch „In-Silico-Experimente“ bereichern. Insgesamt ist zu erwarten, dass die TH Nürnberg als Studienort, sowie als Forschungs- und Kooperationspartner attraktiver wird und die Hochschule deutschlandweit eine Vorreiterstellung unter den HAW einnehmen kann.

1. Projektdaten

| | |
|------------------------------|--|
| Fördersumme | 10.000 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Fakultät Angewandte Chemie |
| Projektleitung | Prof. Dr. Markus Hummert |
| Kontakt Daten Projektleitung | markus.hummert@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Unter Molecular Modeling versteht man computergestütztes Modellieren von Struktur, Wechselwirkung und Dynamik einzelner Moleküle bis hin zu großen Systemen. Durch theoretische Rechnungen am Computer können aus der Struktur sowohl die Eigenschaften auf molekularer Ebene, als auch makroskopische Festkörpereigenschaften, berechnet werden. Je nach dem zugrundeliegenden physikalischen Modell verknüpft Molecular Modeling die theoretische Chemie mit der anwendungsorientierten empirischen Chemie. Die Computersimulation wird dabei als softwarebasiertes Werkzeug und als wesentliche Ergänzung zu Laborexperimenten betrachtet.

Steigende Computerleistung und verfeinerte Rechenprogramme führten zu einer immer größer werdenden Verbreitung dieser Simulationen. Folgerichtig nehmen theoretische Methoden auch in der Forschung heute eine zunehmend größere Rolle ein. In der industriellen Praxis werden die Moleküle konsequent vorab am Computer modelliert, bevor mit einer aufwendigen Synthese im Chemielabor begonnen wird.

Aus den Modellierungen der räumlichen Molekülstruktur können relevante Eigenschaften vorab berechnet und vorhergesagt werden. Durch die vergleichsweise schnelle theoretische Modellierung erlangt man auf elegante Weise frühzeitig Kenntnis, welche Zielmoleküle den Kriterien entsprechen werden. Durch Eingrenzung auf wenige Zielstrukturen können begrenzte Ressourcen deutlich fokussiert und effektiver für die anschließende Synthese genutzt werden. Auf diese Weise nimmt die Modellierung einen entscheidenden Platz im Materialentwicklungsprozess ein und bildet die Grundlage für den Einsatz begrenzter Ressourcen.

Parallel zum Einsatz in der akademischen Forschung wurde das Thema Modellierung weitgehend in die Ausbildung an Universitäten implementiert. Die Situation an den wissenschaftlich-anwendungsorientierten Hochschulen wird der Realität in der industriellen Forschung dagegen nicht gerecht. Im Bereich der HAWs ist dieses moderne Themengebiet deutschlandweit nicht adäquat thematisiert. Mittlerweile stehen benutzerfreundliche Programme mit grafischen Oberflächen (GUI) zur Verfügung, die sich fast intuitiv bedienen lassen und so eine entscheidende Ausgangssituation für den Einsteiger bilden.

Ziel des Vorhabens war es, der fortschreitenden Digitalisierung gerecht zu werden und die Diskrepanz der Ausbildungssituation zum Alltag in der industriellen F&E zu korrigieren. Die Integration der rechnergestützten Modellierung im Curriculum erlaubt den Studierenden, die Möglichkeiten und Vorteile der Methode für eigene Forschungsprojekte und dem besseren Verständnis von Struktur-Wirkungsbeziehungen zu nutzen. Neben der fachlich-theoretischen Ausbildung benötigen Studierende Zugang zu Computern, die mit einer geeigneten Modellierungssoftware ausgestattet sind. Mit dem Antrag wurden Mittel für eine geeignete Software beantragt, um die technische Voraussetzung zu schaffen, mehrere neue Module zu entwickeln und die Integration von Molecular Modeling im Lehrplan der Fakultät Angewandte Chemie und darüber hinaus zu ermöglichen. Auf diese Weise sollte der gesamte Lehrplan fachbereichsübergreifend modernisiert und methodisch weiterentwickelt werden.

Von der Anschaffung der im Antrag ursprünglich vorgesehenen Software „Amsterdam Modeling Suite (AMS)“ wurde im Verlauf des Projektes abgesehen, da sich nach Erneuerung des Angebots eine signifikante Einschränkung seitens des Lizenzgebers ergab. Diese Einschränkung hätte ausgeschlossen, dass die Studierenden die Software für ihre Forschungsthemen nutzen dürfen. Eine weitergehende Lizenz hätte den Kostenrahmen des Projektes um einiges übertroffen.

Daraufhin wurden im Projektverlauf mehrere Software-Pakete bezüglich des Lizenzmodells (und damit verbundenen Kosten), Leistungsfähigkeit und Benutzerfreundlichkeit verglichen. Statt der stark eingeschränkten AMS-Lizenz wurde eine unbefristete Campus-Lizenz der Software „TURBOMOLE 7.6.1 Academic“ für den Preis von 3.808,00 EUR erworben. Das Softwarepaket erlaubt im Gegensatz zu AMS die dauerhafte Nutzung auch für Forschungstätigkeiten und Publikation der Ergebnisse.

Des Weiteren ist die Verwendung der Software nun für angewandte Forschung im Rahmen von kooperativen Projekten mit externen Firmen möglich. Die Software darf im Rahmen einer Campuslizenz von jedem Mitglied der TH Nürnberg verwendet werden und beinhaltet die uneingeschränkte Nutzung der Software. Unabhängig vom Ausführungsort oder der Fakultätszugehörigkeit können beliebig viele Nutzer die Software barrierefrei verwenden. Das heißt konkret, dass auch dezentral am heimischen Computer mit digitalen Modellen experimentiert werden darf.

So können auch Studierende aus anderen Fakultäten (zum Beispiel Werkstofftechnik) als Anwender chemischer Erzeugnisse von diesem Angebot profitieren. Damit bleibt der Kernpunkt des Projektes gewahrt, Berechnungen frei an jedem Ort und zu jeder Zeit durchführen zu können. Vom Differenzbetrag wurde eine leistungsfähige Workstation angeschafft (5.983,95 EUR), die auch umfangreichere Berechnungen bewältigt. Der Hochleistungsrechner wird zukünftig im Computerpool der Fakultät für die Studierenden zugänglich sein.

Die nun angeschaffte Software ist in ihren Anwendungsmöglichkeiten weniger umfangreich, kann jedoch für die Lehre durch eine webbasierte, virtuelle Desktop-Umgebung „Teaching with Schrödinger“ ergänzt werden. Das neue Web-Portal ermöglicht es Studierenden ebenfalls, Molekülstrukturen zu erstellen, zu berechnen und zu analysieren, ohne dass sie ein Programm auf ihre Hardware herunterladen müssen. Für die Nutzung des Web-Portals werden geringe Semestergebühren fällig, die zukünftig über die Laborkostenstellen der Dozenten gedeckt werden können.

Über beide Zugänge bietet Molecular Modeling vielfältige pädagogische Vorteile. Die dreidimensionale Natur chemischer Verbindungen hat in der Ausbildung von Chemikern und Werkstoffwissenschaftlern zwar grundlegende Bedeutung, wird aber im Lehrbetrieb sehr häufig zweidimensional dargestellt (zum Beispiel auf Projektionsflächen). Die auf der räumlichen Struktur beruhenden Konzepte werden daher oft nicht richtig assimiliert oder verstanden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die im Projekt angeschaffte Software wurde bereits im Wintersemester im Rahmen der Lehrveranstaltung „Allgemeine Chemie“ im ersten Semester (B-AC) eingesetzt. Hier wurde das Programm im Zusammenhang mit der Thermodynamik chemischer Systeme eingeführt, um die Triebkräfte bei chemischen Reaktionen zu verstehen. Die mit der Software generierten Daten wurden als Datensatz zu Verfügung gestellt und von den Studierenden für thermodynamische Berechnungen genutzt. Viele Studierende in diesem Stadium kennen Moleküle nur in Form von abstrakten Summenformeln. Eine klare Vorstellung, wie sich Atome zu Molekülen zusammensetzen und wie diese aussehen, ist in der Regel nicht vorhanden. Die Modelle sind dagegen visuell erlebbar und so war das Betrachten von dreidimensionalen Strukturen für viele eine neue Erfahrung. Zusätzlich können die Strukturen mit berechneten Informationen (zum Beispiel Ladungsdichteverteilung) angereichert werden. Somit werden die virtuellen Modelle durch interaktive Optionen zu einem unschlagbar wirksamen Medium.

Die Studiengänge in der Fakultät Angewandte Chemie zielen auf die Entwicklung von Schlüsselqualifikationen, um die Studierenden auf Anforderungen im Berufsleben vorzubereiten. Daher ist das Projekt vorrangig für die Studierenden konzipiert, die bald an Forschungsprojekten teilnehmen werden. Dazu gehören Projektarbeiten, in denen sie ein selbst gewähltes (im Idealfall selbst gestelltes Thema) weitgehend autonom bearbeiten.

Bei dieser Art von forschendem Lernen muss es nicht notwendigerweise darum gehen, Ergebnisse durch experimentelle Arbeit im Chemielabor zu erzielen. Vielfach nähert man sich der bevorstehenden Fragestellung zunächst über theoretische Einsichten oder Literaturrecherchen. Der herausragende Mehrwert von „in silico“ durchgeführten Experimenten (Computer-Chips bestehen unter anderem aus Silicium) liegt darin, die chemische Struktur eines Moleküls systematisch verändern und deren Eigenschaften simulieren zu können. Die Programmoberfläche vermittelt nach Abschluss einer Berechnung über das GUI einen nachhaltigen, visuellen Eindruck der Ergebnisse und einfache Auswertungsoptionen.

Durch die praktische Erfahrung mit den Computermodellen verstehen Studierende besser, auf welche Weise Änderungen auf molekularer Ebene die physikalischen Eigenschaften beeinflussen, und sie entwickeln ein tieferes konzeptuelles Verständnis von Struktur und Wirkung. Somit kann auf einfache Weise forschend gelernt werden, ohne sich unbedingt den Gefahrenpotenzialen im Chemielabor aussetzen zu müssen.

Darüber hinaus ist die Computerchemie ein leistungsfähiges Werkzeug zur Interpretation experimenteller Ergebnisse, mit denen Studierende in Forschungsprojekten konfrontiert werden. Die Simulationen sollen jedoch traditionelle experimentelle Laborversuche nicht ersetzen, sondern parallel begleiten und bei konkreten Fragestellungen entweder unterstützen oder ergänzen. Sie eignen sich auch hervorragend, eventuell auftretende Laborperioden ohne aktive Tätigkeiten der Studierenden sinnvoll zu überbrücken (zum Beispiel Wartezeiten bei chemischen Synthesen) und das dahinterstehende Erklärungskonzept durch Computersimulation effektiv zu stärken. Im Rahmen eines Projektstudiums kann Molecular Modeling parallel oder im Vorfeld der praktischen Arbeit einen wesentlichen Beitrag zur Fragestellung beziehungsweise Problemlösung liefern und interdisziplinäres Denken fördern.

Die Lizenz erlaubt ebenfalls die Verwertung von errechneten Ergebnissen in Form von Publikationen. Damit ist die Nutzung der Methode in aktuell und zukünftig laufenden (Verbund-)Forschungsprojekten möglich, ohne dass die forschende Person eine separate Lizenz erwerben muss.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Durch die Investition in Hard- und Software konnte fakultätsübergreifend der Grundstein für eine nachhaltige Nutzung gelegt werden. Auf technischer Ebene sind Modellierungen zukünftig von jedem Hochschulangehörigen einschränkungsfrei nutzbar.

Im bisherigen Projektverlauf konnte geklärt werden, aus welcher Kombination von Software und Hardware der beste Kompromiss bezüglich Investition und Nutzen zu erwarten ist. Darauf aufbauend wird in den nachfolgenden Monaten die darüberliegende fachlich-theoretische Ebene entwickelt.

Der Kern zur Integration dieser digitalen Technik ist das geplante Modul „Einführung in Molecular Modeling für Anwender“, das auf der jahrelangen Anwendungserfahrung des Antragstellers basiert und nun Bestandteil des Lehrplans werden soll. Es ist eine auf quantenchemische Methoden spezialisierte Lehrveranstaltung, die jedoch stark durch die Anwendung beider Software-Pakete geprägt ist. Das Modul soll die gesamte Bandbreite des Themengebietes für den Einsteiger abdecken.

Der Kurs konzentriert sich auf den Erwerb von Methodenkenntnissen und Anwendungsbeispielen. Im Mittelpunkt der Lehrveranstaltung stehen daher praktische Übungen am PC und Anwendung von Molecular Modeling an ausgewählten Beispielen. Die Studierenden erkunden unter Anleitung die grundlegenden Funktionen und Fähigkeiten, aber auch die Grenzen der Verfahren. Mit Hilfe der GUI des Programms sind mit relativ geringem Schulungsaufwand die Anwender in der Lage, Modellierungen selbst durchzuführen.

Ein weiterer Ansatz ist die Entwicklung neuer, integrierter Lehrveranstaltungen, die eigenständige Modellierungen am PC enthalten. Dazu zählen mehrere Lehrveranstaltungen, die ohnehin stark durch Interdisziplinarität geprägt sind, zum Beispiel die Module „Grundlagen und Anwendungen der Metallorganik“ (sechstes Semester, B-AC) oder „Nanoskalierte Funktionsmaterialien“ (geplant, M-AC). In beiden Modulen wird die Modellierung als wesentliche Komponente für das konzeptionelle Verständnis eingesetzt – gleichzeitig wird sie als digitales Element der industriellen Materialforschung und -entwicklung vorgestellt. Deutschlandweit ist das Vorhaben zur Integration von Modellierungen für den Ausbildungsbereich der Fachhochschulen modellhaft. Diese könnte bei studieninteressierten Personen einen wichtigen Impuls geben, sich für ein modernes (Chemie-)Studium an der TH Nürnberg zu entscheiden.

Darüber hinaus werden innerhalb der Basis-Lehrveranstaltung „Allgemeine Chemie“ (erstes Semester B-AC) weitere Übung für die zukünftigen Semester entwickelt, wobei die Studierenden die Software auch selbst ausprobieren sollen.

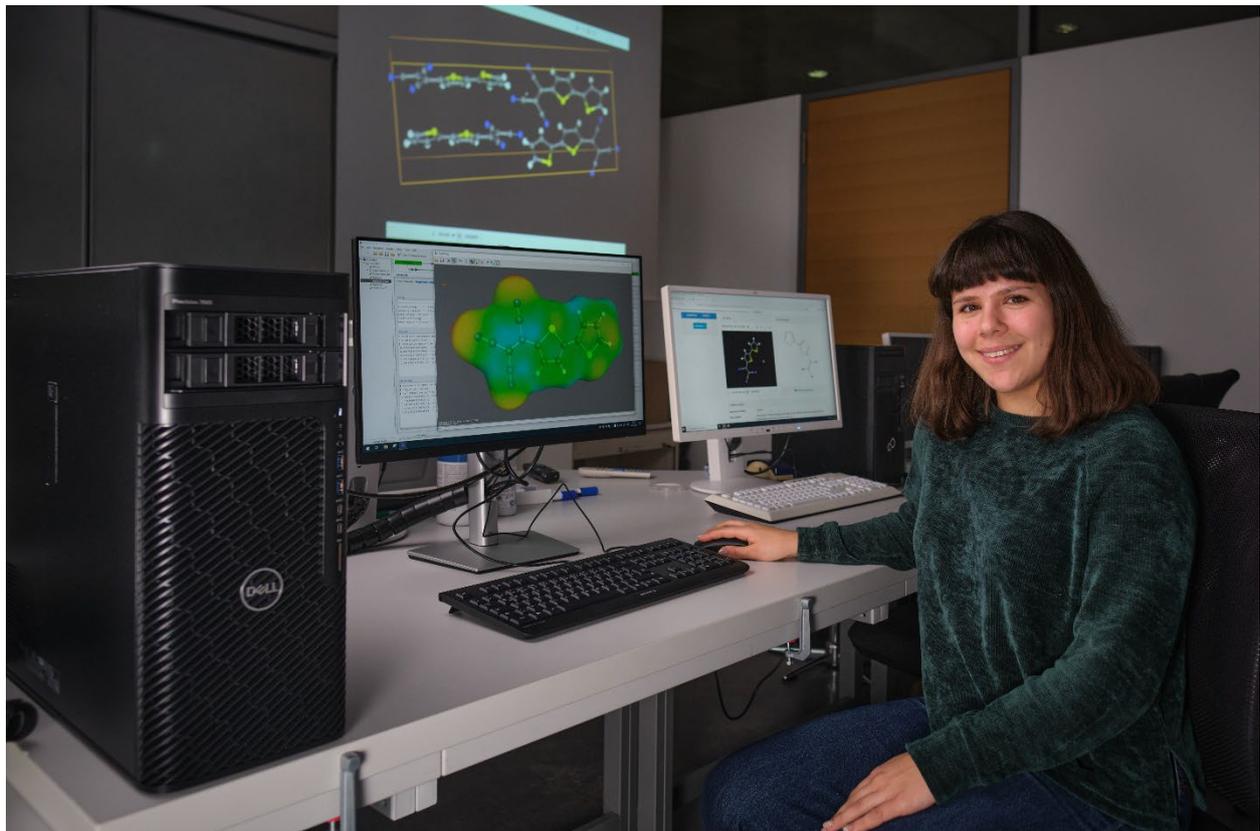


Abbildung 1: Die Studierende Marena Moritz (siebtes Semester, B-AC) vor dem Simulationsarbeitsplatz.
Bild: Herbert Schlachter

Auf dem Bildschirm ist die berechnete Elektronendichtekarte eines Farbstoffes zu sehen, im Hintergrund dessen Molekülstruktur im Kristall.

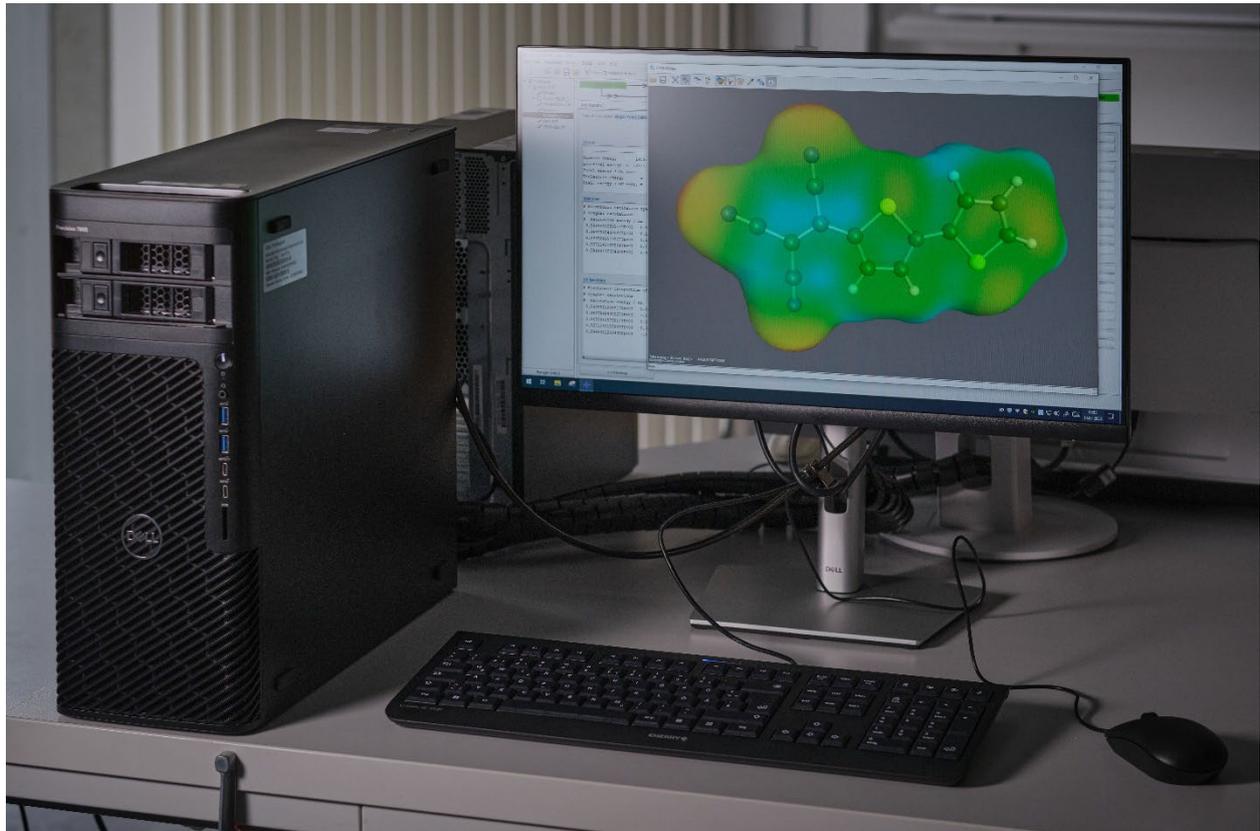


Abbildung 2: Simulationsarbeitsplatz. Bild: Herbert Schlachter

Auf dem Bildschirm ist die berechnete Elektronendichtekarte eines Farbstoffes zu erkennen.

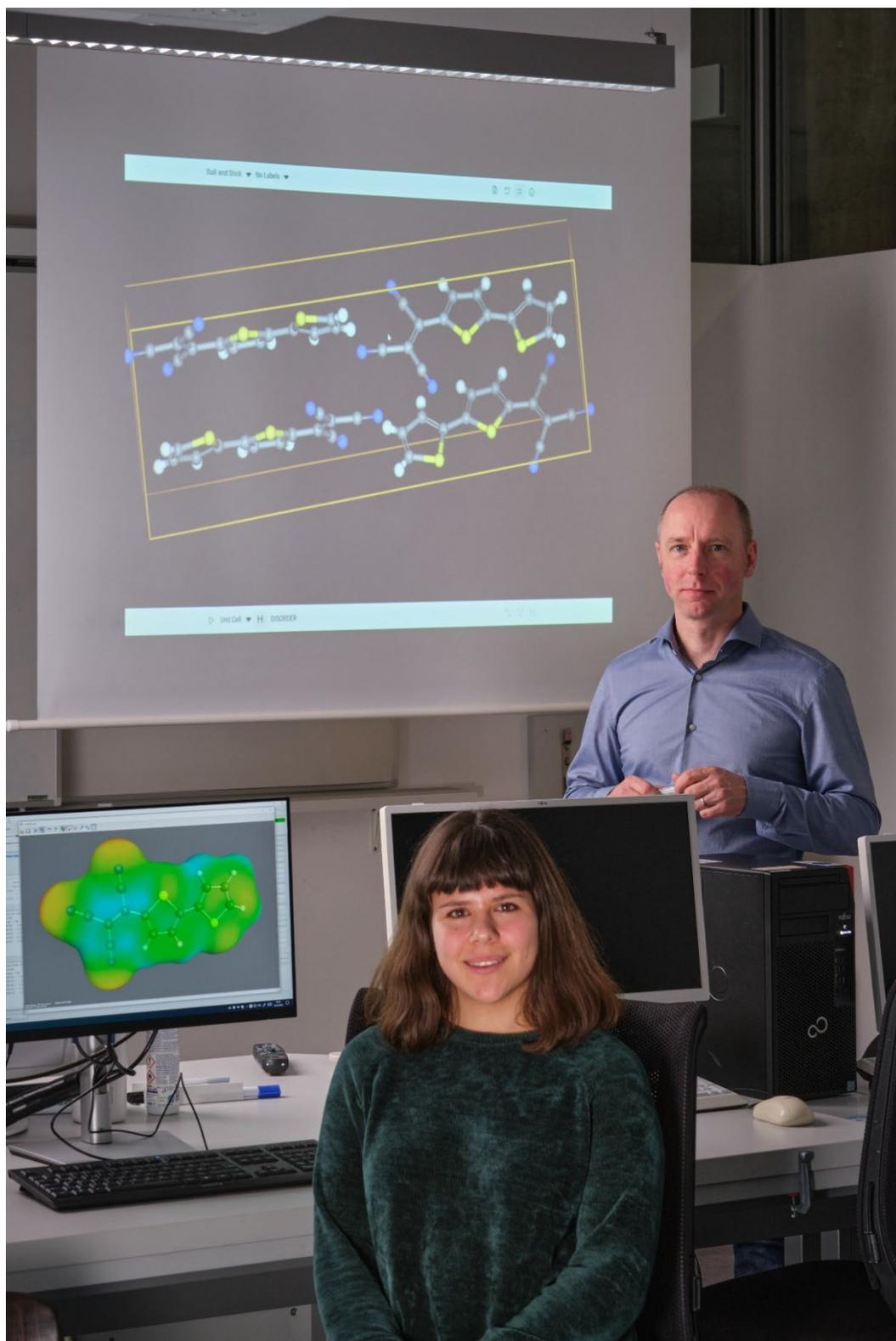


Abbildung 3: Die Studierende Marena Moritz (siebtes Semester, B-AC) vor dem Simulationsarbeitsplatz und Prof. Hummert im Hintergrund. Bild: Herbert Schlachter

5. Vernetzung und Transfer

Die Modellierungssoftware kann auch zur Durchführung von Simulationen dreidimensionaler periodischer Systeme wie Kristallstrukturen und Superzellen eingesetzt werden. Um Fragen zu beantworten, die sich aus experimentellen Messungen ergeben, verwendet man in der Wissenschaft immer häufiger quantenchemische Berechnungen. Mithilfe von Rechnungen können die elektronische Bandstruktur simuliert und genaue Reaktionsenergien und Dichtekarten für die elektronischen Zustände in solchen Systemen berechnet werden. Im Hinblick auf diese Anknüpfungspunkte wurde der Kontakt zur Fakultät Werkstofftechnik (Prof. Dr. Uta Helbig) bereits hergestellt und die Möglichkeiten zur Kooperation diskutiert. In ihrem Lehr-/Forschungsgebiet können verschiedene Strukturmodelle und die damit verbundenen Änderungen der elektronischen Bandstruktur analysiert werden, zum Beispiel der Effekt von Verunreinigungen in Nanopartikeln aus Titandioxid.

Die Forschungssystematik unterscheidet sich durch die Nutzung digitaler Komponenten von rein empirischen Vorgehensweisen, die normalerweise in Laboren durchgeführt werden. Durch Modellierungen am Computer sind Vorhersagen der Moleküleigenschaften möglich, die zum Beispiel vor der aufwendigen Laborsynthese eine Selektion durch Abgleich mit den Zielanforderungen erlauben. Indem sich die Synthese auf vielversprechende Zielstrukturen fokussiert, können die Erfolgchancen eines in Kooperation durchgeführten Projekts signifikant erhöht werden. Es ist zu erwarten, dass der Einsatz dieser digitalen Technik die TH Nürnberg auch als potenziellen Kooperationspartner attraktiver macht. Zudem könnte durch die ausgeprägte Systematik in der Vorgehensweise die Chance zur Bewilligung von Drittmittelanträgen erhöht werden und zusätzliche Forschungs- und Kooperationsoptionen erschlossen werden.

6. Fazit und Ausblick

Mit der Einführung von Molecular Modeling in den Studienplan bieten sich vielfältige Möglichkeiten, die Lehre mit neuen Lehrkonzepten, sowie die Forschungsaktivitäten an der Hochschule, zu bereichern. Der Schwerpunkt liegt hierbei nicht nur darauf, die Modellierungen innerhalb von Qualifikationsarbeiten und anderen Forschungsprojekten einzusetzen. Die computergestützten Simulationen erlauben zukünftig Experimente *in silico* und eröffnen eine bislang ungenutzte Forschungsrichtung an der THN. Mit den im Rahmen des Projekts getätigten Investitionen in Soft- und Hardware wird die Weiterführung der Modellierung dauerhaft gewährleistet. Bereits jetzt wurden mehrere Forschungsvorhaben beantragt, in denen Arbeitspakete mit Modellierung enthalten sind. Auf diese Weise wird der rein empirische Charakter eines Forschungsprojekts durch ein digitales Instrument ergänzt und insgesamt deutlich fokussierter durchführbar. Mit Etablierung von Molecular Modeling in Forschung und Lehre kann die TH Nürnberg der voranschreitenden Digitalisierung in der Chemie Rechnung tragen und eine Vorreiterrolle unter den HAW einnehmen.

Quantenchemische Modellierungen wurden probeweise in Lehrveranstaltungen integriert und als vollkommene neue Arbeitstechnik von den Studierenden fasziniert aufgenommen. Bei der Durchführung der Modellierungen zeigte sich, dass im Zusammenhang mit den Abläufen quantenchemischer Berechnungen eine systematische und ganzheitliche Herangehensweise in allen Stadien sinnvoll ist. Um diesen Punkt zu adressieren, wird im nächsten Schritt das neue Modul „Einführung in Molecular Modeling für Anwender“ schnellstmöglich in den Studienplan eingeführt. Insgesamt können sich alle Lehrkräfte der Fakultät dauerhaft mit den Vorteilen dieser digitalen Technik auseinandersetzen und die Software fachübergreifend innerhalb ihrer Lehrveranstaltungen einsetzen.

Perspektivwechsel: Schmierfett

Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob
Fakultät Angewandte Chemie

Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Zusammenfassung:

Schmierfettforschung wird an den Fakultäten Angewandte Chemie und Maschinenbau/Versorgungstechnik mit Fokus auf Herstellung, Charakterisierung und Wirkung von Fetten betrieben. Ziel des Lehrforschungsprojekts war es, Studierende für eine solche Forschung zu begeistern, sie eigenständig Projekte bearbeiten zu lassen und ihnen aufzuzeigen, wie interdisziplinär Forschung sein kann. Ein monatlich stattfindendes gemeinsames Seminar lebte von den Projektvorträgen der Studierenden und Grundlagenvorträgen der Professoren. Es zeigte allen Beteiligten, dass das Kennenlernen einer anderen Sichtweise (Perspektivwechsel!) sowohl zu einem fachlich tieferen Verständnis als auch zur Erkenntnis verhilft, dass interdisziplinäre Zusammenarbeit eine notwendige Voraussetzung zielorientierter Forschung ist.

1. Projektdaten

| | |
|---------------------------------------|--|
| Fördersumme | 10.000 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Angewandte Chemie, Maschinenbau und Versorgungstechnik |
| Projektleitung | Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob |
| Projektteam (falls Nennung gewünscht) | Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz, Prof. Dr. Dirk-Sachsenheimer |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: karl-heinz.jacob@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Auseinandersetzung mit Eigenschaften und Wirkung von Schmierstoffen erfolgt in den Studiengängen Angewandte Chemie und Maschinenbau/Versorgungstechnik fokussiert aus dem jeweiligen Blickwinkel beider Disziplinen, was hinderlich ist für ein Verständnis der Zusammenhänge von Zusammensetzung, Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Schmierfetten. An dieser Stelle setzte das fakultätsübergreifende Lehrforschungsprojekt an. Es sollte zum einen Studierende für das Thema *Schmierfette* begeistern und ihnen aufzeigen, dass es unterschiedlichste Facetten hat, die aus dem eigenen fachlichen Kontext im ersten Augenblick nicht zu erkennen sind. Zum anderen hatte es das Ziel, durch Angebote geeigneter Projektarbeiten an eine interdisziplinär geprägte Forschung im Schmierstoffbereich heranzuführen. Zuletzt sollte es die beteiligten Studierenden in die Lage versetzen, die zugrunde liegenden Ideen und Ergebnisse ihrer Arbeiten Anderen präsentieren zu können. Das fakultätsübergreifende und interdisziplinäre Lehrforschungsprojekt war von seiner Anlage her für alle Beteiligten neu. Herzstück sollte ein Schmierfettseminar als Plattform für Präsentationen und Diskussionen studentischer Projektarbeiten sein. Durch den interdisziplinären Ansatz sollte das fakultätsübergreifende Schmierfettseminar die Grundlage für ein tiefgreifendes Verständnis der Wirkungsweise von Schmierfetten legen.

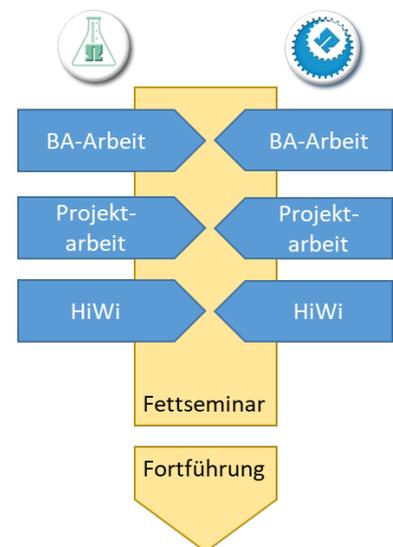


Abbildung 1: schematischer Aufbau des interdisziplinären Lehrforschungsprojekts.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Lehrforschungsprojekt basiert auf grundlegenden Annahmen:

- Studierende werden zum **aktiven Lernen** vor allem dann motiviert, wenn Sie um den „Nutzen“ von Erlerntem wissen.
- **Eigenständiges und zielorientiertes Arbeiten** sind Fähigkeiten, die in einer modernen Arbeitswelt gefordert sind und die Studierende schon während ihres Studiums erlangen sollten.
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit** und die Fähigkeit, auch einen ungewohnten Blickwinkel zu verstehen, sind Voraussetzungen für erfolgreiche Forschung.
 - Für das interdisziplinäre Forschungsgebiet „Schmierfette“ sind aus der obigen Aufzählung verschiedene Maßnahmen für das Lehrforschungsprojekt abgeleitet worden:
 - Studierenden sollte aufgezeigt werden, wie vielfältig ein Forschungsbereich sein kann und dass ein breites Grundlagenwissen notwendig ist, um einen ausreichend tiefen Einblick für erfolgreiche Forschung zu erreichen;
 - Studierende sollten durch Projektarbeiten/Abschlussarbeiten lernen, eigenständig und zielorientiert zu arbeiten und ihre Ergebnisse zu präsentieren.

Im Rahmen des Lehrforschungsprojekts sowie verschiedener Forschungsprojekte beziehungsweise Industriaufträge konnten mehrere Abschlussarbeiten finanziert werden.

Das Schmierfettseminar fand während der Vorlesungszeiten in einmonatigem Rhythmus statt. Die Vorträge der beteiligten Professoren über Grundlagenthemen und die Vorträge Studierender über ihre Forschungsthemen bildeten den Rahmen des Seminars. Tabelle 1 gibt hierzu einen Überblick.

Tabelle 1: Übersicht zu den Vortragsthemen des Schmierfettseminar im SoSe2022 und WiSe2022/23.

| Vortragende/r | Thema | Datum |
|----------------------------------|--|------------|
| Johanna Scheller (AC) | Tiefemperaturrheologie von Ca-Schmierfetten | 22.04.2022 |
| Steve Berthold (MB/VS) | Entwicklung einer Vorrichtung zur Fettalterung | 22.04.2022 |
| Andreas Conrad (AC) | Tiefemperaturrheologie an Schmierölen und Schmierfetten | 20.05.2022 |
| Maximilian Enhuber (AC) | Tiefemperaturrheologie von Schmierfetten auf Basis von Me ²⁺ -Stearat beziehungsweise Me ²⁺ -12-Hydroxystearat | 20.05.2022 |
| Jannis Kursawe (AC) | Ölabgabe und Klebrigkeit von Schmierfetten | 24.06.2022 |
| Leonrit Kelmendi (MB/VS) | Benchmark Fetteigenschaften | 24.06.2022 |
| Prof. Jacob (AC) | Thermooxidative Beständigkeit von Schmierölen und -fetten | 21.10.2022 |
| Prof. Monz (MB/VS) | Fettgebrauchsdauer | 21.10.2022 |
| Prof. Sachsenheimer (AC) | Grundlagen der Rheologie | 18.11.2022 |
| Johannes Gründer (MB/VS) | Simulation des Schmierpalts an hydrodynamischen Gleitlagern | 18.11.2022 |
| Julia Kraus (AC) | In situ Herstellung von Ca-Komplexseifen | 16.12.2022 |
| Andrea von Lattre-Hertel (MB/VS) | Tribologisches Verhalten additiv gefertigter Bauteile | 16.12.2022 |
| Zacharias Raum (AC) | Löslichkeit von Verdickern in Grundölen | 20.01.2023 |
| Prof. Monz (MB/VS) | Phänomenologische Betrachtung der Schmierung von Schneckengetrieben mit Fett | 20.01.2023 |

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen des Projekts „*Perspektivwechsel*“ haben sechs Studierende ihre Abschlussarbeiten [1] - [6] auf dem Gebiet „Schmierfette“ bearbeitet und an dem regelmäßig stattfindenden fakultätsübergreifenden Seminar darüber berichtet. Teilgenommen haben darüber hinaus auch weitere Studierende (5 ... 10), was zeigt, dass das Konzept bei den Studierenden auf Interesse gestoßen ist. Den teilnehmenden Studierenden fiel es sichtlich schwer, den Vorträgen der Studierenden der jeweils anderen Fakultät zu folgen.

Hier zeigte sich, dass die thematische Auseinandersetzung in den Studiengängen Angewandte Chemie und Maschinenbau fokussiert aus dem jeweiligen Blickwinkel der beiden Disziplinen erfolgt und ein Verständnis für eine andere Sichtweise beziehungsweise Herangehensweise bei Forschungsvorhaben unterentwickelt ist. Für alle Beteiligten waren vor allem die Diskussionen, die sich zwangsläufig aus den unterschiedlichen Themen und Erfahrungen ergaben, sehr lehrreich.

Genau an dieser Stelle ist auch in Zukunft anzusetzen. Die mit dem Lehrforschungsprojekt „*Perspektivwechsel*“ in Gang gesetzte Entwicklung eines fakultätsübergreifenden Seminars sollte konsequent weitergeführt werden. Das bietet Studierenden die Chance einer interdisziplinären Zusammenarbeit und den beteiligten Professoren die Chance, mittelfristig ein „Lehrkompetenzzentrum“ Schmierfette“ zu entwickeln, in dessen Rahmen fakultätsübergreifende Studierendenteams gemeinsame Themen interdisziplinär bearbeiten. Gerade der interdisziplinäre Aspekt muss nach den bisherigen Erfahrungen stärker entwickelt werden. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass nicht nur die Studierenden stärker in Forschungsvorhaben an der Technischen Hochschule Nürnberg eingebunden und damit an Forschungstätigkeiten herangeführt werden, sondern dass Forschungskompetenz an der THN gestärkt wird.

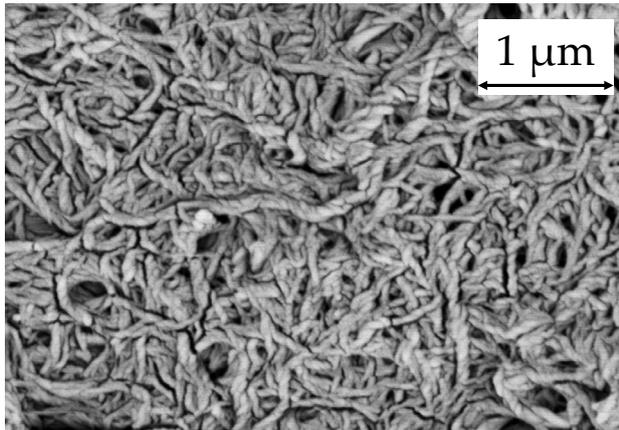


Abbildung 2: Eine Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines Schmierfetts (11 Ma. % Li-12-Hydroxystearat als Verdicker in Mineralöl) zeigt die poröse Struktur des Verdickers, in der das Mineralöl eingeschlossen ist (Bild: Anika Hodapp [7]).



Abbildung 2: Apparatur zur Herstellung von Modellschmierfetten, aufgebaut und optimiert in zwei Bachelorarbeiten. Erklärung: Ein Glasreaktor taucht in eine Flüssigkeit ein, deren Temperatur über einen Thermostaten eingestellt wird. Die Reaktionslösung im Glasreaktor wird über einen externen Rührer stetig homogenisiert und das Wasser, das während der in-situ-Reaktion zur Schmierfetherstellung entsteht, über einen Schlauch durch eine Vakuumpumpe abgesaugt (Bild: Krauß, Julia) [8].

5. Vernetzung und Transfer

Da das Lehrforschungsprojekt als interdisziplinäres Projekt angelegt war und das Themengebiet Schmierfette unter den Aspekten *Nachhaltigkeit* und *Energieeffizienz* aktuell in der Industrie auf zunehmendes Interesse stößt, bietet sich das Projekt Studierenden die Möglichkeit sich in dieses Themengebiet einzuarbeiten und an der Hochschule auf diesem Gebiet forschend tätig zu sein. Das ist für Studierende umso interessanter, weil das Themengebiet *Schmierfette* branchenübergreifend von Interesse ist und sie deshalb mit den im Lehrforschungsprojekt gewonnenen Erfahrungen einen leichteren Zugang in die Industrie haben werden.

6. Fazit und Ausblick

Für alle Beteiligten war das Lehrforschungsprojekt ein voller Erfolg. Den beteiligten Professoren Prof. Sachsenheimer/Fak. AC, Prof. Monz/Fak. MB/VS und Prof. Jacob/Fak. AC half das Lehrforschungsprojekt zu erkennen, in welchen gemeinsamen Themenbereichen sie aktiv sind und wie sie sich zukünftig effektiv gegenseitig unterstützen können. Den Studierenden half das Lehrforschungsprojekt zu erkennen, dass eine interdisziplinäre Zusammenarbeit eine notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Forschung in der Industrie ist. Gerade dieser interdisziplinäre Ansatz sollte in Zukunft durch fakultätsübergreifende Abschlussarbeiten weiter ausgebaut werden. Langfristig könnte sich aus einem solchen Schmierfettseminar eine Keimzelle für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedenster Kollegen der TH Nürnberg, Schmierstoffherstellern und Anwendern von Schmierstoffen in der Region entwickeln.

7. Literatur

- [1] Kelmendi, L.; *Benchmark-Untersuchungen an Getriebschmierstoffen*; Bachelorarbeit SoSe2022; Fakultät Maschinenbau/Versorgungstechnik; Technische Hochschule Nürnberg
- [2] Berthold, S.; *Entwicklung einer Vorrichtung zur Fettalterung*; Masterarbeit WiSe2021/22; Fakultät Maschinenbau/Versorgungstechnik; Technische Hochschule Nürnberg.
- [3] Berendes, M.; *Oszillierender Tropfen stabiler und instabiler Emulsionen*; Bachelorarbeit SoSe2021; Fakultät Angewandte Chemie; Technische Hochschule Nürnberg.
- [4] Wanek, A.; *Einfluss der Herstellung auf die rheologischen Eigenschaften von Schmierfetten*; Bachelorarbeit SoSe2021; Fakultät Angewandte Chemie; Technische Hochschule Nürnberg.
- [5] Hr. Markus Wolfschaffner; *Tieftemperaturrheologie an Schmierfetten*; Bachelorarbeit SoSe2021; Fakultät Angewandte Chemie; Technische Hochschule Nürnberg.
- [6] Hr. Maximilian Enhuber; *Oxidationsstabilität von Schmierfetten bei Anwesenheit von Kupfer*; Masterarbeit WiSe2021; Fakultät Angewandte Chemie; Technische Hochschule Nürnberg.
- [7] Hodapp, A.; Conrad, A.; Hochstein, B.; Jacob, K.-H.; Willenbacher, N.; *Effect of Base Oil and Thickener on Texture and Flow of Lubricating Greases: Insights from Bulk Rheometry, Optical Microrheology and Electron Microscopy*. *Lubricants* **2022**, 10, 55. <https://doi.org/10.3390/lubricants10040055>
- [8] Krauß, J.; *Herstellung von Ca-Komplex-Schmierfetten*; Bachelorarbeit WiSe2022/23; Fakultät Angewandte Chemie; Technische Hochschule Nürnberg.

Schulsozialarbeit digital – Prozesse und Erfahrungen

Prof. Dr. Johannes Kloha

Fakultät Sozialwissenschaften

Dr. Stefanie Gandt

Lehrbeauftragte Fakultät Sozialwissenschaften

Zusammenfassung:

Das Lehrforschungsprojekt fand im Rahmen des Studienschwerpunktes Schulsozialarbeit im BA-Studium Soziale Arbeit statt. Ziel ist, dass Studierende sich das Handlungsfeld Schulsozialarbeit forschend erschließen.

Die Ausgangsfrage des Lehrforschungsprojektes war, welche Bedeutung digitale Angebote in der Praxis von Schulsozialarbeiter*innen bekommen. Konkretisiert wurde diese Ausgangsfrage im Austausch mit der Abteilung Jugendsozialarbeit an Schulen (JaS) des Jugendamtes Nürnberg.

Die Studierenden bildeten im März 2022 Projektgruppen, in denen sie das Thema unter drei spezifischen Perspektiven untersuchten. Auf der Grundlage qualitativer Forschungsmethoden erkundeten sie die Perspektive von Fachkräften, Schüler*innen auf digitale Angebote in der Schulsozialarbeit.

Ergebnisse des Lehrforschungsprojektes wurden am 9. Februar 2023 mit JaS-Fach- und Führungskräften bei einem Fachtag an der TH Nürnberg diskutiert.

1. Projektdaten

| | |
|----------------|---|
| Fördersumme | 9.806 Euro |
| Laufzeit | März bis Dezember 2022 |
| Fakultät | Sozialwissenschaften |
| Projektleitung | Prof. Dr. Johannes Kloha |
| Projektteam | Dr. Stefanie Gandt Kooperationspartner: Ronny Kern, Leiter Abteilung Jugendsozialarbeit an Schulen, Jugendamt Nürnberg |
| Kontaktdaten | E-Mail: johannes.kloha@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Bedeutung von digitalen Angeboten im Handlungsspektrum der Schulsozialarbeit nimmt zu. Insbesondere durch Corona wurde deutlich, dass die Möglichkeiten der Kontaktaufnahme und Beratung über digitale Kanäle für Schulsozialarbeiter*innen große Relevanz bekommen können. Auch kann es sinnvoll sein, für Kinder und Jugendliche in spezifischen Lebenslagen (zum Beispiel bei Schulabsentismus) digitale Zugangsmöglichkeiten zur Schulsozialarbeit zu eröffnen, um deren lebensweltlicher Situation gerecht zu werden.

Gleichzeitig tauchen hierbei große Herausforderungen auf, etwa die Fragen des Datenschutzes, der Bildung einer Vertrauensbasis durch digitale Kommunikationsformen oder auch die Entgrenzung von Arbeit bei permanenter digitaler Verfügbarkeit.

Aber auch die große Heterogenität in der technischen Ausstattung – sowohl mit Software als auch Hardware – sowie bei den jeweiligen Kompetenzen im Umgang mit sozialen Medien erschwert die gezielte und nachhaltige Konzipierung und Umsetzung digitaler Angebote in der Schulsozialarbeit.

Die konkrete Projektidee entstand im Austausch mit der Abteilung Jugendsozialarbeit an Schulen des städtischen Jugendamts Nürnberg. Dort werden Erfahrungen, die während den Corona-bedingten Einschränkungen gemacht wurden, momentan konzeptionell geprüft, und es wird an einheitlichen digitalen Zusatzangeboten zum Präsenzangebot der „Jugendsozialarbeit an Schulen“ gearbeitet. Die Ergebnisse des Lehrforschungsprojektes sollten – so die Zielsetzung – diesen Prozess unterstützen.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Den Kern des Lehrforschungsprojektes bildeten drei studentische Forschungsgruppen. Diese wurden zu Beginn des Studienschwerpunktes am 24. März 2022 in einem Start-Workshop gebildet. In diesem Workshop stellte der Leiter der Abteilung Jugendsozialarbeit an Schulen (JaS) – Ronny Kern – die Grundstrukturen von JaS Nürnberg und die laufenden konzeptionellen Überlegungen zu digitalen Angeboten vor. Die Projektgruppen arbeiteten kontinuierlich während der gesamten Laufzeit des Studienschwerpunktes.

Die zentralen Aufgaben der Forschungsgruppen waren:

- Formulierung einer Forschungsfrage
- Entwicklung eines empirischen Designs
- Kontaktaufnahme zu potenziellen Forschungspartner*innen (insbesondere Schulsozialarbeiter*innen)
- Durchführung der Datenerhebung (insbesondere qualitativ-narrative Interviews)
- Auswertung
- Erstellung eines Abschlusspapiers und einer Projektpräsentation (diese wurde sowohl hochschulintern als auch als Fachvormittag mit Praktiker*innen durchgeführt; siehe unten)

Die Studierenden wurden dabei unterstützt von den über die Projektförderung finanzierten Tutor*innen. Diese trafen sich regelmäßig mit den Gruppen, unterstützten sie bei empirisch-methodischen Fragen und stellten den Kontakt zum Projektleiter Prof. Dr. Johannes Kloha her, wenn Fragen nicht gruppenintern geklärt werden konnten und intensiverer Beratungsbedarf bestand.

Hier zeigte sich eine der großen Herausforderungen in diesem Durchgang. Da die Tutor*innen kaum über eigene Forschungserfahrung verfügten, wurde ein Konzept entwickelt, diese während der Projektlaufzeit im Hinblick auf Forschungsmethoden nachzuqualifizieren. Hierzu kooperierte das Projekt mit der Abteilung „Starfish“, die unter der Leitung von Dr. Stefanie Gandt an der Weiterentwicklung innovativer Lehrkonzepte arbeitet. Die Tutor*innen beteiligten sich im Sommersemester 2022 an der Durchführung und Auswertung von Gruppendiskussionen zur Erfahrung von Studierenden und Dozierenden mit Begleitungs- und Unterstützungsprozessen.

Die hierbei insbesondere bei der Datenauswertung gewonnenen Erfahrungen sollten sie dann im Wintersemester an die Studierenden weitergeben. Die Erfahrungen mit diesem Vorgehen waren ambivalent: Während es durchaus gelang, den Tutor*innen wertvolle Einblicke in einen Forschungsprozess zu geben, waren die Transfermöglichkeiten in die Beratung der Schwerpunkt-Studierenden doch begrenzt.

Dies erhöhte zum einen den Betreuungsaufwand für die hauptamtlichen Betreuer*innen (Dr. Gandt; Prof. Kloha). Zum anderen verstärkte diese zum Teil unklare Betreuungssituation die zeitweise Verunsicherung der Studierenden im Forschungsprozess. Allerdings machten sie am Ende die Erfahrung, dass sie eigenständig zu wertvollen Ergebnissen gelangen konnten. Dadurch konnte verdeutlicht werden, dass eine gewisse Unsicherheit ein elementarer, nicht zu umgehender Bestandteil eines Forschungsprozesses ist, und kein Merkmal von Inkompetenz oder mangelnder Erfahrung.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Studierenden begegneten sowohl im Prozess der Datenerhebung als auch bei der Präsentation am Ende einem hohen Interesse von Praktiker*innen. Dies verstärkte ihren Eindruck, an einem für die Praxis äußerst relevanten Thema zu arbeiten. Darüber hinaus gelang es, über die Interviews mit Praktiker*innen Einblicke in das Handlungsfeld zu gewinnen, die weit über eine rein theoretisch-abstrakte Behandlung im Seminarraum hinausging.

Im Hinblick auf die eigentliche Forschungsfrage, nämlich der Bedeutung von digitalen Angeboten in der Praxis von Schulsozialarbeiter*innen konnten sie äußerst relevante Ergebnisse herausarbeiten. Dies gelang insbesondere dadurch, dass sowohl die Perspektiven der Fachkräfte als auch von Schüler*innen erfasst wurden. Außerdem nahmen die Studierenden unterschiedliche Sozialräume im städtischen und ländlichen Gebiet in den Blick. Zusammenfassen lassen sich die Ergebnisse in dreifacher Hinsicht:

- Digitale Angebote erfordern ein hohes Maß an Medienkompetenz, sowohl bei Fachkräften der Schulsozialarbeit, Lehrkräften als auch Schüler*innen.
- Die Nutzung der digitalen Angebote ist in hohem Maße abhängig von strukturellen und materiellen Rahmenbedingungen. Dies betrifft etwa die Verfügbarkeit von Endgeräten, die kommunalen Finanzstrukturen aber auch und insbesondere Fragen des Datenschutzes.
- Digitale Angebote können die direkten alltäglichen Begegnungen zwischen Schulsozialarbeiter*innen, Schüler*innen im Sozialraum Schule nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.

Diese Ergebnisse wurde am 9.2.2023 an einem Fachvormittag mit Fach- und Leitungskräften der Jugendsozialarbeit an Schulen an der Hochschule diskutiert. Drei kurze, prägnante Präsentationen der Projektgruppen bildeten die Grundlage für ein „World Café“, in denen Fachkräfte und Studierende gemeinsam über die aufgeworfenen Themen diskutierten.



Abbildung 1: Die Projektgruppen präsentieren ihre Ergebnisse vor Praktiker*innen. Bild: Paula Jönsson

5. Vernetzung und Transfer

Das Projekt ist in hohem Maß auf die Vernetzung mit den Praxispartner*innen angewiesen. Ohne diese Kooperation wäre diese Form der Lehrforschung nicht möglich. Umso wichtiger ist es, dass hierfür eine kontinuierliche Arbeitsbeziehung und Vertrauensgrundlage gepflegt wird, weil durch die Datenerhebungen Eingriffe in sensible Bereiche des professionellen Handelns stattfinden. Für Studierende besteht durch das Projekt die Möglichkeit, die Praxis in Form konkreter Akteur*innen kennenzulernen. Nicht unbedeutend ist hierbei für beide Seiten auch die Möglichkeit der Anbahnung von beruflichen Tätigkeiten nach dem Studium im Handlungsfeld. Mehrere Absolvent*innen des Schwerpunktes im Vorjahr begannen unmittelbar nach dem Studium in dem Bereich zu arbeiten, wobei der Studienschwerpunkt den Kontaktpunkt hierfür darstellte.

6. Fazit und Ausblick

Verlauf und Ergebnis des Projektes bestärkten alle Beteiligten, mit diesem Konzept grundsätzlich weiterzuarbeiten. Während in diesem Schwerpunkt ein sehr spezifisches Thema im Mittelpunkt stand, wird angedacht, im nächsten Durchgang mit der Frage der Kooperation zwischen schulischen Akteur*innen ein generalistischeres Thema aufzugreifen. Ausschlaggebend hierfür sind Rückmeldungen der Studierenden, nach denen sie sich auch durch das Lehrforschungsprojekt einen inhaltlich etwas breiteren Einblick in das Handlungsfeld gewünscht hätten.

Da es intensive Arbeitsbeziehungen zu anderen Akteur*innen im Bereich Schulsozialarbeit und Ganztagschule gibt, für die dieses Thema auch von hoher Bedeutung ist, ist geplant, den Kreis der Kooperationspartner*innen in diesem Projekt zu erweitern. Auch der Abschluss mit einem Fachtag soll aufgrund der äußerst positiven Erfahrungen fortgeführt und ausgebaut werden.

Lehrforschungsprojekt 2022: Die Nachhaltigkeitsziele (SDGs) im Kontext des Studiums an der Technischen Hochschule Nürnberg: NEXT STEP: Nachhaltige Expertise von Studierenden für Studierende

Prof. Dr. Markus Kosuch
Fakultät Sozialwissenschaften

Katrin Schwanke M.A.
Projektleitung SDGs go local, Bluepingu e.V.

Kerstin Seeger M.A.
wirKSam verändern // Aktivistin Bluepingu e.V.

David Schmierer & Katja Altmann
Projektmitarbeiter und Tutorin

Zusammenfassung:

Im Zentrum der Lehrforschung stand die Kernfrage, wie der notwendige sozial-ökologische Wandel ressourcenorientiert gestaltet werden kann und welchen Beitrag Studierende der Technischen Hochschule Nürnberg sowie die Hochschullehre hier leisten können. Der Bezug zu den SDGs und die eigenen Handlungsmöglichkeiten wurden forschend erschlossen und die Zusammenarbeit mit lokalen Projekten verstärkt. Von den Studierenden wurde Recherchearbeit zu spannenden Nachhaltigkeitsprojekten mit unterschiedlichen Ansätzen betrieben und eine Ausstellung durchgeführt. Durch die Expertise aus dem Projekt SDGs go local von Bluepingu e.V. wurden die Studierenden angeleitet, unterstützt und in ihrer Handlungsorientierung ausgebildet. Öffentliche Impulsvorträge aus der Praxis, Vor-Ort-Begehungen, sowie eine umfassende Publikation mit Beiträgen von Lehrenden und Lernenden runden das Projekt ab.

1. Projektdaten

| | |
|---------------------------------------|--|
| Fördersumme | 9.600 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Sozialwissenschaften, Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften |
| Projektleitung | Prof. Dr. Markus Kosuch |
| Projektteam (falls Nennung gewünscht) | Katrin Schwanke M.A. Projektleitung SDGs go local, Bluepingu e.V. Kerstin Seeger M.A. wirKSam verändern // Aktivistin Bluepingu e.V. David Schmierer, Projektmitarbeiter Katja Altmann, Tutorin |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: markus.kosuch@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die nachhaltigen Entwicklungsziele (Sustainable Development Goals SDGs, auch bekannt unter der Agenda 2030) umfassen 17 Themenbereiche, die weltweit zur Umsetzung beschlossen wurden. Auch Europa bekennt sich zu den Nachhaltigkeitszielen. Die Umsetzungsagenda muss aber stärker als bisher fokussiert werden und Wirkung entfalten. Hierbei können die Hochschulen und ihre Studierenden eine Vorreiterrolle einnehmen. Die 17 Ziele haben Bezüge zu allen Hochschuldisziplinen. Beispielhaft seien hier genannt: Gesundheit für alle – Hochwertige Bildung – Lebenswerte Städte – Kritischer Konsum – Allgemeine Rechtsstaatlichkeit. Passgenau dazu können die zehn Leitthemen der TH Nürnberg in Beziehung gesetzt werden. Vor allem die Leitthemen „Städte der Zukunft“, „Verkehr und Mobilität“, „Rohstoffe und Energie“, sowie „Gesundheit“ können adressiert werden. Die Hochschullehre an sich ist hier ein zentraler Aspekt.

Im Zentrum der Lehrforschung stand die Kernfrage, wie der notwendige sozial-ökologische Wandel ressourcenorientiert gestaltet werden kann und welchen Beitrag Studierende der Technischen Hochschule Nürnberg und auch die Hochschullehre hier leisten können. In diesem Kontext galt es, unterschiedliche nachhaltigkeitsorientierte Projekte und Ansätze sichtbar zu machen und auf eine starke Vernetzung zu setzen. Hierfür wurde von den Studierenden Recherchearbeit zu spannenden Nachhaltigkeitsprojekten mit unterschiedlichen Ansätzen betrieben.

Dabei wurden die Projekte und Vorhaben auch in einem politischen Kontext und auf der gesellschaftssystemischen Ebene reflektiert. Es sollten (überregionale beziehungsweise auch globale) Zusammenhänge, sowie destruktive gesellschaftliche und systemische Gegebenheiten erkannt und diskutiert werden, um auch darin eigene erste Handlungsmöglichkeiten zu erkennen.

Weiterhin entwickelten die Studierenden ein Ausstellungsformat, auf dem unterschiedliche Initiativen und Projekte gezeigt wurden.

Die Konzeption als Lehrforschung fokussierte eine hochwertige Hochschullehre, die Theorie mit Praxis verknüpft und Motivation, Eigeninitiative sowie Selbstreflexion fördert. Bluepingu e.V. war regionaler Kooperationspartner, der durch unterschiedlichste Projekte an der Umsetzung der nachhaltigen Entwicklungsziele arbeitet. So erfahren die Studierenden verschiedene Synergieeffekte und Transfermöglichkeiten im Rahmen der ökosozialen Transformation.

Durch die Zusammenarbeit in spezifischen Projektteams wurde die Arbeitsweise in heterogenen Arbeitsgruppen eingeübt. Bei dieser engen und interdisziplinären Verzahnung von Forschung und Lehre schwimmt die feste Rollenzuschreibung zwischen Lehrenden und Lernenden, Selbstorganisation und Eigeninitiative wurden gestärkt. Die Studierenden wurden in eine aktive Rolle versetzt, erleben Selbstwirksamkeit und erfahren Handlungsalternativen.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das bereits interdisziplinär ausgestaltete Lehrforschungsprojekt 2021 „Die nachhaltigen Entwicklungsziele im Kontext der Sozialen Arbeit“ setzte im Rahmen des Anschlussprojekts ab 2022 auf eine verstärkte Sichtbarmachung ausgewählter hochschulinterner wie -externer Akteur*innen der Nachhaltigkeit. Das Seminar im Sommersemester 2022 war interdisziplinär ausgeschrieben und von 15 Studierenden aus drei Studiengängen besucht. Unterschiedliche nachhaltigkeitsorientierte Projekte und Ansätze wurden im Rahmen einer „Projekt-Messe“ sichtbar gemacht sowie eine starke Vernetzung für eine „Grüne Hochschule“ im Kontext Urban Gardening realisiert. Hierzu fanden im Herbst/Winter 2022 interdisziplinäre öffentliche Veranstaltungen in Kooperation mit der „Essbaren Stadt Nürnberg“ (Bluepingu e.V.) sowie dem Gartennetzwerk Nürnberg statt: „Klimaanpassung – Neue Grundnahrungsmittel und neue Wurzelqualitäten kultivieren“ sowie „Essbares Nürnberg“ mit Bezug zu den Sustainable Development Goals (SDGs) für zukunftsfähige Stadtentwicklung und öffentlichen Raum, Umweltbildung und Bottom-up-Projekte. Mehrere Projekte wurden vor Ort besucht.

Die innovative Lehr-Lern-Forschung, die sich durch eine enge Verzahnung von Theorie und Praxis ausweist, trägt zu einer strukturierten und fachlich hochwertigen Auseinandersetzung mit dem späteren Berufsalltag bei. Durch die Verknüpfung von fachwissenschaftlichen Inhalten und praxisorientierter Methodologie erhielten unsere Studierenden die Chance, reale Anwendungsmöglichkeiten und Schnittstellen der einzelnen Bereiche ihres Studienfaches sowie Verbindungen zu den nachhaltigen Entwicklungszielen bereits in einer frühen Phase ihres Studiums zu erfahren. Dies hat den großen Vorteil, dass sich so die häufig vorhandene Trennung in universitäre Theorie und berufliche Praxis auflösen lässt. Durch die engmaschige Vernetzung aller Beteiligten (Studierende, Lehrende, Kooperationspartner) wurde der Grundstein für eine umfassende und wertschätzende Feedbackkultur gelegt und die Verknüpfung von Wissenschaft und Praxis klar gestärkt.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Es wurden drei Projekte erarbeitet und auf der Projektmesse am 23.06.2022 vorgestellt. Diese trug den Titel: „Nachhaltig Studieren – auf den Spuren der Nachhaltigkeit – Schätze sichtbar machen“.

Zudem wurde der Bezug zu den SDGs herauskristallisiert und ein umfassendes Nachhaltigkeitsverständnis entwickelt: „Dass das Thema so vielseitig ist und nicht nur aus Umweltthemen besteht, war mir irgendwie noch nie so bewusst und wurde mir erst durch die Stunden in diesem Modul klar. Von den 17 Nachhaltigkeitszielen hat man irgendwie irgendwann schon einmal gehört, aber ich habe sie mir noch nicht genauer angeschaut. Das Thema Nachhaltigkeit kann so bunt und interessant sein.“ (Reflexion Leoni Hermann)

„Durch die vielen Vorstellungsrunden mit den anderen Teilnehmern habe ich auch eine komplett neue Vorstellung von dem Thema Nachhaltigkeit bekommen. So wurden zum einen die Kartoffelschalen zu Chips oder Radieschenstängel zu einem Pesto verarbeitet. Aber auch die Lebenseinstellung bezüglich Second-Hand-Produkten konnte ich miterleben.“ (Reflexion Nico Knopp)

▪ Projekt: Ein Herz für Reste – Ergebnisse aus der Reflexionsarbeit der Projektgruppe:

Bei dem Projekttag (23.06.2022) konnten wir die Öffentlichkeit davon überzeugen, dass Lebensmittelreste gar keine Reste sein müssen. Es hat uns gefreut, unser Wissen als Expert*innen nicht nur an diesem Tag, sondern auch in Form unserer Website nachhaltig weiterzugeben. Die „Neugierde auf das Ergebnis und keine Angst vor dem Prozess“ war dabei unser Leitgedanke, wenn wir mal ins Stocken kamen. Letztendlich konnten wir voller Stolz unsere Ergebnisse präsentieren und auch die Ergebnisse Anderer erfahren.“



Projektgruppe "Ein Herz für Reste" auf der Projektmesse. Foto: Katja Altmann

„Durch das Projekt hat sich unsere Wahrnehmung und Aufmerksamkeit nachhaltig – in Bezug auf die Verwertung von Lebensmitteln – verändert.“,

▪ Interview-Projekt: „Nachhaltigkeit“ – Notwendigkeit, Modeerscheinung, oder was?! - Ergebnisse aus der Reflexionsarbeit:

„Bei unserem Projekt war es mir persönlich vor allem ein Anliegen, unterschiedliche Perspektiven auf Nachhaltigkeit darzustellen – nicht nur die im akademischen Milieu ohnehin tendenziell vorherrschende. (...) Durch die Interviews selbst dagegen bin ich auf mitunter ganz neue Gedanken und Herangehensweisen gestoßen, die mich inner- und außerhalb meines Studiums wohl auch noch über den Projektzeitraum hinaus beschäftigen werden.“ (Reflexion Rene Glöckner)

„Ebenso lernte ich generell, was ein Interview als Befragungsform überhaupt ist, sodass ich es als sehr reichhaltige Forschungsmethode in meinem weiteren Studium anwenden werde. Des Weiteren sind mir auch die Grenzen solcher Interviews aufgefallen. Was kann man eigentlich veröffentlichen? Inwiefern sind die Menschen bereit, sich in diesem Rahmen frei zu äußern, und wie kritisch dürfen sie sein? Es ergab sich ein zwiespältiger Eindruck, einerseits hatten die Probanden Interesse gezeigt, andererseits Bedenken.“ (Reflexion Amiran Hiebel)

- Nachhaltiges Projekt: Plasma spenden und Leben retten – Ergebnisse aus der Reflexionsarbeit:

„Zusammenfassend können wir sagen, dass wir uns für ein sehr interessantes und wissenswertes Thema entschieden haben, das man nicht sofort unter Nachhaltigkeit sieht, das aber definitiv dazugehört.“

„Genauso ist es nachhaltig, auf seine Gesundheit zu achten. Mir ist das persönlich sehr wichtig, da man als gesunder Mensch viel mehr Positives leisten kann als ein kranker Mensch.“



Die Seminar-Teilnehmenden am Projekttag. Foto: Katja Altmann

5. Vernetzung und Transfer

Vernetzung und Transfer waren dem Projektdesign inhärent. Die Vernetzung mit dem lokalen Wandel-Akteur Bluepingu e.V. mit seinen Projekten „SDGs go local“, sowie „Essbare Stadt Nürnberg“ wurde durch direkte Projekt-Mitwirkung sowie gemeinsame Vor-Ort-Begehung gestärkt und für die Studierenden greifbar und nahbar.




Essbare Stadt Nürnberg Vision, Aktivitäten & Vor-Ort-Besuch

HERZLICHE EINLADUNG

... ein Blick hinter die Kulissen ...

Das Projekt „Essbare Stadt Nürnberg“ gibt Einblick in seine Aktivitäten und die Vision, die es antreibt. In einem einführenden Vortrag wird das Projekt und sein Bezug zu den Nachhaltigkeitszielen (SDGs) vorgestellt. Im zweiten Teil erhalten Studierende, Dozierende und Interessierte bei einem Vor-Ort-Besuch der Essbaren Stadt im Stadtteil St. Johannis die Gelegenheit, hinter die Kulissen zu schauen und ihren Blick auf den öffentlichen Raum zu verändern. - **Für alle**, die sich für zukunftsfähige Stadtentwicklung und öffentlichen Raum, Umweltbildung und Bottom-up-Projekte interessieren!

Wann: Am Samstag, den 12.11.2022
 TEIL 1 - Impulsvortrag: 14:00 Uhr bis 15:00 Uhr
 am Kesslerplatz 12, Raum KA.502 an der TH Nürnberg
 TEIL 2 - Vor-Ort-Besuch: 15:30 Uhr bis 16:30 Uhr
 Lindengasse 47 (am Pfarrhaus) in St. Johannis
 Gemütlicher Ausklang mit einem Heißgetränk :)




Veranstaltung in Kooperation mit Essbare Stadt Nürnberg und SDGs go local. Gestaltung: Kerstin Seeger

Die Kontakte können im weiteren Studienverlauf von den Studierenden genutzt werden. Die Vor-Ort-Besuche führten zu direkten Erlebnissen und echter Erfahrung.

Es gelang, eine auf Diversität hin ausgerichtete Forschungskultur zu erleben und diese auf die eigene Forschungs- und zukünftige Berufspraxis hin zu reflektieren. Kooperationen der Technischen Hochschule Nürnberg mit Initiativen der Zivilgesellschaft wurden verstärkt – siehe beispielhaft hierzu die beiden Veranstaltungsflyer.

6. Fazit und Ausblick

Der Fokus des Lehrkonzepts lag auch auf motivationalen Faktoren. Die Annahme, dass eigene Fragestellungen aus persönlichen Interessensfeldern sowie das Erfahrbarmachen von realen Projekten und Orten den Lehr- und Lernprozess befördern und positiv gestalten, kann als Erfahrungswert aus dem Lehrforschungsprojekt bestätigt werden.

Studierende entwickelten konkrete Projekte, lernten und lehrten den Zusammenhang zu den Nachhaltigkeitszielen.

The poster features a background of green leaves. The text is arranged as follows:

Einladung
**Vortrag Klimaanpassung:
Neue Grundnahrungsmittel & neue
Wurzelqualitäten kultivieren**

Essbare Baumlandschaften!

Baumschule WurzelWerk
Hendrik Gaede & Franziska Wolpert

Waldgärten // Permakultur // Regenerative
Landbewirtschaftung // Agroforst // Keyline Design //

Kommt und bringt Eure Fragen mit!

am 25. Oktober um 18:00 Uhr
an der TH Nürnberg,
Bahnhofstraße 90, Hörsaal BB006

Eine Veranstaltung der TH Nürnberg in
Kooperation mit dem Gartennetzwerk
Nürnberg & der Essbaren Stadt

Logos at the bottom include:
- Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
- GartenNetzwerk Nürnberg
- Essbare Stadt Nürnberg
- Baumschule WurzelWerk logo with the tagline "Gut verwurzelt in die Zukunft" and the website www.Baumschule-WurzelWerk.de
- Contact information: "Die Wurzelwerker bringen Bäume für Euch mit! Vorbestellen unter: 0151-54886959 oder 0160-3465513"

Veranstaltung in Kooperation mit Gartennetzwerk Nürnberg. Gestaltung: Kerstin Seeger

Aus didaktischer Sicht wurde deutlich, dass die Studierenden eine geeignete Balance zwischen inhaltlichem Freiraum und Prozess-Struktur benötigten, die im Dialog immer wieder angepasst wurde: „Was braucht ihr zur Zielerreichung? Welche Information ist für Euch noch wichtig?“.

Die Erfahrung aus dem Lehrforschungsprojekt zeigt, dass sich die Rolle der Lehrenden für vertiefte, nachhaltige Lernerfahrungen verändern darf: weg von der Wissensweitergabe hin zum/zur „Prozessbegleiter*in“ und „Erfahrungskoordinator*in“. Die Lernenden greifen Wissens- und Erfahrungsimpulse auf und vertiefen diese selbständig.

Die Weiterführung der Themen fließt ein in eine vertiefte Beschäftigung mit den Themenbereichen „Grüne Hochschule“, „Community Building“, „geteilte Verantwortung im öffentlichen Raum“.

Partizipation durch „Mitmachbaustellen“

M.A.; Dipl. Sozpäd. Ulrike Krämer
Fakultät Sozialwissenschaften

Dipl. Päd. Univ.; Dipl. Sozpäd. Melanie Mengel
Fakultät Sozialwissenschaften

Prof. Ingrid Burgstaller
Fakultät Architektur

Friedrich Meyer, Stadtplaner ByAK, Dipl. - Wirtschaftsingenieur (FH), Dipl. Geograf (TU), Planer SRL
Fakultät Sozialwissenschaften (Lehrbeauftragter)

M. Eng. Daniela Ullmann
Fakultät Bauingenieurwesen

Zusammenfassung:

Bei der städtebaulichen Entwicklung ist auch das Zusammenleben heterogener Bevölkerungsgruppen zu berücksichtigen. In der Praxis bestehender Beteiligungsverfahren zeigt sich oft, dass für bestimmte Bewohnergruppen besondere Partizipationskonzepte nötig sind. Studierende (BA Soziale Arbeit, sechstes/ siebtes Semester) haben an drei Standorten (Luzern, Wien, Nürnberg) die Umsetzung von insgesamt vier „Mitmachbaustellen“ mit ethnographischen Methoden evaluierend begleitet. Dabei identifizierten sie Gelingens- und Hemmnisfaktoren in der Planung und Durchführung dieses Beteiligungsformats. Nach vier Semestern Online-Studium konnten sie sich qualitative Forschungsmethoden nicht nur theoretisch aneignen, sondern auch anwenden, reflektieren und so praktische Erfahrungen sammeln.

Projektdaten

| | |
|------------------------------|--|
| Fördersumme | 9.772 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Sozialwissenschaften |
| Projektleitung | M.A. Univ, Dipl. Sozpäd. Ulrike Krämer und Dipl. Päd. Univ., Dipl. Sozpäd. Melanie Mengel |
| Projektteam | Prof. Ingrid Burgstaller (Fak. AR), M. Eng. Daniela Ullmann (Fak. BI), Stadtplaner ByAK, Dipl. - Wirtschaftsingenieur (FH), Dipl. Geograf (TU), Planer SRL Friedrich Meyer (Lehrbeauftragter, Fak. SW) |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: ulrike.kraemer@th-nuernberg.de |

1. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Der gesellschaftliche Wandel (demografisch, sozial, technisch, ökonomisch) zeigt sich in besonderer Weise in Städten und bringt vielgestaltige Bewältigungsaufgaben mit sich. Kommunen sind gefordert, mit der städtebaulichen Entwicklung auch das Zusammenleben unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen und die Integration ins Gemeinwesen zu fördern. Öffentliche Grün- und Freiflächen besitzen für soziale Begegnung und Gesundheit der Bewohner*innen eine Schlüsselstellung (Adli & Schöndorf, 2020; LGZ.NRW, 2019).

Die Beteiligung der Wohnbevölkerung an Stadtentwicklungsmaßnahmen zielt darauf, die Identifikation mit dem Quartier und damit auch die Übernahme gemeinschaftlicher Verantwortung zu fördern. Entsprechende kommunale Partizipationsbestrebungen sind weitreichend etabliert, doch zeigt die Praxis, dass diese die unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen nicht in gleichem Maße erreichen, sondern es gezielterer Zugänge für sogenannte beteiligungsferne Gruppen bedarf (Selle, 2021).

Zudem endet die Beteiligung in aller Regel mit der Planungsphase, bauliche Maßnahmen liegen in professioneller Hand. Möglichkeiten zur Aneignung von Räumen mit gegebenenfalls positiven Effekten auf das Selbstwirksamkeitserleben der Beteiligten, indem der eigene aktive Beitrag zur Verbesserung des Wohnumfeldes erfahr- und sichtbar wird, bleiben so ungenutzt (Fabian, 2016). Gleiches gilt für die Erfahrung kollektiver Wirksamkeit und die Stärkung nachbarschaftlicher Ressourcen, die unter anderem auch in die weitere Pflege der Spiel- oder Grünflächen eingebracht werden könnten.

An dieser Stelle setzt das Konzept der Mitmachbaustellen (MB) an: Durch Beteiligung von freiwilligen Helfer*innen am praktischen Umbau in Form von Aktionstagen kann die Begegnung unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen intensiviert und das im Planungsprozess entstandene Engagement nachhaltig weitergeführt werden. Kommunen, selbst wenn sie solchen Partizipationsprozessen gegenüber aufgeschlossen sind, mangelt es jedoch oft an praktischem Umsetzungswissen, zum Beispiel zu Haftungs- und Sicherheitsfragen sowie zu organisatorischen Schritten.

Im Projekt „Mitmachbaustellen“ sollten studentische Projektgruppen an ausgewählten Standorten die Umsetzung solcher Beteiligungsformaten durch forschendes Lernen begleiten, unter anderem durch teilnehmende Beobachtung und Befragungen. Das Projekt wurde vorbereitet durch den Zuschuss für hauptamtlich lehrende Frauen der Hochschulfrauenbeauftragten. Dies ermöglichte zum einen, ein Wissens- und Erfahrungsstand zu Mitmachbaustellen durch Recherchen und Befragungen zusammenzutragen. Zum anderen wurden Kooperationen zu überregionalen Projektträgern aufgebaut. Darüber hinaus konnte der Austausch mit regionalen Akteuren vorangetrieben werden, um potenzielle Mitmachbaustellen auch im Raum Nürnberg zu erproben.

Ziel war, die Begleitung solcher Partizipationsprojekte durch studentische Lehr-Lernforschung auch für zukünftige Lehrveranstaltungen vor Ort zu etablieren. Die Studierenden sollten sich nach vier Semestern Online-Studium qualitative Forschungsmethoden nicht nur theoretisch aneignen, sondern diese in der Praxis anwenden, reflektieren und damit Forschungserfahrung sammeln. Es ging darum, im Rahmen der Projekte alle Phasen des Forschungsprozesses kennenzulernen und aus den Ergebnissen förderliche und hinderliche Einflussfaktoren für die Planung und Umsetzung von Mitmachbaustellen zu identifizieren.

2. Herangehensweise und Lehrkontext

Die Studierenden des Bachelorstudiengangs Soziale Arbeit sollen sich im fünften und sechsten Semester mit einem Arbeitsfeld der Sozialen Arbeit auseinandersetzen und vertiefte Erkenntnisse zu spezifischen Anforderungen dazugewinnen.

Das Lehrforschungsprojekt war im Studienschwerpunkt „Integrierte Stadtentwicklung“ angesiedelt. In diesem Schwerpunkt entwickelten die 13 teilnehmenden Studierenden im Rahmen der interdisziplinären Ringvorlesung (beteiligt waren auch die beiden Fakultäten Architektur und Bauingenieurwesen/ Urbane Mobilität) eine Perspektive für interdisziplinär angelegte Arbeitsfelder der Stadtplanung und Stadtentwicklung. Ergänzend dazu verfolgten sie ihre Projektarbeit.

In der vorbereitenden Ringvorlesung setzten sich die Studierenden mit Planungs- und Entscheidungsstrukturen im Bereich der Stadtplanung und Stadtentwicklung auseinander und beschäftigten sich mit dem öffentlichen Raum als Spannungsfeld unterschiedlicher Interessen und damit auch mit möglichen Interessenskonflikten bei der (Um)Gestaltung von Freiraum. Sie befassten sich mit unterschiedlichen Konzepten der Partizipation im Allgemeinen und mit dem Verfahren „Mitmachbaustelle“ als partizipativen Prozess in der Freiraumentwicklung im Besonderen und konnten ein Verständnis für die Herausforderungen echter Partizipation entwickeln. Zur Realisierung der Projekte wurden Kooperationen mit unterschiedlichen Akteuren eingegangen sowie Rolle und Auftrag der Studierenden entwickelt und konkretisiert. Dazu gehörten unter anderem die Stadt Nürnberg (SÖR Service Öffentlicher Raum, Jugendamt), ein mit Mitmachbaustellen erfahrenes Landschaftsarchitekturbüro in der Schweiz (ecovia gmbh) und die Stadt Wien (Verein Agenda 21). Auf dieser Grundlage konnten insgesamt vier studentische Projekte in Nürnberg (2), Luzern und Wien realisiert werden.

Im Rahmen des Lehrforschungsprojekts wurden die Studierenden an allen Phasen des Forschungsprozesses aktiv beteiligt und sie wurden angeleitet:

- organisatorische Aufgaben bei der Projektplanung und -durchführung zu erkennen und zu beachten
- Forschungsfragestellungen zu entwickeln
- das Forschungsdesign zu entwickeln (Auswahl und Abwägung der möglichen Forschungsmethoden zur Erhebung und Auswertung)
- die Forschungsmethoden im Feld anzuwenden, Daten zu sammeln und auszuwerten (unter anderem Verwendung von Transkriptionssoftware und Datenanalyse) sowie die Ergebnisse zu diskutieren
- die Forschungsergebnisse zu dokumentieren und zu präsentieren
- einen Projektbericht zu verfassen.

Der Forschungsprozess war in vier Arbeitsschritte gegliedert:

- Januar und Februar: Einsatzplanung mit den Projektträgern in der Schweiz, in Österreich und in Deutschland; weitere Vernetzung sowie Austausch mit potenziellen, zukünftigen Projektpartnern in der Region mit dem Ziel der Übertragung des Modellkonzepts „Mitmachbaustellen“.
- Februar und März: Vorbereitung der Veranstaltung im Schwerpunkt, Fertigstellung des didaktischen Konzepts, Reiseplanung
- März bis Juni: Durchführung des Projekts mit den Studierenden (Einführung in die Theorie und in Methoden), Einsatzplanung
- Oktober bis Dezember: Durchführung des Projekts (Einsatz vor Ort), Reflexion und Evaluation, Diskussion der Ergebnisse, Verschriftlichung, Planung eines Fachtages zur Wissensdissemination in 2023.

Während der Laufzeit wurden die Studierenden von einem multiprofessionellen Dozentinnen- und Dozententeam aus den Bereichen Soziale Arbeit, Soziologie, Pädagogik, Architektur, Verkehrswissenschaft, Kulturgeographie, Stadt- und Raumentwicklung begleitet; zwei studentische Hilfskräfte unterstützten sie über den gesamten Forschungsprozess. Weiterhin waren sie in die relevanten Netzwerke der Projektträger vor Ort (Planungsbüros für Landschaftsarchitektur und Spielplatzbau, zivilgesellschaftliche Initiativen, relevante kommunale Dienststellen) an den verschiedenen Projektstandorten eingebunden, und sie konnten zu den Bewohnerinnen und Bewohnern, die jeweils an den Mitmachbaustellen beteiligt waren, Kontakte knüpfen und eng mit ihnen zusammenarbeiten.

Die Teilprojekte wurden an drei Projektstandorten in Deutschland, in Österreich und in der Schweiz umgesetzt, wobei die Auseinandersetzung mit den „Mitmachbaustellen“ in verschiedenen Stadien stattfand:

LLuzern/Schulhofgestaltung Maihofschule: Hier setzten sich die Studierenden mit der praktischen **Durchführung einer „Mitmachbaustelle“** auseinander. Teilbereiche des Schulhofs sollten naturnah umgestaltet werden. In diesem Projekt wurden Schüler*innen der Primarschule bereits am Planungsprozess beteiligt, und sie durften im Rahmen einer „Mitmachbaustelle“ bei der Gestaltung konkret mit anpacken. Die Studierenden untersuchten Gelingensbedingungen sowie Hemmnisse, die die Umsetzung einer „Mitmachbaustelle“ positiv beziehungsweise negativ beeinflussen, und sie konnten sich neben der Beobachtung und Befragung direkt in den Umgestaltungsprozess, aktiv auf der Baustelle, mit einbringen.

- **Wien/Grätzloasen:** Das zweite Teilprojekt untersuchte die **Wirkung von bereits umgesetzten „Mitmachbaustellen“** im öffentlichen Straßenraum am Beispiel von „Parklets“, den sogenannten „Grätzloasen“, in Wien. Im Zentrum des Forschungsberichts stand die Frage, unter welchen Bedingungen sich Bürger*innen bei der Gestaltung ihrer Grätzloase engagieren. Auch hier ging es konkret um die Gelingensbedingungen und Hemmnisse für das Engagement, eine „Mitmachbaustelle“ zu planen und in Eigenregie umzusetzen.
- **Nürnberg/Marie-Beeg-Straße:** In diesem Projekt steht die bauliche Umgestaltung eines Quartiersplatzes im Mittelpunkt. Die Beteiligung der Bewohnerschaft an der Neuplanung des Platzes hatte bereits stattgefunden. Die Studierenden sollten nun vor der Umbauphase Kontakt zu Anwohnerinnen und Anwohnern aufnehmen, um mit ihnen konkrete Beteiligungsmöglichkeiten für den Prozess der Umgestaltung zu entwickeln und damit Umsetzungsmöglichkeiten **einer „Mitmachbaustelle“ konkret zu planen** (zum Beispiel in Form von Zwischennutzungen oder gemeinsamen Bepflanzungsaktionen).
- **Nürnberg/Weltacker:** Auch in diesem Projekt ging es um die **Planung und Umsetzung aktivierender Maßnahmen** mit dem Ziel, Anwohner*innen in Form einer „Mitmachbaustelle“ zu beteiligen.



Abbildung 1: Grätzloase in Wien. (Foto: Projektgruppe)



Abbildung 2: Projekt Welttacker in Nürnberg. (Foto: Theresa Bauer)

3. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Über die vier Teilprojekte hinweg konnten sowohl bezogen auf den Bau wie auf die spätere Nutzung die folgenden **Gelingensfaktoren** für eine erfolgreiche Partizipation identifiziert werden:

- der politische Wille, Beteiligung zu ermöglichen
- ein gemeinsames Verständnis von Partizipation und Regeln für den Umgang miteinander
- flexible Strukturen, um zeitliche und räumliche Ressourcen zu nutzen, eigene Ideen und Perspektiven einzubringen und ein angemessenes Verhältnis von vorgegebener Struktur und Freiraum zu gewährleisten
- durchgängige Dokumentation sowie prozessorientierte Evaluation und Reflektion des Partizipationsprozesses, um mögliche Fehlentwicklungen korrigieren und revidieren zu können
- geeignete Strategien, um die Zielgruppe anzusprechen und aktive Einbindung in Entscheidungen sowie eine effektive Beteiligung in allen Phasen des Projekts sicherzustellen
- die Einbindung in einen kommunalen Gesamtzusammenhang, klare Rahmenbedingungen und eine gesicherte Finanzierung.

Die Auswertung der Forschungsergebnisse zeigt außerdem, dass eine gelingende Partizipation vielfache **positive Auswirkungen** auf das Zusammenleben im Stadtteil hat und **soziale Potenziale** mobilisiert:

- die Identifikation mit dem Stadtteil und seinen Bewohnerinnen und Bewohnern wird gefördert;

- die Erfahrung, etwas an der eigenen Lebenswelt verändern zu können, fördert die Selbstwirksamkeit und die Entwicklung sozialer Kompetenzen;
- dadurch werden die soziale Einbindung und Kooperation im Stadtteil gestärkt
- Erfolgserfahrungen im Partizipationsprozess fördern Selbstbestimmung, Eigeninitiative und Lernmotivation und strahlen somit auch positiv auf andere Lebensbereiche der Bewohner*innen aus.

4. Vernetzung und Transfer

Das Projekt beförderte einen aktiven, überregionalen Austausch mit Kooperationspartnern, die über vielfältige und langjährige Erfahrung mit Mitmachbaustellen verfügen:

- Landschaftsarchitekturbüros Stadt + Natur, Annweiler, und Ecovia, CH-Geuensee (Projekt Maihofschule Luzern)
- Verein Lokale Agenda 21 Wien (Projekt Grätzloasen).

Am Standort Nürnberg wurden die beiden „Mitmachbaustellen“ durchgeführt in Zusammenarbeit mit:

- Der Stadt Nürnberg, SÖR Service Öffentlicher Raum (Projekt Marie-Beeg-Straße) sowie mit
- Bluepingu e.V und der Innovation und Zukunft Stiftung (Projekt Weltacker).

Im Anschluss an die Ergebnisse der Projekte soll ein praktischer Handlungsleitfaden zur Umsetzung von Partizipation durch „Mitmachbaustellen“ erstellt werden. In Planung ist ein interprofessioneller Fachtag zur Wissensdissemination und Diskussion mit den überregionalen Kooperationspartnern und kommunalen Akteuren vor Ort.

5. Fazit und Ausblick

„Mitmachbaustellen“ haben Potenzial, die Partizipation verschiedener Bevölkerungsgruppen zu fördern. Jedoch bedarf es dazu systematischer Vorgehensweisen und ausreichender Ressourcen. Die vier studentischen Projektgruppen setzten an unterschiedlichen Phasen der Beteiligung an, beteiligten sich aktiv an den Projekten und verbanden dies mit ihrer Forschungsarbeit. Dabei identifizierten sie vielfältige Gelingensbedingungen für und positive Effekte von Partizipation im Quartier, die sich zu praktischen Handlungsanleitungen verdichten lassen.

Die Evaluation des Seminars ergab durchwegs positive Ergebnisse. Sowohl die interdisziplinär angelegte inhaltliche Vorbereitung als auch den Einsatz ethnografischer Forschungsmethoden in der Praxis bewerteten die Studierenden als spannend und lehrreich. Insbesondere bei den beiden Auslandsprojekten waren Erfahrungen mit anderen kommunalen Verwaltungsstrukturen und Vorgehensweisen sehr lehrreich. Die Methode der Lehrforschung in einem Projektkontext motivierte die Studierenden außerordentlich und trug zu hohen Lernerfolgen bei.

Eine Weiterführung des Projekts in Form eines Leitfadens sowie ein Fachtag zum Thema Partizipation durch „Mitmachbaustellen“ ist geplant.

6. Literatur

- Adli, Mazda & Schöndorf, Jonas (2020): Macht uns die Stadt krank? Wirkung von Stadtstress auf Emotionen, Verhalten und psychische Gesundheit. In: Bundesgesundheitsblatt, 63 (S. 979-986). Das ist Blindtext.
- Fabian, Carlo (2016): Der Beitrag partizipativer Prozesse bei der Freiraumentwicklung für die Gesundheit von Kindern. Eine theoretische Annäherung. In: Umweltpsychologie, 20, 2 (S. 112-136).
- LGZ.NRW (2019): Leitfaden Gesunde Stadt. Hinweise für Stellungnahmen zur Stadtentwicklung aus dem Öffentlichen Gesundheitsdienst. Bochum.
- Selle, Klaus (2021): Es geht um die Substanz. In Prozessen der Stadtentwicklung glaubwürdig beteiligen. In: Stiftung Mitarbeit (Hg.): Glaubwürdig beteiligen. Impulse für die partizipative Praxis. Bonn.

Drucksintern von Hochleistungskeramik

Prof. Dr.-Ing. Hannes Kühl
Fakultät Werkstofftechnik

Zusammenfassung:

Im Rahmen des Projekts wurden von Studierenden der Projektgruppe „Hochleistungskeramik“ Drucksinterprozesse für zwei herausragende High-Tech-Keramiken entwickelt: Borcarbid und Siliziumcarbid. Beide Keramiken zeichnen sich durch extrem hohe Härte aus, sind jedoch drucklos nicht dicht zu sintern. Mithilfe der in der Fakultät Werkstofftechnik vorhandenen Heißpresse wurden unterschiedliche Zusammensetzungen dieser Keramiken bei Temperaturen bis 2.000 °C mit einem Druck von 80 MPa gesintert und dabei sehr hohe Dichten nahe 100 % erreicht. Entsprechend gut waren die Eigenschaften. Die Borcarbid-Keramiken erreichten Härtewerte über 40 GPa, was nur noch von kubischem Bornitrid und Diamant übertroffen wird. Die Studierenden, die aus dem vierten und sechsten Semesters im Bachelor „Angewandte Materialwissenschaften“ stammten, entwickelten die Prozesse nach Einführung und Anleitung von Prof. Kühl und führten die Versuche und die nachfolgende Charakterisierung der Werkstoffe vollkommen selbstständig durch. Die Ergebnisse wurden in einem Abschlussbericht vorgestellt. Außerdem ist eine Veröffentlichung in Vorbereitung. Die Ergebnisse bildeten die Basis für eine nachfolgende Masterarbeit, die den Drucksinterprozess von Borcarbid genauer untersucht.

1. Projektdaten

| | |
|---------------------------------|--|
| Fördersumme | 7.000 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät | Werkstofftechnik |
| Projektleitung | Prof. Dr.-Ing. Hannes Kühl |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: hannes.kuehl@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Keramische Werkstoffe werden üblicherweise über sogenannte Sinterprozesse hergestellt, das heißt, die geformte „rohe“ Keramik wird einem Temperaturprozess (in der Regel $> 1.000\text{ °C}$) ausgesetzt, wodurch die Keramik die nötige Festigkeit und ihre finalen Eigenschaften erhält. Gerade für verschiedene Hochleistungskeramiken reicht eine bloße Temperaturbehandlung nicht aus, die Keramik zu einem dichten Werkstoff mit guten Eigenschaften zu sintern. Es ist hier notwendig, während des Sinterprozesses auch einen externen Druck auf die Keramik auszuüben. Man spricht dann vom Drucksinterprozess.

Ziel des Projekts war die Entwicklung entsprechender Drucksinterprozesse durch die Studierenden für zwei verschiedene herausragende Keramikwerkstoffe, die sich durch extrem hohe Härte, sehr hohe Festigkeit und elektrische Leitfähigkeit auszeichnen: Borcarbid B_4C und Siliziumcarbid SiC . Beide Werkstoffe lassen sich mit den gewöhnlichen Sinter Techniken nicht oder nur mit extremem Aufwand, wie zum Beispiel extrem hohen Sintertemperaturen über 2.200 °C herstellen und weisen dann auch schlechtere Werkstoffeigenschaften auf. Mit den von den Studierenden zu entwickelnden Drucksinterprozessen werden daher Verfahren entwickelt, mit denen diese Keramikwerkstoffe mit besten Materialeigenschaften bei niedrigeren Temperaturen von maximal 2.000 °C hergestellt werden können.

Das Projekt eignet sich ideal als Lehrforschungsprojekt, da die einzelnen Studierendengruppen unterschiedliche Teilprojekte bearbeiten können, sich aber regelmäßig über den Projektfortschritt austauschen und aus den gegenseitigen Erkenntnissen, auch über die Herangehensweise und Methodik lernen können.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Projekt wurde in verschiedene Teilprojekte untergliedert, die unter den Studierenden aufgeteilt wurden, sodass jede Studierendengruppe ein eigenes Projekt bearbeiten konnte.

Das erste Teilprojekt war die Entwicklung der Drucksinterprozesse für die B_4C - und SiC -Keramiken. Hierfür wurden zunächst unterschiedliche auf dem Markt verfügbare Rohstoffe eingekauft und teilweise modifiziert. Die Modifikation bestand darin, dass dem Borcarbid-Pulver entweder 4 % Grafitpulver zugegeben wurde, da dies die Verdichtung unterstützen sollte, oder das Borcarbid-Pulver mit Zirkonoxid-Mahlkugeln aufbereitet wurde. Anschließend erfolgte die Drucksinterung in einer Heißpresse bei Temperaturen zwischen 1.900 und 2.000 °C mit 30 min Haltezeit und einem Pressdruck von 80 MPa . Abbildung 1 zeigt Ferdinand Nibler, Studierender in diesem Lehrforschungsprojekt, wie er gerade das Presswerkzeug samt Probe (im Inneren) in die Heißpresse stellt.



Abbildung 1: Ferdinand Nibler stellt eine Probe in die Drucksinteranlage; Foto: Hannes Kühl

Das zweite Teilprojekt bestand aus der Charakterisierung der so hergestellten Keramiken. Die Keramiken mussten hierfür zunächst geschliffen werden, da sich nach dem Drucksinterprozess an deren Oberfläche Rückstände des Presswerkzeugs befanden. Anschließend wurden die Keramiken hinsichtlich Dichte, Härte und Bruchzähigkeit untersucht.

Die Studierenden, allesamt Studierende des vierten und sechsten Semesters des Bachelor-Studiengangs „Angewandte Materialwissenschaften“, wurden während des gesamten Projekts intensiv durch den Projektleiter Prof. Dr. Hannes Kühl betreut. Die Studierenden belegten hierfür das Wahlpflichtfach „Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten“. Im Rahmen dieses Moduls sollen die Studierenden das systematische Erarbeiten wissenschaftlicher Kenntnisse sowie die Systematik beim Erstellen wissenschaftlicher Versuchsreihen, deren praktische Umsetzung und deren wissenschaftliche Auswertung kennenlernen. Nach einer Einführungsveranstaltung, in der die Grundlagen der genannten Werkstoffgruppen vermittelt wurden, erfolgte zunächst eine intensive Literaturrecherche. Anschließend starteten die oben genannten Teilprojekte in den Laboren der Fakultät Werkstofftechnik.

Das Projekt wurde außerdem durch den Doktoranden Christian Bechteler der University of Oxford, UK begleitet. Herr Bechteler war vormals Bachelor- und Masterstudent an der Fakultät Werkstofftechnik und promoviert derzeit an der Oxford University auf dem Gebiet des Flash-Sinterns von Borcarbid (beim Flash-Sintern wird die Keramik während des Sinterprozesses mit hohen elektrischen Strömen durchflossen, was ebenfalls die Verdichtung erhöhen soll). Die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse dienen als Referenzwerte zu den in Oxford durchgeführten Versuchen. Die Studierenden hatten somit auch die Gelegenheit, die Problemstellung und erzielte Ergebnisse mit einem Absolventen zu besprechen und Informationen über ein Promotionsstudium im Ausland zu erhalten.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen des Projekts konnten erfolgreich dichte Borcarbid-Keramiken hergestellt werden. Tabelle 1 zeigt die hergestellten Zusammensetzungen und relativen Dichten der B_4C - und SiC -Keramiken. In Abbildung 2 sind die Dichten der B_4C -Keramiken in Abhängigkeit von der Sintertemperatur dargestellt. Es zeigt sich, dass die Dichte zwischen 1.900 und 2.000 °C noch deutlich ansteigt, bei 2.000 °C jedoch für viele Proben nahe der theoretischen Dichte von 2,52 g/cm³ liegt. Die ZrO_2 -haltigen Proben zeigten Dichtewerte über 2,52 g/cm³ beziehungsweise über 100 % relative Dichte. Dies liegt an der hohen Dichte von ZrO_2 von etwa 6 g/cm³, die die Dichte dieser Borcarbid-Keramiken über den theoretisch möglichen Wert erhöht. Die hergestellte SiC -Keramik zeigte leider bei 1.900 °C Sintertemperatur nur eine relative Dichte von etwa 91 %, was bedeutet, dass die Keramik nicht gasdicht ist. Die sehr hohen relativen Dichten der B_4C -Keramiken sind ein hervorragendes Ergebnis der Projektgruppe, da nahezu die maximal mögliche Dichte erreicht wurde. Interessant dabei ist auch, dass diese unter anderem mit dem reinen, unbehandelten Pulver erreicht wurde und die Graphit-Zugaben sich eher negativ auswirkten.

| Probe/Zusammensetzung | T _{Sint} [°C] | Theor. Dichte [g/cm ³] | Erzielte Dichte [g/cm ³] | Relative Dichte [%] |
|---|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| B ₄ C, HD20, reines Pulver | 2000 | 2,520 | 2,517 | 99,88 |
| B ₄ C, HD20, ohne Additive | 2000 | 2,520 | 2,517 | 99,88 |
| B ₄ C, HD20 + 4 % C | 1900 | 2,520 | 2,399 | 95,20 |
| B ₄ C, HD20 + 4 % C | 2000 | 2,520 | 2,499 | 99,17 |
| B ₄ C, HD20 + 4 % C + ZrO ₂ | 1900 | 2,520 | 2,550 | 101,19 |
| B ₄ C, HD20 + 4 % C + ZrO ₂ | 2000 | 2,520 | 2,582 | 102,46 |
| B ₄ C, HS, ohne Additive | 2000 | 2,520 | 2,508 | 99,52 |
| B ₄ C, HS + 4 % C | 2000 | 2,520 | 2,460 | 97,62 |
| SiC, S-RTP-SQ | 1900 | 3,210 | 2,921 | 91,00 |

Tabelle 1: Zusammensetzungen der hergestellten Keramiken mit erzielten Dichtewerten bei den angegebenen Drucksintertemperaturen

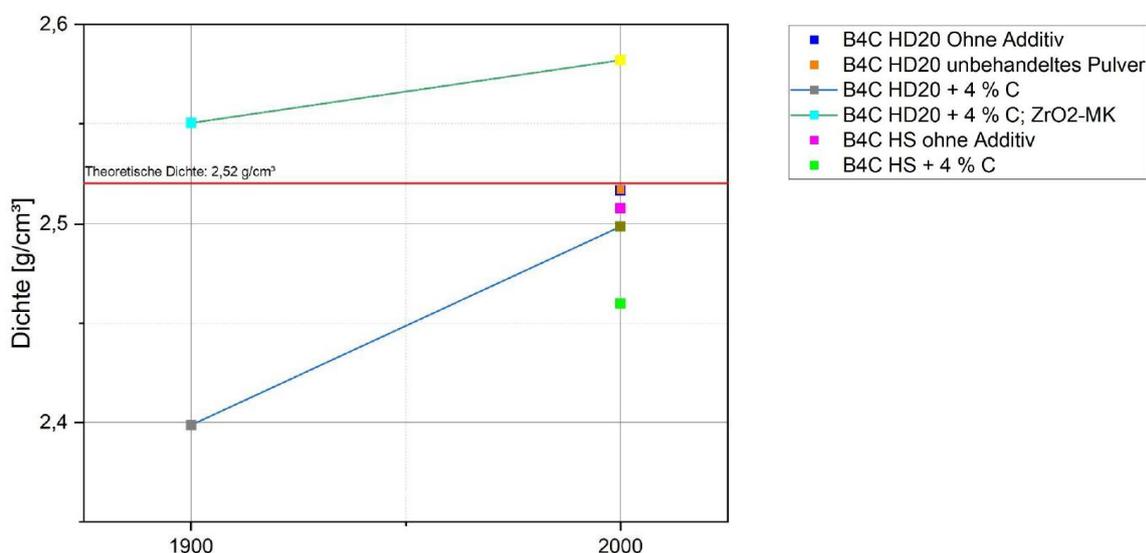


Abbildung 2: Erzielte Dichten in Abhängigkeit der Drucksintertemperaturen [°C]

Die drei Proben, welche die höchsten relativen Dichtewerte erzielt hatten, wurden anschließend hinsichtlich Härte und Bruchzähigkeit (K_{Ic} -Wert) charakterisiert. Beides wurde mittels Vickers-Prüfung durchgeführt. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse.

| Probe/Zusammensetzung | T _{Sint} [°C] | Härte nach Vickers [GPa] | K_{Ic} nach Anstis [MPam ^{0,5}] | K_{Ic} nach Niihara [MPam ^{0,5}] |
|---|------------------------|--------------------------|---|--|
| B ₄ C, HD20, ohne Additive | 2.000 | 43,04 ± 1,85 | 1,99 ± 0,18 | 3,85 ± 0,15 |
| B ₄ C, HD20 + 4 % C + ZrO ₂ | 2.000 | 40,23 ± 1,78 | 2,53 ± 0,29 | 4,24 ± 0,25 |
| B ₄ C, HS, ohne Additive | 2.000 | 41,83 ± 1,78 | 2,19 ± 0,22 | 4,03 ± 0,20 |

Tabelle 2: Härte und Bruchzähigkeiten der Borcarbid-Keramiken mit den höchsten relativen Dichtewerten

Mit einer Härte von über 40 GPa weisen die hergestellten Borcarbid-Keramiken außerordentlich hohe Werte auf. Diese werden nur noch von den extrem teuren Werkstoffen kubisches Bornitrid und Diamant übertroffen. Die Bruchzähigkeiten sind relativ gering, was bedeutet, dass die Werkstoffe keramiktypisch sehr spröde sind.

Jedoch ist erkennbar, dass das Borcarbid, dem ZrO₂ zugesetzt wurde, eine signifikant höhere Bruchzähigkeit aufweist als die anderen Keramiken. Dies kann auf Verstärkungseffekte durch das beim Sinterprozess entstandene ZrB₂ zurückgeführt werden.

Die erzielten Ergebnisse waren so gut, dass direkt im Anschluss eine Masterarbeit vergeben wurde, in der das Drucksintern von Borcarbid-Keramiken sowie die ZrO_2 -Zugabe genauer untersucht wurden. Auch dienten die erzielten Ergebnisse zum Vergleich mit in Oxford mittels Flash-Sinter-Technik hergestellten Borcarbid-Keramiken.

5. Vernetzung und Transfer

Den Studierenden wurde im Rahmen dieses Lehrforschungsprojekts die Möglichkeit gegeben, mit einem Absolventen, der aktuell Doktorand an der renommierten Universität Oxford, UK ist, die Vorgehensweise und Ergebnisse zu diskutieren.

Die entwickelten Borcarbid-Keramiken stellen einen sehr interessanten Werkstoff für die Industrie dar. Besonders die Kombination aus extrem hoher Härte und sehr niedriger Dichte macht diesen Werkstoff für verschiedenste Anwendungen sehr interessant. Zu nennen sind Verschleißanwendungen (Mahlmedien, Schleifkörper und andere), Schutzobjekte (Panzerplatten) und ähnliches.

6. Fazit und Ausblick

Im Rahmen des Lehrforschungsprojekts ist es gelungen, Borcarbid-Keramiken mit exzellenten Eigenschaften mittels Drucksintern herzustellen. Eine Vielzahl an Studierenden der Fakultät Werkstofftechnik hatten die Gelegenheit, die Herstellung einer Hochleistungskeramik vom Pulverrohstoff hin zum fertigen Bauteil kennenzulernen und ihre eigenen Ideen, die sie vorher auf Basis von Literatur und Stand der Technik erarbeitet hatten, zu verwirklichen. Die Studierenden waren von der Themenstellung und der hergestellten extrem harten und gleichzeitig sehr leichten Keramik fasziniert und haben sehr viel dazugelernt. Als besonderen Benefit empfanden sie die Diskussionen mit dem Doktoranden aus Oxford.

Im Nachgang des Projekts sollen die hier erzielten Ergebnisse gemeinsam mit den in der nachfolgenden Masterarbeit generierten Erkenntnissen in einer einschlägigen Fachzeitschrift veröffentlicht werden.

Die Bearbeitung von Lehrforschungsprojekten im Rahmen des Wahlpflichtfachs „Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten“ in der Fakultät Werkstofftechnik hat sich erneut als ideal herausgestellt. Die Studierenden sind hochmotiviert, da sie so frühzeitig im Studium die Gelegenheit haben, Forschungs- und Entwicklungsthemen zu bearbeiten und nicht nur standardisierte Praktikumsversuche durchführen. Sie erhalten auf diese Weise auch einen sehr guten Eindruck von möglichen Themenstellungen für Abschlussarbeiten und wie sie derartige Themen erfolgreich und wissenschaftlich bearbeiten können.

Schlagroboter

Prof. Dr. Alexander Monz
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Prof. Peter Gahn
Hochschule für Musik Nürnberg

Fabio May, B. Eng.
Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Zusammenfassung:

Das Projekt fand im Rahmen der Lehrveranstaltung „Projekt aus Konstruktion und Entwicklung“ im sechsten und siebten Semester des Bachelor-Studiengangs Maschinenbau statt. Auf Basis eines internationalen Benchmarks wurden von Studierenden Schlagroboter konzipiert und prototypisch umgesetzt, wobei die technischen Komponenten und nicht die menschliche Referenz die limitierenden Faktoren darstellten. Damit wurden einzigartige Schlagroboter geschaffen, die in Präzision und Frequenz eine neuartige und kompositorisch interessante Musik ermöglichen. Die Studierenden entwickelten zunächst die Instrumente und testeten diese ausführlich. Sie begleiteten die Erstnutzung durch drei Musiker aus Bremen, Hannover und Nürnberg und überarbeiteten die Prototypen entsprechend. In drei Abschlussarbeiten wurden einzelne Aspekte vertieft betrachtet. Die Instrumente werden im Rahmen einer Masterarbeit weiterentwickelt und zu einer künstlerischen Installation ausgestaltet.

1. Projektdaten

| | |
|------------------------------|--|
| Fördersumme | 9.900 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Maschinenbau und Versorgungstechnik |
| Projektleitung | Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: alexander.monz@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Das beantragte Projekt fand im Sommersemester 2022 und Wintersemester 2022/23 im Rahmen der Lehrveranstaltung „Projekt aus Konstruktion und Entwicklung“ im sechsten und siebten Semester des Bachelorstudiengangs Maschinebau statt und stellte eine inhaltliche Erweiterung des Forschungsprojektes „Beat’n’Tech“ (gefördert von LEONARDO – Zentrum für Kreativität und Innovation) dar, bei dem in Zusammenarbeit mit internationalen Musikern Schlagroboter konzipiert und aufgebaut werden. Basierend auf einem internationalen Benchmark wurde dort eine Spezifikation erarbeitet, auf deren Grundlage im Wintersemester 2021/22 von Studierenden Open-Source-Schlagroboter entwickelt wurden. Neben der technischen Herausforderung ist dabei insbesondere der Aspekt neuartig, ein Instrument nach Spezifikation von Musikern zu entwickeln und via Internet reproduzierbar zu machen.

Im Sommersemester 2022 waren die ersten Prototypen fertiggestellt und wurden in speziell dafür komponierten Stücken eingesetzt. Spezifikationsgemäß orientieren sich die Schlagroboter dabei an der Substitution menschlicher Musiker.

Auf dieser Basis sollten im Lehrforschungsprojekt „Schlagroboter“ – wiederum in Zusammenarbeit mit Musikern (Kunst- und Musikhochschulen aus Nürnberg, Hannover und Bremen) – die Instrumente so erweitert werden, dass nicht mehr der Vergleich mit menschlichen Musikern die Leistung begrenzt. Vielmehr sollte die Limitierung nur aus den verwendeten technischen Komponenten stammen. Die damit geschaffenen Schlagroboter sollten in Präzision (Wiederholbarkeit), Schlagstärke (1 kN) und Frequenz (~1000 bpm) eine neuartige und kompositorisch interessante Musik ermöglichen.

Die spezielle forschende Herausforderung dieser angewandten Produktentwicklung bestand dabei einerseits in der Auslegung und Umsetzung der Aktuatoren, andererseits in der Bearbeitung der übergeordneten Forschungsfrage, wie sich musikalisch-künstlerische Handlungen wie das Spielen eines Instruments in technischen Dimensionen ausdrücken und modellieren lassen.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Projekt war in drei wesentliche Phasen gegliedert:

Phase 1: März/April 2022: Die erarbeiteten Prototypen wurden im Rahmen von Ausdauertests und Entwickler-Workshops bezüglich Dauerfestigkeit sowie dynamischem und thermischem Verhalten untersucht, siehe Abbildung 1. Die Ergebnisse wurden den Künstlern in Workshops vorgestellt und mit ihnen diskutiert.

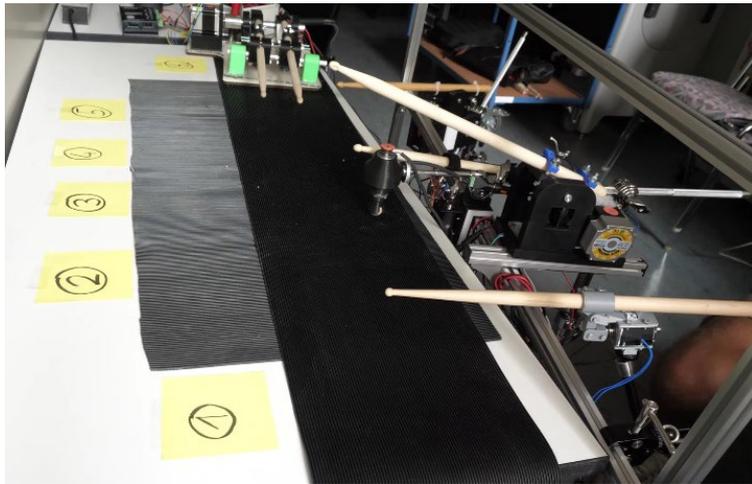


Abbildung 1: Testaufbau der Prototypen. Bild: Alexander Monz

Phase 2: Mai/Juni 2022: Auf Basis der Untersuchungen wurde die Leistung durch den Einsatz von leistungsfähigeren Aktuatoren und einer Überarbeitung der Instrumente gesteigert. Änderungen in Gestalt und Herstellungsverfahren erlaubten eine signifikante Qualitätssteigerung der verwendeten (3D-Druck-)Teile, um den gesteigerten mechanischen Beanspruchungen standzuhalten. Die optimierten Roboter wurden für die Anwendung in Phase 3 an den drei Kunst- und Musikhochschulen je dreimal gefertigt.

Phase 3: ab Juli 2022: Im Rahmen von Abnahme-Workshops und gemeinsamen Aufführungen von speziell für die Instrumente komponierten Musikstücken wurden die Aktuatoren einem ausführlichen Praxistest unterzogen. Einzelne Aspekte wurden im Rahmen von Abschlussarbeiten weiterverfolgt. Einen Überblick der Installationen und Aufführungen zeigt Abbildung 2. Nach den Aufführungen wurden die Schlagroboter an den drei Kunst- und Musikhochschulen weitergenutzt, wodurch Userfeedback aus langfristiger Nutzung gesammelt wurde.



Begleitprogramm der Absolventenverabschiedung der TH Nürnberg (2021)



Präzisionsaktor zur Digitalisierung eines historischen Pianos an der Hochschule für Musik Nürnberg (2022)



Lange Nacht der Wissenschaften an der TH Nürnberg (2022)



Experimenteller Aufbau an der HFK Bremen (2022)



Semana de arte moderna an der Hochschule für Musik Nürnberg (2022)

Abbildung 2: Installationen und Aufführungen. Bild: Fabio May mit Bildern von Luis Huber, Fabio May, Peter Gahn, Jukka Boehm, Peter Gahn (v.l.n.r.)

Die Aufgabenstellung war im Rahmen der gewählten Lehrveranstaltung ungewöhnlich, da sie die Übertragung der im Studium erlernten Fähigkeiten auf eine komplett fremde Fachdisziplin unter den besonderen Bedingungen eines Einsatzes auf der Bühne erforderte. Die Studierenden profitierten im Rahmen der Lehrveranstaltung von den erweiterten Möglichkeiten und einer Ausweitung des Lernfeldes um die Komponente Kommunikation mit Fachfremden (Musikern) und im Austausch (Workshops). Die künstlerischen Aufführungen mit den selbstkonzipierten und -aufgebauten Schlagrobotern erzeugten ihnen dabei ein unmittelbares Feedback zum Erfolg der eigenen Forschungstätigkeit. Sie bewegten sich dabei frei innerhalb eines gegebenen Rahmens und kombinierten die Erweiterung studiennaher Inhalte (Ergebnisdarstellung) mit der forschenden Anwendung in einem für sie ungewohnten Kontext.

Eine Reflexion des beschriebenen Weges führte den Studierenden abschließend den eigenen Erfolg in einem Forschungsvorhaben vor Augen. Die Gestaltung wirkte dabei motivierend und ließ die Studierenden Selbstwirksamkeit erfahren.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen des Vorhabens wurden von Studierenden neun verschiedene Schlagroboter entwickelt und in Ihrem Systemverhalten beschrieben. Anhand der durchgeführten User-Tests und auf Grundlage der Systemtests wurden drei davon ausgewählt und zur weiteren Entwicklung vorgesehen (siehe Abbildung 3).

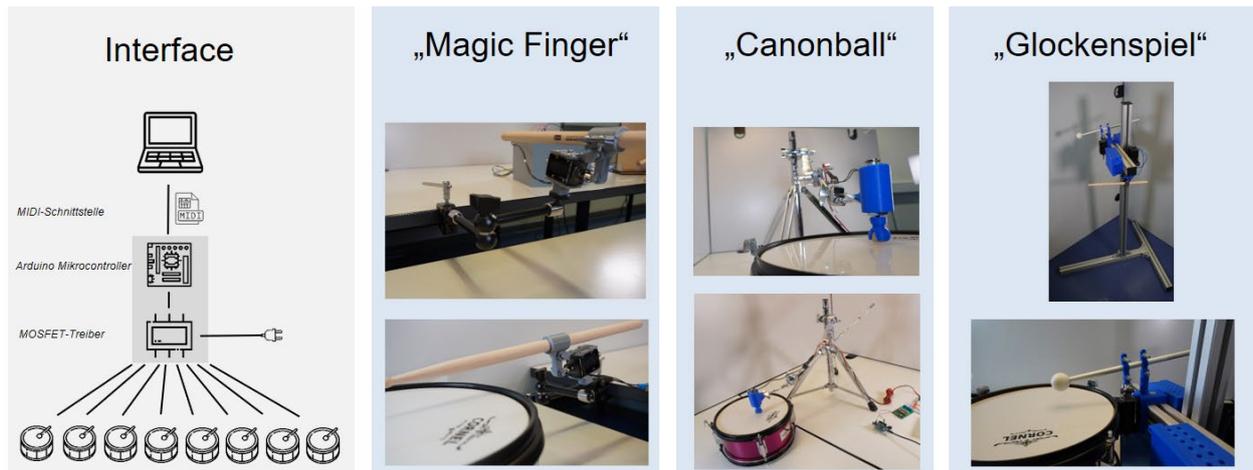


Abbildung 3: Endauswahl der Prototypen zur Weiterentwicklung. Bild: Alexander Monz mit Bildern von Fabio May

Im Projekt zeigte sich, welchen großen Einfluss sowohl die Fähigkeit zur unvoreingenommenen Kommunikation mit Fachfremden als auch die Arbeitsumgebung auf das Gelingen einer konstruktiven Projektarbeit haben (Abbildung 4). Die Ergebnisse des Projektes bildeten die Basis für eine Masterarbeit, in der drei der Aktuatoren bis zur Serienreife weiterentwickelt und in einer Rauminstallation eingesetzt werden. Eine Aufführung ist auf der Langen Nacht der Wissenschaften 2023 und auf diversen Kunst- und Musikfestivals in Zusammenarbeit mit einem freischaffenden Künstler geplant.

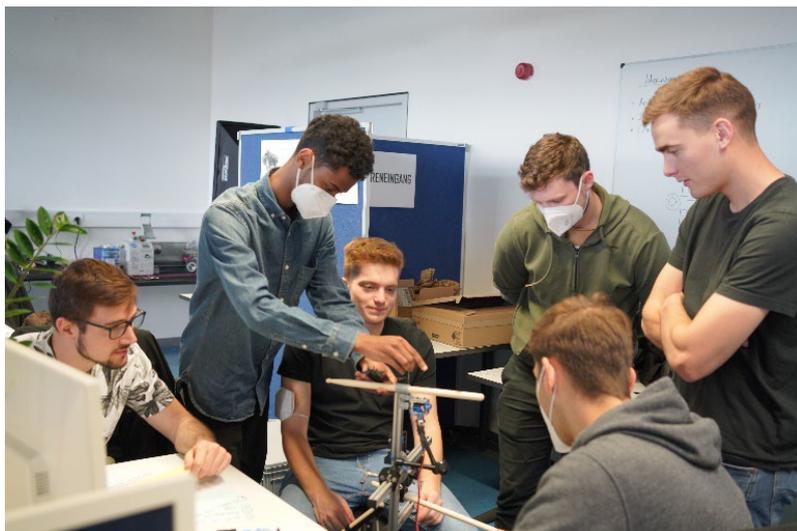


Abbildung 4: Kollaboratives Arbeiten in den CoWorkingSpaces der Fakultät. Bild: Fabio May

5. Vernetzung und Transfer

Im Rahmen des Lehrforschungsprojektes wurden Kontakte zur Hochschule für Musik Nürnberg ausgebaut und intensiviert. Mit der Hochschule für Künste Bremen sowie der Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover wurden zudem zwei neue Partner gewonnen. Die durchgeführten Installationen und Aufführungen erreichten ein Publikum von etwa 600 Interessierten im Raum Nürnberg. Vier Kooperationen (ein Theaterstück, eine Installation, zwei Tagungsbeiträge) für künstlerische Einsätze gingen direkt aus dem Projekt hervor. Weitere Projekte sind in Planung.

6. Fazit und Ausblick

Die Möglichkeit der Förderung im Rahmen des Programms „Forschendes Lernen“ hat das Projekt in dieser Form und Breite überhaupt erst möglich gemacht. Ein interessantes, aber aufwendiges Thema konnte so mit Hilfe von hochgradig interessierten und motivierten Studierenden umgesetzt werden. Dabei war insbesondere die Bearbeitung einer Forschungsfrage und die explizite Kennzeichnung als Forschungsvorhaben maßgeblich an der positiven Annahme durch die Studierenden beteiligt.

Neben der erfolgreichen Erweiterung des Lehrangebots konnte eine inhaltliche Unterstützung des Projektes Beat'N'Tech erreicht werden und der Bekanntheitsgrad der Schlagroboter maßgeblich gesteigert werden. Im Förderjahr 2023 ist eine Fortführung durch einen Kollegen aus der Elektrotechnik anvisiert, die auf den Ergebnissen der Vorgängervorhaben aufbaut.

Transformation und Nachhaltige Ernährungssysteme in der Metropolregion Nürnberg – progressive (TuNErMeNü pro)

Prof. Dr. Jan Niessen

Fakultät Betriebswirtschaft, Studiengangsleitung Management in der Ökobranch

Katrin Schwanke, M.A.

Bluepingu e.V., Projektleitung *SDGs go local*

Felix Hirschberg

Fakultät Betriebswirtschaft, Studiengang Management in der Ökobranch

Zusammenfassung

Die Projekte fokussieren auf Beteiligung von Anspruchsgruppen, Ökologisierung, Regionalisierung und sozial orientierte Gestaltung der Ernährungssysteme in der Metropolregion Nürnberg. Im Jahr 2022 bearbeiteten Teams Aufträge in den Modulen „Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette“, „Zertifizierung und Biokennzeichnung“ (sechstes Semester) sowie „Ökologischer Landbau und Ökosystemwirtschaft (erstes Semester). Studierende erarbeiteten unter anderem Konzepte zur passgenauen Einführung von Systemen für Nachhaltigkeitsmanagement und der Bio-Zertifizierung, beschäftigten sich am Beispiel des Weltackers Nürnberg mit dem Thema Welternährung und entwickelten konzeptionelle Aspekte für einen Weltladen 4.0. Die Kooperation mit Bluepingu e.V. ermöglichte eine hochwertige wie niederschwellige Praxisvernetzung.

1. Projektdaten

| | |
|---------------------------------------|--|
| Fördersumme | 9.900 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Betriebswirtschaft, Studiengang Management in der Ökobranch |
| Projektteam (falls Nennung gewünscht) | Katrin Schwanke, M.A., Felix Hirschberg |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: jan.niessen@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Nachhaltigkeit in Agrar- und Ernährungssystemen betrifft kulturell und wirtschaftlich nahezu alle Menschen und ist gleichzeitig mit komplexen, interdisziplinären, gesellschaftlichen Fragestellungen und Herausforderungen verbunden. Die Aspekte Ökologisierung der Agrarsysteme, Ernährungsbildung, Beteiligung von Anspruchsgruppen sowie Stadt-Land-Verbindung bieten sich als vielseitige Forschungsgegenstände für Lehrforschung und forschendes Lernen an. Die enormen gesellschaftlichen Herausforderungen zur Transformation von Wirtschafts- und Gesellschaftsbereichen können anhand des Ernährungssystems und der jeweils betroffenen Anspruchsgruppen für Studierende sehr gut veranschaulicht werden.

Hier bieten sich insbesondere Anknüpfungspunkte an die Food System Summits 2021 der Vereinten Nationen an, die auf nationaler, europäischer und globaler Ebene stattgefunden haben. Diese Ansätze sind orientiert an Multistakeholder-Prozessen und lassen sich ideal vor Ort in der Metropolregion veranschaulichen, verstetigen und umsetzen. Damit bieten sie ein ideales Feld für forschendes Lernen, auch um an den bisherigen Ansätzen weiterzuarbeiten und auf den Erkenntnissen und Erfahrungen des Pilotprojekts TuNErMeNü von 2021 aufzubauen.

In verschiedenen Programmen, Organisationen und Initiativen bemühen sich politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Akteur*innen darum, durch nachhaltige Produktions- und Konsumansätze die Funktionsfähigkeit der Ökosysteme zu erhalten und die planetaren (Ökosystem-) Grenzen mittelfristig wieder einzuhalten. Die *Progressive*-Phase des Lehrforschungsprojekts TuNErMeNü setzt im Jahr 2022 auf vielfältige Forschungs-, Entwicklungs- und Lösungsansätze, die im Rahmen des forschenden Lernens von den Studierenden genutzt werden: So steht unter anderem die Stärkung regionaler Versorgung von Gastronomie und Gemeinschaftsverpflegung mit ökologischen Produkten und Rohwaren und entsprechendem Wertschöpfungsketten-Management weiterhin im Mittelpunkt der Lehrforschungsprozesse und des forschenden Lernens.

Bei den beschriebenen Initiativen und Vorhaben geht es um verstärkte Beteiligung von Anspruchsgruppen sowie um Ökologisierung und Regionalisierung der Ernährungssysteme in der Metropolregion. Damit kann modellhaft erforscht und dargestellt werden, dass sowohl wirtschaftliche als auch politische und soziale Fragen in Verbindung mit einer Ökologisierung der Ernährungssysteme und gesunder Ernährung zusammenhängen.

Ernährungsbildung im erweiterten Sinn verbunden mit Ansätzen des forschenden Lernens zielt darauf ab, die Studierenden zu eigenständig konzipierten Fragestellungen zu motivieren und die im Forschungsprozess gewonnenen Erkenntnisse in ihrem Lernprozess nachhaltig zu verankern. So lässt sich auch die Komplexität systemischer Zusammenhänge hervorragend veranschaulichen und erfahrbar machen. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, ihr Wissen und ihre Erkenntnisse auch auf andere Themenbereiche und systemische Fragestellungen zu transferieren. Durch die Anbindung an regionale Projekte in der Metropolregion lässt sich eine praxisorientierte Wirkung und Sichtbarkeit über die Grenzen der Hochschule hinaus erzielen.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Lehrforschungsprojekt TuNErMeNü progressive baut auf dem Lehrforschungsprojekt von 2021 auf. Die Studierenden sollen im Verlauf der Teilprojekte einen Überblick über die Zusammenhänge und Fragestellungen im Projektkontext hinsichtlich der Transformation von Ernährungssystemen und den konkreten Umsetzungsmöglichkeiten für Unternehmen oder Organisationen vor Ort erhalten. Gemeinsam mit den Studierenden sind (je nach Modul) die verschiedenen Forschungsaufträge und deren wesentliche Hintergründe und Kontexte mit den verbundenen Fragestellungen erarbeitet worden. Hierfür wurden auch externe Referent*innen zu Gastvorträgen eingeladen und/oder Exkursionen unternommen. Um unterschiedliche Perspektiven einzubinden, sind die Studierenden zudem gruppenweise von Expert*innen begleitet und angeleitet worden, ihre Forschungsfragen iterativ zu formulieren. Die spezifischen Fragestellungen konnten auch zwischen verschiedenen Gruppen diskutiert und reflektiert werden, um den Forschungsprozess zu vertiefen und bestmögliche Ergebnisse zu erzielen.

Der Ablauf der Forschungsprojekte lässt sich folgendermaßen abbilden:

Kleine Forschungsteams bearbeiteten je nach Modul gezielt bestimmte Forschungsaufträge und damit verbundene Fragestellungen. Die einzelnen Phasen der Projekte beziehungsweise Arbeitspakete waren im Sommer- und Wintersemester grundsätzlich gleich aufgebaut.

- 1) Literaturrecherche und "promising/best-practice"-Ansätze sowie Inhalte aus den Modulen zur konkreten Aufgaben- und Fragestellung
- 2) Identifikation der wichtigsten Akteur*innen und Anspruchsgruppen sowie deren mögliche Motive und Intentionen hinsichtlich der zu bearbeitenden Themenbereiche
- 3) Erstellung von Leitfäden/Fragebogen und qualitative Befragung bestimmter Akteur*innen/Anspruchsgruppen beziehungsweise auch niederschwellige, teilnehmende Beobachtung
- 4) Auswertung der Befragungen/Beobachtungen und Erstellung des Abschlussberichts (= Studienarbeit und Posterpräsentation in den jeweiligen Gruppen)

Die Fragestellungen sind sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch kultureller und sozialer Perspektive bearbeitet worden. Durch die offene Herangehensweise und das Aufzeigen verschiedener Ansätze und Perspektiven auf die Forschungsfelder konnten die Studierenden von der Anforderung und naheliegenden Notwendigkeit profitieren, um ihre Forschungs- und Sozialkompetenzen weiterzuentwickeln. In diesem Prozess fand stets eine Betreuung durch Lehrende und Praxispartner*innen aus der Region statt. Durch die enge Verzahnung von Theorie und Praxis erfahren die Studierenden Selbstwirksamkeit und werden auf die Herausforderungen ihres späteren Berufsalltags vorbereitet.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Forschungsteams haben jeweils etwa 15-45-seitige Studienarbeiten (je nach Arbeitsauftrag und Modul) zu ihren Themen verfasst und eine Kurzfassung auf Postern dargestellt. Die Ergebnisse können hier aus Platzgründen nur sehr komprimiert dargestellt werden.

- 1) „Bio-Apfelsaft aus regionalem Streuobst“ mit Schwerpunktlegung auf Biozertifizierung und Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette in Form einer Fallstudie am Beispiel der „Obstgroßmarkt Fränkische Schweiz eG“: <http://www.obstmarkt-pretzfeld.de/>. Die erbrachten Leistungen zur Nachhaltigkeit und Regionalität werden nicht ausreichend erfasst, bewertet und den Verbraucher*innen kommuniziert. Dabei erschien den Studierenden das NABU-Qualitätszeichen oder der deutsche Nachhaltigkeitskodex geeignet, um diese Herausforderungen anzugehen.
- 2) Die „Catering Toleranz GmbH“ <https://www.lhnbhg.de/ct> als Inklusionsunternehmen erfüllt viele geforderte Werte der Gemeinwohl-Ökonomie (GWÖ), die durch eine nachhaltige Berichtserstattung als Wettbewerbsvorteil gesichert werden können. Hierbei wurde der Catering Toleranz GmbH empfohlen, sich auf eine Veränderung einzustellen und sich verstärkt mit Systemen des Nachhaltigkeitsmanagements (Gemeinwohlbilanzierung im Unternehmen, Zertifizierung einzelner häufig genutzter Bio-Zutaten/-Speisekomponenten) auseinanderzusetzen, um Anforderungen gerecht zu werden und die Marktposition weiter zu stärken.

- 3) Die Studierenden aus dem Sommersemester 2022 erarbeiteten die „Herausforderungen und Potenziale von Nachhaltigkeit und Bio in der Studierendenverpflegung“ und konnten hierbei anhand des „Studierendenwerk Erlangen-Nürnberg“ <https://www.werkswelt.de/index.php?id=nachhaltigkeit> viele Nachhaltigkeitsleistungen feststellen. Das Fazit ihrer Recherche: Nicht nur das Studierendenwerk selbst, sondern auch die Lieferanten sollten möglichst durchgängig Transparenz und flächendeckende Zertifizierung sicherstellen.
- 4) Der im Rahmen der Fallstudie „Konzeptbäckerei“ erarbeitete Entwurf zeigt die Herausforderungen und Probleme einer Implementierung von Nachhaltigkeitsstandards bei der Umstellung beziehungsweise Eröffnung eines Bäckereibetriebes auf. Diese erstrecken sich von Fragen zum Gründungskapital über eine optimale Marktpositionierung bis hin zur Berücksichtigung und Zertifizierung sozialer, regionaler und ökologischer Aspekte. Die Studierenden schlugen dazu und darüber hinaus eine enge, feste Lieferantenstruktur sowie umfassende Umfeldentwicklungs- und Wettbewerbsanalyse vor.

Obstgroßmarkt Fränkische Schweiz eG Pretzfelder Fruchtsaftkellerei

Michael Behringer, Susann Göbel, Lukas Frenkel, Christian Meier



III. Ergebnisse

Ausgangspunkt war:

- Das NABU-Qualitätskennzeichen für Streuobstweine, um die Vorteile von Streuobstweinen, wie Bioqualität und Aromastärke, an den Verbraucher kommunizieren zu können.
- Das Regionalfrucht, wie den Verbraucher leichter zu machen, dass die gesamte Wertschöpfungskette des Bio-Apfelsaftes im Naturraum der Fränkischen Schweiz stattfindet.

II. Vorgehensweise

- Analyse der bisher erbrachten Nachhaltigkeitsleistungen und Recherche von geeigneten Instrumenten und Zertifizierungen.
- Konkrete Anwendung der Instrumente und Zertifizierungen.
- Neues Design für das Bio-Apfelsaft entwickelt.

I. Aufgabe und Herausforderung

- Überwindende Kommunikation und Messung der Nachhaltigkeitsleistungen des Bio-Apfelsaftes in den Punkten Regionalität und Förderung von Streuobstweinen.
- Diese wasserabweisende Kommunikation wird bedingt durch die fehlende Validierung der Leistungen durch Dritte.

Implementierung eines Standards zur Messung der Nachhaltigkeitsleistungen (DNK)

Bildung eines Teams
Inhaltliche und informelle Beratung
Über den Bericht werden kann

Erstellung der DNK-Erklärung mit Hilfe der 20 Kriterien

Freigabe der Erklärung

Kommunikation über die Implementierung des DNK's im Naturraum

Wertschöpfungskette

Streuobstweingärtner (Bio) von BIO Erzeugern

Vorbereitung und Abfüllung

Vertrieb und Verkauf im eigenen Geschäftswinkel und Belieferung von Gastronomie und Großhandel

Nebenerzeugnisse (Desserts) wird an lokale Viehhaltung verkauft

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
GEOORG SIMON OHM

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG GEOORG SIMON OHM

Catering Toleranz Lebenshilfe Nürnberg

Forschungsfrage:
Ansätze für die Einführung eines ganzheitlichen Nachhaltigkeitsstandards für die Catering-Toleranz GmbH und Vorstellung und Implementierung des Zertifizierungsprozesses des bayerischen Biosiegels als Möglichkeit zur Erhöhung des Bioanteils in Schuerverpflegung.

Catering Toleranz GmbH

- Tochtergesellschaft der Lebenshilfe Nürnberg
- Inklusionsunternehmen
- Belieferung von Grundschulen, weiterführende Schulen, Kitas sowie Einrichtungen der Behindertenhilfe in Nürnberg

Gemeinwohlbilanz

- Ausgangspunkt: kein vorhandenes Nachhaltigkeitsmanagementsystem
- Gemeinwohlbilanz als Instrument der Nachhaltigkeitsmessung
- Vorgehensweise für eine Gemeinwohl-Bilanzierung anhand der Gemeinwohlmatrix

Bayerisches Bio-Siegel

- Ausgangspunkt: Zertifizierung nach der EG-Öko-Verordnung und Ausübung mit dem Deutschen Bio-Siegels
- Erhöhung des regional-saisonalen Angebots durch Zertifizierung einzelner Zutaten mit dem BBS

Berichterstattung anhand der Matrix → Externes Audit → Zertifikat → GEMEINWOHL ÖKONOMIE

Antragstellung & Dokumentenprüfung → Vertragsabschluss → Zeichennutzungsrecht → bio

Resultat:

Chancen der Gemeinwohlbilanzierung:

- Sicherung bestehender Kundenbeziehungen und Gewinnung neuer Kund*innen in der Zukunft
- Wettbewerbsvorteile
- Steigerung von Vertrauen in faire und verantwortungsvolle Wertschöpfungsketten
- Mitarbeiter*innen Bindung durch gemeinsame Werte

Einführung folgender Zutaten mit dem BBS in der Saison:

- Apfel
- Gurke
- Eisbergsalat
- Brokkoli

Kommunikationsinstrument:

- Ausübung der BBS-Zutaten auf der Speisekarte
- Teilnahme an der Initiative „30 für 30“

Yvonne Kclorz, Nora Teubel & Eva Ramsauer

Herausforderungen und Potenziale von Nachhaltigkeit und Bio in der Studierendenverpflegung

Elias Preßbig, Luisa Schöffthal, Sarah Pfentinger, Sybille Schuler

I. Aufgabenstellung

Erweiterung des 3-Tagelagers in Richtung Ernährung: Bsp. anfall in der Studierendenverpflegung, Einführung einer Belegkantinierung im Rahmen einer Gemeinschaftsverpflegung

II. Vorgehensweise

Unternehmen: 1. Auswahl der 4 besten Bio-Produkte (Käse, Nudeln, Aufbackmischungen vor- und nachher, veg. Fleischersatz, Bio-Weine, Bio und MIO)

Bio-Speisen: 1. Auswahl der 4 besten Bio-Produkte (Käse, Nudeln, Aufbackmischungen vor- und nachher, veg. Fleischersatz, Bio-Weine, Bio und MIO)

Nachhaltigkeitsstandard: Implementierung des Nachhaltigkeitsstandards EMAS

III. Ergebnis

Kern: 4 von 6 und Regionalität

Angabebereich: Lebensmittel

- Gemüse
- Fleischersatz
- Getreide

Wertschöpfungskette

Kern: 4 von 6 und Regionalität

Landwirtschaftler (Lieferanten) → Bio-Produkte → Frischmarkt → Frische Bio-Produkte → Bio-Produkte → Bio-Produkte

Studentenwerk Erlangen-Nürnberg

Gesunde und regionale Speisen

Menschen

Co/ferienten

Kommunikation

- Nachhaltigkeitsbericht als Kommunikationsmittel über Nachhaltigkeitsleistungen
- Social Media für den Austausch mit Studierenden
- Glaubwürdigkeit, Transparenz und Authentizität wahren

Zertifizierungsprozess

Konzept festlegen → Kontrollstelle wählen → Erreichung → Jährliche Kontrollen → BIO

zert. LU Bio Siegel → Antragsstellung → Dokumentenprüfung → Vortrag → BIO

Nachhaltigkeitsstandard

Umweltprüfung durchführen/Leitbild festlegen → Umweltsystem erarbeiten/Managementsystem → Umwelterklärung erstellen und veröffentlichen → Interne und externe Prüfung & Eintragung in das EMAS-Register

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
GEOORG SIMON OHM

„Die Konzeptbäckerei im Nürnberger Norden“

Selina Askar, Samra Bahrouni, Stella Ballmann, Roxana Bernaciak

Aufgabenstellung

Planung einer nachhaltigen und ökologischen Bäckerei

Vorgehensweise

Unternehmensbeschreibung und aktueller Stand

Betrachtung des Unternehmensumfelds

Analyse von Nachhaltigkeitsinstrumenten

Möglichkeiten der Bio-Zertifizierung

Nachhaltigkeitsmarketing und Kommunikation

Fazit

Nachhaltigkeitsstandard: We-Care

DNK (Voraussetzung: ausreichend Personalressourcen)

Bio-Zertifizierung der Zutaten: Roggenmehl → EU-Öko-VQ, Deutsches Bio-Siegel

Keine Zertifizierung von Wasser und Salz

Regionalfenster für Lieferanten aus der Region Nürnberg

Zukünftig Bioland-Partner

Preissetzung: optional Wettbewerbs- oder kostenorientiert

Ausländische Rohstoffe: Haselnüsse

BIO-Zertifizierungsprozess

1. Ersterhebung: Auswahl einer Kontrollierbarkeit der Bäckerei

2. Vorontrolle: Lager- und Rohstoffprüfung, Kontrolle der Rechnungsführung, Übereinstimmung der Fertigungsdaten und Etiketten, Vorsichtsmaßnahmen

3. Erhalt des Bio-Zertifikats nach positiver Bewertung

Lieferanten

AMMENDORFER MÜHLE

DRAX MÜHLE

Konzeptbäckerei & We-Care:

- Gebrauchte Anlagen & Zero-Waste
- Arbeitszeiten Mo.-Fr.
- Langfristige Partnerschaften & stabile Lieferketten

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
GEOORG SIMON OHM

Abbildung 1: Collage Bio-Apfelsaft aus regionalem Streuobst und Catering-Toleranz sowie Collage Nachhaltigkeit und Bio in der Studierendenverpflegung und Konzeptbäckerei

5) Die Geschäftsführung des Restaurants „Suppenkaspar“ <https://www.suppenkaspar-fuerth.de/> befasste sich im Rahmen des Projektes „Rest-e-los“ von *SDGs go local* (Bluepingu e.V.) mit Nachhaltigkeit, Ressourcen-Allokation und Lebensmittelverschwendung in der Gastronomie. In Kooperation mit einem studentischen Team wurde die Einführung eines Instruments zur Messung der betrieblichen Nachhaltigkeitsleistungen konzipiert sowie die Potenziale für eine Diversifizierung des Lieferantenstamms und dadurch verstärkten Nachhaltigkeitsorientierung der Lieferanten analysiert.

Nachhaltiges Wirtschaften und Bio-Qualität im Gastronomiebetrieb „Suppenkaspar“

Aufgabenstellung/Zielsetzung
Erhöhung des Bio-Anteils bei der Zubereitung von Speisen beim Suppenkaspar in Fürth, in Kombination mit weiteren Instrumenten, um Prozesse und Abläufe im Betrieb künftig nachhaltiger zu gestalten

1. BESCHREIBUNG DES UNTERNEHMENS
Kleiner Gastronomiebetrieb, ausschließlich Mittagstisch
Angebot frisches, gesundes Speisen als Alternative zu Fastfood
Anspruchsgruppe: hauptsächlich Arbeitnehmern zur Mittagverpflegung

2. AUFEZEIGEN VERSCHIEDENER ZERTIFIZIERUNGEN UND STANDARDS
EU Bio, Bayrisches/Deutsches Bio, Demeter, EMAS, SMART, ZNU

3. ZERTIFIZIERUNGSPROZESS EU-BIO
1. Festlegung des Umfangs
2. Auswahl einer Kontrollstelle
3. Vorbereitung der Erstinspektion inkl. Betriebsbeschreibung
4. Erstkontrolle durch Auditor
5. Bewertung und Zertifizierung
6. Jährlich: unangeständigte Folgekontrolle

4. UMSETZUNG ZNU-STANDARD
1. Durchführung eines Quick-Check
2. Schaffung einer nachhaltigen Unternehmensführung
3. Konkretisierung der nachhaltigen Handlungsziele
4. Überwindung von Herausforderungen

5. IDENTIFIKATION MÖGLICHER LIEFERANTEN (WECHSELALTERNATIVEN)

6. KOMMUNIKATION AN ANSPRUCHSGRUPPEN

Ergebnisse
✓ Basis-Anforderungen nach EU-Öko-VO wurden umgesetzt → Zertifizierte Bio-Speise (Kuchen) und zertifizierte Komponente (Fleisch-/Fischbeilage, Brot)
✓ Vielzahl an Lebensmitteln kann weiterhin bei Selgro bezogen werden: Fleisch, Fisch, Zutaten für Kuchen, teilweise Gemüse
✓ Auslobung der Bio-Qualität auf der Speisekarte

Bio-Frühstückskonzept und Einführung von Nachhaltigkeitsstandards im Stadthotel Neumarkt Mitte
Laura Freitag, Laura Kreuzt, Sebastian Knoll, Maximilian Wittmann

Forschungsfrage
Auswahl und Umsetzung von Nachhaltigkeitsstandards sowie Grundlagen und Möglichkeiten der Bio-Zertifizierung im Rahmen eines nachhaltigkeitsorientierten Frühstücks- und Hotelkonzepts

Marketing
• Erfüllung der Ansprüche nachhaltigkeitsorientierter Kunden und Anspruchsgruppen
• Kommunikation der Nachhaltigkeitsleistungen über verschiedene Kanäle (Localmedia, Internetauftritt, Speisekarte, Aufsteller etc.)
• Glaubwürdige Kommunikation durch Standards
• Abgrenzung von Wettbewerbern in der Innenstadt von Neumarkt

Unternehmen & Umfeld
• Stadthotel Neumarkt Mitte
• Familien- bzw. Neumarkt-Bevölkerung mit steigendem Antriebsfaktor der kurzen betrieblichen Nachbarschaft
• Angebot von regionalen Bio-Produkten

Nachhaltigkeitsstandard
• GreenSign Standard speziell für Hotellerie, orientiert auf ISO 14001 und ENAS
• 4 Kernaspekte: Management, Kommunikation, Umwelt, Einkauf, Klimaschutz und Lieferkette etc.

Bio-Zertifizierung
• rechtliche Rahmenbedingungen
• Auslobung der Bio-Qualität
• Auswahl von Bio-Lieferanten
• nachvollziehbare Standards
• Kontrollkäuf

Marketing
• Wie soll vermittelt werden?
• Positionierung der Zielgruppe
• Nachhaltigkeitsmarketing
• CP und Marketing

Nachhaltigkeitsstandard
GREENSIGN

Bio-Zertifizierung
• Obligatorische Bio-Zertifizierung für Außer-Haus-Angebot im Hotel
• Bezug einzelner Zutaten nur noch in Bio-Qualität
• Kombination mit Regionalität und fairem Handel
• Angebot von Bio-Produkten am Frühstücksbuffet
• Eier, Milch, Fisch- und Wurstwaren

Prozessfluss: Auswahl der Öko-Zertifizierung → Implementierung der Standards → Kommunikation der Nachhaltigkeitsleistungen → Kontrolle und Prüfung der Nachhaltigkeitsleistung → Auslieferung und Verkauf des Frühstücks

MANAGEMENT IN DER ÖKOWIRTSCHAFT
transdisziplinär, nachhaltig, wirtschaftlich.

Lehrforschung – forschendes Lernen 2022
Transformation und Nachhaltige Ernährungssysteme in der Metropolregion Nürnberg (TuN/ErMeNu)

Eine-Welt-Laden 4.0, Neumarkt – Fairen Handel mit dem globalen Süden weiterentwickeln

Aufgabenstellung Zielsetzung:
Bei den Lehrforschungsaktivitäten Eine-Welt-Laden 4.0 geht es um die weitest mögliche Reduzierung der negativen Carbon Footprint des Lieferkettengüter und einer sozial orientierten Gestaltung von fairem Handel in Neumarkt. Ziel ist die Erhebung und Darstellung der verschiedenen als auch zentraler, wesentlicher Aspekte in Verbindung mit einer Dialogisierung der Ernährungssysteme an alle des fairen Handels.

Suggerierte Themenkomplexe sind historisch als Mitarbeiter und Fremde miteinander, wobei immer ein neue globale Lieferant zu unterstützen und in. Inzwischen, das Konzept basiert auf ehrenamtlichem Engagement.

Brauchen wir mit den absehbaren Lieferkettengestirnen nach fairem Handel? Und wenn ja, in welchen Bereichen hilft er am meisten?

Erfahrung des Lieferkettengesetzes
• Ab 2024 Lieferkettengesetz für Unternehmen mit mehr als 3000 Mitarbeitern und verpflichtet diese zu:
• Grundstrukturierung zur Achtung der Menschenrechte, Förderung von Menschenrechten, Nachhaltigen Mechanismen, ethischen, fairen Lieferanten, fairen und bei Nichterfüllung der Anforderungen
• Erklärung wird vom Business für Wirtschaft und Außenwelt transparent
• Das Gesetz wird durch den Bundrat verabschiedet

Kritik am Lieferkettengesetz
• Durch 1800 Güterarten können nicht beliebig aufgeführt werden als 1000 Artenlieferanten
• Fehlende Nachvollziehbarkeit, Überforderung mit rechtlichen Anforderungen
• Lieferkettengesetz nur in Deutschland, sonst auf Höhe des fairen Handels angewiesen, um Menschenrechtsverletzungen und Risiken in der Nachbarschaft zu verhindern
• Lieferkettengesetz vielmehr als Ergänzung des fairen Handels und nicht als Ersatz

Wie können Foren / Infrastrukturen der Unterstützung und Mitgestaltung fairen, nachhaltiger Lieferketten und Geschäftsbeziehungen mit dem globalen Süden durch Bürger*innen und potenzielle Konsument*innen heute und in Zukunft aussehen?
• Durchsetzung von Arbeitsrechten
• Einbeziehung der Beschäftigten der Firmen
• Vermeidung von Verleumdungen aus dem eigenen Land
• Abbau von Abhängigkeiten zwischen Handelspartnern
• Fokus auf Erhebung von Menschenrechten, Umweltschutz und ökonomischen Standards
• Transparenz in Lieferketten notwendig

Wie lassen sich aktuelle und zukünftige Potenziale zur Förderung von fairem Handel in Neumarkt / Landkreise erschließen?
• Durch regelmäßige Teilnahme an der Fairtrade Towns Kampagne
• Weitere Fortbildungsmaßnahmen an Fairtrade-Schulen (Kampagne)
• Kooperationspartner: Schulen und Eine-Welt-Laden durch z.B. Verkauf von Fairtrade-Kaffee oder Honig
• Fairtrade-Produkte in der Technischen Hochschule CHM in Neumarkt
• Neumarkt stellt das Aktionsprogramm zur Nachhaltigen Wirtschaft und nachhaltigen Projekten dar

Wie können Foren für fairen und nachhaltigen Handel für jüngere Generationen aussehen, wie werden Sie aussehen, um sich dafür zu engagieren? Ist Ehrenamt denkbar bzw. wo wären mögliche Grenzen?
• Fairtrade-Aktivitäten für die jüngere Generation aus Engagement
• Mögliche Beratung durch Umgestaltung der Atmosphäre in fairem Handel – Nutzung von Internetauftritt
• Einbindung des Neumarkter, durch Einbindung junger Altersgruppen in Entscheidungsprozesse
• Zielgruppe: Große Zahl der Website und Social Media Präsenz
• Aktive Einbindung und Kampagne bei deren Anwesenheit, andere junge Menschen auf das Engagement aufmerksam machen

EINE WELT LADEN NEUMARKT

MANAGEMENT IN DER ÖKOWIRTSCHAFT
transdisziplinär, nachhaltig, wirtschaftlich.

Der Nürnberger Weltacker im Kontext der Lehr-Lernforschung:
Das Projekt stellt ausreichend dar, wie die Ackerfrucht global genutzt werden kann, sodass jedem Menschen rein rechnerisch genügend Nahrung, sowie Versorgung zustehen würde. Dies ist gerade für Studierende interessant, da Theorie mit Praxis verbunden und wissenschaftliche Lehreinrichtungen geschaffen wird.

Was ist der Weltacker?
Wenn man alle weltweit verfügbaren Ackerflächen durch die Bevölkerungszahl teilt, ergeben sich 2000m², die jeder Mensch jährlich im Schnitt für Lebensmittel, Textilien, Kosmetik und mehr benötigt, beziehungsweise für sich beansprucht.
Der Weltacker ist mittlerweile in zahlreichen Standorten weltweit etabliert, so auch in Nürnberg. Betrieben wird das Ökologisch bzw. technische Ackerprojekt von „SDGs go local“, von „Bluepingu e.V.“ und „Innovation und Zukunft Stiftung“, wobei das Projekt der Veranschaulichung des menschlichen Verbrauchs dient.

Warum braucht es den Weltacker?
Der Nürnberger Weltacker ist ein interkultureller Bildungs- und Begegnungsort und liefert eine Möglichkeit sich mit Klima, Umwelt, Flächenverbrauch, nachhaltigem Konsum und Produktion auseinanderzusetzen. Hinzu kommt, dass der Weltacker aufzeigen möchte, dass uns die Erde auch jenseits unserer eigenen Grenzen, soz. und fair mit uns umgehen. Weniger Fleisch, Fokus auf regionale, saisonale Ernährung, sowie eine bessere Ressourcenallokation könnten den Weltacker beenden oder zumindest stark eindämmen.

Herausforderungen, Potenzial und Chancen aus Sicht der studentischen Forschungsteams:
Die größte Herausforderung wird sein, den Weltacker selbstständig zum Laufen zu bringen und eine gesamtgesellschaftliche Sensibilisierung und Akzeptanz zu erreichen. Um dies umzusetzen, wird es beispielsweise notwendig sein, mehr Werbung in den sozialen Medien zu platzieren, Plakate in Nürnberg und Umgebung aufzuhängen und auch bereits in Schulen zu informieren, damit dieses Projekt an Popularität gewinnt. Somit erreicht man potentiell, junge Unterstützer*innen, macht auf Lebensmittelverschwendung und endliche Konsum-Möglichkeiten aufmerksam.

EIN WELTACKER IN NÜRNBERG

Abbildung 2: Collage Suppenkaspar und nachhaltiges Frühstückskonzept sowie Eine-Welt-Laden 4.0 und Weltacker Nürnberg

- 6) In der Fallstudie „Vorschläge zur Entwicklung eines nachhaltigkeitsorientierten Frühstücks- und Hotelkonzepts: Auswahl und Umsetzung eines Nachhaltigkeitsstandards sowie Rahmenbedingungen und Möglichkeiten der Bio-Zertifizierung“ konnten die Studierenden spannende Einblicke in die Hotellerie sowie deren alltägliche Handlungsabläufe erhalten. Aufgrund des hohen Ressourcenverbrauchs in diesem Gewerbe wurden anhand der Studie Lösungen entwickelt, die das „GreenSign Hotel“ oder ökologische, regionale sowie gesunde Lebensmittel für das Frühstücksbuffet beinhalten.
- 7) Beim Projekt „Eine-Welt-Laden 4.0“ wurde vor allem die verstärkte Beteiligung der jüngeren Generation am fairen Handel unter Beachtung des Handels mit dem globalen Süden untersucht. Die Steigerung der Attraktivität an wirtschaftlichen, politischen, aber auch sozialen Themen mit Hilfe von Eine-Welt-Läden erkannten die Studierenden als großes Potenzial. Diese Projektarbeit wurde in Kooperation mit der Fair-Trade Stadt Neumarkt <https://fairtrade-neumarkt.de/fairtrade/fairtrade-stadt/> durchgeführt.
- 8) Der „Weltacker Nürnberg“ <https://www.weltacker-nuernberg.org/> wurde initiiert von *SDGs go local* (Bluepingu e.V.) und der „Innovation und Zukunft Stiftung“ und soll die wesentlichen Gesichtspunkte des weltweiten Ackerflächenverbrauchs pro Person darstellen. Die exemplarisch angebauten 2.000 m² stehen für Lebensmittel, Textilien und alles, was ein einzelner Mensch benötigt. Im Rahmen einer Exkursion zum Weltacker überzeugten sich die Studierenden selbst von der Sinnhaftigkeit einer Implementierung eines solchen Weltackers im Nürnberger Stadtgebiet. Sie konkretisierten Potenziale dieser Veranschaulichung von zentralen Themen im gesamtgesellschaftlichen Diskurs um die Zukunft der globalen Ernährung.

Vernetzung und Transfer

Mit der umfassenden Bearbeitung der jeweiligen Fragestellungen aus betriebswirtschaftlichen, sozio-kulturellen und ökologischen Perspektiven lernten die Studierenden verschiedene Systeme für Nachhaltigkeitsmanagement und Zertifizierungsoptionen kennen und wie diese in Organisationen, Unternehmen und Wertschöpfungsketten eingeführt und etabliert werden können.

Neben den Nachhaltigkeitsleistungen und -aspekten wurden auch Produkt- und Servicequalität, Externalisierung von Kosten, Kulturtechniken, Gewohnheiten und Flexibilität in die zu erforschenden Felder einbezogen. Im Rahmen des Lehrforschungsprojekts TuNERMeNü progressive sind weitere Vernetzungen in der Region sowie zu laufenden Forschungsprojekten entstanden.

5. Fazit und Ausblick

In kleinen Forschungsteams konnten die Studierenden modellhaft und anschaulich erfahren, dass sowohl wirtschaftliche als auch politische und soziale Fragen in Verbindung mit einer Ökologisierung der Ernährungssysteme und gesunder Ernährung stehen. Ernährungswirtschaft und Ernährungsbildung, verbunden mit Ansätzen des forschenden Lernens zielen darauf ab, Studierende zu eigenständiger Konzeption von Lösungen zu motivieren. Die im Forschungsprozess gewonnenen Erkenntnisse werden durch praktisch angewandte Forschung verstärkt und nachhaltig bei den Studierenden verankert und ihre Anwendungskompetenzen gestärkt. So wurde neben systemischen Fragen und den Herausforderungen von Umsetzungsprozessen in der Praxis auch die Bedeutung kollegialer Zusammenarbeit deutlich, wodurch in den Gruppen auch die sozialen und Schlüssel- beziehungsweise Zukunftskompetenzen der Studierenden gestärkt wurden.

Es sind während und nach dem Forschungsprozess unter anderem weitere Fragestellungen von Unternehmen und Netzwerken im Bereich der Ernährungssysteme in der Metropolregion Nürnberg aufgekommen. Diese werden bei der Fortführung im Jahr 2023 bearbeitet. Dabei können auf interdisziplinärer Ebene noch weitere Lehrveranstaltungen wie Marketing oder Ressourcen- und Reproduktionswirtschaft einbezogen, das Netzwerk erweitert und Kontakte zu ausgewählten Praxispartner*innen vertieft werden.

Die Perspektive der Studierenden kann durch nachfolgende Beschreibung eines Studierenden beispielhaft charakterisiert werden: „Als Studierender habe ich durch den Weltacker Nürnberg viele neue Personen, sowie Personengruppen kennenlernen dürfen, die im Sinne der Nachhaltigkeit forschen, lehren und arbeiten. Hierbei halfen die entgegengebrachte Offenheit und vollumfängliche Hilfsbereitschaft der Akteure besonders, um auch vermeintlich schwierige Fragen zu klären. Die erlangten Erkenntnisse werden mit Sicherheit im weiteren Verlauf des Studiums helfen, bestimmte Themenkomplexe weiter zu durchdringen. Im Vordergrund des erlernten Wissens steht hierbei die Interdisziplinarität zwischen Praxis, Theorie und den ersten Aspekten des wissenschaftlichen und forschenden Arbeitens.“ Dies spiegelt, dass die Erfahrungswerte und Kompetenzen der Studierenden erweitert werden konnten.

6. Zentrale Literatur

- **Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2020):** Bio in der AHV ist eine Daueraufgabe für Kommunen. Online unter <https://www.oekolandbau.de/index.php?id=18564>
- **FAO, UNDP and UNEP (2021):** A multi-billion-dollar opportunity – Repurposing agricultural support to transform food systems. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6562en>
- **Schrode et al. (2019):** Transformation des Ernährungssystems: Grundlagen und Perspektiven. Umweltbundesamt (Hrsg.)
- **Zühlsdorf, A., Jürkenbeck, K., Schulze, M., Spiller, A. (2021):** Politicized Eater: Jugendreport zur Zukunft nachhaltiger Ernährung, Göttingen.

Digitale Produktion und Optimierung von Orthesen

Frau Prof. Dr. Areti Papastavrou
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Herr Prof. Dr. Michael Koch
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Zusammenfassung:

In diesem Lehrforschungsprojekt wird ein von den Studierenden durchgeführter, durchgängiger Prozess zur Erzeugung einer individuellen Handgelenks-Orthese als Ausgangspunkt für die Analyse von Problemen in diesem Prozess verwendet. Darauf aufbauend werden von den Studierenden zwei Problembereiche ausführlicher bearbeitet: einerseits die Grundlagen zur automatischen Strukturoptimierung solcher Orthesen und andererseits der Aufbau eines kostengünstigen Scanner-Systems zur Erfassung der Körperteile, für die die Orthesen entwickelt werden sollen.

1. Projektdaten

| | |
|---------------------------------------|---|
| Fördersumme | 5.900 Euro |
| Laufzeit | Januar bis Dezember 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Maschinenbau und Versorgungstechnik |
| Projektleitung | Prof. Dr. Areti Papastavrou |
| Projektteam (falls Nennung gewünscht) | Prof. Dr. Areti Papastavrou, Prof. Dr. Michael Koch, Dr. Ina Schmidt, Anna Titlbach, Bennett Goller, Julian Streicher, Maximilian Hauptkorn |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: areti.papastavrou@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

In der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik beschäftigt sich eine Forschungsgruppe mit der Weiterentwicklung von Orthesen für Kinder. Hierbei sollen konventionelle Orthesen durch 3D-gedruckte Orthesen ersetzt werden, die individuelle Optimierungen für den Patienten aufweisen. Dafür werden umfangreiche Simulationen und eine Strukturoptimierung der Geometrie angestrebt, die letztendlich automatisch oder halbautomatisch ablaufen sollen.

Das Forschungsvorhaben wird derzeit wesentlich durch die beiden Antragsteller und eine wissenschaftliche Mitarbeiterin vorangetrieben. Eine Kooperation mit dem Klinikum Nürnberg (Dr. Bodenschatz, Klinik für Kinderchirurgie und Kinderurologie) besteht.

In dem hier beschriebenen Vorhaben führen Studierende die Prozesskette der digitalen Produktion von Orthesen eigenständig durch und arbeiten dabei kritische Punkte im Prozess heraus. Weiterhin werden Strategien zur strukturellen Optimierung von Orthesen erarbeitet. Letztendlich wird ein fotogrammetrischer 3D-Scanner entwickelt, um den Scanvorgang vor allem bei Kindern zu optimieren.

Heute werden Orthesen meist mit Gips abgefasst und zu einer Kunststoffschiene weiterverarbeitet. Dieser Prozess ist einerseits sehr langwierig, was vor allem bei Kindern dazu führt, dass die Orthesen bereits nicht mehr optimal passen, wenn sie fertiggestellt sind. Andererseits werden durch die Gestaltung über abgeformte Kunststoffschienen keinerlei Optimierungen hinsichtlich Tragekomfort oder Akzeptanz bei Kindern berücksichtigt.

Durch moderne Verfahrensschritte wie dem 3D-Scannen der Extremitäten, eine Ableitung der Orthese im Rechner und ein 3D-Drucken der Orthese selbst können Orthesen sowohl deutlich schneller hergestellt werden als auch individuell für den Träger optimiert werden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die Bearbeitung des Projekts erfolgte in einer interdisziplinären Projektgruppe, die sowohl aus Studierenden des Maschinenbaus als auch Studierenden der Medizintechnik bestand. Weiterhin waren wissenschaftliche und ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiter*innen eingebunden. Die Studierenden bearbeiteten die unterschiedlichen Fragestellungen innerhalb des Projekts eigenständig und stimmten sich auch aktiv während der Bearbeitung miteinander ab. Dazu wurden Treffen in Präsenz abgehalten, vor allem aber erfolgte die Abstimmung online über MS Teams. Zu regelmäßigen Meilensteinbesprechungen waren Mitglieder aus allen Teilbereichen anwesend. Der Input für die Studierenden, die hier sowohl Projekt- als auch Abschlussarbeiten anfertigten, erfolgte durch die betreuenden Professor*innen und Mitarbeitenden im Einzelgespräch. Hier wurde besonders auf spezielle Aspekte des jeweiligen Teilproblems eingegangen; der Input erfolgte größtenteils über den Verweis auf einschlägige Literaturstellen, die einen Einstieg für eine eigenständige Recherche der Studierenden zu dem Thema ermöglichten.

Prozess zur Gestaltung einer individuellen Orthese

Für den digitalen Gestaltungsprozess einer individuellen Orthese ist zunächst ein 3D-Scan des Körperteils notwendig. In diesem Abschnitt wird mit dem Handgelenk gearbeitet, da diese Geometrie am einfachsten einzuscannen war. Der 3D-Scan wird im Folgenden weiterverarbeitet, und es wird eine Schalenengeometrie für die Orthese erzeugt. Der letzte Schritt ist der Ausdruck einer 3D-gedruckten Prothese, die individuell für den/die jeweiligen/jeweilige Träger/Trägerin angepasst ist.

Für die Modellierung der Orthese wird eine Scan-Datei des Unterarmes mit der Hand eines Patienten benötigt. Im Rahmen eines Studierendenprojektes wurde ein rechter Arm mittels eines vorhandenen 3D-Scanners (3D-Systems Sense 2) und der dazu mitgelieferten Software eingescannt. Es wurde hierfür explizit ein günstiges Scanner-Modell verwendet, da im Krankenhausbetrieb später die Verwendung eines sehr teuren Scanner-Modells (bis zu 100.000 Euro) nicht vertretbar ist.

Zunächst wurde die eingescannte Punktwolke durch Polygonisierung vernetzt. Es entstand ein Oberflächennetz, aus dem ein Oberflächenmodell generiert werden konnte. Das Oberflächenmodell bildet die Grundlage des Volumenmodells der Orthese. Beim Scannen ergaben sich mehrere Komplexitätstreiber, die etliche Scanprozessen erforderlich machten. Der eingesetzte Scanner ist nicht auf solche Anwendungsgebiete spezialisiert und nicht so leistungsfähig wie teure Scanner. Trotzdem gelang der Scan nach einigen Versuchen. Nach der Erzeugung des Oberflächenmodells musste dieses zur Weiterverarbeitung in einem CAD-System in eine mathematisch beschriebene Oberflächengeometrie umgewandelt werden.

Diese Umwandlung und alle folgenden Schritte wurden mit der Lehrversion der Software SolidWorks (Firma Dassault Systèmes) durchgeführt. Dieses CAD-System bietet eine Funktion „ScanTo3D“, die es ermöglicht, aus der Scan-Datei ein mathematisch beschriebenes Oberflächenmodell aus NURBS-Flächen zu generieren. Der Netzassistent begleitet den Anwender durch die Arbeitspunkte Netzausrichtung, Entfernen überflüssiger Daten (Teile des Netzes löschen), Netzvereinfachung, Glättung und abschließend das Füllen von Löchern. Sobald der Netzassistent abgeschlossen ist, erhält man ein Oberflächennetz. Wenn der zugrunde liegende Scan Fehlstellen aufweist, sind diese im Netz wiederzufinden.

Damit diese Fehlstellen das Resultat nicht beeinflussen, wurde ein Scan verwendet, der in den essenziellen Bereichen ohne Fehlstellen war. Sobald fehlerhafte Oberflächen entstehen, kann man im Assistenten die Kanten der Flächenstücke verschieben, löschen oder neu einzeichnen, um den Fehler zu korrigieren. Letztendlich konnte ein Oberflächenmodell mit nur einer Fehlstelle im Bereich des Handknöchel erzeugt werden. Diese Fehlstelle beeinflusste die Modellierung der Orthese nicht. Zur Modellierung der eigentlichen Orthesengeometrie wurde das vorher erzeugte Oberflächenmodell des Handgelenkes in den relevanten Bereichen mit einem definierten Abstand nach außen dupliziert (Offset). Welche Bereiche dupliziert werden, hängt vom gewünschten Design der Orthese ab. Nach der Erzeugung eines Oberflächenduplikats wurde dieses mittels des Befehles „Wanddicke auftragen“ zu einem Volumenmodell aufgedickt.

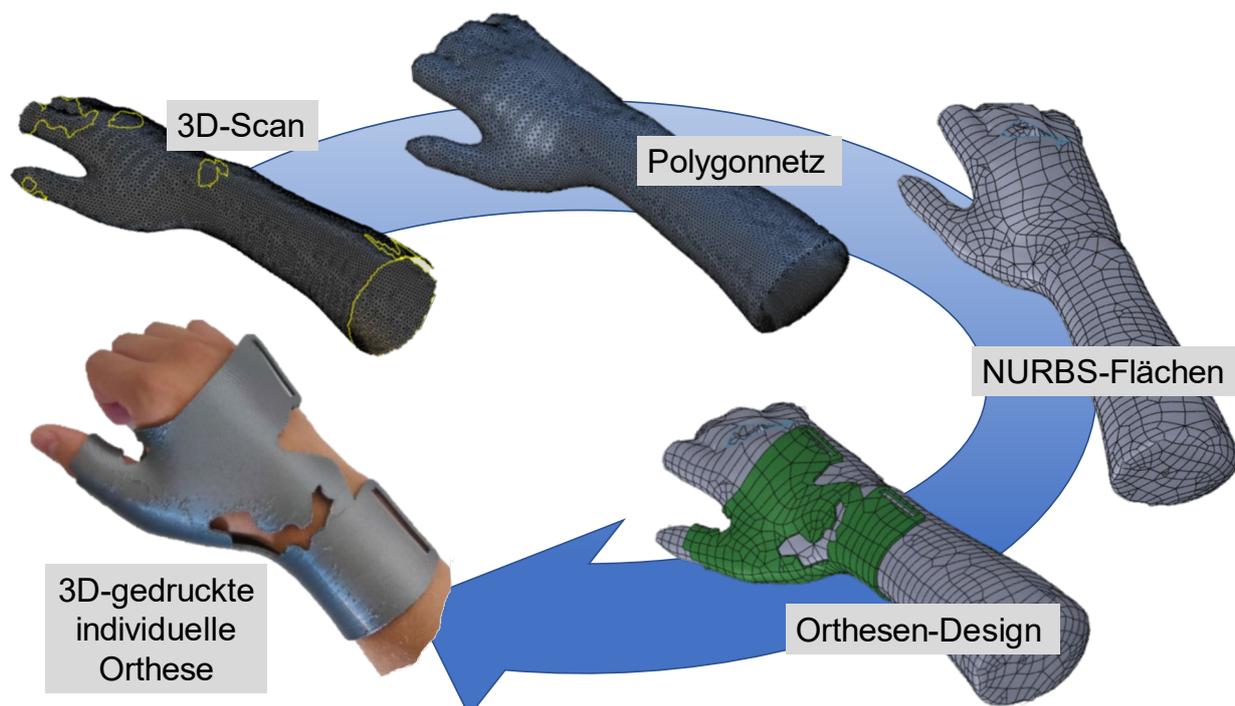


Abbildung 1: Ablauf eines Designprozesses für eine 3D-gedruckte individuelle Orthese. Bild: Michael Koch

Es wurden insgesamt zwei Designs konstruiert (v1 und v2). Da das Design v1 sehr starr ausgelegt wurde, war es nur mit Gewalt möglich, den Arm in die Orthese einzulegen. Die Problematik bestand darin, dass das verwendete 3D-Druckmaterial mit 5 mm Wandstärke zu dick und nicht ausreichend flexibel war. Außerdem waren beim Design v1 die Wangen, die um die Handwurzel reichen, zu hoch. Aus diesem Grund wurde bei dem Design v2 eine Art Halbschale konstruiert, die seitlich angelegt wird. Der Offset liegt bei diesem Design bei 0,1 mm mit einer Wandstärke von 2,5 mm. Es wurde also zusätzlich eine Luftschicht zwischen Hautoberfläche und Orthese eingeplant. Dadurch ist die Orthese wesentlich flexibler und besser passend. Außerdem weist die Orthese im Bereich der Handwurzel kein Material auf.

Dies konnte aufgrund von Restriktionen aus der CAD-Software leider nicht umgesetzt werden. Design v2 wurde zusätzlich auf der Vorder- und Rückseite mit Laschen versehen, die mit einem Klettband ausgestattet werden, damit der Träger die Enge der Orthese eigenständig justieren kann. Weiterhin wurde auch im Daumenbereich Material entfernt, um eine verbesserte Luftzirkulation zu gewährleisten. Nachdem die Orthesen in 3D-druckbare Formate exportiert wurden, konnten sie gedruckt werden. Dafür wurde das Verfahren FDM/FFF genutzt. Wie bereits oben beschrieben, war das Design v1 nicht funktionsfähig. Design v2 konnte wie vorgesehen angelegt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Offset-Einstellungen und Wandstärken weisen beide Orthesen einen signifikanten Größenunterschied auf.

Die Aufgabe konnte in dem beschriebenen Prozess erfüllt werden, jedoch sind während des Prozesses mehrere Probleme aufgetaucht: Sowohl der eingesetzte Scanner „Sense 2“ als auch die verwendete CAD-Software „SolidWorks“ für die Modellierung der Orthese sind nicht auf das Aufgabengebiet der Orthopädiertechnik spezialisiert. Um adäquate Scanergebnisse zu erzielen, benötigt es Erfahrung mit dem Setup. Ein weiteres Problem stellt die Armposition während des Scannens dar, da dieser frei in den Raum gehalten werden muss, damit er vollständig aufgenommen werden kann. Bewegungen sind dabei nicht auszuschließen, was die Erstellung eines guten Scans zusätzlich erschwert.

Methodenentwicklung zur Strukturoptimierung in Matlab

Im Zuge des digitalen Gestaltungsprozesses von Orthesen soll die, auf der gescannten Geometrie basierende Struktur sukzessive optimiert werden. Die Orthese wird anfangs als Vollstruktur ausgebildet. Um die Funktionalität und den Tragekomfort zu verbessern, soll Material in möglichen Bereichen eingespart werden. Im Projekt wurde die Optimierung der Topologie im Hinblick auf die mechanische Belastung in Angriff genommen. Grundlage für die Optimierung ist eine Finite-Element-Analyse, wobei das Optimierungs-

verfahren eine Projektion auf die finiten Elemente nutzt. Die Optimierung wird durch die Vorgabe einer Zielfunktion und Nebenbedingungen beziehungsweise Restriktionen gesteuert.

Zunächst wurden verschiedene Algorithmen hinsichtlich ihrer Eignung betrachtet. Für die Auswahl in diesem Projekt war zudem relevant, ob die Methoden einfach in Matlab umzusetzen sind, beziehungsweise ob bereits Umsetzungen implementiert sind, die entsprechend angepasst werden können. In kommerziellen Programmen wie zum Beispiel Ansys sind Optimierungstools verfügbar, jedoch ist ein Eingreifen in den Code nicht ohne weiteres möglich. Das Bestreben ist, durch die Nutzung eines eigenen Codes in Matlab an Flexibilität zu gewinnen.

Als geeigneter Ansatz wurde der SIMP-Ansatz (Solid Isotropic Material with Penalization) identifiziert und näher untersucht. Dabei wird die Geometrie eines zu optimierenden Körpers – zum Beispiel einer Orthese – durch die (Material-)Verteilung im Entwurfs-/Designraum beschrieben. Dieser wird in kleine Elemente unterteilt, und für jedes Element i wird die Dichte optimiert. Die Dichte ρ_{0i} und das Elastizitätsmodul E_{0i} stellen die Materialeigenschaften des Vollmaterials dar. Diese sind für ein isotropes Material, bei dem die mechanischen Eigenschaften in allen Richtungen gleich sind, über alle Elemente konstant. In jedem Element wird das Elastizitätsmodul über die auf den Wert Eins normierte Dichte gesteuert, die zugleich als Designvariable $x_i = \rho_i/\rho_{0i}$ verwendet wird. Geht dieser Wert gegen Null, so repräsentiert dieser einen Lochbereich, also einen Bereich des Teils beziehungsweise der Orthese, an dem mechanisch gesehen kein Material gebraucht wird und entfernt werden kann. Liegt der Wert der normierten Dichte hingegen nahe bei Eins, so wird das zugehörige Element als solide angesehen. Die Löcher werden nicht direkt in das Modell eingebracht, sondern über die Materialeigenschaften simuliert. Das Elastizitätsmodul wird dabei für jedes finite Element innerhalb eines Iterationsschrittes variiert. Durch die Reduzierung des Elastizitätsmoduls eines Elements verringert sich dessen Steifigkeit.

Der SIMP-Ansatz wurde zunächst anhand des einfachen Modellproblems einer belasteten Scheibe erprobt und die Ergebnisse einer entsprechenden Analyse und Topologieoptimierung mit Ansys gegenübergestellt. Die Designs der beiden optimierten Testplatte ergeben sich sehr ähnlich.



Abbildung 2: Topologieoptimierung mit SIMP-Ansatz für eine Scheibe in Matlab und mit Ansys. Bild: Julian Streicher

Als nächste Annäherung an die komplexe Geometrie einer Hand-Orthese wurde ein Hohlzylinder für die Simulation in Matlab modelliert. Dabei zeigten sich Probleme hinsichtlich der Nutzbarkeit des implementierten Codes in Matlab. Er ist spezialisiert auf quaderförmige Geometrien, die sehr leicht zu vernetzen sind. Um aber komplexere Geometrien in 3D zu vernetzen und Rand- sowie Lastbedingungen aufbringen zu können, müssten umfangreiche Erweiterungen in der Implementierung vorgenommen werden. Alternativ könnte man sich kommerzieller Tools wie Ansys oder Comsol bedienen. Dort wird dann die zu optimierende Geometrie geladen und vernetzt. Die Randbedingungen und Lasten werden anschließend definiert, damit Lastvektor, Verschiebungsvektor und die Steifigkeitsmatrix exportiert werden können. Diese Exportdateien können dann in Matlab importiert werden. In dem bestehenden Code müssten auch dafür Anpassungen an der Implementierung vorgenommen werden und ein neuer Filter programmiert werden, der unabhängig von dem eigentlichen Vernetzungsschema ist. Der bestehende Optimierungsalgorithmus könnte somit weiter genutzt werden.

Entwicklung eines Photogrammetrie-3D-Scanners

Da der Einsatz eines handelsüblichen, kostengünstigen Scanner-Systems für die eingangs dargestellte Erstellung einer 3D-gedruckten Orthese nicht gut funktionierte, wurde in dem hier beschriebenen Vorhaben ein 3D-Scansystem entwickelt, das die Erfassung von Extremitäten, speziell den Armen von Kindern, einfach und schnell ermöglichen soll. Dazu kann nicht mit einem Scanner gearbeitet werden, der die Geometrie nacheinander einscann, weil jede Bewegung des Kindes zusätzlich Geometrieabweichungen verursacht. Daher wurde hier ein Fotogrammetrie-Scanner konzipiert, der auf Basis vieler verschiedener Fotos einer Geometrie, hier zum Beispiel des Arms oder Beins die 3D-Oberfläche berechnen kann. Besonderer Vorteil dieses Systems ist es, dass alle Fotos gleichzeitig erzeugt werden, der Scanvorgang ist daher innerhalb von Sekunden abgeschlossen. Für den hier entwickelten Scanner kann eine handelsübliche Fotogrammetrie-Software verwendet werden, die entweder kommerziell oder kostenfrei am Markt verfügbar ist.

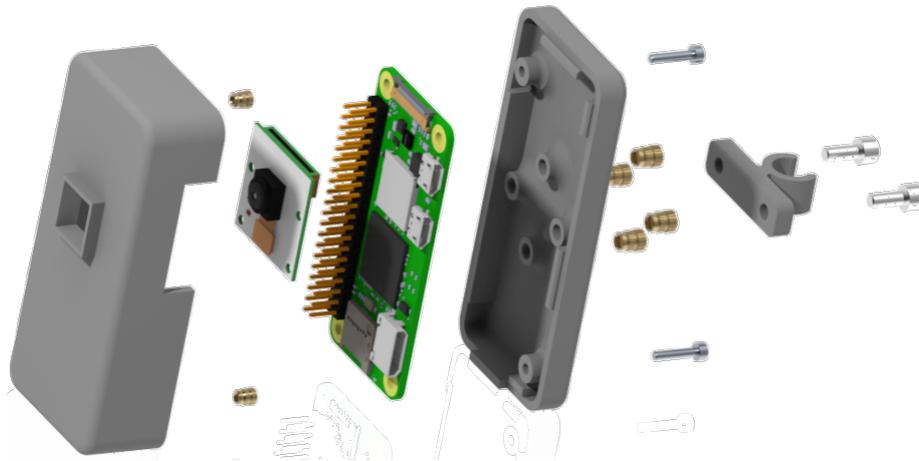


Abbildung 3: Aufbau einer entwickelten Kamera mit Kameramodul und Minicomputer. Bild: Michael Koch

Um das System kostengünstig zu halten, wurde hierbei auf ein Kameramodul zurückgegriffen, das mit einem Minicomputer „RaspberryPi Zero“ verbunden wurde. Die Kombination aus Minicomputer, Kameramodul und Kabeln ist relativ günstig am Markt verfügbar (in Summe ca. 55 EUR pro System). Die Minicomputer werden über LAN verbunden und über einen zentralen Computer angesteuert. Insgesamt sollen 30 Kamerasysteme mit dem zentralen Computer verbunden werden.

Zunächst erfolgte hier die Entwicklung einer einzelnen Kamera. Hierfür musste ein geeignetes Gehäuse mit einer passenden Befestigung entworfen werden. Die erforderlichen Bauteile wurden mit einem 3D-Drucker hergestellt.

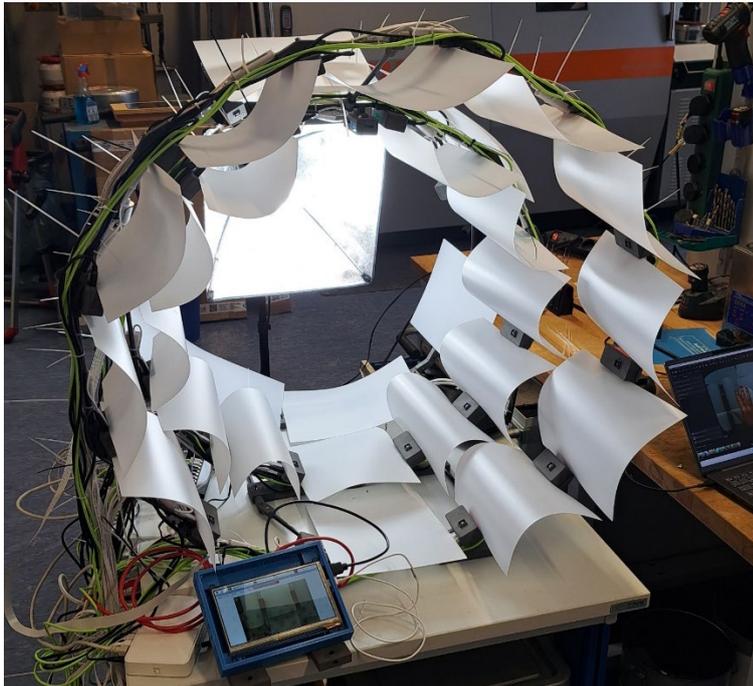


Abbildung 4: Gesamtaufbau des Fotogrammetrie-Scanners. Bild: Michael Koch

Die Halterung für die Kameras besteht aus drei großen Ringen aus Glasfaserstäben, die mit 3D-gedruckten Knoten verbunden werden. Die zwölf Winkelunterteilungen ergeben einen Ring von etwa 83 cm Durchmesser, was zu einem Kameradurchmesser von 76 cm führt. Die drei Ringe haben einen Abstand von 25 cm. Alle diese Werte können durch das Stecksystem variabel angepasst werden – für einen größeren Aufbau sind lediglich längere Glasfaserstäbe notwendig. In den Scanner wurde zusätzlich eine Top-View-Kamera eingebaut, die auf dem zentralen Rechner ein Live-Bild ausgibt. Dies dient zur besseren Platzierung von Arm, Hand oder Bein im Scanner. Die Kameras können mittels eines Clips variabel an den Stangen angebracht oder durch eine Bohrung direkt an die Winkelverbinder angeschraubt werden. Die Beleuchtung wurde zunächst über LED-Strips realisiert, was aber zu starken Blendeffekten in den Kameras geführt hat. Daher wird flexible PVC-Leuchtkastenfolie verwendet, die für eine ausgewogene und diffuse Beleuchtung sorgt. So können die Kameras besser mit der Belichtungssituation umgehen.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen dieses Lehrforschungsprojekts konnten die beteiligten Studierenden einerseits den gesamten Entwicklungs- und Produktionsprozess einer individuellen, 3D-gedruckten Orthese darstellen und andererseits in zwei Problembereiche, die sich aus diesem Prozess ergeben, tiefer einsteigen. Mit den Vorarbeiten in den zwei Bereichen Strukturoptimierung und 3D-Scanner konnte eine Grundlage geschaffen werden, um dieses Thema in nachfolgenden Forschungsvorhaben weiter voranzutreiben. Die Studierenden erreichten in dem Projekt selbstständig sehr gute Ergebnisse, lösten verschiedene Probleme, sowohl im Prozess als auch in den Teilprojekten, eigenständig und zielgerichtet.

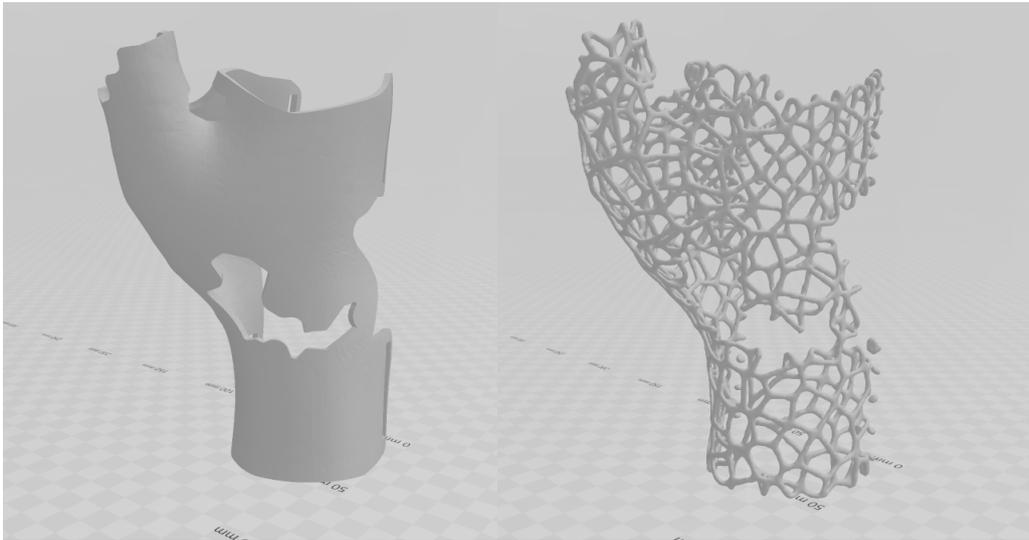


Abbildung 5: Weiterentwicklung der Orthese in ein Voronoi-Modell. Bild: Michael Koch

5. Vernetzung und Transfer

In dem Projekt konnten die Studierenden fakultätsübergreifend (Maschinenbau und Elektrotechnik) zusammen an der Problemlösung für verschiedene Teilaspekte arbeiten. Die Organisation für diese Zusammenarbeit übernahmen die Studierenden größtenteils selbstständig. Dabei kamen unter anderem auch verschiedene Online-Werkzeuge, wie zum Beispiel MS Teams oder SharePoint zum Einsatz. Die Anbindung des Projekts an eine reale Fragestellung aus dem Klinikum Nürnberg brachte einen weiteren Projektpartner in das Projekt ein, der für die Studierenden wichtige Impulse hinsichtlich realer Anforderungen, Praxistauglichkeit und Relevanz des Projekts setzte.

6. Fazit und Ausblick

In diesem Vorhaben konnte mit studentischer Unterstützung ein Ausgangspunkt für weitere Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der digitalen Produktion und Optimierung von Orthesen gelegt werden. Besonders durch die Kooperation mit dem Klinikum Nürnberg bietet sich hierbei die Möglichkeit für eine Antragstellung zum Beispiel beim BMBF oder der Staedtler-Stiftung an.

Hochtemperatur-Elektrochemie

Prof. Dr. Markus Hornfeck
Fakultät Werkstofftechnik

Prof. Dr. Sven Wiltzsch
Fakultät Werkstofftechnik

Herr Irhad Colovic
Fakultät Werkstofftechnik

Herr Fabio Gygas; B.Sc.
Fakultät Werkstofftechnik

Zusammenfassung:

Das Projekt basiert auf konkreten messtechnischen Aufgaben zur Charakterisierung von elektrochemischen Prozessen in der Glasschmelze bei hohen Temperaturen. Die Aufgabe der Studierenden im Bachelorstudiengang „Angewandte Materialwissenschaften“ (sechstes Semester) war es, sich in die Literatur und Messtechnik einzuarbeiten, konstruktive Vorschläge zur Halterung der Elektroden zu erarbeiten und sie zu bauen, sowie messtechnische Versuche an Glasschmelzen durchzuführen.

Inhaltlich ergeben sich an der Fakultät erste Erfahrungen zur Hochtemperatur-Elektrochemie (einschließlich erkannter Fehlerquellen), die in einem im Oktober 2022 gestarteten BMBF-Projekt direkt weiterverwendet werden sollen.

Didaktisch eignet sich die „Erarbeitung eines eigenen Versuchsstandes“ mit dem Lernziel „Überführung theoretischer Sachverhalte in die Praxis“ gut, einerseits Hemmnisse bezüglich kompliziert erscheinender Messtechnik abzubauen und andererseits Methoden der Elektrochemie kennen zu lernen.

1. Projektdaten

| | |
|---------------------------------------|--|
| Fördersumme | 7.500 Euro |
| Laufzeit | Januar bis November 2022 |
| Fakultät/Einrichtung | Werkstofftechnik |
| Projektleitung | Prof. Dr. Sven Wiltzsch |
| Projektteam (falls Nennung gewünscht) | Glasschmelze |
| Kontakt Daten Projektleitung | E-Mail: colovicir68086@th-nuernberg.de gygasfa75205@th-nuernberg.de markus.hornfeck@th-nuernberg.de sven.wiltzsch@th-nuernberg.de |

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Das Projekt basiert auf konkreten messtechnischen Aufgaben zur Charakterisierung von elektrochemischen Prozessen in der Glasschmelze bei hohen Temperaturen, die in der Literatur beschrieben sind. Aufgabe der Studierenden war es, sich in die Literatur und Messtechnik einzuarbeiten, konstruktive Vorschläge zur Halterung der Elektroden zu erarbeiten und sie zu bauen, messtechnische Versuche an Glasschmelzen zu planen und diese bezüglich der verschiedenen Fehlermöglichkeiten zu bewerten.

Dieses Vorgehen sollte die Studierenden dazu motivieren, konkrete messtechnische Fragestellungen zu verstehen, Strategien zur Überführung von der Theorie in die Praxis abzuleiten und messtechnische Fehlermöglichkeiten anhand von Experimenten zu klären.

Als Messtechniken bezüglich der Hochtemperatur-Elektrochemie sollten erstens die Sauerstoff-Partialdruckmessung und zweitens die Square-Wave-Voltametrie untersucht werden. Sauerstoff-Partialdruckmessungen konnten wie geplant im Projekt durchgeführt werden, da geeignete Messelektroden zu Projektbeginn an der Fakultät zur Verfügung standen.

Square-Wave-Voltametrie-Messungen konnten jedoch im Projektzeitraum nicht durchgeführt werden, da einerseits eine eigene Gegenelektrode erst entworfen und gebaut werden musste (keine Bestellmöglichkeit gegeben) und sich die Lieferung der notwendigen Komponenten für die Halterung der Elektroden aufgrund der spezifischen Situation im Jahr 2022 verzögerte. Zukünftige Square-Wave-Voltametrie-Messungen sind für eine im Oktober 2022 begonnene Bachelorarbeit geplant.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Lehrforschungsprojekt musste im ersten Schritt eine geeignete Halterung einschließlich Verfahreinrichtung für die Messelektroden erarbeitet werden. Ziel war eine genaue, reproduzierbare Positionierung der Elektroden, wobei ein Verkappen/Verbiegen der Elektroden ausgeschlossen werden und die Position der Elektroden während der Messung fixiert sein sollte. Idealerweise sollte der Versuchsaufbau modular sein, sodass eine Übertragung der Technik auf andere Anordnungen der Elektroden direkt möglich wird.

Als Verfahreinrichtung wurde eine Linearführung mit Führungsschlitten gewählt, die direkt an ein Gerüst aus Aluminium-Item-Profilen angebaut werden sollte. Das Profil sollte dabei eine rechteckige Grundfläche aufweisen und zusätzlich beschwert werden, sodass ein Kippen der Gesamtkonstruktion ausgeschlossen wird. Die in Abbildung 1 dargestellte Verfahreinrichtung wird mittels einer Spindel und Handkurbel betrieben, wobei eine abwärts zählende Skala verwendet wurde, damit ein „Eintauchen der Elektroden“ für den Bediener optisch erkennbar wird. Direkt an der Spindel ist eine Arretierung möglich, sodass dem Bediener eine definierte Position während der Messung gegeben wird.



Abbildung 1: Verfahreinrichtung mit Linearführung und Führungsschlitten (einschließlich Spindel und Verfahranzeige). Bild: Fabio Gygas

Das konstruktive Design der Halterung war recht kompliziert und musste die Messbedingungen und eine einfache Entnahme der mehr als 550 mm langen Messelektroden nach Abbildung 2 berücksichtigen. Weiterhin mussten die Abstände zwischen der Arbeitselektrode, Gegenelektrode und Vergleichselektrode für die Square-Wave-Voltametrie, beziehungsweise für die Arbeitselektrode und Vergleichselektrode für die Sauerstoff-Partialdruckmessung auf Basis der Literaturwerte definiert werden.

Da die Halterung besonders kostenintensiv ist, sollte es möglich sein, beide Versuche mit einer Halterung durchzuführen. Dies konnte auf Basis der Literatur für die Sauerstoff-Partialdruckmessung nicht optimal gelöst werden. Es sind deshalb für die Square-Wave-Voltametrie in Zukunft vergleichende Elektrofeldmodellierung für verschiedene Leitfähigkeiten der Glasschmelzen zur Klärung sinnvoller Abstände für den jeweiligen Versuchsaufbau auch in größeren Tiegeln zwischen den Messelektroden empfehlenswert.

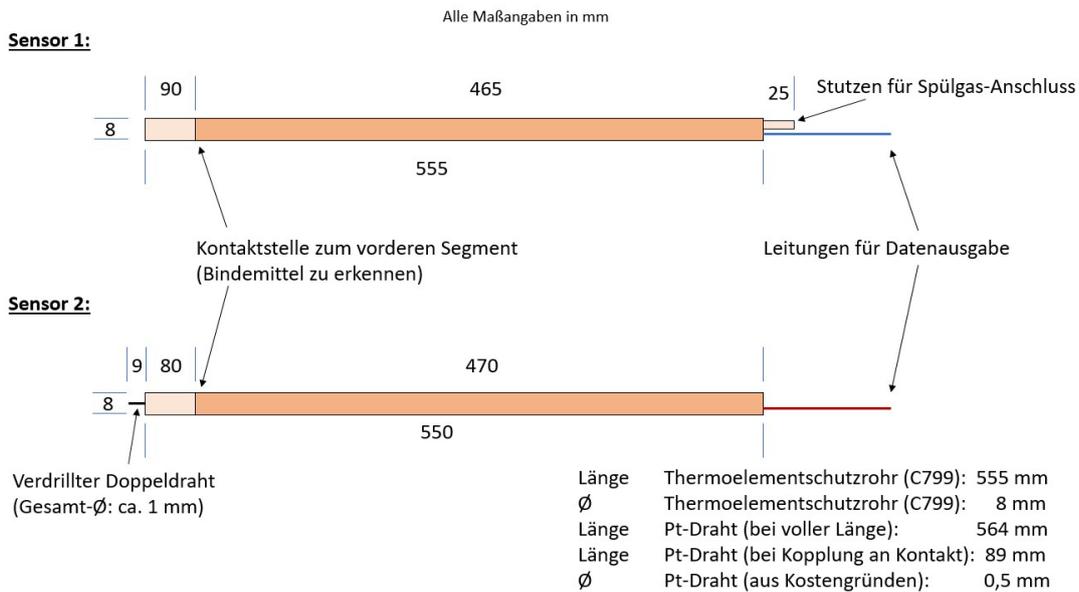


Abbildung 2: Messelektroden für die Sauerstoff-Partialdruckmessung. Bild: Fabio Gygas

Die fertige Halterung nach Abbildung 3 besteht hauptsächlich aus zwei Sondenhalterungen, die mittels Montageplatten an den Führungsschlitten verbunden werden sollten. Zwei Sondenhalterungen waren als notwendig erachtet worden, damit eine gerade, knickfreie Führung der Messelektroden gewährleistet ist. Zur Halterung der Elektroden werden Schellen verwendet, die eine einfache Entnahme der Messelektroden ermöglichen. Die in Abbildung 3 dargestellte Konstruktion zeigt sich in der Praxis als äußerst robust, bedienerfreundlich, erfüllte die Erwartungen der Bediener und kann in dieser Form in Zukunft weiterverwendet werden.

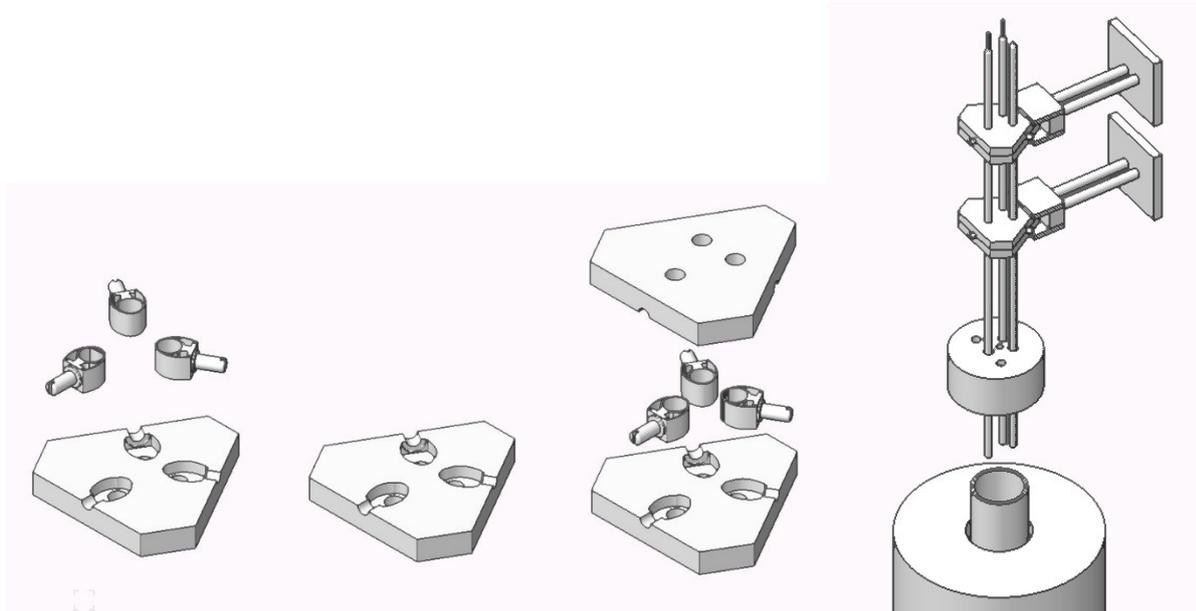


Abbildung 3: Darstellung der Sondenhalterung und der gesamten Halterung, Bild: Fabio Gygas

Zur Durchführung der ersten Versuche mussten vorab weitere Aufgaben erfüllt werden, die an dieser Stelle nur genannt werden sollen:

- Zuführung und Messung der Spülluft für die Vergleichselektrode.
- Vervollständigung des Messaufbaus und notwendiger elektrischer Kabel für den Signalkonverter (Sauerstoff-Partialdruckmessung) beziehungsweise für den Potentiostaten (Square-Wave-Voltametrie)
- Neukonstruktion des Deckels des Messofens zur Durchführung der Elektroden
- Parallelzuführung der Daten der Temperaturmesstechnik an Messofen und Signalkonverter

Den fertigen Aufbau zur „Hochtemperatur-Elektrochemie an Glasschmelzen“, bestehend aus Messofen, Halterung, Verfahrenrichtung und Messcomputer zeigt Abbildung 4.

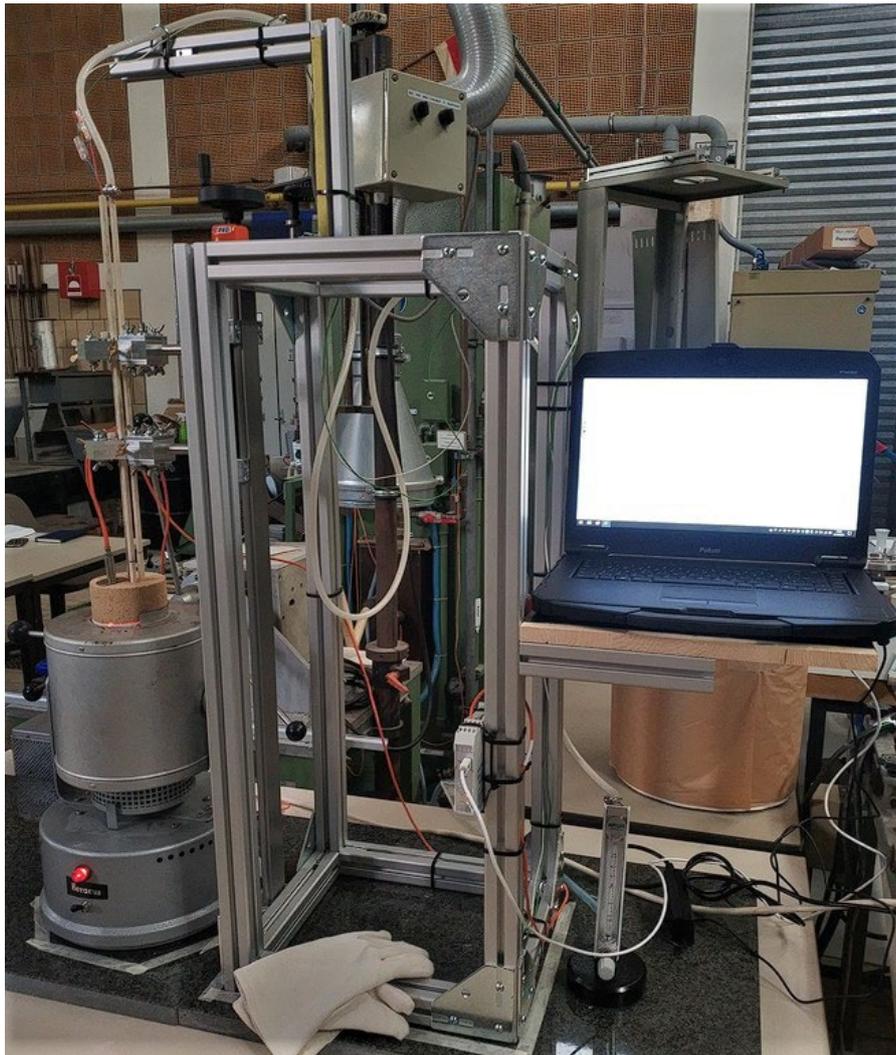


Abbildung 4: finaler Aufbau zur „Hochtemperatur-Elektrochemie an Glasschmelzen“, Bild: Fabio Gygas

Für den gesamten Messaufbau kann man das Fazit ziehen, dass die Studierenden insbesondere neue Fähigkeiten zur Konstruktion, Messtechnik und zur Überführung der Theorie in die Praxis beherrschen lernten. Die Studierenden konnten dabei weitestgehend selbstständig eigene Methoden erarbeiten, die in Zwischengesprächen mit den Betreuern sondiert wurden, und sie konnten anschließend ihre Gedanken in die Realität umsetzen.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im zweiten Schritt sollten Sauerstoff-Partialdruckmessungen am Versuchsaufbau durchgeführt werden. Hierfür wurden vergleichende Messungen der Spannung (EMK) zwischen der Arbeitselektrode und der Vergleichselektrode mittels Signalkonverter und eines Fluke-Messgeräts vorgenommen, die Unterschiede in der EMK von maximal 1,5 mV aufwiesen, was einen Unterschied im gemessenen Sauerstoff-Partialdruck von 4 % bedeuten würde.

Weiterhin wurde die Abhängigkeit der EMK von der Temperatur für eine gegebene Glasschmelze gemessen, deren Ergebnisse in Abbildung 5 zu erkennen sind. Höchst interessant ist der zugehörige Verlauf der Temperatur und der EMK während der Kühlung nach Abbildung 6.

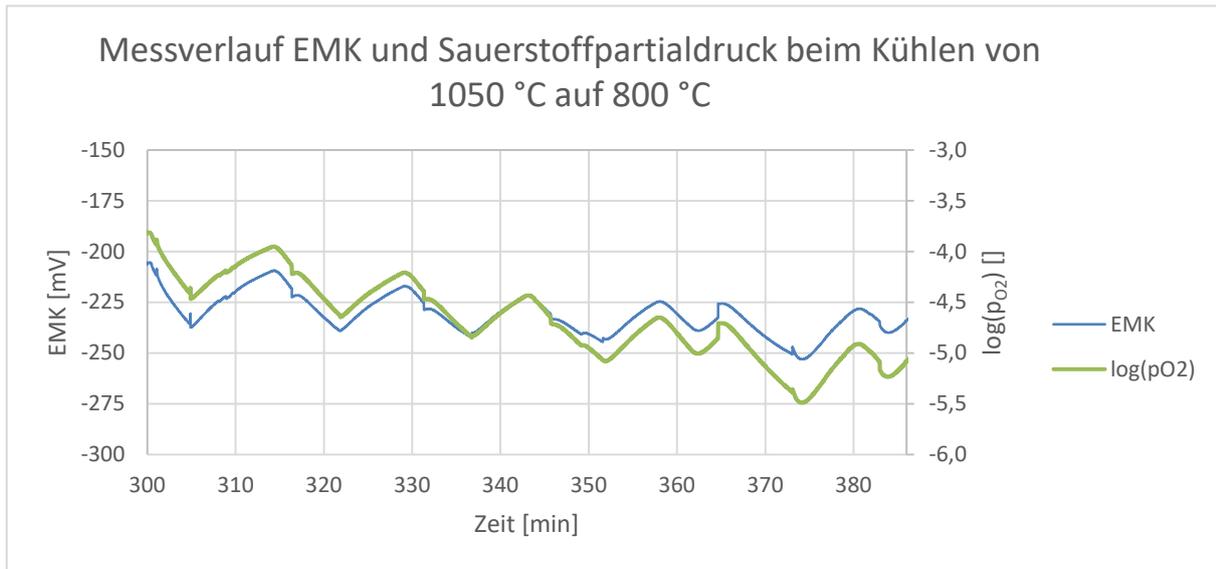


Abbildung 5: Messung EMK und Sauerstoff-Partialdruck beim Kühlen von 1050 °C auf 800 °C, Bild: Fabio Gygas

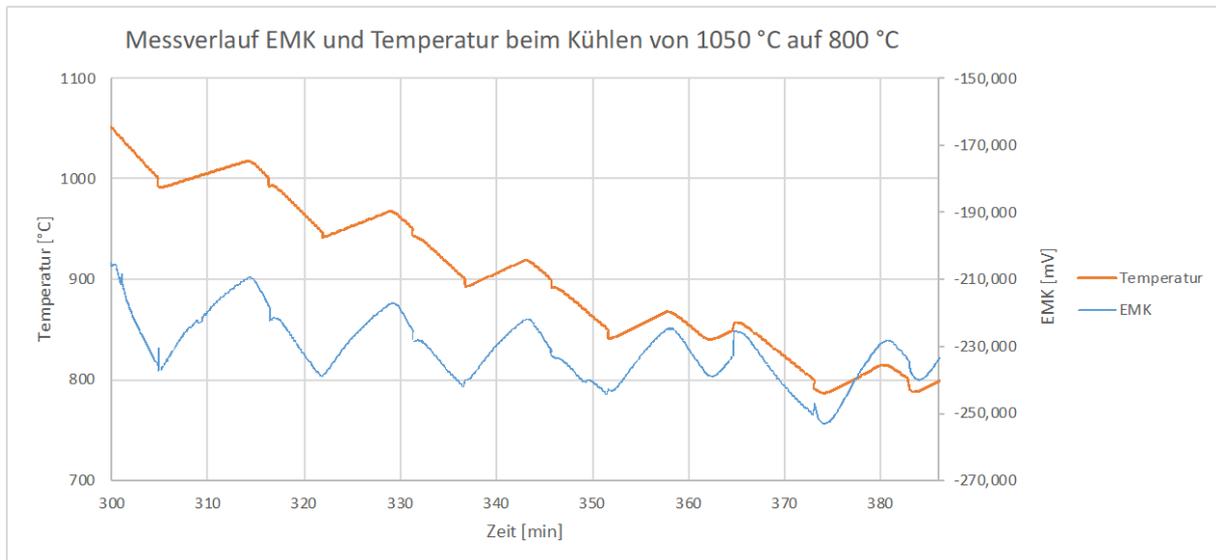


Abbildung 6: Messung EMK und Temperatur beim Kühlen von 1050 °C auf 800 °C, Bild: Fabio Gygas

Die Abbildung 6 zeigt, dass nicht nur, wie erwartet, die EMK eine Funktion der Temperatur ist, sondern sogar eine Funktion der Heiz-/Abkühlrate zu sein scheint. Da der gegebene Messofen nur unzureichend regelbar war, konnte eine definierte Heiz- beziehungsweise Kühlrate nicht eingestellt werden, sodass sich entsprechend Abbildung 6 unterschiedliche Heiz- und Kühlraten ergaben. Beispielhaft können die beiden Temperaturpeaks bei etwa 358 und 365 Minuten zur Diskussion herangezogen werden.

Die Temperatur der Peaks unterscheidet sich um etwa 20 Kelvin, jedoch ist die gemessene EMK quasi gleich groß. Dies könnte ein Messeffekt sein, könnte aber auch ein Indiz dafür sein, dass die Heizbeziehungsweise Kühlrate einen Einfluss auf die EMK hat. Dies passt indirekt zu dem Begriff des „thermischen Reboils“, der zur Erklärung der spontanen Blasenbildung in Glasschmelzen Verwendung findet. Es scheint, dass eine „heizratenabhängige EMK“ eine konkretere Erklärung für den Mechanismus des „thermischen Reboils“ geben könnte.

5. Vernetzung und Transfer

Die Studierenden profitieren von konkreten Kenntnissen zur Implementierung einer Messtechnik und können diese bei zukünftigen Unternehmen gewinnbringend einsetzen. Für die Fakultät besteht die Möglichkeit, gezielt Messungen im Bereich der Hochtemperatur-Elektrochemie im Rahmen von FuE-Projekten oder allgemein für Unternehmen zu verwenden.

6. Fazit und Ausblick

Die Anwendung der Elektrochemie ist für die Ausbildung der Studierenden der angewandten Materialwissenschaften von hoher Bedeutung und in Anbetracht der Thematik Brennstoffzellen und Batterien von gesellschaftlich höchster Relevanz. Die Verwendung des Versuchsstandes zur Hochtemperatur-Elektrochemie ist in zukünftigen Lehrveranstaltungen beziehungsweise Praktika an der Fakultät Werkstofftechnik im Bachelor und/oder Master geplant.

Inhaltlich ergeben sich erste Erfahrungen zur Hochtemperatur-Elektrochemie (einschließlich erkannter Fehlerquellen), die in einem im Oktober 2022 gestarteten BMBF-Projekt direkt weiterverwendet werden sollen. Die Fakultät wird hierdurch im Fachbereich Glas einen neuen Schwerpunkt aufbauen, der aktuell in Deutschland an keiner anderen Forschungseinrichtung vertreten ist.

Didaktisch eignet sich die „Erarbeitung eines eigenen Versuchsstandes“ mit dem Lernziel „Überführung theoretischer Sachverhalte in die Praxis“ sehr gut, um einerseits Hemmnisse bezüglich kompliziert erscheinender Messtechnik abzubauen und andererseits Methoden der Elektrochemie kennenzulernen.

Kritisch müssen die hohen Kosten für einen solchen Versuchsaufbau gesehen werden. Zukünftig sollten einfachere Laborversuche bei Raumtemperatur zur Elektrochemie im Rahmen von Praktika von den Studierenden erarbeitet werden, die mit anschließender Demonstration der Versuchstechnik am „Hochtemperatur-Elektrochemiestand“ auf andere, aber verwandte Sachverhalte vergleichend überführt werden können.

Impressum

Lehrforschung 2022

Herausgeber:

Der Präsident der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Keßlerplatz 12
90489 Nürnberg

Redaktion und Layout:

Mario Kraußner, Barbara Jankowski
Hochschulkommunikation und -marketing
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Stand: Dezember 2023

