

Lernen durch Forschen

**Forschungsprojekte mit
Bachelorstudierenden**

2023/2024

Förderprogramm

„Lernen durch Forschen – Forschungsprojekte mit Bachelorstudierenden“



Liebe Leserinnen und Leser,

Forschung ist kein fernes Versprechen, das erst mit dem Masterstudium oder einer Promotion beginnt. Forschung beginnt dort, wo Neugier auf eine Frage trifft – und wo Studierende die Möglichkeit erhalten, diese Frage eigenständig zu verfolgen. Mit dem Förderprogramm **„Lernen durch Forschen – Forschungsprojekte mit Bachelorstudierenden“** wird Neugier zum Ausgangspunkt wissenschaftlichen Handelns. Was daraus entsteht, zeigt diese Doppelausgabe 2023/2024: Forschung, die Potenziale freisetzt und Lernräume verändert.

In den geförderten Projekten werden Bachelorstudierende bereits früh im Studium in aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprozesse eingebunden – gemeinsam mit Lehrenden, Forschenden und externen Partnern. Die Projekte zeigen eindrucksvoll, was entsteht, wenn Studierende Forschung nicht nur kennenlernen, sondern sie aktiv gestalten:

- Sie erleben Forschungsprozesse mit allen Höhen und Tiefen – von der ersten Hypothese bis zur Präsentation der Ergebnisse.
- Sie lernen Theorien bewusst auszuwählen, Daten kritisch zu reflektieren und planvoll zu handeln.
- Sie arbeiten in interdisziplinären Teams, bringen ihre Fachkompetenz ein und üben die Zusammenarbeit in heterogenen Gruppen ein.
- Sie vernetzen sich mit regionalen Unternehmen, Institutionen und Communities – und erleben die Region Nürnberg als Möglichkeitsraum für ihre Zukunft.

Damit leisten die Projekte nicht nur einen Beitrag zur **Forschungsstrategie der Ohm**, die Forschungskompetenz als Profilerkmal des Studiums verankert. Sie machen zugleich unser Leitbild **„Lehren und Lernen – im Dialog“** konkret erlebbar: durch gemeinsames Entwickeln, Erproben und Reflektieren. Forschendes Lernen verändert die Perspektive: Studierende werden zu Mitgestaltenden wissenschaftlicher Erkenntnis. Und wir erleben jedes Jahr aufs Neue, wie sehr dies Begeisterung und Selbstwirksamkeit erzeugt.

Mein Dank gilt allen Lehrenden, Forschenden und Kooperationspartnern, die diesen Dialog möglich machen – und ganz besonders den Studierenden, die ihre Neugier in Schaffenskraft verwandeln.

Ich wünsche Ihnen eine inspirierende Lektüre und viele Impulse für die Weiterentwicklung von Forschung in der Lehre.

Christina Zitzmann

Mit freundlichen Grüßen
Prof. Dr. Christina Zitzmann

Inhalt

Lernen durch Forschen 2023/2024

Vorwort Lernen durch Forschung 2023/2024	3
Prof. Dr. Christina Zitzmann Vizepräsidentin Bildung	
<hr/>	
Ki'i Ki'i - Ein interdisziplinäres Projektseminar im Akeakamai-Forschungscamp auf Big Island, Hawai'i	10
Prof. Berthold Best Fakultät Bauingenieurwesen, Vermessung Dipl.-Ing. (FH) Thomas Killing Fakultät Bauingenieurwesen, Structure from Motion (SfM) Michael Kögel, M. Eng. Fakultät Bauingenieurwesen, Terrestrisches Laserscanning (TLS) Prof. Lucia Scharbatke Fakultät Design, Film & Animation Prof. Manuel Casasola Merkle Fakultät Design, Computer Generated Imaging (CGI)	
<hr/>	
Kleine Kugeln mit großer Wirkung – Wie neue Mahlkörper die Feinstzerkleinerung beeinflussen?	21
Prof. Dr.-Ing. Sandra Breitung, Dimitrios Margaritis, M. Sc. Fakultät Verfahrenstechnik Dr.-Ing. Stefan Mende Netzsch Feinmahltechnik GmbH Dr.-Ing. Achim Müller Sigmund Lindner GmbH	
<hr/>	
Nachhaltige, bioinspirierte Klebstoffe für Baumaterialien	28
Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann Fakultät Bauingenieurwesen Prof. Dr. Ralf Lösel Fakultät Angewandte Chemie	
<hr/>	
Identifikation von Erfolgsfaktoren und geeigneten Umsetzungsebenen von True Cost Accounting („IdEa_TCA“)	35
Prof. Dr. Tobias Gaugler, Lennart Stein, M. Sc., Viktoria Vogel, Felix Hirschberg, Katharina Wunder Fakultät Betriebswirtschaft	
<hr/>	
ARGreWell: Augmented Reality Green Indoor Wellbeing Study	44
Prof. Dr. Timo Götzelmann Fakultät Informatik / Nuremberg Campus of Technology (NCT) Viktoria Galt, Elvis Thai, Daniel Freitas Fakultät Informatik	

Lehrkompetenzzentrum Schmierfette	51
Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob, Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer Fakultät Angewandte Chemie Prof. Dr. Alexander Monz Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	
Messedemonstrator: Mensch-Maschine-Kommunikation in der Produktion	57
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Kausler Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik	
Das Kerngeschäft der Schulsozialarbeit... – Kooperation als zentrale Herausforderung von Schulsozialarbeiterinnen und -arbeitern	62
Prof. Dr. Johannes Kloha Fakultät Sozialwissenschaften Dr. Stefanie Gandt Lehr- und Kompetenzentwicklung (LeKo) Sinem Tekin, M. A. Sozialarbeiterin / Lehrbeauftragte Fakultät Sozialwissenschaften Melina Riebisch, B. A. Studentische Hilfskraft Fakultät Sozialwissenschaften	
Garten-Räume der Hochschule interdisziplinär erschließen, gemeinsam bauen und nutzen – geteilte Verantwortung im öffentlichen Raum erforschen	68
Prof. Dr. Markus Kosuch Fakultät Sozialwissenschaften Kerstin Seeger, M. A. Fakultät Sozialwissenschaften und Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften David Schmierer, B. A. und Stefan Bendkowski Forschungs- und Projektteam	
Hochtemperatur-Heizelemente	74
Prof. Dr.-Ing. Hannes Kühl Fakultät Werkstofftechnik	
Lehrforschungsversuch innerhalb des Praktikums Energieprozesstechnik – Lösungsbeiträge zur Energiewende	80
Prof. Dr.-Ing. Thomas Metz, Prof. Dr.-Ing. Christoph Reichel Fakultät Verfahrenstechnik Nancy Waurig, Dipl.-Ing. (FH) Fakultät Verfahrenstechnik, Labor für Energieprozesstechnik	
Gleitlager – Verifikation und Validierung	86
Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz, Luis Huber, M. Sc. Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	

PraLaTex: Einführung praxisrelevanter Laborversuche im Rahmen der Bachelorausbildung „Physikalische Chemie“ basierend auf textilchemischen Fragestellungen	91
---	-----------

Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer
Fakultät Angewandte Chemie

Unterstützung der Erforschung und Entwicklung biobasierter Faserverbundkunststoffe unter Einsatz der Dynamisch-mechanischen Analyse (bioFEDA)r	101
---	------------

Prof. Dr.-Ing. Dominik Söthje, Elisabeth Schamel, M. Sc., Simon Eichert, B. Sc.
Fakultät Angewandte Chemie

Forschendes Lernen am Studienanfang Förderung der Forschungskompetenz im Modul „Psychologische Grundlagen“	108
---	------------

Prof. Dr. Christina Storck, Prof. Dr. Marius Raab, Prof. Dr. Johannes Bach
Fakultät Sozialwissenschaften
Ada Feldbauer, Aura Violetta Franco Arratia, Lydia Patrick, Kira-Liane Poitzsch, Nadine Ramm
Fakultät Sozialwissenschaften

DRUMACTOR – Auslegung, Aufbau und kreative Anwendung mechatronischer Aktoren für perkussive Instrumente	116
--	------------

Prof. Dr.(-Ing.) Alexander von Hoffmann, Tom, Schmid, M. Eng.
Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Prof. Dr. Sebastian Trump
Künstliche Kreativität und musikalische Interaktion, Hochschule für Musik Nürnberg

Interdisziplinäres Projektseminar der Ruhr-Universität Bochum (Fakultät Geographie und Geowissenschaften) und der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Fakultät Bauingenieurwesen) im Akeakamai-Forschungscamp auf Big Island, Hawai'i - 2024	125
--	------------

Prof. Dipl.-Ing. Berthold Best
Fakultät Bauingenieurwesen, Projektleitung
Dipl.-Ing. Thomas Killing
Fakultät Bauingenieurwesen, Photogrammetrie
Michael Kögel, M. Eng.
Fakultät Bauingenieurwesen / Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Laserscanning
Bachelor-Studierende der Ohm:
Laura Dürsch, Luca Forker, Maximilian Klaus, Jakob Lahner, Emma Zwirner
Prof. Dr. Andreas Pflitsch
Geographie/Ruhr Universität Bochum
Prof. Diana E. Northup, Ph. D.
Biologie/University of New Mexico (USA)

Einsatz von Gamification in der Lehre der Wirtschaftsinformatik: Unterstützung der Motivation von Erstsemesterstudierenden in Zeiten der generativen AI	133
Prof. Dr. Patricia Brockmann, Prof. Dr. Heidi Schuhbauer Fakultät Informatik	
Prof. Dr. Margo Bienert Fakultät Betriebswirtschaft	
ReGeIT – Recht und Gewalt an der Schnittstelle IT, Chatbots als Präventionsmaßnahme im Kontext häuslicher Gewalt und der Umsetzung der Istanbul-Konvention	138
Prof. Dr. Simone Emmert, LL.M. Eur. Fakultät Sozialwissenschaften	
Prof. Dr. Alexander Piazza Fakultät Wirtschaft, Hochschule Ansbach	
Dr. Daniel Alt Chief Executive Officer (CEO) beim Institut für Innovation und Digitalisierung (IDA), Amlingstadt bei Bamberg	
Laser Cyberlab 2.0 – Remote-Werkstoffanalyse	150
Prof. Dr.-Ing. Thomas Frick, Dipl.-Ing. Andreas Schkutow Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	
TrueMensa: True Cost Accounting für wahre Lebensmittelpreise in der Mensa der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm)	157
Prof. Dr. Tobias Gaugler, Prof. Dr. Jan Niessen, Lennart Stein, M. Sc. Fakultät Betriebswirtschaft	
Viktoria Vogel, Lara Heeg und Felix Hirschberg Fakultät Betriebswirtschaft	
Dr. Carolin Lano. Referentin für Nachhaltigkeit und Diversität	
Michael Sens Klimaschutzmanager	
Dirk Voit, André Müller Studierendenwerk Erlangen-Nürnberg	
Projekt Formula Student, Strohm und Söhne	163
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Grau Fakultät Maschinenbau	
Tim Lerch Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik	
Lehrforschungslabor Schmierfette	169
Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob, Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer Fakultät Angewandte Chemie	
Prof. Dr. Alexander Monz Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	

Hörer-Akzeptanz von KI-Radios	174
Prof. Markus Kaiser Fakultät für Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften	
Schulsozialarbeit in ganztägigen schulischen Settings	182
Prof. Dr. Johannes Kloha Fakultät Sozialwissenschaften Dr. Stefanie Gandt Lehr- und Kompetenzentwicklung (LeKo) Sinem Tekin, M. A. Sozialarbeiterin / Lehrbeauftragte Fakultät Sozialwissenschaften Melina Riebisch, B. A. Studentische Hilfskraft Fakultät Sozialwissenschaften	
URBAN-GARDENING + NACHHALTIG STUDIEREN an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) – vom Projekt zur nachhaltig integrierten Aktionsfläche	189
Prof. Dr. Markus Kosuch Fakultät Sozialwissenschaften Kerstin Seeger, M. A. wirKSam verändern David Schmierer, M. Sc. Transition Roßtal	
Stadtwechsel – Eine städtebauliche und sozialräumliche Untersuchung Nürnbergs	195
Dipl.-Ing. Xiaotian Li, Alina Burose, M. A. Fakultät Architektur Dipl.-Soz. Päd. Ulrike Krämer Fakultät Sozialwissenschaften	
Lösungsbeiträge für die Energiewende - Entwicklung eines Wasserstoffbrenners und eines thermo- elektrischen Compound-Moduls für den Einsatz in einem Kleinst-Blockheizkraftwerk (Nano-BHKW)	202
Prof. Dr.-Ing. Thomas Metz Fakultät Verfahrenstechnik Dipl.-Ing. (FH) Nancy Waurig Fakultät Verfahrenstechnik, Labor für Energieprozesstechnik	
Genesis Vision Test - Automated Monocular Visual Acuity Test with Eye-Tracking (GVT-MVAT-ET)	209
Prof. Dr. Wolfgang Mönch, Andreas Pazureck, M. Sc., Alexander Pletner, B. Eng.. Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik	
Benchmark und prototypische Umsetzung eines Raumbelegungssystems	216
Prof. Dr. Alexander Monz, Johannes Frank, M. Sc. Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik Prof. Dr. Alexander Kröner Fakultät Informatik	

Transformation und Nachhaltige Ernährungssysteme in der Metropolregion Nürnberg – Fair Trade University Edition (TuNErMeNü Fair) Prof. Dr. Jan Niessen, Viktoria Vogel, Felix Hirschberg Fakultät Betriebswirtschaft Dr. Carolin Lano Referentin für Nachhaltigkeit und Diversität Ralf Mützel Leiter des Amtes für Nachhaltigkeit der Stadt Neumarkt	221
Einführung des Wahlfachs „Grundlagen der Produktformulierung“ Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer Fakultät Angewandte Chemie	226
Railway Challenge – Team EAGLE Prof. Dr.-Ing. Roman Schaal Fakultät für Maschinenbau und Versorgungstechnik / Institut für Fahrzeugtechnik	236
DriveOhm Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen mit Systems Engineering Methoden Prof. Dr.-Ing. Christina Singer Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	242
Quantenmagnetfeldsensor Prof. Dr. Andreas Stute Fakultät für Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik und Fakultät für angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften Prof. Dr.-Ing. Bernhard Wagner, Lucas Kirchbach, M. Sc. Fakultät für Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik	252
KI und Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrsimulator Prof. Dr. Sven Winkelmann, Philipp Renner, M. Sc. Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik Ohm User Experience Center	257

Ki'i Ki'i - Ein interdisziplinäres Projektseminar im Akeakamai-Forschungscamp auf Big Island, Hawai'i

Prof. Berthold Best

Fakultät Bauingenieurwesen, Vermessung

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Killing

Fakultät Bauingenieurwesen, Structure from Motion (SfM)

Michael Kögel, M. Eng.

Fakultät Bauingenieurwesen, Terrestrisches Laserscanning (TLS)

Prof. Lucia Scharbatke

Fakultät Design, Film & Animation

Prof. Manuel Casasola Merkle

Fakultät Design, Computer Generated Imaging (CGI)

Bachelorstudierende:

Claudius Birk (Design), Alicia Brunner (Design), Anthea Eichstetter (Design), Christian Knobloch (Bauingenieurwesen), Maaïke Kroth (Design), Elias Müller (Design), Annika Peschel (Bauingenieurwesen), Luna Plesinger (Design/Gestaltungssystem), Simon Rickert (Bauingenieurwesen), Sabrina M. Rinck (Bauingenieurwesen), Oliver Schmidt (Design), Carolin Stiege (Bauingenieurwesen), Lisa Zelko (Design/Wort-Bild-Marke), viertes Semester Modul „Typographie“ (Design)

Zusammenfassung:

Ki'i Ki'i ist ein interdisziplinäres Projektseminar der Ruhr-Universität Bochum (RUB; Fakultät für Geowissenschaften) und der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm; Fakultäten Bauingenieurwesen und Design) im Akeakamai-Forschungscamp auf Big Island, Hawaii.

Zielsetzung von Ki'i Ki'i (Bild/Abbild auf Hawaiianisch), dem inzwischen vierten interdisziplinären Projektseminar auf Hawai'i, war es unter anderem, das bisher erstellte 3D-Raummodell der Maelstrom-Höhle (auf Wunsch von Prof. Diana E. Northup, Biologin der University of New Mexico) dahingehend zu verfeinern, dass der Mikrobewuchs an den Höhlenwänden noch detaillierter abgebildet werden konnte sowie erste Daten für die Erstellung eines virtuellen Lehr- und Forschungsraums zu sammeln. Das Scan-Team der Fakultät Design um Prof. Casasola Merkle versuchte, ausgewählte Höhlenbereiche durch Fotogrammetrie zu erfassen. Dabei handelt es sich um eine Technik zur Fernerkundung, bei der Informationen über die räumliche Struktur und die Position von Objekten aus fotografischen Bildern abgeleitet werden. In diesem Fall mit Hilfe von polarisiertem Licht, mit gleicher Schwingungsebene und Phase. So kann die spekulare Reflexion, die spiegelartige Reflexion von Licht an einer Oberfläche, eliminiert werden und man erhält direkt die Albedo einer Höhlenwand (das Maß für das Vermögen, Strahlung diffus zu reflektieren). Die Verwendung dieser physikalisch akkuraten Albedo-Daten in der Visualisierung führt zu

einer gesteigerten Qualität. Da zeitgemäße Rendering-Methoden in der Regel Material-Modelle verwenden, die die spekulare und diffuse Reaktion des Materials auf Licht getrennt modellieren. Weil bei der Fotogrammetrie die geometrische Qualität der Daten geringer ausfällt als bei traditionellen Time-of-Light-Methoden, hat das Scan-Team der Fakultät Bauingenieurwesen dieselben Bereiche mit einem 3D-Laserscanner hochauflösend erfasst. Nun werden beide Modelle überlagert, was die Genauigkeit steigert. In der Akeakamai-Höhle wurde von den Geografie-Studierenden ein neues Messfeld angelegt. Um Aussagen über den Wärmetransport in die Höhle machen zu können, hat in diesem Bereich das Luftbild-Team der Bauingenieure das Gelände mit der Drohne aufgenommen. Das Scan-Team der Fakultät Design nutzte den Aufenthalt zusätzlich, um natürliche geologische Lava-Formationen zu erfassen. Diese können später zum Beispiel für virtuelle Drehorte (für Filme/Games) verwendet werden und zeigen einen hohen Grad an Realismus. Parallel dazu entstanden vor Ort eine Dokumentation des Forschungsprojektes und ein Dokumentarfilm.

Ebenso wird 2026 das Kīi-Kīi-Forschungs-Magazin digital erscheinen, welches in Kooperation mit dem Modul „Typographie“ der Fakultät Design der Ohm entstand. In diesem Rahmen wurde auch eine Wort-Bild-Marke entwickelt.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Februar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Bauingenieurwesen
Projektleitung	Prof. Dipl.-Ing. Berthold Best
Projektteam	Dipl.-Ing. (FH) Thomas Killing, Michael Kögel, M. Eng.
Kontakt Daten Projektleitung	thomas.killing@th-nuernberg.de

Fördersumme	10.000 Euro + 3.700 Euro aus Restmitteln
Laufzeit	Februar bis Dezember 2023 (Kreativ-Umsetzung bis Dezember 2024)
Fakultät/Einrichtung	Design
Projektleitung	Prof. Lucia Scharbatke
Projektteam	Prof. Manuel Casasola Merkle
Kontakt Daten Projektleitung	lucia.scharbatke@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Prof. Dr. Andreas Pflitsch, Leiter der Abteilung „Klimatologie extremer Standorte“ an der RUB, betreibt auf Big Island, Hawai'i, das Akeakamai-Forschungscamp. In verschiedenen Lavahöhlen werden mit fest installierten Klimasensoren grundlegende Daten zur Höhlenklimatologie erfasst und analysiert. Im Rahmen von inzwischen drei vorausgehenden interdisziplinären Projektseminaren in den Jahren 2017, 2020 und 2022 wurden, in erfolgreicher Zusammenarbeit zwischen Studierenden des Bauingenieurwesens und der Geographie, verschiedene Lavahöhlen auf Big Island, Hawai'i, digital, dreidimensional und fotorealistisch vermessen. In den letzten beiden Seminaren wurde auf Anfrage der bekannten Biologin und Expertin für Mikrobenbewuchs in Höhlen, Prof. Diana E. Northup von der University of New Mexico (USA), das KIPUKA KANOHINA CAVE SYSTEM - MAELSTROM SECTION, ein Höhlensystem in unmittelbarer Nähe des Akeakamai-Forschungscamps, erforscht. Die Studierenden haben mittels Terrestrischem Laserscanning und Luftbild-Fotogrammetrie/Structure from Motion das Höhlensystem dreidimensional erfasst und in ein 3D-Raummodell überführt. Das dient dazu, klimatologische und biologische Fragestellungen zu beantworten, auch solche zum Mikrobenbewuchs. Die Close-Range- Fotogrammetrie wurde bisher mit handgeführten Digitalkameras und LED-Leuchtpaneelen durchgeführt. Die erzielten Ergebnisse sind durchweg gut und ermöglichen eine farbige Darstellung der Höhleninnenwände im Raummodell. Für eine exakte Bestimmung der vorhandenen Mikroben jedoch reicht die bisher erzielte Auflösung innerhalb des 3D-Modells nicht aus. Hier sollte die Expertise der Fakultät Design der Ohm Abhilfe schaffen. Weshalb sie erstmals als neuer interdisziplinärer Partner am diesjährigen Projektseminar teilnahm. Das Scan-Experten-Team der Fakultät Design um Prof. Manuel Casasola Merkle verwendet hochauflösende Kameras mit Ringblitzen. Sowohl die Objektive der Kameras als auch die Streuscheiben der Ringblitze wurden mit Polarisationsfiltern ausgestattet. Das polarisierte Licht eliminiert die spekulare Reflexion der Oberfläche und man erhält physikalisch korrekte Albedo-Daten der Höhlenwand. Hierdurch wird eine sehr detaillierte Abbildung der Oberflächen möglich. Da bei der Fotogrammetrie die geometrische Qualität (Maßstäblichkeit) der gerenderten Oberflächen geringer ausfällt als beim Terrestrischen Laserscanning, hat das Laserscan-Team der Fakultät Bauingenieurwesen dieselben Bereiche hochauflösend mit dem Laserscanner erfasst.

Dieser liefert zwar keine Farbinformationen der gescannten Oberfläche, dafür weisen seine Graustufen-Punktwolken eine sehr hohe geometrische Maßstäblichkeit auf. Überlagert man nun die beiden Ergebnisse, die Graustufen-Punktwolken mit den sehr detaillierten, farbigen Punktwolken aus der Close-Range-Photogrammetrie, erhält man eine optisch hochauflösende, maßstabsgerechte Abbildung der Oberflächen.

Der zweite Schwerpunkt im Lehrforschungsantrag der Fakultät Bauingenieurwesen, die Fortsetzung der Erfassung eines Krater-Höhlensystems in der Pohue Bay, welche im Projektseminar 2022 mit umfangreichen Drohnen-Befliegungen begonnen wurde, konnte leider nicht fortgesetzt werden. Die Pohue Bay wurde vor unserem Eintreffen in den Hawaiian-Volcanoes-Nationalpark aufgenommen, woraufhin ein temporäres Betretungsverbot erlassen wurde. Ziel dieser Maßnahme ist es, die Natur der Bay vor Massentourismus zu schützen. Die vorhandenen Luftbilder aus dem Jahr 2022 erlaubten es allerdings, ein genaues Raummodell des Gebietes zu erstellen, lediglich ein kleiner Bereich unmittelbar am Meer wurde nicht abgedeckt.

Da die Drohne somit für andere Projekte genutzt werden konnte, wurde das Gelände über einem, von den Geographen in der Akeakamai-Höhle neu angelegten Messfeld, beflogen und anschließend ausgewertet. Die so gewonnenen geometrischen Oberflächendaten sollen helfen, den Wärmestrom (von der Geländeoberfläche in die Höhle hinein) zu ermitteln. Hierzu wurden von Andreas Dreker, einem Geographie-Studenten, auch Lavaproben aus der Höhlendecke entnommen. An diesen konnte er, im Rahmen seiner

Abschlussarbeit im Baustofflabor der Ohm, die Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Lavaarten bestimmen. Überdies sollen die bereits gewonnenen Daten erste Tests für einen virtuellen Lehr- und Forschungsraum ermöglichen. Ein virtueller Forschungsraum ermöglicht es Forschenden, vor und nach der Feldarbeit virtuell und gemeinsam Orte zu betreten, Daten zu interpretieren und sich auszutauschen, in unserem Fall über die Höhlen in Hawai'i. Dies optimiert die Nutzung der Forschungszeit vor Ort und minimiert mittel- und langfristig den Eingriff ins Ökosystem. Auch soll das Konzept von „ki'i ki'i“ in der Virtual Reality (VR) einen Lehrraum schaffen, der neue Lern- und Lehrmöglichkeiten für Studierende und Lehrende bietet. Dies eröffnet nicht nur Studierenden und Lehrenden der oben genannten Fachbereiche neue Optionen, sondern begünstigt zudem neue didaktische Ansätze und eine reale interdisziplinäre Verzahnung von Forschung und Lehre. Ein Lehrraum in der VR fördert (durch die Eliminierung äußerer Einflüsse) zudem den Fokus und erhöht die Motivation, weil er erlaubt, Lehre zu individualisieren.

ki' ki' cave project



Abbildung 1: Das Team (Fakultäten Bauingenieurwesen und Design) der Ohm; Bild: Thomas Killing, BI



Abbildung 2: Akeakamai-Forschungscamp.
Bild: Elias Müller, D

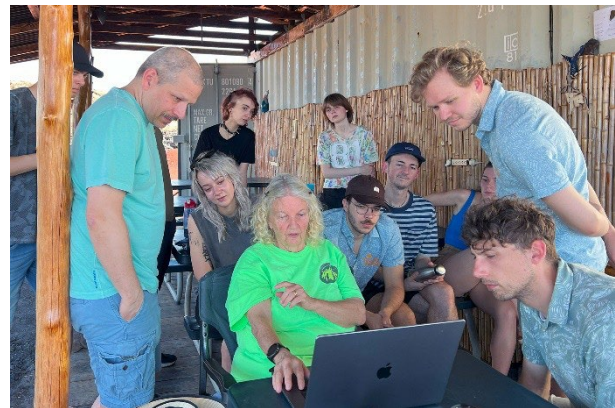


Abbildung 3: Prof. Diana Northup erklärt den Mikobenbewuchs;
Bild Thomas Killing, BI



Abbildung 4: Mikrobewuchs der Höhlendecke.
Bilder: Oliver Schmidt, D



Abbildung 5: Fahrt über Lavafeld.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Studierende des Bauingenieurwesens sind in ihrem Studium in erster Linie planend, kalkulierend und bemessend tätig. Daher kommt ein Teil von ihnen im Studium nur selten mit dem Thema Forschung in Berührung. Die Fakultät Design setzte früher oft einen rein kreativen Gestaltungs-Fokus. In den letzten Jahren rückt auch das Thema Forschung und insbesondere interdisziplinärer Forschung in den Fokus.

Durch das Lehrforschungsprojekt und die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Studienrichtungen Bauingenieurwesen, Design und Geographie bekamen die teilnehmenden Studierenden der Ohm die Gelegenheit, an wissenschaftliches Arbeiten herangeführt zu werden. Hilfreich hierbei war, dass die Studierenden der Geographie während ihres Studiums überwiegend forschend tätig sind und so die Studierenden der anderen Fachrichtungen auf Augenhöhe in das Thema „Forschung“ einführen konnten. Studierende der Fakultät Design konnten so ihren gestalterisch-kreativen Fokus um einen technisch-wissenschaftlichen Fokus erweitern. Jede der drei beteiligten Fachrichtungen hat teilweise völlig unterschiedliche Herangehens- und Arbeitsweisen und eigene Problemstellungen zu lösen. Doch sowohl der fachliche als auch der persönliche Austausch zwischen den Studierenden der verschiedenen Studienrichtungen bereicherte die Zusammenarbeit und wirkte sich auch im weiteren Studienverlauf positiv auf das Miteinander der Fakultäten aus.

Da bei der Close-Range-Fotogrammetrie sehr schnell große Datenmengen entstehen, wurde gemeinsam ein überschaubarer Höhlenbereich mit unterschiedlichem Mikobewuchs festgelegt, der als Versuchsmessfeld dienen sollte. Dieses fand sich unweit des Höhleneingangs und verfügte über interessante Decken-, Wand- und Bodenbereiche.

Die Erfassung des Messfeldes wurden in drei verschiedene Aufgabenbereiche aufgeteilt:

Das Fotogrammetrie-Team der Fakultät Design war für die hochauflösende, farbige 3D-Erfassung der Oberflächen (Mikoben-Bewuchs) zuständig, das Film-Team dokumentierte Arbeitsschritte und -umfeld. Die Studierenden der Fakultät Bauingenieurwesen haben das Messfeld mit einem Terrestrischen Laserscanner aufgenommen, um eine exakte Oberflächengeometrie abbilden zu können.

Da im späteren Raummodell des Messfeldes die einzelnen Mikroben-Bereiche differenziert werden sollen und ihre Entstehung nachvollzogen werden soll, hatten die Geographen die Aufgabe, die einzelnen Mikrobenarten im Messfeld zu identifizieren und anschließend zu kartographieren. Außerdem mussten Luftströmungen, Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten über den Messbereich verteilt aufgenommen werden. Leider konnten diese drei Aufgabenbereiche nicht parallel bearbeitet werden. Bei der Fotogrammetrie wirkt sich Fremdlicht, erzeugt durch die Helmlampen der Forschenden in der Höhle, negativ auf die Qualität der Punktwolke aus, daher war nur in der Höhle anwesend, wer zum Fotografieren gebraucht wurde.

Der Laserscanner tastet die Oberflächen mit einem Laserstrahl ab. Der direkte Blick in den für Menschen unsichtbaren Laserstrahl sollte vermieden werden, damit das Auge nicht geschädigt wird. So war auch hier nur das Laserscan-Team in der Höhle, damit keine unbeteiligte Person gefährdet wurde. Nur die Arbeiten der Geographie-Studierenden konnten von Interessierten beobachtet werden.

Dieser Umstand führte zwar zu einer Verlängerung der erforderlichen Vermessungsdauer, die zur Aufnahme des Messfeldes notwendig wurde, ermöglichte es aber den Studierenden, die gerade nicht in der Höhle waren, sich anderen Aufgaben zu widmen. Das Laserscanner-Team nutzte die höhlenfreie Zeit, das Forschungscamp zu scannen und dabei verschiedene Einstellungen des Scanners zu testen, um die optimalen Scanparameter für den Einsatz in der Höhle zu ermitteln. Außerdem wurde das Gelände über einer anderen Höhle mit der Drohe fotogrammetrisch erfasst.

Das Photogrammetrie-Team der Fakultät Design verbrachte die Zeit außerhalb der Höhle, wie schon in der Zusammenfassung erwähnt, damit, an verschiedenen Orten auf der Insel natürliche geologische Formationen zu erfassen – überwiegend Lava in unterschiedlichen Verwitterungsstufen –, um diese dann später für virtuelle Drehorte mit einem hohen Grad an Realismus für Filme und Games verwenden zu können. Da der jüngste Ausbruch des Mauna Loa im Dezember 2022 stattfand, konnte frische, erst drei Monate alte Lava genauso fotografiert werden, wie Lava-Formationen aus dem letzten Jahrhundert. Da sich unter den Designern auch drei Studierende aus dem Bereich Film und Animation befanden, entstanden während des Aufenthalts zwei beeindruckende Dokumentarfilme. Einer der Filme dokumentiert die Arbeit der Forschenden in den Projektseminaren, der zweite Film begleitet eine Forschergruppe bei der Erstbegehung einer gerade erst erkalteten Lavahöhle im Bereich des Pu'u 'O'o Kraters. Eine Studierende der Fotogrammetrie-Gruppe hat einen selbst gebauten Pflanzenscanner mit auf die Insel gebracht, auf dem sie abends (kein störendes Fremdlicht in der Dunkelheit) die hawaiianische Pflanzenwelt digitalisiert hat.

Close-Range-Fotogrammetrie mit polarisiertem Licht

Das Fotogrammetrie-Team unter Leitung von Prof. Casasola Merkle, Experte für Computer Generated Imaging, setzte hochauflösende, spiegellose Vollformat-Kameras mit 42 Megapixeln ein, an deren lichtstarken, verzerrungsarmen Objektiven Ringblitze angebracht waren. Sowohl die Ringblitze als auch die Objektive waren mit Polarisationsfiltern ausgestattet. Mit zwei solcher Kameras wurde das Versuchsfeld aufgenommen. Dabei wurden die Kameras von Hand geführt. Hierbei musste sehr sorgfältig vorgegangen werden, damit die Einzelbilder immer eine ausreichende horizontale und vertikale Überlappung aufwiesen. Mit den erforderlichen Ladezeiten der Akkus benötigte das Team vier Tage, um das Messfeld aufzunehmen. Dabei entstanden 7.500 hochauflösende Einzelfotos.

Terrestrisches Laser-Scanning:

Das TLS wurde bei den vorhergehenden Projektseminaren dazu verwendet, die geometrische Form der Höhle und ihre Lage im Gelände zu ermitteln. Hierbei reichte eine mittlere Auflösung mit Scanzeiten von fünf Minuten aus, die Höhle mit einem Punkteabstand im Zentimeterbereich aufzunehmen. Dabei wurde der Scanner je nach Geometrie der Höhlenbereiche zwischen den Scans um 5 m bis 10 m versetzt.

In diesem neuen Projektseminar sollte das TLS dazu genutzt werden, die Oberflächen der Höhlenwände detailliert zu erfassen. Daher wurde die Auflösung auf die zweithöchste Qualitätsstufe gesetzt, was eine Scanzeit für einen Einzelscan von 15 Minuten ergab, was gerade noch vertretbar war. In der höchsten Auflösung wäre die Scanzeit auf unakzeptable 57 Minuten pro Scan angestiegen.

Je nach Komplexität der Oberflächen wurde der Scanner in Bereichen von 0,5 m bis 5 m versetzt. Da sich ein Akku gleich zu Beginn des Seminars plötzlich nicht mehr laden ließ, brauchte das Laserscanner-Team auch rund vier Tage, bis das Versuchsfeld mit dem verbleibenden Akku vollständig abgescannt war. Das Wahlfach „3D Gelände- und Gebäudeaufnahme mittels luftbildgestützter Fotogrammetrie und Laserscanner“, welches an der Fakultät Bauingenieurwesen angeboten wird, vermittelte dem Scan-Team bereits im Vorfeld der Reise die notwendigen Grundlagen dieses Vermessungsverfahrens. An der Fakultät Bauingenieurwesen 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 die Daten aus diesem Lehrforschungsprojekt werden der STUFO wieder zur Verfügung gestellt.



Abbildung 6: Photogrammetrie-Team; Bild: Thomas Killing, BI



Abbildung 7: Laser-Scanner-Team; Bild: Thomas Killing, BI



Abbildung 8: Luftbild-Team; Bild: Thomas Killing, BI



Abbildung 9: Film-Team; Bild: Thomas Killing, BI

Betreut wurden die Studierenden bei alledem vom Projektteam der Ohm, vor Ort vertreten durch Prof. Lucia Scharbatke, Prof. Manuel Casasola Merkle und Thomas Killing, sowie vom Projektteam der RUB unter Leitung von Prof. Andreas Pflitsch. Außerdem war der auf Hawai'i ansässige amerikanische Physiker und Höhlenspezialist Prof. Peter Bosted regelmäßig im Camp anwesend. Er war auch bei der Erstbegehung der gerade erst erkalteten Lavahöhle dabei, die von dem Design-Studenten Oliver Schmidt filmisch dokumentiert wurde. Auch reisten Prof. Diana E. Northup und ihr Mann für die Zeit des Projektseminars extra aus New Mexico an, um die Studierenden vor Ort zu unterstützen.

Bis 2025 entsteht an der Fakultät Design unter der Leitung von Prof. Burkard Vetter zudem ein eigenes Forschungs-Magazin, welches die Arbeit der letzten Jahre und die jeweiligen Teams porträtiert. Basierend hierauf sollen auch weitere Fördergelder eingeworben werden.

Ebenso entstand im Modul die Wort-Bild-Marke des Forschungsprojektes, die auch bereits bei der Präsentation im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften verwendet wurde.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Nach der Rückkehr wurde umgehend damit begonnen, die aufgenommenen Daten zu verarbeiten. Die rund 7.500 hochauflösenden Fotos aus der Close-Range-Fotogrammetrie stellen eine so große Datenmenge dar, dass sie sich mit der bisher verwendeten Software nicht mehr auf einem Einzelrechner verarbeiten ließ. Daher wurde versucht, die Bilder mit dem Cluster-System des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft Nürnberg (IWWN) rendern zu lassen. Hierbei wurde ein optimierter, automatisierter Workflow zur Eingabe der Verarbeitungsparameter genutzt, der im Rahmen des Lehrforschungsprojekts „AutoMoniScan“ im Jahr 2022 von Studierenden der STUFO am IWWN entwickelt wurde. Jedoch musste festgestellt werden, dass bei einer Anzahl von 7.500 Bildern und den für das Projekt erforderlichen technischen Vorgaben das Cluster-System an seine Grenzen stieß.

Da am Ende des Förderungszeitraums noch unverbrauchte Mittel anderer Lehrforschungsprojekte zur Verfügung standen, konnte eine neue Hardware-Software-Kombination angeschafft werden, die eine bessere Performance verspricht. Die neue Software lässt optisch sehr gute und detailreiche Abbildungen erwarten, was allerdings auf Kosten der geometrischen Genauigkeit geht. Diese Einschränkung lässt sich jedoch durch die Überlagerung mit der geometrisch genauen Laserscanner-Punktwolke kompensieren.

Die Daten des Terrestrischen Laserscannings wurden mit Faro Scene zu einer Gesamtpunktwolke des Versuchsbereichs zusammengesetzt. Die hohe Auflösung liefert eine sehr detaillierte Oberflächenpunktwolke. Allerdings wurde festgestellt, dass es in Bereichen mit eng beieinanderliegenden Oberflächenstrukturen, wie zum Beispiel Lava-Stalaktiten mit wenigen Zentimetern Abstand, zu starken Abschattungen des Laserstrahls kommt, so dass in den abgeschatteten Flächen Löcher in der Punktwolke entstehen. Eine exakte Oberflächengeometrie kann in diesen Bereichen leider nicht oder nur sehr zeitaufwändig durch ein sehr enges Scanraster erfasst werden.

Verwertung:

Die bisher gewonnenen Ergebnisse werden in das bereits bestehende Raummodell der Maelstrom-Höhle implementiert. Es hat sich aber in diesem Projektseminar deutlich gezeigt, dass eine höhere Abbildungsgenauigkeit der Biomatten nur mit einem enormen Arbeits- und Zeitaufwand erreicht werden kann. Die dabei entstehenden Datenmengen wachsen schnell in Größenbereiche, die kaum noch sinnvoll zu bearbeiten sind. Hier muss gemeinsam darüber nachgedacht werden, ob die angestrebte Genauigkeit

wirklich notwendig ist, um die biologischen und geographischen Fragestellungen zu beantworten. Dies werden die Teams 2024/2025 anhand der Datenanalyse prüfen. Die entstandenen Filme werden der Öffentlichkeit nach einer Festivalsauswertung zur Verfügung gestellt, sowie in der Lehre an den beteiligten Partner-Hochschulen eingesetzt. Ebenso hat sich im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften gezeigt, dass sich das Projekt hervorragend für das Studierendenmarketing und die Nachwuchsgewinnung an allen beteiligten Fakultäten eignet und auch für Kinder die Möglichkeit bietet, einen ersten Kontakt mit „echter Forschung“ zu erleben.

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 Ohm hatten während den Exkursionen nach Hawai'i die Möglichkeit, interdisziplinäre Forschung zu betreiben und sich mit Studierenden sowie Professorinnen und Professoren der Geographie sowie der Mikrobiologie auszutauschen.



Abbildung 10: Andreas Dreker, Geographiestudent der RUB, misst im Baustofflabor der Ohm die Wärmeleitfähigkeit von Lavaprobe.
Bilder: Thomas Killing, BI



Abbildung 11: Oliver Schmidt an der Kamera
Bild: Claudius Birk, D

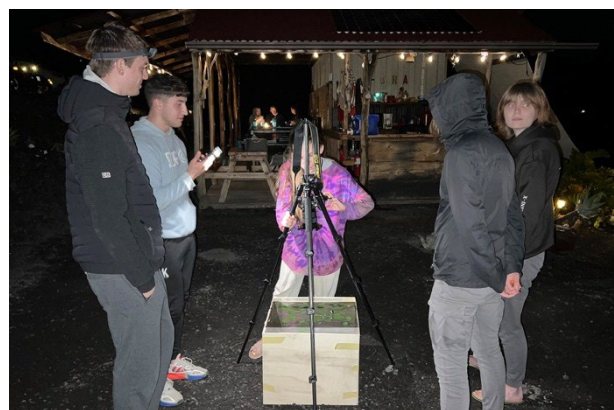


Abbildung 12: Anthea Eichstetter mit ihrem Pflanzenscanner;
Bild: Thomas Killing, BI

6. Fazit und Ausblick

In diesem Lehrforschungsprojekt hat sich erneut gezeigt, wie wertvoll und bereichernd eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen völlig verschiedenen Fachrichtungen sein kann, wie hier Bauingenieurwesen, Design und Geographie. Jede Disziplin nutzt mitunter völlig verschiedene Ansätze zur Lösung auftretender Probleme, die sich aber in vielen Fällen ideal ergänzten. Die Erfahrung einer interdisziplinären Teamarbeit hat die Entwicklung von umfassenden Kompetenzen gefördert und das Verständnis für die Anwendungen der jeweiligen Fachrichtungen in verschiedenen Kontexten ermöglicht. Darüber hinaus hat die Beteiligung an einem realen Forschungsprojekt dazu geführt, erlernte Fähigkeiten in der Praxis anzuwenden und einen Beitrag zu echten Problemlösungen zu leisten.

Im Bereich des Bauingenieurwesens gewinnt die Gebäude- und Geländeaufnahme mit den Verfahren TLS und SfM immer mehr an Bedeutung. Da beide Verfahren in diesem Projektseminar unter schwierigsten Bedingungen getestet und angewendet wurden, sammelten sowohl die teilnehmenden Studierenden als auch das betreuende Projektteam wertvolle Erfahrungen, die durch die anschließende Aufbereitung und Auswertung der Daten noch vertieft wurden. Da die Teilnehmenden vor Ort ständig mit neu auftretenden Herausforderungen konfrontiert wurden, lernten sie, selbständig kreative Lösungen zu finden und anzuwenden.

Im Bereich des Designs ist die Offenheit für Zielorientierung und Weiterentwicklung ein wichtiger Aspekt der Lehre. Studierende sollen sich nicht nur zu klassischen Gestalter-Persönlichkeiten in kreativer Hinsicht entwickeln, sondern sich ebenso mit Digital Futures und Design Research auseinandersetzen, was sich im internationalen Masterstudiengang Design For Digital Futures, den die Fakultät Design seit dem WiSe 24/25 anbietet, widerspiegelt. Für die Design-Studierenden hat diese Zusammenarbeit die Möglichkeit bedeutet, über den eigenen gestalterisch-kreativen Fokus hinaus zu sehen, neue Perspektiven zu entdecken und gestalterische Konzepte mit technischem Wissen zu verbinden.

Die so gewonnenen Erkenntnisse fließen sowohl in die Lehre, die Nachwuchsgewinnung als auch in weitere gemeinsame Forschungsprojekte mit ein. Das Team von Ki'i Ki'i wird 2024/2025 insbesondere dafür nutzen, das Projekt für weitere Forschungsanträge zu analysieren und weiterzuentwickeln.

7. 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.
- Wunder, C. (2023) Forschen unter der Erde. In: *OHM-Journal SoSe 2023 / 200 Jahre Ohm. Im Fokus*, S. 48 – 51. Online verfügbar unter https://www.th-nuernberg.de/fileadmin/abteilungen/kom/kom_docs/OHM-Journal/2023-01_Ohm-Journal.pdf



Abbildung 13: Abendstimmung im Camp;
Bild: Lucia Scharbatke

Kleine Kugeln mit großer Wirkung – Wie neue Mahlkörper die Feinstzerkleinerung beeinflussen?

Prof. Dr.-Ing. Sandra Breitung

Fakultät Verfahrenstechnik

Dr.-Ing. Stefan Mende

Netzsch Feinmahltechnik GmbH

Dr.-Ing. Achim Müller

Sigmund Lindner GmbH

Dimitrios Margaritis, M. Sc.

Fakultät Verfahrenstechnik

Zusammenfassung:

Im Rahmen des Lehrforschungsprojektes stand das Produkt von Sigmund Lindner im Vordergrund. In diesem Kontext untersuchten die Studierenden, wie die innovativen Wolframcarbid-Zirkonoxid-(TC-) Mahlkörper im Vergleich zu den herkömmlichen Zirkonoxid-(ZY-)Mahlkörpern die Zerkleinerung in Rührwerkskugelmöhlen beeinflussen. Aufgrund der Knappheit und Beschaffungsschwierigkeiten von Schlacken wurde auf eine gängige Oxidkeramik zurückgegriffen. Die Studierenden beschäftigten sich zunächst theoretisch mit den Prozessen in Rührwerkskugelmöhlen und arbeiteten dann in kleinen Projektteams an Fragestellungen rund um das Zerkleinerungsverhalten der Keramik, das Abriebverhalten der Mahlkörper sowie die Strömungs- und Bewegungsbedingungen in der Mühle. Die Studierenden organisierten ihre Arbeit und Aufgabenverteilung eigenständig, präsentierten Zwischenstände während einer Exkursion zu den beteiligten Firmen und erstellten Abschlussberichte unter Einbeziehung der Diskussionsergebnisse. Die Exkursionen zu Sigmund Lindner und Netzsch ermöglichten Einblicke in die Produktion von Mahlkörpern und Mühlen sowie in mögliche berufliche Tätigkeiten in diesen Bereichen. Weitere Vernetzungen fanden mit den Fakultäten Angewandte Chemie und Werkstofftechnik statt, in denen zum Teil analytische Methoden genutzt wurden.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.925 Euro
Laufzeit	März bis September 2023
Fakultät/Einrichtung	Verfahrenstechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Sandra Breitung
Projektteam	Dr.-Ing. Stefan Mende Dr.-Ing. Achim Müller Dimitrios Margaritis
Kontakt Daten Projektleitung	sandra.breitung@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Zerkleinerung in Rührwerkskugelmøhlen (RWKM) ist eine weit verbreitete Methode, um Partikel bis in den Nanometerbereich zu zerkleinern, aggregierte Partikel aus Bottom-Up-Synthesen zu dispergieren oder primäre und sekundäre Rohstoffe aufzuschließen, um werthaltige Komponenten freizulegen und abtrennbar zu machen. Typische Produkte sind zum Beispiel Rohstoffe im Keramikbereich für Sinterbauteile, pharmazeutische Wirkstoffe, Farbpigmente, Carbon Black für Batterieanwendungen oder die Erzaufbereitung für die Produktion primärer Rohstoffe.

Eine RWKM besteht aus einem Mahlraum mit einem Rührwerk in dem sich bis zu 80 Prozent Kugeln, die sogenannten Mahlkörper, befinden (Abbildung 1 (rechts)). Die Suspension wird durch den Mahlraum gefördert und die enthaltenen Partikel durch die kollidierenden Mahlkörper beansprucht und zerkleinert. Durch diese Vorgänge kommt es zum Abrieb an den Mahlkörpern und der Møhle. Dieser Verschleiß geht dabei in die Suspension über und wird in der Regel als Kontamination toleriert. In sehr vielen Anwendungen, insbesondere im Life-Science/Pharmabereich, bei optischen Anwendungen (Pigmente, photokatalytische Beschichtungen) und im Batteriebereich werden nur geringste Mengen Verschleiß akzeptiert, welche insbesondere für sehr feine Materialien mit langen Mahldauern schwierig zu erreichen sind. Aus diesem Grund arbeitet die Firma Sigmund Lindner als Mahlkörperhersteller permanent an der Verbesserung ihrer Produkte, um den Abrieb weiter zu senken. Die Firma Netzsch Feinmahltechnik ist einer der führenden Hersteller von Rührwerkskugelmøhlen und entwickelt diese auch stetig weiter.

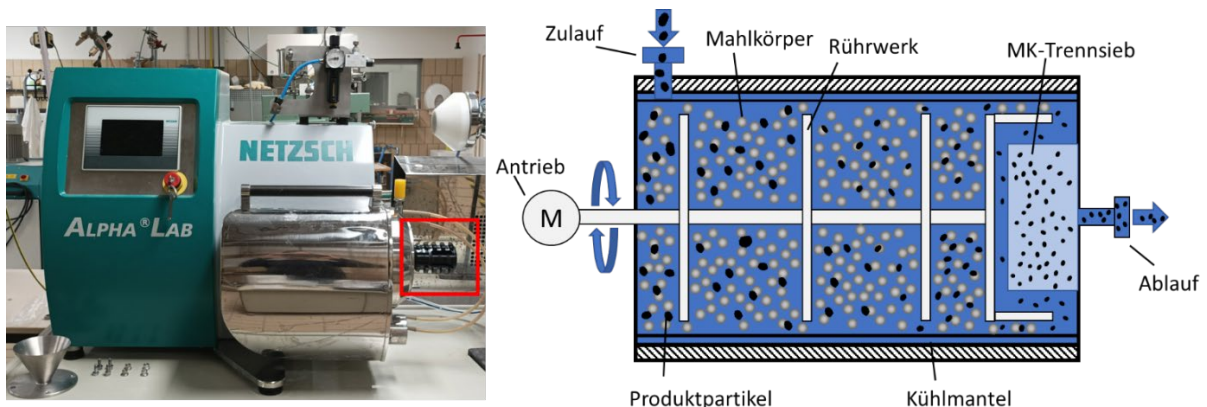


Abbildung 1: Rührwerkskugelmøhle AlphaLab (links), schematischer Aufbau eines Prozessraumes einer RWKM (rechts). Bilder: Sebastian Wolf

Gängige Mahlkörpermaterialien sind zurzeit yttriumstabilisiertes Zirkonoxid, Glas oder Zirkonsilikat für die genannten Anwendungen. Mit dem Ziel die recht verschleißarmen Zirkonoxid-Mahlkörper weiter zu verbessern, entwickelte die Firma Sigmund Lindner Mahlkörper, die aus einer Mischung aus Zirkonoxid und Wolframcarbid bestehen. Diese Mahlkörper haben eine deutliche höhere Dichte als die Zirkonoxid-Mahlkörper, was zu höheren Energieeinträgen bei konstanten Betriebsparametern führt. Im Gegensatz zu den Zirkonoxid-Mahlkörpern sind die TC-Mahlkörper jedoch nicht weiß, sondern dunkelgrau. Dies führt zu einer geringeren Kundenakzeptanz insbesondere für helle Produkte, da Abriebpartikel das Produkt verfärben.

Daraus entwickelte sich die Fragestellung, die im Rahmen des Lehrforschungsprojektes bearbeitet wurde: Welche Vorteile bietet die Neuentwicklung der TC-Mahlkugeln im Vergleich zu den Zirkonoxid-Kugeln im Hinblick auf:

- Den Energieeintrag zur Erzielung einer bestimmten Produktfeinheit.
- Den entstehenden Mahlkörperabrieb durch die Zerkleinerung.
- Das Bewegungsverhalten der Mahlkörper in der Mühle.

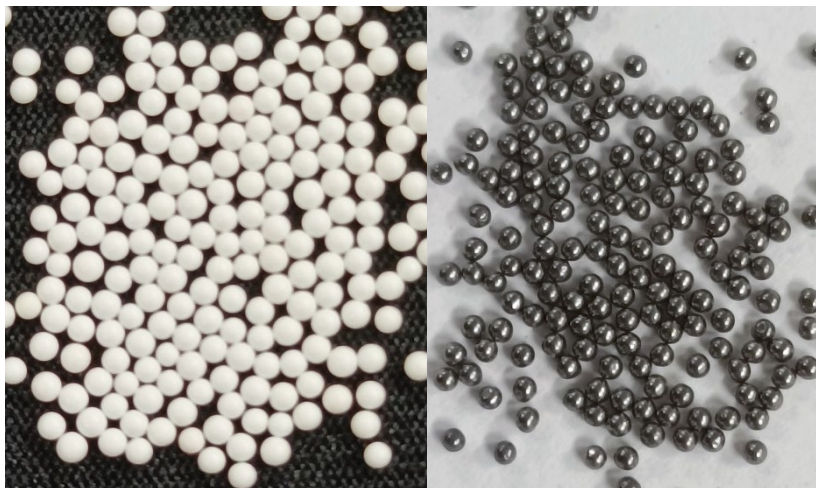


Abbildung 2: Mahlkörper der Firma Sigmund Lindner, links: yttriumstabilisiertes Zirkonoxid, rechts: TC-Mahlkörper aus Wolframcarbid und Zirkonoxid. Bilder: Sebastian Wolf

So entstand ein Studierenden-Projekt mit dem Ziel, die neuen Mahlkörper anhand der Zerkleinerung von Modellstoffen zu charakterisieren und die Ergebnisse aus den drei Teilfragestellungen zusammenzuführen. Die ursprüngliche Idee, den Schlackenaufschluss als Modellprozess zu nutzen, musste aufgrund der schwierigen Verfügbarkeit des Materials fallen gelassen werden. Stattdessen wurden keramische und mineralische Produkte betrachtet.

Die Studierenden wurden durch das Projektteam zunächst an die Grundlagen herangeführt und die globale Fragestellung erläutert. Die Studierenden bildeten anschließend ein großes Team, um die Grundlagen durch Literaturarbeit weiter zu vertiefen und ein Verständnis für den Prozess zu generieren, das es dem Team ermöglichte, die globale Fragestellung in kleinere Arbeitsschritte zu untergliedern. Für die Literaturarbeit wurde die Methode des Gruppenpuzzles genutzt, so dass neben der eigenen Erarbeitung einer englischsprachigen Publikation auch eine gleichzeitige Festigung des Wissens erreicht werden sollte, durch das Reflektieren und Diskutieren. Zu Beginn halfen abschließende Minutenpapiere, um offene Fragestellungen für folgende Termine zu präparieren.

Nach dieser ersten theoretischen Phase ging es in kleineren Projektteams an die Erarbeitung von Zeit- und Versuchsplänen für die entsprechende Projektdauer. Die Studierenden konnten nach einer Einweisung weitestgehend selbstständig im Labor und am Computer agieren und sich organisieren. Kleinere

Herausforderungen konnten mit Hilfe des Projektteams gemeistert werden, auch wenn dafür Besuche in anderen Laboren notwendig waren.

Das Projekt wurde abgerundet durch eine Exkursion zu den beiden Firmen, um die Produktionsprozesse und die Arbeitskultur kennen zu lernen sowie ein besseres Produktverständnis zu generieren. Während der Exkursion wurden Zwischenberichte der einzelnen Arbeiten verbal ausgeführt.

Den Abschluss bildeten Vorträge zu den erzielten Ergebnissen, so wie die Erstellung von Berichten, die vom gesamten Projektteam bewertet wurden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Projekt gliederte sich grob in drei Phasen: die Einarbeitungsphase, die Experimentierphase und die Berichtsphase. Entsprechend der unterschiedlichen Phasen wurden unterschiedliche Lernziele verfolgt.

In der Einarbeitungsphase ging es zunächst um die Aspekte: Kennenlernen der Auftraggeber, Entwicklung des Verständnisses über den Zerkleinerungsprozess und die Fragestellungen. Didaktisch bestand das Ziel, Studierende an die Thematik heranzuführen und zusammen mit ihnen zunächst die Fragestellungen zu erarbeiten: Wo bekomme ich mehr und tiefere Informationen her und wie gehe ich damit um? Welche Informationen sind dabei wichtig für die erfolgreiche Projektbearbeitung?

Die Experimentierphase hatte die eigenständige Bearbeitung eines selbsterarbeiteten Versuchsbeziehungsweise Arbeitsplanes im Fokus. Hier standen die Entwicklung von Kompetenzen im Bereich Teamorganisation, Zeit- und Ressourcenmanagement genauso im Vordergrund wie das Dokumentieren von Arbeiten und Daten, sowie der Umgang mit unerwarteten Ereignissen, wie zum Beispiel verklemmte Mahlkörper in einem Gewinde oder eine nicht auf Antrieb funktionierende Messmethode.

Die Berichtsphase schloss sich an die Experimentierphase an. In ihr wurden die erzielten Daten so aufbereitet, dass die Auftraggeber diese verstehen und für spätere Zeiten nutzen können. Die Darstellung erfolgte in Vortrags- und Berichtform.

Das Kennenlernen der Projektpartner Sigmund Lindner und Netzsch Feinmahltechnik fand zu Beginn an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) statt und wurde circa einen Monat nach Projektstart bei der Exkursion vertieft. Die Firma Sigmund Lindner hat ihren Hauptsitz in Warmensteinach und produziert neben Mahlkörpern auch Glaskugeln und Effektpartikel. Im Bereich der Glaskugeln sind sie Weltmarktführer. Diese werden zum Beispiel in Markierungstreifen auf der Straße, in hochpreisigen Kugelschreibern oder Insulinflaschen eingesetzt. Die Mahlkugeln sind insbesondere im Food- und Pharmabereich in Europa weit verbreitet, neue Anwendungen, wie zum Beispiel Batterie-Slurry-Produktion, kommen hinzu.

Die Firma Netzsch gliedert sich in drei Sparten, die Nassmahltechnik, die Trockenmahltechnik und die Analytik. Der Hauptsitz der Firma ist in Selb, wo insbesondere die Nassmahltechnik angesiedelt ist. Netzsch Rührwerkskugelmöhlen sind weit verbreitet und Netzsch ist der einzige deutsche Hersteller, der Dimensionen von wenigen ml-Mahlraumvolumen bis zu 30 m³ abdeckt. Beide Unternehmen stellen attraktive Arbeitgeber für zukünftige Ingenieurinnen und Ingenieure in den Bereichen Verfahrenstechnik oder Materialwissenschaften dar. Einen vertieften Einblick konnten die Studierenden bei der Exkursion erhalten.

Die Projektleiterin arbeitet schon seit vielen Jahren mit beiden Firmen zusammen. So wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „The Interaction of Stress conditions, Engineered Artificial Minerals Structure and Formulation in Wet Comminution and Separation“ des Schwerpunktprogrammes 2315 eine RWKM der

Firma Netzsch Feinmahltechnik beschafft, in der seither die Zerkleinerungsversuche zur Aufbereitung von sekundären Rohstoffen in Form von Schlacken stattfindet, natürlich mit Mahlkörpern von Sigmund Lindner. Fachlich knüpft das Projekt an die Lehrveranstaltungen der mechanischen Verfahrenstechnik, der Werkstoffkunde sowie der Strömungssimulationen an. Es zeigt praxisnah die Verknüpfungen der einzelnen Teildisziplinen.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen des Projektes fanden Arbeiten zu den im vorherigen Abschnitt genannten Fragestellungen statt.

- Den Energieeintrag zur Erzielung einer bestimmten Produktfeinheit.
- Den entstehenden Mahlkörperabrieb durch die Zerkleinerung.
- Das Bewegungsverhalten der Mahlkörper in der Mühle.

Die Zerkleinerung in Rührwerkskugelmøhlen kann über das sogenannte Beanspruchungsmodell beschrieben werden [1], [2]. Dieses beschreibt die Zusammenhänge aus den wichtigsten Prozessparametern (Mahlkörpergröße und -dichte, sowie der Rührerumfangsgeschwindigkeit) mit der erzielten Produktfeinheit für konstante Energieeinträge. Hier verhalten sich die neuartigen TC-Mahlkörper entsprechend dem Modell. Durch die höhere Dichte bringen sie mehr Energie in den Mahlraum ein, so dass bei gleichen Betriebsparametern zwar schneller zerkleinert werden kann als mit Zirkonoxid-Mahlkörpern, aber sie dafür energetisch etwas ineffizienter sind. Diesem Effekt kann durch Anpassung der Mahlkörpergröße beziehungsweise der Rührerumfangsgeschwindigkeit begegnet werden. Die Mahlkörper folgen damit ebenso dem Beanspruchungsmodell wie die Standardmahlkörper aus Zirkonoxid.

Mahlkörperabrieb ist im Bereich der Mahlkörpermøhlen ein zu tolerierender Effekt, handelt es sich doch um ein tribologisches System. Die Untersuchungen zum Mahlkörperabrieb zeigten, dass die entstehende Menge an Abrieb pro eingetragener Energie nur geringfügige Unterschiede zwischen den Mahlkörpersorten zeigt. Die entstehende Verschleißpartikelgröße ist jedoch bei den TC-Mahlkörpern niedriger, wie Abbildung 3 zeigt. Dies deutet auf etwas feinere Primärstrukturen hin als bei den Zirkonoxid-Mahlkörpern.

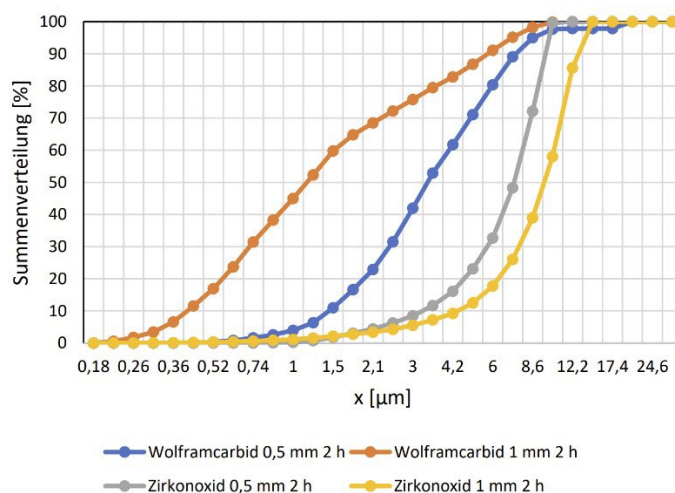


Abbildung 3: Partikelgrößenverteilungen der Verschleißpartikel. Bild: Sebastian Hoffman, Branislava Rubil, Ufuk Yildiz

Das Bewegungsverhalten der Mahlkörper sollte über einen simulativen Ansatz nachgestellt werden, in dem zunächst mittels Computational-Fluid-Dynamics-(CFD-)Simulationen das Strömungsverhalten in der Mühle nachgebildet wird. Anschließend sollte eine Kopplung der CFD-Simulationen mit diskreter Elemente-Modellierung das Bewegungsverhalten abbilden, um Geschwindigkeitsverteilungen der Mahlkörper in der Mühle ermitteln zu können. Dieses Vorhaben konnte aufgrund der Komplexität der Fragestellung nicht im Rahmen des Lehrforschungsprojektes abgeschlossen werden. Es konnten die Geometrie und die Strömungsverhältnisse abgebildet werden. Das Einbringen der Mahlkörper via Diskrete-Elemente-Modellierung (DEM)-Kopplung wird im Nachgang stattfinden. Die qualitativen Ergebnisse der Strömungssimulationen stimmen mit den Annahmen, die für das Beanspruchungsmodell getroffen werden, überein.

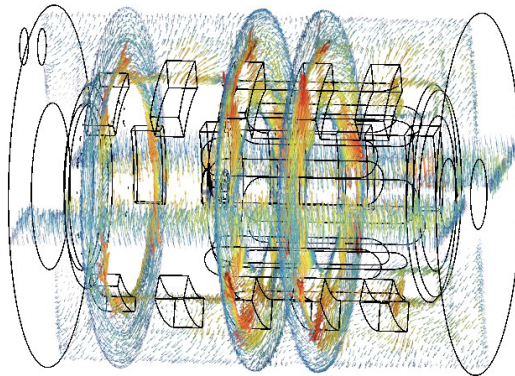


Abbildung 4: CFD-Simulation der Fluidströmung in der Mühle. Quelle: Schertl

Die experimentellen Ergebnisse liefern Auskunft darüber, was bei einem Umstieg von Zirkonoxid- auf die TC-Mahlkörper zu beachten ist. Sollte die Mahlkörpergröße konstant gehalten werden, ist über das Beanspruchungsmodell die Rührerumfangsgeschwindigkeit entsprechend anzupassen, um ein konstantes Mahlergebnis zu erzielen. Das Verschleißverhalten muss mit entsprechenden Produkten gegebenenfalls beobachtet werden, um gesicherte Aussagen treffen zu können. Die Simulationen stellen den Startpunkt für aktuell und zukünftig laufende Forschungsprojekte dar.

5. Vernetzung und Transfer

Das Projekt lief in enger Zusammenarbeit mit den Firmen Sigmund Lindner und Netzsch. Es fanden mehrere Treffen an der Ohm statt sowie jeweils eine Exkursion zu beiden Firmen. So konnten Studierende Einblicke in die Produktion und die Firmenkultur erhalten, ebenso wie über mögliche Jobperspektiven. Expertinnen und Experten beider Firmen standen zum Austausch und Gesprächen zur Verfügung.

Innerhalb der Ohm wurde zum Teil auf Messverfahren anderer Fakultäten zurückgegriffen, so dass hier ebenfalls Einblicke in fakultätsfremde Labore ermöglicht wurden.

6. Fazit und Ausblick

Inhaltlich war das Projekt sicherlich ein Start für weiterführende Projekte, insbesondere mit der Firma Sigmund Lindner ist schon ein Forschungsprojekt beantragt. Didaktisch wurden unterschiedliche Methoden im Bereich der Einarbeitungs- und Literaturarbeitsphase angewendet. Das eigenständige Arbeiten in kleinen Teams wurde im Bereich der Labor- und Simulationsarbeiten trainiert, ebenso wie die Berichterstattung.

7. Literatur

- [1] A. Kwade, „Mill selection and process optimization using a physical grinding model“, *Int. J. Miner. Process.*, Bd. 74, S. S93–S101, Dez. 2004, doi: 10.1016/j.minpro.2004.07.027.
- [2] M. Becker, A. Kwade, und J. Schwedes, „Stress intensity in stirred media mills and its effect on specific energy requirement“, *Int. J. Miner. Process.*, Bd. 61, Nr. 3, S. 189–208, März 2001, doi: 10.1016/S03017516(00)00037-5.

Nachhaltige, bioinspirierte Klebstoffe für Baumaterialien

Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann

Fakultät Bauingenieurwesen

Prof. Dr. Ralf Lösel

Fakultät Angewandte Chemie

Zusammenfassung:

Im Projekt „Muschelkleber“ sollten bioinspirierte Klebstoffe entwickelt werden, die insbesondere auf feuchten Oberflächen von mineralischen Baustoffen eine hohe Klebekraft aufweisen und zudem biologisch abbaubar sind. Muscheln entwickeln eine Klebekraft sogar auf nassen Oberflächen, die vielen künstlichen Klebstoffen im Bauwesen überlegen ist. Der „Muschelklebstoff“ besteht überwiegend aus modifizierten Proteinen in den Byssusfäden und entwickelt eine sehr hohe Haftkraft. Das Ziel des Projekts war es, einen vergleichbaren synthetischen Kleber zu entwickeln und dessen Eigenschaften im Vergleich zu herkömmlichen Bauklebern zu untersuchen.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Bauingenieurwesen und Angewandte Chemie
Projektleitung	Prof. Dr. Ralf Lösel, Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann
Projektteam	Fakultät Bauingenieurwesen: Carolin Moritz, Jaqueline Mailer, Cagla Öztürk Fakultät Angewandte Chemie: Marcel Bayrak
Kontakt Daten Projektleitung	thomas.freimann@th-nuernberg.de; ralf.loesel@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Im Rahmen des Lehrforschungsprojekts sollte ein für das Bauwesen geeigneter biochemischer Klebstoff auf Basis eines natürlichen Muschelklebstoffes entwickelt werden. Dieser soll klebstoffspezifische Eigenschaften aufweisen und den üblichen Beanspruchungen im Bauwesen standhalten. Ein typisches Problem bei vielen Bauklebern ist zum Beispiel die Feuchteempfindlichkeit beim Kleben. Hier sollten Klebesysteme auf Muschelkleberbasis besser geeignet sein und eine robustere Anwendung im Baubetrieb ermöglichen.

Das Projekt wurde als interdisziplinäres Projekt zwischen den Fakultäten Angewandte Chemie und Bauingenieurwesen durchgeführt, um einerseits die Neuentwicklung geeigneter Muschelkleber zu ermöglichen und andererseits die baupraktische Anwendung im Vergleich mit Bauklebstoffen auf mineralischen Oberflächen zu untersuchen. Die Arbeitsschritte wurden in enger Zusammenarbeit zwischen beiden Fakultäten abgestimmt. Während des Projekts wurden die baupraktischen Untersuchungen schrittweise zusammen mit den Studierenden optimiert. Essenziell war dabei der Gedanke des Austauschs über die Fachgrenzen hinweg sowie die Förderung des Verständnisses der Anforderungen und Möglichkeiten bei der Produktentwicklung. Diese, in der beruflichen Praxis häufig benötigte, Kompetenz kann bisher nur unzureichend in den Curricula vermittelt werden.

Für den Vergleich mit realen Klebebedingungen auf mineralischen Oberflächen wurden unterschiedliche Untergründe (Beton, Granit, Kalksandstein) sowie der Einfluss von Feuchtigkeit und Temperaturen variiert. Das Projektteam Bau bestand aus drei Studentinnen, die aktiv etwa 400 Versuche durchgeführt haben. Die Laborversuche bestanden aus Haftzugprüfungen, die im Bauwesen oft verwendet werden, und speziellen Schäl- beziehungsweise Abziehversuchen, die für dieses Projekt modifiziert und angepasst worden sind. Zahlreiche Scherproben der drei verwendeten mineralischen Oberflächen wurden gesägt und vorbereitet.

In der Angewandten Chemie planten die Studierenden die Synthesen zur Muschelkleberentwicklung eigenständig im Labor. Synthesewege wurden optimiert und problematische Einsatzstoffe ersetzt, um die Bearbeitung des Projekts durch noch nicht vollständig ausgebildete Studierende zu ermöglichen und das Gefährdungspotential zu minimieren. Durch Verzögerungen bei der Beschaffung von Ausgangsstoffen

sowie bei der Einbindung von Studierenden konnte mit den synthetischen Arbeiten erst im September 2023 begonnen werden, wesentlich später als geplant. Neben der reinen Synthese stand von Anfang an auch der Aspekt der Nachhaltigkeit beziehungsweise der Umweltbelastung bereits bei der Herstellung im Vordergrund. So sollten die in der Originalarbeit verwendeten stark umweltbelastenden und teilweise recht toxischen Reagenzien und Lösungsmittel möglichst durch weniger problematische Stoffe ersetzt werden, wodurch sich allerdings die Zahl der zu testenden Versuchsbedingungen deutlich erhöhte. Daher konnte mit den Anwendungsversuchen der hergestellten Stoffe erst zu Anfang des Jahres 2024 begonnen werden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Februar 2023 begannen die Untersuchungen zu den Bauklebern. Klebprozesse können sehr vielfältig sein und hängen von vielen Parametern ab: die Grenzschichten der zu verklebenden Stoffe, der Phasengrenzfläche zum Klebstoff, die Dicke der Klebeschicht, Temperaturen und Topfzeiten, Feuchte auf den Grenzschichten, Aushärtezeiten und Anpressdruck. Unterschiedliche Klebesysteme erfordern hierbei unterschiedliche Verarbeitungsweisen und Randbedingungen. Der direkte Vergleich der Eigenschaften der Verklebung ist hierdurch teilweise schwierig zu bewerten.

Nach ausgiebiger Recherche wurden zwölf handelsübliche Bauklebstoffe für mineralische Oberflächen ausgesucht und beschafft. Die Studierenden der Fakultät Bauingenieurwesen führten hierzu eine Marktrecherche durch, um die Bandbreite der aktuellen Klebesysteme und unterschiedlichen Klebearten im Markt zu erfassen. Im Einzelnen wurden folgende Klebesysteme in das Untersuchungsprogramm eingebunden:

- 1-K-silanmodifizierter Hybrid-Polymer-Klebstoff,
- 2-K-Epoxidharz-Klebstoff,
- Dispersions-Klebstoff,
- 2-K-silanmodifizierter Hybrid-Polymer-Klebstoff,
- 2-K-Methylmethacrylat-Klebstoff,
- 1-K-Cyanacrylat-Klebstoff,
- 1-K-Silikon-Klebstoff,
- Acrylsäureester-Copolymer-Dispersions-Klebstoff,
- 2-K-Silikon-Klebstoff,
- 1-K-Polyurethan-Klebstoff,
- Schmelz-Klebstoff,
- 2-K-Polyurethan-Klebstoff.

In den Laborversuchen wurden folgende Einflussgrößen variiert: Oberflächenart des mineralischen Untergrunds sowie Rauheit der Oberfläche, Oberflächenfeuchtigkeit sowie Temperatur bei Klebeauftrag. In Summe wurden etwa 400 Einzelversuche zur Haftzug- und Scherfestigkeit der Bauklebstoffe ermittelt [1], um die Ergebnisse mit den später neu entwickelten bioinspirierten Klebstoffen vergleichen zu können. Als mineralische Untergründe wurden neben weitverbreiteten Betonuntergründen auch Granitflächen und Kalksandstein verwendet. Die Betonuntergründe wurden selbst hergestellt.

Die Klebeeigenschaften von einer Vielzahl unterschiedlicher Baukleber wurden in Abhängigkeit einer Reihe von Einflussgrößen erfasst. Für die Laborversuche zur Haftzug- und Schälfestigkeit an geklebten Bauteilen

wurden von den Studierenden zum Teil neuartige Versuchsaufbauten entwickelt und geprüft. Eine Prüfung der Haftzugfestigkeit mit den zugehörigen Klebeflächen ist in Abbildung 1 zu sehen.

In regelmäßigen Besprechungen wurden in der Bearbeitungsgruppe das weitere Vorgehen, Probleme bei der Umsetzung oder die Anpassung des Versuchsplans diskutiert und festgelegt. Auf diese Weise fand ein intensiver Austausch über mehrere Monate bis zum Ende des Sommersemesters 2023 statt. Auch die Ergebnisse wurden zum Teil gemeinsam ausgewertet und interpretiert. Bei Klebern können unterschiedliche Versagensarten auftreten, die einen Vergleich der Einzelergebnisse erschweren: Adhäsionsbruch, Grenzschichtbruch, Bruch im Füge teil, Kohäsionsbruch im Klebstoff, Delaminationsbruch oder Mischformen.



Abbildung 1: Haftzugversuch eines Bauklebesystems. Bild: Carolin Moritz, Jaqueline Mailer

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass zusätzlich zu den in der Literatur beschriebenen Stoffen neue Moleküle identifiziert werden konnten, die auf feuchten Oberflächen besser als Handelsprodukte haften und voraussichtlich abbaubar sind. In der angewandten Chemie konnten bioinspirierte Kleber nachgebildet werden.

Die eigentlich geplanten verzahnten Experimente zwischen den Fakultäten Bauingenieurwesen und Angewandte Chemie konnten jedoch mangels Teilnehmenden in der Angewandten Chemie noch nicht wie geplant umgesetzt werden, sondern finden in 2024 nachgelagert in Form von Abschlussarbeiten beziehungsweise Masterprojekten beider Fakultäten statt.

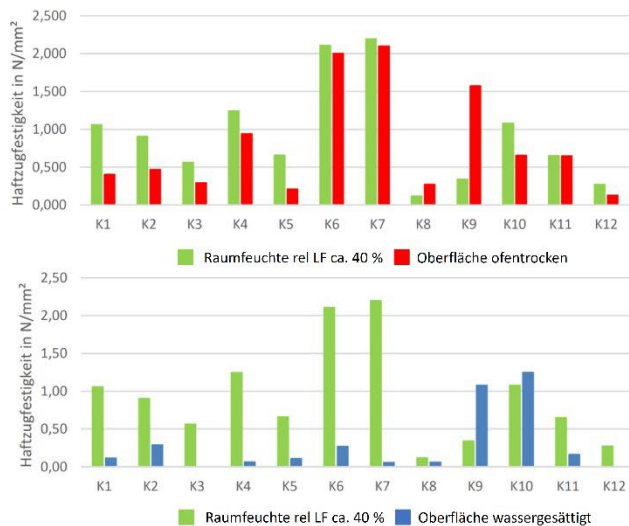


Abbildung 2: Einfluss der Feuchtigkeit auf die Haftzugfestigkeit (Variation T1) von Bauklebesystemen. Bild: Carolin Moritz, Thomas Freimann

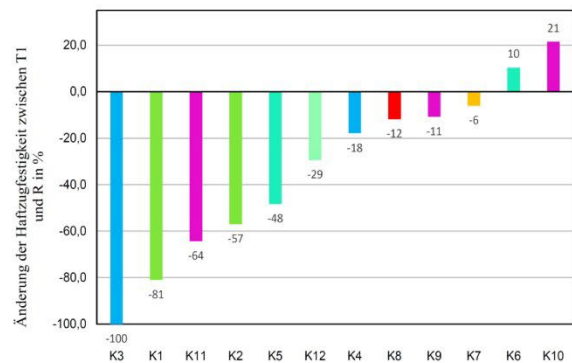


Abbildung 3: Einfluss niedriger Verarbeitungstemperaturen bei 5 °C im Vergleich zur Referenztemperatur bei +20 °C (R). Bild: Jaqueline Mailer

Die Klebeeigenschaften von einer Vielzahl unterschiedlicher Baukleber wurden in Abhängigkeit einer Reihe von Einflussgrößen erfasst. Die Spannweite der Klebekräfte ist im Vergleich der marktüblichen Systeme sehr hoch und reicht von einer Haftzugfestigkeit von 0,2 bis 2,2 N/mm² (siehe Abbildung 2). Es hat sich in den Versuchen bestätigt, dass viele Klebesysteme, bis auf Acrylat-Klebstoffe (K9 und K10), auf nassen mineralischen Oberflächen eine deutliche Verminderung der Klebekräfte zeigten beziehungsweise nicht hierfür geeignet waren (siehe Abbildung 2). Ein Großteil der Kleber, insbesondere 2-K-Systeme mit Primer (K1 bis K5), weisen bei sehr trockenen Oberflächen eine reduzierte Haftzugfestigkeit von bis zu 50 Prozent auf. 2-K-Polyurethan- und Epoxid-Klebstoffe (K6 und K7) dagegen bleiben in ihrer Wirkung nahezu unverändert. Die Empfindlichkeit gegenüber feuchten Oberflächen wurde auch mit den Schälversuchen bestätigt.

Die Schälversuche haben sich rückblickend als eher ungeeignet erwiesen. Der Versuchsaufbau in der Zugprüfanlage ist aufwändig. Die Prüfung war angelehnt an peel-strength-Versuche, die für flexible Adhäsionsverklebungen nach American Society for Testing and Materials (ASTM) existieren. Bei den hier eingesetzten Klebesystemen waren aber auch zahlreiche starre Kleber eingebunden, die für die Lastumlenkung beim Abschälen ungeeignet waren und daher frühzeitig versagt haben. Das Prüfverfahren der Haftzugfestigkeit hat sich dagegen als sehr geeignetes Prüfverfahren zur Bewertung der Klebekräfte und Bruchformen erwiesen.

In einem weiteren Schritt wurden die Verarbeitungstemperaturen neben der Referenztemperatur von 20 °C auf +5 °C und +50 °C variiert. Insbesondere 1-K-Klebesysteme reagieren empfindlich auf niedrige Verarbeitungstemperaturen. 2-K-Systeme verhalten sich hierbei deutlich robuster. Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die Veränderung der Haftzugfestigkeit beim Wechsel von +20 °C auf niedrige Verarbeitungstemperaturen von +5 °C.

Im nächsten Schritt sollen 2024 die neuentwickelten muschelbasierten Klebstoffe das gleiche Versuchsprogramm wie die Baukleber durchlaufen und anschließend eine Einordnung und Vergleich zu herkömmlichen Bauklebesystemen ermöglichen. Dieser Schritt steht noch aus und kann erst erfolgen, wenn eine ausreichende Menge des neuen Klebers synthetisiert worden ist.

Bei der Synthese der niedermolekularen Muschelkleber-Analoga erwies sich das geplante Versuchsprogramm angesichts der Verzögerungen bei der Lieferung der Ausgangsstoffe und der Zusammenstellung des Projektteams in der Angewandten Chemie rückblickend als zu ambitioniert für den relativ kurzen Projektzeitraum. Dennoch konnten einige Aspekte des Projekts erfolgreich bearbeitet werden.

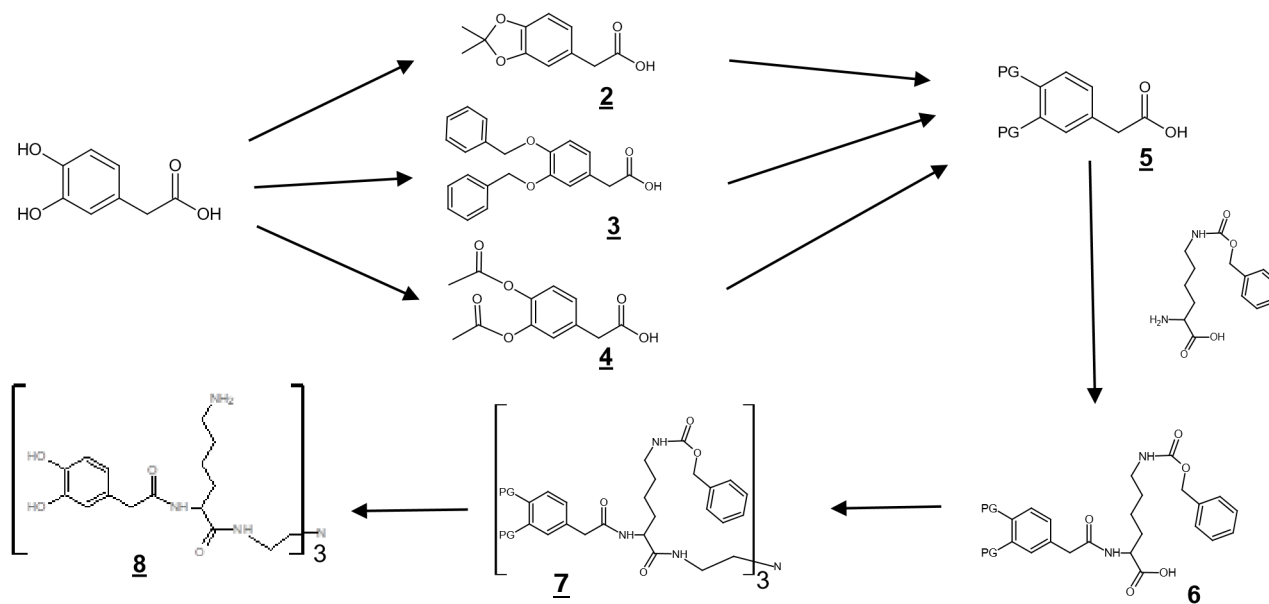


Abbildung 4: Synthesestrategie des Muschelkleber-Mimetikums. Bild: Ralf Lösel

Bei der an der Literatur [2, 3] angelehnten Synthese (Abbildung 4) konnten alle in der Originalvorschrift verwendeten halogenierten Lösungsmittel, die wegen ihrer Umweltpersistenz problematisch sind, durch weniger schädliche Stoffe ersetzt werden. Der Ersatz der Schutzgruppe (PG: protective group) bei der Synthese des Zwischenprodukts 5 durch leichter zugängliche Strukturen als in 3 erwies sich jedoch als schwierig: Die Isopropyliden-Gruppe in 2 ließ sich nur mit schlechten Ausbeuten einführen, während die Synthese von 4 in sehr guter Ausbeute gelang; allerdings war die Stabilität von 4 während der folgenden Reaktionsschritte unbefriedigend und führte zu schlechten Reaktionsausbeuten und schwer trennbaren Produktgemischen. Dennoch konnte die Zielverbindung 8 erhalten werden. Die Ausbeute über alle Schritte lag allerdings, wie auch in der Literatur, im einstelligen Prozentbereich.

Alternative Ansätze, die über die Literatur hinausgehen (Abbildung 5), sind der Aufbau der Struktur in umgekehrter Richtung, also vom Scaffold. Hier waren die Ausbeuten von 9 wegen der schlechten Löslichkeit der Reaktanden ebenfalls weniger zufriedenstellend. Ein völlig anderer Ansatz ist der vollständige Verzicht auf ein Scaffold, so dass man dem biologischen Vorbild noch deutlich näher ist und nur die Peptidkette 10 aus den Aminosäuren DOPA und Lysin aufbaut. Diese Struktur hat den Vorteil guter

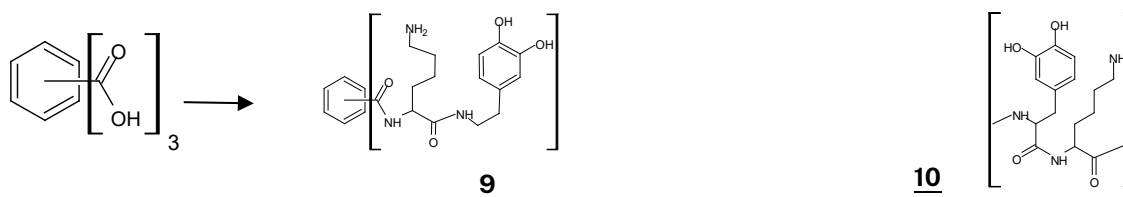


Abbildung 5: Alternative Ansätze für die Zielstruktur: Aufbau vom Scaffold (links), Molekül ohne Scaffold (rechts). Bilder: Ralf Lösel

biologischer Abbaubarkeit. Das bei guter Reaktionsausbeute hier entstehende Produktgemisch erwies sich als sehr komplex, so dass im Rahmen des Projekts kein hinreichend definiertes Produkt erhalten werden konnte. Beide Ansätze werden im Rahmen von Masterprojekten weiterverfolgt.

5. Vernetzung und Transfer

Das Projekt führte zu einem regen interdisziplinären Austausch zwischen den Fakultäten der Angewandten Chemie und Bauingenieurwesen, um die Anforderungen bei baupraktisch relevanten Fragen zur Verklebung mit den Anforderungen an die Synthese der Muschelkleber in Einklang zu bringen. Wenn es in naher Zukunft gelingen sollte, den Muschelkleber in der Anwendung bei mineralischen Betonoberflächen kennenzulernen, ist hieraus wahrscheinlich eine deutliche Verbesserung der Feuchtempfindlichkeit zu erwarten. Dies würde zu einem deutlichen Systemvorteil gegenüber vielen bisherigen Klebesystemen führen. Natürlich müssen hierbei aber auch die Produktionskosten eingehender bewertet werden. Eine Weiterentwicklung in 2024 ist auf jeden Fall angestrebt.

6. Fazit und Ausblick

Das gemeinsam von zwei Fakultäten betreute Projekt hat ein neuartiges Thema aufgegriffen. Es sollte eine in der Natur beobachtete sehr wirksame Klebewirkung von Muscheln in Form eines künstlichen Muschelklebers nachgebildet werden. Die Neuentwicklung hat sich in 2023 als schwierig, aber mit einiger zeitlicher Verzögerung als machbar erwiesen. Ende 2023 konnte ein erster Muschelkleber erfolgreich hergestellt werden. Ein umfassender Vergleich mit Bauklebern steht nun noch aus. Die maßgeblichen Einflussgrößen auf die Klebewirkung von zwölf ausgesuchten Bauklebesystemen wurden im Rahmen des Projekts ausführlich untersucht und die Stärken und Schwächen herkömmlicher Klebesysteme charakterisiert. Das Projekt wurde unter Anleitung von einer Gruppe von Studierenden in Verbindung mit praktischer Laborarbeit durchgeführt. Die Studierenden haben sowohl Versuchsplanungen im Rahmen einer Forschungsaufgabe kennengelernt, Probekörper hergestellt und eine Vielzahl von Prüfungen eigenständig durchgeführt sowie Einblicke in Projektplanung, Umgang mit unerwarteten Entwicklungen und die wissenschaftliche Auswertung der gewonnenen Ergebnisse erhalten.

7. Literatur

- [1] DIN EN 1542: Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch, Ausgabe Juli, 1999, Beuth Verlag, Berlin.
- [2] Lee BP, Messersmith PB, Israelachvili JN, Waite JH, Mussel-Inspired Adhesives and Coatings. Annu. Rev. Mater. Res. (2011) 41: 99–132.
- [3] Maier GP, Rapp MV, Waite JH, Israelachvili JN, Butler A. Adaptive synergy between catechol and lysine promotes wet adhesion by surface salt displacement. Science (2015) 349:628-632. doi: 10.1126/science.aab0556

Identifikation von Erfolgsfaktoren und geeigneten Umsetzungsebenen von True Cost Accounting („IdEa_TCA“)

Prof. Dr. Tobias Gaugler

Fakultät Betriebswirtschaft

Lennart Stein, M. Sc.

Fakultät Betriebswirtschaft

Viktoria Vogel

Fakultät Betriebswirtschaft

Felix Hirschberg

Fakultät Betriebswirtschaft

Katharina Wunder

Fakultät Betriebswirtschaft

Zusammenfassung:

Das Projekt „IdEa_TCA“ fokussierte sich auf die Beteiligung diverser Anspruchsgruppen (interessierte Öffentlichkeit, Studierende, Expertinnen und Experten, Institutionen, Forschende) und sozial orientierte Gestaltung der Ernährungssysteme sowie Wissenschaft. Studierende erarbeiteten dabei unter anderem wissenschaftliche Fragebögen, aber auch zahlreiche Herangehensweisen zur passgenauen Kommunikation von Systemen für Nachhaltigkeitsmanagement und konnten dadurch einem breiten Querschnitt der Bevölkerung niederschwellig Wissenschaft nahebringen sowie eigene Daten erheben und diese auswerten.

1. Projektdaten

Fördersumme	4.300 Euro
Laufzeit	Sommersemester 2023
Fakultät/Einrichtung	Fakultät Betriebswirtschaft, Studiengang Management in der Ökobranch
Projektleitung	Prof. Dr. Tobias Gaugler
Projektteam	Lennart Stein, M. Sc., Viktoria Vogel, Felix Hirschberg, Katharina Wunder
Kontakt Projektleitung	tobias.gaugler@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Eine nachhaltige Transformation im Bereich der Agrar- und Ernährungswirtschaft ist vor dem Hintergrund aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse unumgänglich. Diese notwendige Transformation geht mit komplexen Herausforderungen auf politischer, wirtschaftlicher und auch auf der Ebene des Konsums einher. Der Wissenschaftsansatz des True Cost Accounting (TCA) zeigt hierbei transparent auf, mit welchen negativen Externalitäten (ökologischen und sozialen Schäden) aktuelle Produktionspraktiken in der Landwirtschaft und der derzeitige Konsum von Nahrungsmitteln einhergehen. Folglich sind auf all diesen Ebenen Veränderungen notwendig. Die Herausforderungen und daran gekoppelten Zielkonflikte innerhalb der Nachhaltigkeit konnten den Studierenden anhand dieser Problematik sehr eindrücklich und multiperspektivisch veranschaulicht werden. So bestehen sowohl auf regionaler als auch auf nationaler Ebene Forschungsprojekte mit Praxispartnerinnen und -partnern, die wissenschaftstheoretische Grundlagen im Rahmen von Fallstudien in der Praxis begleiten. Darüber hinaus wird unter anderem auch auf multinationaler Verbundebene (Europäische Union (EU)) mit der Hilfe von gemeinsamer Forschung aus Deutschland (vertreten durch das von Prof. Dr. Gaugler an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) eingeworbene EU-Projekt „FOODCoST“), den Niederlanden, Frankreich und dem Vereinigten Königreich mit dem Ziel einer Standardisierung von Ansätzen aus dem Bereich True Cost Accounting, die mittelfristig als Grundlage für einen politischen Handlungskatalog zur Umsetzung von TCA dienen soll, gearbeitet.

Vorrangiges Ziel war es, den Studierenden Einblicke in die empirische Sozialforschung zu gewähren, was mit Hilfe diverser Lehr- sowie Lernansätze vermittelt wurde. Beispielsweise wurden in ausführlicher Weise Sinus-Milieus und die damit verbundenen verschiedenen Gesellschaftsgruppen angesprochen. Dies hat eine spezielle Relevanz bei Umfragen oder Interviews, welche die notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten für die Bachelor-Arbeit oder andere Studienarbeiten darstellen. In diesem Kontext bestand für die Studierenden die Möglichkeit, in diesem interdisziplinären Forschungsseminar Eindrücke dieser zur nachhaltigen Transformation der Agrar- und Ernährungswirtschaft notwendigen wissenschaftlichen Praxis und der Kommunikation von Wissenschaft an die Gesamtgesellschaft zu gewinnen, sowie diese aktiv mitzugestalten. Durch gezielte Wissenschaftskommunikation in Form dieses Forschungsprojekts wird die Grundlage für zahlreiche Ideen sowie ein öffentlicher Diskurs angeregt.



Abbildung 1: Konzept Lehrforschungsprojekt. Bild: Eigene Darstellung

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die Studierenden konnten sich unter qualifizierter Anleitung von studentischen Hilfskräften und Mentorinnen und Mentoren im Projektkontext der Transformation von Agrar- und Ernährungssystemen einarbeiten und interdisziplinäre Forschungsansätze kennenlernen, die sowohl die Datenerhebung als auch die Kommunikation der Wissenschaft betreffen.

Um das Verständnis der Seminar- und Projekthinhalte zu gewährleisten standen studentische Hilfskräfte, die mit den Studierenden auf Augenhöhe kommunizieren konnten, mit Rat und Tat, aber auch als engagierte Motivatorinnen und Motivatoren zur Verfügung. Die studentischen Hilfskräfte selbst wurden im wöchentlichen Turnus von Lennart Stein angeleitet, um die Inhalte in Form von Präsentationen vorzubereiten und wurden später auch selbst mit in die Veranstaltungen eingebunden. Dadurch wurden die Studierenden mit Hilfe der studentischen Hilfskräfte zum aktiven Mitgestalten der Veranstaltungen ermutigt und konnten innerhalb des Projektrahmens ihre eigenen Forschungsfragen entwickeln (siehe Abbildung 1).

Als Schnittstelle zur Ausarbeitung dieser entwickelten Forschungsfragen diente die Mentoren-Ebene. Durch die Vermittlung von Erfahrung aus der wissenschaftlichen Praxis und die Qualitätssicherung der entwickelten Forschungsansätze wurde in einer Vorlesung beispielsweise eine Präsentation von Lennart Stein zu „How to Paper“ und die damit verbundenen notwendigen Fähigkeiten, um adäquate Literatur zu finden, strukturiert vorzugehen (Zeit- und Projektmanagement innerhalb des wissenschaftlichen Arbeitens) und Methoden zu kombinieren, gehalten. Außerdem gab es einen Gastvortrag der ehemaligen Studentin von Prof. Gaugler, Laura Müller, mit ihrem Konferenzbeitrag, den sie gemeinsam mit Lennart Stein bei einer internationalen Konferenz vorgestellt hatte. Als vorrangiges Ziel diente dies als Positivbeispiel, damit die Studierenden erfahren, wie auch bereits wissenschaftliche Arbeit im Laufe des Studiums in Richtung Forschung entwickelt werden kann. Der Fokus der Literaturrecherche sowie quantitativer und qualitativer Datenauswertung wurde von der Masterstudentin und Hilfskraft in dem Projekt FOODCoST, Katharina Wunder, sowie dem Mitarbeiter Lennart Stein vermittelt.

In der Vorlesung fanden unter anderem Gruppendiskussionen zu den Sinus-Milieus (siehe Abbildung 2) mit Viktoria Vogel statt, aber auch gemeinsame Diskussionsrunden mit Prof. Gaugler zu tagesaktuellen Themen, wie aktuelle mediale Berichterstattung in Form eines Artikels über TCA in „Die Zeit“. Anhand dieses Textes sollten die Studierenden die Thematik interpretieren und auch diverse Problematiken diskutieren. Auch der Aufbau von Umfragen, Auswertungen sowie die Nutzung des Tools „SoSci Survey“ wurden durch multimediale Lehre anhand von Videos übermittelt. Darauf folgend wurde gemeinsam mit Viktoria Vogel ein standardisierter Fragebogen zur Befragung der Thematik der „Wahren Kosten“ erstellt. Aufgrund des strukturierten Vorlesungsaufbaus konnten die Studierenden eigenständig evaluieren, was für Fragen gestellt, wer befragt und wie die Befragung durchgeführt werden sollte.

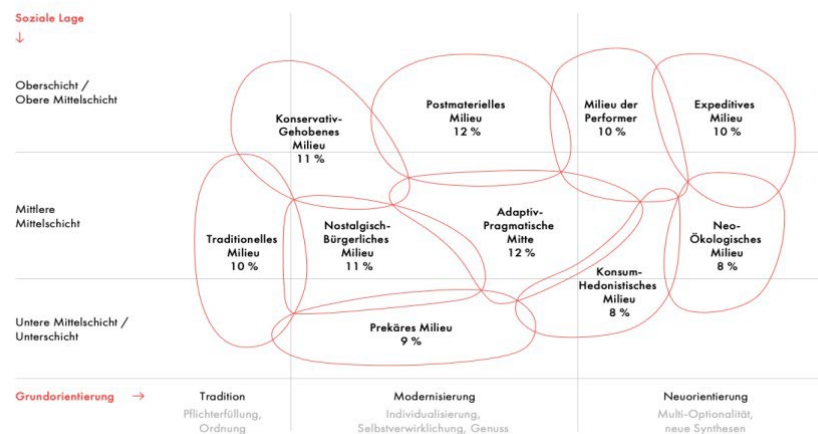


Abbildung 2: Sinus-Millieus. Bild: Eigene Darstellung

Außerdem konnten die fünf Säulen der Wissenschaftskommunikation verinnerlicht werden: (1) Das Thema, das scharf umrissen ist sowie Anlass und Publikum angemessen vorgestellt wird. (2) Die Zielgruppe, die möglichst genau definiert ist und deren Interessen und Erwartungen berücksichtigt werden. (3) Ein klares Kommunikationsziel für sich und die eigene Institution wie auch für das Gegenüber. (4) Das Medium oder Format, das zu den Zielen und der Zielgruppe passt. (5) Der Stil, mit dem Inhalte im Einklang mit den anderen vier genannten Dimensionen der Kommunikation präsentiert werden. Dies haben die Studierenden in Form einer Befragung bei einer Veranstaltung zur Wissenschaftskommunikation im Rahmen eines gemeinsamen Kooperationsprojektes zwischen dem Wahre-Preise-Supermarkt „Echt“ und dem Lorenzer Laden durchgeführt.



Abbildung 3: Personen (von links): Prof. Dr. Tobias Gaugler, Viktoria Vogel, Lennart Stein. Bild: Projektteam



Abbildung 4: Personen (von links): Prof. Dr. Tobias Gaugler, Felix Hirschberg, Katharina Gradl, Prof. Dr. Jan Niessen. Bild: Projektteam

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die jeweiligen Gruppen haben mithilfe von SoSci-Survey einen quantitativen, wissenschaftlichen Fragebogen für den Messestand Wahre-Preise-Supermarkt „Echt“ erstellt, um eine wissenschaftliche Studie durchzuführen. Die Ergebnisse sind dem Poster zu entnehmen (siehe Abbildung 5). Mit der umfassenden Bearbeitung der jeweiligen Fragestellungen aus betriebswirtschaftlichen, sozio-kulturellen und ökologischen Perspektiven lernten die Studierenden verschiedene Systeme des Nachhaltigkeitsmanagements im Ernährungssystem kennen. Des Weiteren konnten die Studierenden einen tiefen Einblick in das wissenschaftliche Arbeiten bekommen und verstehen, welche Arbeits- und Vorgehensweisen hinter der Sozialforschung stehen. Beide genannten Fähigkeiten lassen sich zum Beispiel auf Abschlussarbeiten im Studium anwenden.

Fakultät Betriebswirtschaft

Identifikation von Erfolgsfaktoren und geeigneten Umsetzungsebenen von True Cost Accounting (TCA) in der Lebensmittelwirtschaft („IdEa_TCA“)

Aufgabenstellung/Zielsetzung:

Rahmen: Die Veranstaltungen „Empirische Sozialforschung“ und „Management & Transformationsprozesse“ von Prof. Dr. Gaugler sind mit je einem inhaltlichen Fokus für die Studierenden Teil des diesjährigen Lehrlernforschungsprojekts

1. Kurs (Empirische Sozialforschung) mit Fokus auf Methodenanwendung der empirischen Sozialforschung

- Anwendungsbereiche empirischer Sozialforschung erlernen und mit diesen forschen
- Aussagen für zukünftige Kommunikation des Messestands zur Wissenschaftskommunikation treffen

2. Kurs (Management & Transformationsprozesse) mit Fokus auf stakeholder-/zielgruppenorientierte Kommunikation

- Betrachtung der Sinus-Milieus aus Nachhaltigkeitsperspektive
- Ableitung zielgruppenspezifischer Ansprache Möglichkeiten zur Veränderung des Konsumverhaltens

Vorgehensweise:

• Durchführung einer Umfrage im Rahmen des Studiengangs „Management in der Ökobranche“ bei

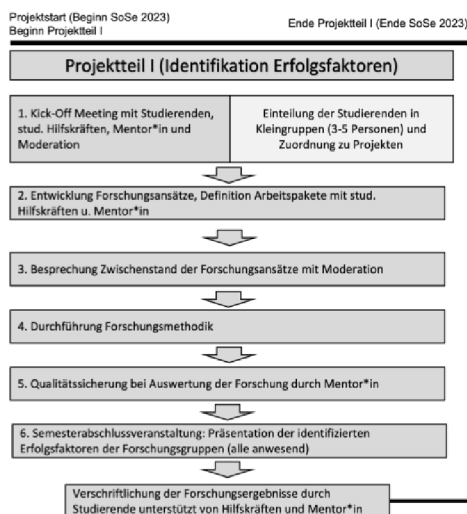
Veranstaltungen des Wahre Preise Supermarktes „Echt“

- Umfragen als ein Mittel der quantitativen Sozialforschung
- Erstellung einer Umfrage mit Bezug zu True Cost Accounting
- Durchführung der Befragung
- Auswertung der generierten Fragen
- Interpretation der erhobenen Daten

• Gastvorträge von ehemaligen Studierenden, die ähnliche Forschungsmethodik für internationale Konferenzbeiträge genutzt haben

• Verknüpfung der Befragungsergebnisse mit stakeholder-/zielgruppenorientierter Kommunikation

- Erschließung von Hypothesen und Korrelationen mithilfe der Umfrageergebnisse
- Verknüpfung mit Inhalten aus der Literatur mit Fokus auf Sinus Milieus



Erste Ergebnisse:

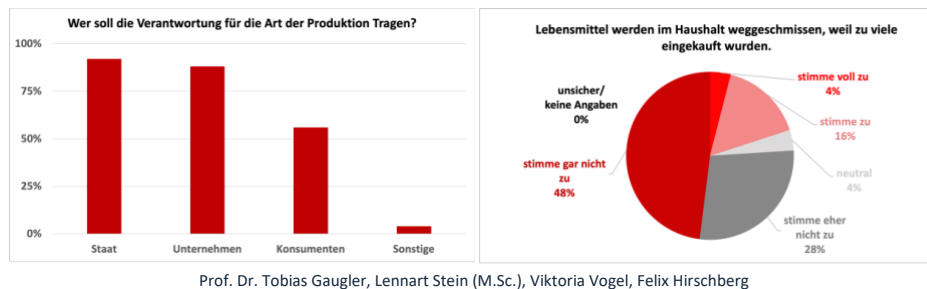


Abbildung 5: Ergebnisposter. Bild: Eigene Darstellung

5. Vernetzung und Transfer

Der bereits angesprochene Wahre-Preise-Supermarkt „Echt“ war auf mehreren Veranstaltungen, wie zum Beispiel der Biofach, den Deutschen Evangelischen Kirchentagen, dem Neumarkter Erntedankfest, der Lorenzer-Laden-Kooperation in der Nürnberger Innenstadt, der Neumarkter Gewerbeschau, der Consumenta, dem Erntedankfest der Neumarkter Lammsbräu oder der Kinder-UNI der Stadt Nürnberg vertreten. Dort konnten die Studierenden Wissenschaftskommunikation betreiben und die zuvor erstellten Umfragen durchführen.

Über die Hochschulaktivitäten hinaus hat das Lehrforschungsprojekt IdEa_TCA im Verlauf der Projektphase einen Überblick über die Zusammenhänge und Fragestellungen im Projektkontext hinsichtlich der Transformation von Ernährungssystemen und den konkreten Umsetzungsmöglichkeiten für die Gesellschaft gegeben. Gemeinsam mit den Studierenden sind (je nach Modul) die verschiedenen Forschungsaufträge und deren wesentliche Hintergründe und Kontexte mit den verbundenen Fragestellungen erarbeitet worden. Um unterschiedliche Perspektiven einzubinden, sind die Studierenden zudem von Expertinnen und Experten wie Lennart Stein begleitet und von studentischen Hilfskräften Peer-to-Peer 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.

Dabei wurde den Studierenden und den studentischen Hilfskräften einige inter- und transdisziplinäre Bezüge und Einblicke zu folgenden Projekten ermöglicht, aber auch bestehende Anknüpfungspunkte zur Verfügung gestellt:

- Nachhaltigkeitskommunikation (**Bildung für nachhaltige Entwicklung, BNE**) von Forschungsergebnissen im Projekt **Bio für Kinder** (regionale Umsetzung in Bayern) bei dem mithilfe von Aufklärungsveranstaltungen und einem Ernährungs-Rechner die Vorteile von nachhaltiger Ernährung für Heranwachsende kommuniziert und in der Praxis auf der regionalen Ebene umgesetzt werden.
- Der Wahre-Preise-Supermarkt „Echt“ sorgte durch seine Authentizität und seiner Greifbarkeit im Jahr 2023 für großes Interesse bei allen Altersgruppen. Der Stand unterstützte für eine niederschwellige Wissenschaftskommunikation und war, wie bereits teilweise erwähnt, bei der Biofach 2023, den Deutschen Evangelischen Kirchentagen, den Ökofelddtagen, der Gewerbeschau in Neumarkt, der BioSüd in Augsburg, dem Erntedankfest der Neumarkter Lammsbräu, die Lange Nacht der Wissenschaften und der Consumenta. Am Stand wurde auch bei einigen

Veranstaltungen in Kooperation mit Prof. Dr. Alexander Hahn (Fakultät Betriebswirtschaft) eine Eye-Tracking- und Facial-Coding-Studie zu True Costs durchgeführt.

- Das Projekt „Wahre Kosten und Preisbildung in Agrarlieferketten“ erfasst und analysiert die wahren Kosten, Preismechanismen, Märkte und Lieferketten der Rohstoffe Kakao, Kaffee und Bananen, die für den deutschen Markt produziert werden mit dem Ziel, die externen Kosten zu senken und positive Externalitäten zu steigern. Hierzu werden abschließend politischen Handlungsempfehlung erarbeitet zur Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit und sozialen Gerechtigkeit in diesen Lieferketten.
- Es ist ein gemeinschaftliches Unterfangen des International Food Policy Research Institute (IFPRI), dem True Price/Impact Institut in den Niederlanden, und Forschenden der Universität Göttingen und TH Nürnberg.
- Das im Sommer 2022 gestartete EU-Projekt „FOODCoST“ verfolgt das Ziel einer europäischen Standardisierung von True Cost Accounting, die eine Grundlage für einen politischen Handlungskatalog erarbeite. Im Rahmen des Projekts werden zwei Fallstudien mit Ohm-Beteiligung durchgeführt:
 - Case Study 8 in Kooperation mit **REWE Group und die im Sommer 2023 durchgeführte Wahre Preise-Kampagne** mit Penny.
 - Case Study in Kooperation mit **Ecozept, HoMaBiLe und Strength2food**.

Die Fragestellungen sind sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch kultureller und besonders 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 umfängliche Betreuung des Projektteams statt. Durch die enge Verzahnung von Theorie und Praxis erfuhren die Studierenden Selbstwirksamkeit und wurden sowohl auf kommende Herausforderungen in ihrem Studium als auch auf die Herausforderungen ihres späteren Berufsalltags vorbereitet. Aufgrund dieses seminaristischen Charakters konnte nicht nur die Lehre in die Forschung gebracht werden, sondern auch die Forschung in die Lehre.

6. 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, zielten darauf ab, Studierende zu eigenständiger Konzeption von Lösungen zu motivieren. Die im Forschungsprozess gewonnenen Erkenntnisse wurden 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.

Die Perspektive eines Studierenden kann durch nachfolgende Beschreibung beispielhaft charakterisiert werden: „Als Studierender habe ich durch das Forschungsprojekt einige Personen kennenlernen dürfen, die im Sinne der Nachhaltigkeit forschen, lehren und arbeiten. Hierbei halfen vor allem die entgegengebrachte Offenheit und vollumfängliche Hilfsbereitschaft der Akteure besonders, um auch

vermeintlich schwierige Fragen zu klären. Im Vordergrund des erlernten Wissens steht hierbei die Interdisziplinarität zwischen Praxis, Theorie und den ersten Aspekten des wissenschaftlichen und forschenden Arbeitens.“ Dies spiegelt wider, dass die Erfahrungswerte und Kompetenzen der Studierenden erweitert werden konnten.

Des Weiteren konnten die beiden eingesetzten studentischen Hilfskräfte (zweites Semester, Studiengang „Management in der Ökobranch“) einige multiperspektivische Arbeitsfelder betrachten, die sie wie folgt beschreiben: „Die Möglichkeit, höheren Semestern ein halbes Jahr etwas beizubringen, hat uns Spaß gemacht und ein ganz neues Berufsfeld eröffnet. Vor allem die Vorbereitung auf die spannenden Themen, Impulsvorträge aber auch die Nachbereitung werden uns in unserer zukünftigen Studien- und Berufslaufbahn weiterbringen.“

7. Literatur

European Commission, 2020. Farm to fork strategy. For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Online unter: https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf

Kahiluoto, H., 2020. Food systems for resilient futures. Food Sec. 12, 853–857. <https://doi.org/10.1007/s12571-02001070-7>

Kennedy, E., Webb, P., Block, S., Griffin, T., Mozaffarian, D., Kyte, R., 2021. Transforming Food Systems: The Missing Pieces Needed to Make Them Work. Current Developments in Nutrition 5, nzaa177. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa177>

Michalke, A., Stein, L., Fichtner, R., Gaugler, T., Stoll-Kleemann, S., 2022. True cost accounting in agri-food net-works: a German case study on informational campaigning and responsible implementation. Sustain Sci. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01105-2>

Pieper, M., Michalke, A., Gaugler, T., 2020. Calculation of external climate costs for food highlights inadequate pricing of animal products. Nature communications, 11(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19474-6>

Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R.A., Betts, R., Kerr, R.B., Biesbroek, R., 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC Sixth Assessment Report.

Brandt-Bohne, U., Mai 2021: Die zentralen fünf Dimensionen der Wissenschaftskommunikation. <https://www.wissenschaftskommunikation.de/die-zentralen-fuenf-dimensionen-der-wissenschaftskommunikation48385/>

ARGreWell: Augmented Reality Green Indoor Wellbeing Study

Prof. Dr. Timo Götzelmann

Fakultät Informatik / Nuremberg Campus of Technology (NCT)

Viktoria Galt

Fakultät Informatik

Elvis Thai

Fakultät Informatik

Daniel Freitas

Fakultät Informatik

Zusammenfassung:

Augmented Reality (AR) erlaubt es, dem Benutzenden Objekte im Sichtfeld seiner realen Umgebung einzublenden. Ein vorangegangenes Lehrforschungsprojekt ermöglichte die automatisierte Anreicherung von realen Umgebungen mit virtuellen Pflanzen. Diese konnten zwar, wie reale Pflanzen auch, in ihrer Erscheinung und Platzierung angepasst werden, behielten diese jedoch nach Verlassen des Raumes bei. Dieses darauf aufbauende Lehrforschungsprojekt untersuchte nun, ob der Einfluss von virtuellen Pflanzen eine vergleichbar positive Wirkung auf das menschliche Wohlbefinden haben kann, wie dies bereits in anderen Studien für reale Pflanzen nachgewiesen wurde. Eine umfangreiche Studie mit 30 Testpersonen wurde dazu von drei Studierenden unter Anleitung ihres Projektleiters entwickelt, durchgeführt und ausgewertet.

1. Projektdaten

Fördersumme	8.500 Euro
Laufzeit	März 2023 – Februar 2024
Fakultät/Einrichtung	Informatik / Nuremberg Campus of Technology
Projektleitung	Prof. Dr. Timo Götzelmann
Projektteam	Viktoria Galt Elvis Thai Daniel Freitas
Kontakt Daten Projektleitung	Timo.Goetzelmann@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Zahlreiche Studien belegen die positive Wirkung von Pflanzen auf das Wohlbefinden des Menschen. Unter anderem haben Studien bislang gezeigt, dass Grünpflanzen die Luftqualität verbessern können [4, 5], die Produktivität von Mitarbeitenden steigern [2, 3] oder Stress reduzieren [1, 2, 3] können.

Allerdings können oder dürfen Grünpflanzen in Büroumgebungen nur bedingt eingesetzt werden. Auch bei sorgfältiger Pflege einschließlich der Sicherstellung der richtigen Lichtverhältnisse, der Kontrolle der Bewässerung und der Vermeidung von übermäßiger Feuchtigkeit sind gesundheitliche Beeinträchtigungen von Mitarbeitenden nicht ausgeschlossen. Dabei kann es zur Verbreitung von Bakterien oder zur Bildung von Schimmelpilzen kommen. Diese können sich durch die Luft verbreiten und auf anderen Oberflächen ablagern. Letztere stellen insbesondere für Menschen mit Allergien oder Atemwegserkrankungen ein Gesundheitsrisiko dar.

Augmented Reality bietet eine Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten in Forschung und Industrie. Sie ermöglicht es, digitale (virtuelle) Inhalte und Objekte in die reale Welt zu integrieren. Beispielsweise setzen Technologiefirmen diese in Logistik, Wartung und Produktdesign ein, Architektinnen und Architekten planen und kommunizieren damit neue Entwürfe für Innenräume, Gebäude sowie Städte und im Gesundheitsbereich wird die Technik beispielsweise bei Ferndiagnosen und Operationen eingesetzt. Neben dem Einsatz in Forschung und Industrie findet diese Technologie mittlerweile auch Einzug in den Consumer-Markt in Form von erschwinglichen Produkten.

AR-Hardware, das heißt, bestimmte Smartphones und Tablets oder Datenbrillen, ermöglichen die Ergänzung der Wahrnehmung der realen Welt um visuell und auditiv passende Informationen, um dem Träger und der Trägerin zusätzliche Objekte, Strukturen oder Hinweise räumlich darstellen zu können. Tablets und Smartphones können dabei wie Blickfenster fungieren, die reale Umgebungen um digitale AR-Inhalte ergänzen. Die in einigen aktuellen Modellen verfügbaren LIDAR-Sensoren ermöglichen Messungen von Abständen in der realen Umgebung und im Besonderen auch eine genaue Erkennung von Oberflächen. Im Gegensatz zu Tablet-Computern vermitteln Datenbrillen Benutzenden ein noch realistischeres Raumerlebnis, daher wird die Anschaffung einer solchen für dieses Projekt favorisiert. Besonders interessant ist hier derzeit die AR-Brille „HoloLens 2“ von Microsoft, mit der unter anderem die Umgebung im Sichtfeld der Brillenträgerin und des -trägers in Echtzeit als 3D-Modell bereitgestellt wird und verarbeitet werden kann.

Für die Gestaltung eines realen Raums mit virtuellen Pflanzen kann die AR-Softwareanwendung „AR GreenIndoor“ (siehe Abbildung 1) verwendet werden. Diese wurde im Rahmen eines vorangegangenen Lehrforschungsprojektes durch vier Informatik-Studierende entwickelt. Sie detektiert automatisiert horizontale und vertikale Ebenen (Tischflächen, Wände) im Raum (siehe Abbildung 1 links) und ermöglicht es

den Benutzenden intuitiv, virtuelle Pflanzen im realen Raum auf diesen zu platzieren sowie Anpassungen an den Pflanzen vorzunehmen (zum Beispiel Größe). Des Weiteren ermöglicht die Software eine persistente Datenhaltung, sodass sich die virtuelle Bepflanzung von Räumen speichern lässt (Ort, Art und Form) und somit über mehrere Besuche und für unterschiedliche Benutzende gleich bleibt.

Die Aufgabe des Lehrforschungsprojekts „ARGreWell“ war es zu untersuchen, eine mögliche Wirkung von AR-Pflanzen auf das menschliche Wohlbefinden zu evaluieren. Konkret wurde überprüft, ob virtuelle Pflanzen (platziert im realen Raum über AR) eine vergleichbar positive Wirkung auf das menschliche Wohlbefinden haben, wie dies für reale Pflanzen bereits nachgewiesen wurde.

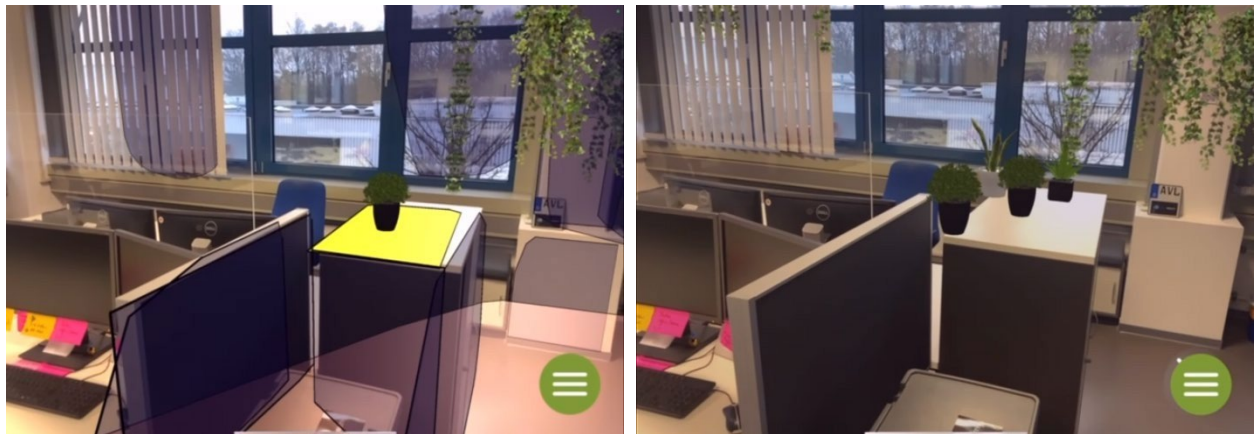


Abbildung 1: „AR GreenIndoor“ Softwareanwendung – Tablet-Anzeige des realen Raums ergänzt um virtuelle Pflanzen (sämtliche dargestellten Pflanzen sind virtuelle Pflanzen). Links: Hervorhebung automatisiert detektierter horizontaler und vertikaler Ebenen (Tischflächen, Wände) und Flächenauswahl (gelb) für Platzierung weiterer Pflanzen; Rechts: Raum nach Platzierung weiterer Pflanzen. Bild: Timo Götzmann

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Dies umfasste zum einen die Einarbeitung in die Programmierung der Hololens und des zugrundeliegenden Frameworks. Für die Studie wählten sie weiterhin eine Auswahl virtueller Pflanzen als 3D-Modelle und deren passende reale Pflanzen aus, welche sodann beschafft wurden. Es wurde ein Konzept erarbeitet, wie die virtuellen Pflanzen als Stellvertreterinnen der realen Pflanzen in den Laborräumen integriert werden können, um den Effekt virtuelle/reale Pflanzen messen zu können. Möglichkeiten der Stressmessung während der Studie wurden evaluiert und schließlich durch eine beschaffte Smartwatch umgesetzt. Es wurden in der Studie somit ortsbezogene, quantitative Daten erhoben und diese anschließend von einer qualitativen Erhebung in Form eines Fragebogens ergänzt.

Zunächst erfolgte eine inhaltliche und organisatorische Vorbereitung des Projektes. Die Studierenden rekapitulierten zunächst relevante Inhalte aus der Lehrveranstaltung „Mensch-Computer-Interaktion“ des Projektleiters. Sie machten sich mit der AR-Brille und der Softwareanwendung „AR-GreenIndoor“ vertraut und erarbeiteten sich Kenntnisse bezüglich der Erhebung und Auswertung von Benutzerstudien sowie der Ermittlung von menschlichem Wohlbefinden.

Messung des Wohlbefindens

Auf dieser Basis wurde die Fragestellung diskutiert, wie das Wohlbefinden in diesem Zusammenhang gemessen werden kann. Es wurde beschlossen, dies anhand von Stress zu messen, da bereits andere Studien von Stressreduktion durch Pflanzen berichtet hatten. Die Recherche der Studierenden zu Stressarten ergab, dass es zwei Arten von Stress gibt, welche positive, aber auch negative Auswirkungen auf Menschen haben können. Neben chronischem Stress wurde der akute Stress diskutiert, welcher sich gut für die folgende Untersuchung eignete. Es wurde diskutiert, dass in die Benutzerstudie bestimmte stressauslösende sowie stressvermindernde Elemente integriert werden sollten. Anhand dieser sollten in der Benutzerstudie als abhängige Variable gemessen werden können, ob Unterschiede in der Stresssteigerung beziehungsweise Stressverminderung gemessen werden können.

Als stressvermindernde Elemente wurden das aufsteigende Zählen bis zu einer bestimmten Zahl diskutiert.

Als stressauslösende Elemente wurden folgende Elemente bestimmt:

- Der Stroop-Test als ein klassisches Experiment in der Psychologie zur Messung der kognitiven Flexibilität und der Fähigkeit zur Impulskontrolle. Den Teilnehmenden werden verschieden eingefärbte Wörter präsentiert. Ihre Aufgabe besteht darin, die Farbe der Wörter zu benennen anstatt der Zahlen, den die Wörter repräsentieren. Dies erzeugt einen kognitiven Konflikt, der insbesondere unter Zeitdruck Stress auslösen kann.
- Den Trail-Making-Test (TMT), der aus zwei Teilen besteht, die beide die visuelle Aufmerksamkeit und den Aufgabenwechsel erfassen sollen. In Teil A müssen die Teilnehmenden so schnell wie möglich eine Reihe nummerierter Kreise in aufsteigender Reihenfolge verbinden. Teil B erhöht die Komplexität, indem die Teilnehmenden zwischen Zahlen und Buchstaben in aufsteigender Reihenfolge wechseln müssen. Dieser Test misst die kognitive Flexibilität und die Fähigkeit, unter Zeitdruck aufmerksam zu bleiben und schnell zwischen Aufgaben zu wechseln.

In einer weiteren Recherche lasen sich die Studierenden in unterschiedliche Möglichkeiten zur Stressmessung ein. Diese wurden im Folgenden diskutiert. Viele der Studien messen Stress durch das Cortisol-Level im Speichel der Testpersonen. Das wurde jedoch als nicht praktikabel angesehen. Weiterhin wurden als Möglichkeiten zur Stressmessung der Blutdruck, die Hautleitfähigkeit (galvanische Hautreaktion), die Pupillometrie, das Elektroenzephalogramm (EEG), die funktionelle Magnetresonanztomographie sowie Mimik und Körperhaltung identifiziert. Aufgrund der guten Synchronisierbarkeit mit der Hololens-AR-Brille wurden EEG und die Herzschlagfrequenz (HF) bestimmt. Es wurde diskutiert, dass dies durch ein Brain-Computer-Interface und eine handelsübliche Smartwatch realisiert werden könnte. Letztlich wurde eine Smartwatch Samsung Galaxy Watch zur Messung der Herzschlagfrequenz angeschafft, welche per Bluetooth an die Augmented-Reality-Brille angebunden war.

Die unabhängige Variable sollten dabei die Pflanzen darstellen und die Tests in drei Stufen durchgeführt werden:

1. Ohne Pflanzen.
2. Mit realen Pflanzen.
3. Mit virtuellen Pflanzen.

Der Fragebogen basierte auf der Vorlage von Mann [6] und wurde auf die Aufgabenstellung angepasst. Dabei wurde neben den üblichen demographischen Daten auch bisherigen Erfahrungen mit AR/Virtual Reality-(VR-)Geräten, den Konsum von zucker- und koffeinhaltigen Getränken, Rauchgewohnheiten et cetera abgefragt. Die entsprechenden Likert-Items wurden zu thematisch zusammenhängenden Skalen gruppiert.

Auswahl der Pflanzen und Gestaltung der Testumgebung

Für die weitere Planung sollte nun bestimmt werden, welche Pflanzen für die Studie in Frage kommen. Es wurde über die Vor- und Nachteile von echten Pflanzen gegenüber Kunstpflanzen diskutiert. Diese umfassten unter anderem die Auswirkungen auf das Raumklima, den Pflegeaufwand, die Resistenz gegenüber Umgebungskonditionen, der Beschaffungssituation und die lokale Verfügbarkeit der Pflanzen. Aufgrund dessen einigte sich die Gruppe darauf, statt echten realen Pflanzen künstliche reale Pflanzen zu beschaffen. Für die virtuellen Pflanzen sollten entsprechende, sehr echt aussehende 3D-Modelle beschafft werden. Bei der Recherche, welche Pflanzen als büroüblich gelten und sowohl als Kunstpflanzen als auch als 3D-Modelle beschafft werden können, wurde folgende Liste erstellt:

- Echte Aloe (Aloe vera),
- Grünstilbe (Chlorophytum comosum),
- Riesen-Palmlilie (Yucca elephantipes),
- Bogenhanf (Sansevieria trifasciata),
- Drachenpalme (Dracaena marginata),
- Fensterblatt (Monstera deliciosa),
- Efeutute (Epipremnum aureum/Scindapsus aureus),
- Birkenfeige (Ficus benjamina).

Die künstlichen realen und die virtuellen Pflanzen wurden beschafft, die Augmented-Reality-Anwendung für die Hololens-Brille angepasst und die Räume vorbereitet. Die folgenden Bilder zeigen die beiden Laborräume HW.012/13 des Campus Hohfederstraße der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) ohne Begrünung sowie mit realer und virtueller Begrünung (siehe Abbildung 2).

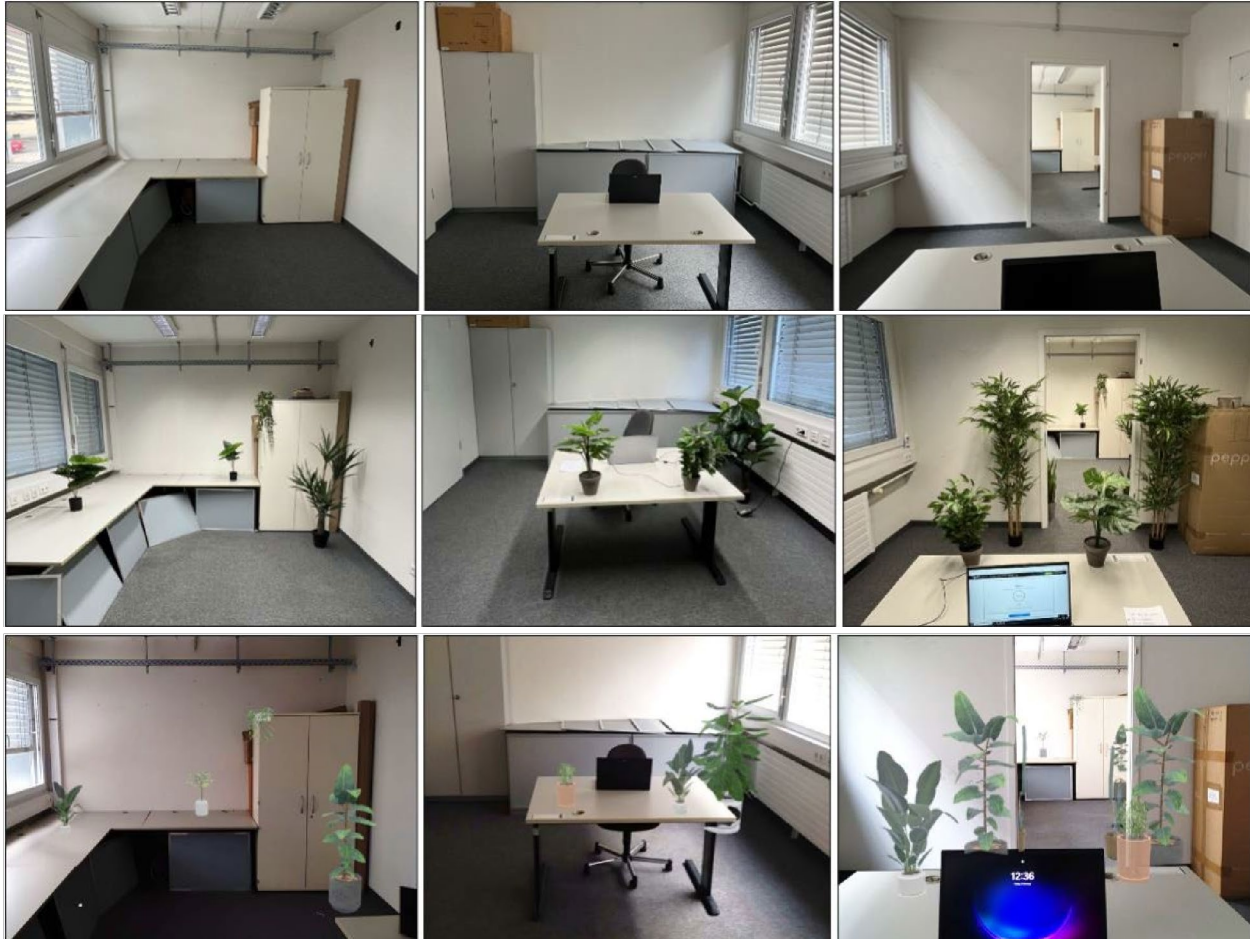


Abbildung 2: Laborräume HW.012/13 am Campus Hohfederstraße, Ohm, als Testumgebung ohne Begrünung (oben) sowie mit realer (mitten) und virtueller (unten) Begrünung. Bilder: Viktoria Galt, Elvis Thai, Daniel Freitas

Ablauf der Studie

Vor Beginn der Tests wurde ein Briefing durchgeführt, um die Teilnehmenden auf den Ablauf der Studie vorzubereiten, ohne die Ergebnisse durch Vorabinformationen zu verzerren. Die Teilnehmenden wurden darüber informiert, dass ihre Teilnahme vollkommen freiwillig ist und dass sie jederzeit die Möglichkeit haben, den Test abubrechen. Den Teilnehmenden wurde erklärt, dass sie sich zunächst mit der Hololens2 und einer Smartwatch ausstatten und dann bestimmte Aufgaben bearbeiten sollten. Der genaue Ablauf, einschließlich des Betretens des Testraums und der Durchführung der Aufgaben, wurde detailliert beschrieben. Nach dem einführenden Briefing füllten die Testpersonen einen Fragebogen aus, der wichtige demografische Informationen und relevante Hintergrunddaten erfasste. Dies diente dazu, eine Basis für die Auswertung der Studienergebnisse zu schaffen. Nach dem Fragebogen erhielten die Testpersonen die Smartwatches zur Messung der Herzschlagfrequenz. Parallel dazu wurden ihnen die HoloLens aufgesetzt, um die Virtual-Reality-Komponente der Studie einzuleiten.

Die Testpersonen wurden angewiesen, den Raum zu betreten, sich auf einen Stuhl zu setzen und bis 30 zu zählen. Dieses Ruheritual sollte nicht nur einen Ruhepuls ermöglichen, sondern den Teilnehmenden auch die Gelegenheit geben, den Raum zu erkunden und sich zu akklimatisieren. Nach dem Ruheritual führte die Probandin beziehungsweise der Proband am Laptop einen Stroop-Test durch, gefolgt von einem weiteren

kognitiven Test. Während dieser Tests wurden die Zeiten festgehalten, um später Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen der Herzschlagfrequenz in verschiedenen kognitiven Phasen ziehen zu können. Nach den kognitiven Tests wurden die Testpersonen erneut gebeten, bis 30 zu zählen, bevor sie den Raum verließen. Diese Sequenz ermöglichte die Erfassung eines erneuten Ruhepulses und diente als Übergang zur abschließenden Befragung. Die Testpersonen beantworteten abschließend einen Fragebogen zum Wohlbefinden während des Tests und gaben ihre Eindrücke vom Raum wieder.

Nach Abschluss der Tests fand eine Nachbesprechung statt, in der den Teilnehmenden der eigentliche Zweck der Studie erläutert wurde. Es wurde darauf hingewiesen, dass während der Tests kontinuierlich der Puls als Stressindikator gemessen wurde und dass alle Daten anonym und vertraulich behandelt werden. Die Wichtigkeit der Teilnahme wurde betont und den Teilnehmenden für ihre Unterstützung gedankt. Kontaktdaten für weitere Fragen oder Informationen wurden zur Verfügung gestellt.

4. Forschungsergebnisse

Für die Studie wurden 30 Testpersonen (10 weiblich) im Alter von 19 bis 55 (durchschnittlich 25,33) Jahren zufällig aus dem Umfeld der Ohm rekrutiert, welche alle die Fragebögen vollständig ausfüllten. Diese hatten verschiedene Berufe, darunter waren 26 Studierende. Von den 30 Testpersonen hatten 14 bereits Erfahrungen mit VR/AR. 19 Teilnehmende hatten keine koffeinhaltigen Getränke konsumiert und 24 Teilnehmende gaben an, Nichtraucher zu sein. 21 Testpersonen gaben an, gut geschlafen zu haben. Bei der Durchführung des Experimentes konnten bei einem Probanden aufgrund technischer Probleme keine Messdaten ausgenommen werden. Bei weiteren drei Probanden gab es bei Teilaufgaben aufgrund technischer Probleme keine Messdaten.

Das Experiment schloss folgende Phasen ein: „Zählen 1“, „Start der Computerinteraktion“, „Aufgabe 1“, „Aufgabe 2“, „Ende der Computerinteraktion“ und „Zählen 2“. Für jede der Phasen wurde die relative Veränderung von HF bestimmt und mithilfe ungepaarter t-Tests untersucht. Hierbei wurden Unterschiede von HF zwischen drei Testvarianten „Kunstpflanzen“, „Ohne Pflanzen“ und „Virtuelle Pflanzen“ analysiert. Bei keinem der 6x3 Varianten ergaben sich signifikante Unterschiede. Die Likert-Skalen der Fragebögen wurden mit dem Chi-Quadrat-Test ausgewertet, wobei sich hinsichtlich der sieben Fragen zum Wohlbefinden Unterschiede in den Mittelwerten (ohne Pflanzen: 3,15, mit Kunstpflanzen: 3,72, mit AR-Pflanzen: 3,74) ergaben, die jedoch nicht signifikant waren.

5. Fazit und Ausblick

Das Lehrforschungsprojekt konnte erfolgreich durchgeführt werden. Die Studierenden lernten schrittweise, sich einer komplexen Fragestellung zu nähern, Recherche zu betreiben, Designentscheidungen für eine Studie zu treffen und die Studie einschließlich der Entwicklung notwendiger Werkzeuge vorzubereiten. Die Studie konnte ebenso erfolgreich durchgeführt und, bis auf eine Ausnahme, die Daten hierzu systematisch erfasst werden. Bis zum Beginn der Studie konnte auch der Zeitplan gut eingehalten werden. Während der Durchführung der Studie ergaben sich jedoch technische und organisatorische Schwierigkeiten, die zu einer wesentlichen Verzögerung der folgenden Auswertung der erhobenen Daten führte. Daher konnten die umfangreichen Daten in der Studie nicht vollständig besprochen und ausgewertet werden. Bei den Signifikanztests zur gemessenen Herzschlagfrequenz zu den unterschiedlichen Testvarianten ergaben sich zwar keine signifikanten Unterschiede, allerdings waren bei fünf der Tests die p-Werte im Bereich von 0,0645 bis 0,0808. Es ist möglich, dass eine darauf aufbauende Studie mit angepassten Methoden genauere Resultate liefern kann um die Hypothese, dass virtuelle Pflanzen eine ähnlich positive Wirkung auf das Wohlbefinden des Menschen haben wie reale Pflanzen, zu untersuchen.

6. Literatur

- [1] B.-J. Park u. a., „Physiological Effects of Shinrin-yoku (Taking in the Atmosphere of the Forest) Using Salivary Cortisol and Cerebral Activity as Indicators—“, J. Physiol. Anthropol., Bd. 26, Nr. 2, S. 123–128, 2007, doi: 10.2114/jpa2.26.123.
- [2] V. I. Lohr, C. H. Pearson-Mims, und G. K. Goodwin, „Interior Plants May Improve Worker Productivity and Reduce Stress in a Windowless Environment“, J. Environ. Hortic., Bd. 14, Nr. 2, S. 97–100, Juni 1996, doi: 10.24266/0738-289814.2.97.
- [3] T. Bringslimark, T. Hartig, und G. G. Patil, „Psychological Benefits of Indoor Plants in Workplaces: Putting Experimental Results into Context“, HortScience, Bd. 42, Nr. 3, S. 581–587, Juni 2007, doi: 10.21273/HORTSCI.42.3.581.
- [4] B. C. Wolverton, A. Johnson, und K. Bounds, „Interior landscape plants for indoor air pollution abatement“, Stennis Space Center, NASA-TM-101766, 1989.
- [5] T. Fjeld, „The Effect of Interior Planting on Health and Discomfort among Workers and School Children“, HortTechnology, Bd. 10, Nr. 1, S. 46–52, Jan. 2000, doi: 10.21273/HORTTECH.10.1.46.
- [6] M. Mann, „PHYTOPHILIE: Evolutionär bedingte Auswirkungen von natürlichen und künstlichen Grünpflanzen am Arbeitsplatz auf die menschliche kognitive Leistung, Stimmung, Raumwahrnehmung und das Stresshormon Cortisol“. Diplomarbeit. 2010. Abgerufen am 14. Oktober 2022 von <https://core.ac.uk/download/pdf/11592425.pdf>

Lehrkompetenzzentrum Schmierfette

Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob

Fakultät Angewandte Chemie

Prof. Dr. Alexander Monz

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer

Fakultät Angewandte Chemie

Zusammenfassung:

An den Fakultäten Angewandte Chemie und Maschinenbau und Versorgungstechnik wird Forschung mit Fokus auf Herstellung, Charakterisierung und Wirkung von Fetten betrieben. Ein gemeinsam gegründetes Lehrkompetenzzentrum hat es sich zum Ziel gesetzt, Studierende für das Thema Schmierfette zu begeistern, sie an interdisziplinäre Forschung heranzuführen und Projekte bearbeiten zu lassen. Zentrum der fakultätsübergreifenden Aktivitäten ist ein monatlich stattfindendes gemeinsames Seminar. Es lebt von den Projektvorträgen der Studierenden und Grundlagenvorträgen der Professoren. Dieses Seminar vermittelt Studierenden fakultätsfremde Sichtweisen (Perspektivwechsel!) und verhilft ihnen zur Erkenntnis, dass interdisziplinäre Zusammenarbeit eine notwendige Voraussetzung zielorientierter Forschung ist.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Angewandte Chemie; Maschinenbau und Versorgungstechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob
Projektteam	Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz, Prof. Dr. Dirk-Sachsenheimer
Kontakt Daten Projektleitung	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 und Versorgungstechnik fokussiert aus dem jeweiligen Blickwinkel beider Disziplinen, was für ein tiefgreifendes Verständnis der Zusammenhänge von Zusammensetzung, Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Schmierfetten und damit zielgerichtete und effektive Forschungsarbeit hinderlich ist. An dieser Stelle setzte das im Jahr 2022 durchgeführte Lehrforschungsprojekt „Perspektivwechsel“ an. Es wurde ein Schmierfettseminar als fakultätsübergreifende Plattform für Präsentationen und Diskussionen studentischer Schmierfett- und Tribologie-Projektarbeiten ins Leben gerufen. Aufbau und Inhalt dieses Seminars sollte Studierende für das Thema *Schmierfette* begeistern und ihnen die Komplexität des Themenkomplexes aufzeigen. Das Lehrforschungsprojekt führte die beteiligten Bachelorstudierende durch geeignete Projektarbeiten an interdisziplinär geprägte Forschung heran und vermittelte ihnen die Kompetenz, Ideen und Ergebnisse ihrer Projektarbeiten allgemeinverständlich zu präsentieren.

Das in 2023 darauf aufbauende Lehrforschungsprojekt mit dem Titel *Lehrkompetenzzentrum Schmierfette* hatte zum Ziel, den eingeschlagenen Weg konsequent weiter zu verfolgen und Studierende aus Maschinenbau und Verfahrenstechnik und Angewandte Chemie **gemeinsam** studentische Forschungsprojekte bearbeiten zu lassen, um den Aspekt einer interdisziplinären Zusammenarbeit zu stärken.

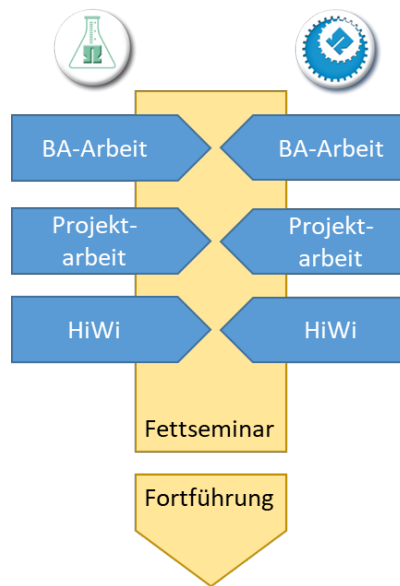


Abbildung 1: schematischer Aufbau des interdisziplinären Lehrforschungsprojekts. Bild: Alexander Monz

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 Lehrforschungsprojekt leiteten sich aus den getroffenen Prämissen verschiedene Maßnahmen ab:

- Im fakultätsübergreifenden Seminar sollte Studierenden durch Vorträge der beteiligten Professoren und Studierenden aufgezeigt werden, wie vielfältig der Forschungsbereich Schmierfette und Tribologie ist und dass ein breites Grundlagenwissen notwendig ist, um einen ausreichend tiefen Einblick für erfolgreiche Forschung zu erreichen;
- Die Beteiligten des Seminars sollten geeignete Ideen für fakultätsübergreifende beziehungsweise interdisziplinäre Projektarbeiten zu entwickeln;
- Studierende sollten durch Projektarbeiten lernen, eigenständig und zielorientiert zu arbeiten, ihre Ergebnisse zu präsentieren und aus den Diskussionen geeignete Schlussfolgerungen für ihre Weiterarbeit zu entwickeln.

Das fakultätsübergreifende Schmierfettseminar fand während der Vorlesungszeit im monatlichen Rhythmus statt. Die Vorträge der beteiligten Professoren zu grundlegenden Themen und die Vorträge der Studierenden zu ihren Forschungsthemen bildeten den Rahmen des Seminars.

Vortragende	Thema	Datum
Luis Huber (MB/VS) Prof. Dr. Alexander Monz	Untersuchungen an einem Gleitlagerprüfstand 31.03.2023 Vor-Ort-Termin im Tribologie-Labor der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	
Julia Krauß (AC) Prof. Monz (MB/VS)	Herstellung von Calcium-Komplexschmierfetten Phänomenologische Untersuchung von Fetten in Schnecken- getrieben	21.04.2023
Maximilian Enhuber (AC) Stanley Malsam (MB/VS)	Ölabgabe und Klebrigkeit von Schmierfetten 19.05.2023 Adaption einer Verzahnung auf ein Rheometer	
Anh-Thu Pham (AC) Prof. Monz (MB/VS)	Eigenschaften einfacher und komplexer Ca-Modellschmierfette Vorgehen zur Qualifizierung von fettgeschmierten Getrieben	23.06.2023
Alle Teilnehmenden	Exkursion zur Firma Klüber	07.07.2023
Maximilian Enhuber (AC) Monz (MB/VS)	Verweilverhalten von Schmierfetten 03.11.2023 Ideensammlung zum fakultätsübergreifenden Schmierfettlabor	
Jannis Kursawe (AC) Luis Huber (MB/VS)	Ölabgabe von Schmierfetten im Ruhezustand – 12.12.2023 was genau passiert da? Gleitlageruntersuchungen - Abschlussbericht	
Florian Matz (AC) Johannes Gründer (MB/VS)	Methodenvergleich: Bestimmung von Fließgrenzen 12.01.2024 Tribosimulation von Gleitlagern	
Steven Singer (AC) Johannes Frank (MB/VS)	Herstellung, Charakterisierung und tribologische Evaluierung additiver Calcium-Komplexschmierfette Tribologische Untersuchung von Schmierfetten	14.02.2024

Tabelle 1: Übersicht zu den Vortragsthemen des Schmierfettseminar im Sommersemester 2023 und Wintersemester 2023/2024.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen des regelmäßig stattfindenden Schmierfettseminars berichteten Studierende über die Ergebnisse ihrer Projektarbeiten auf dem Gebiet *Schmierfette und Tribologie*. An den Seminarterminen teilgenommen haben nicht nur die projektbearbeitenden Studierenden, sondern darüber hinaus auch weitere Studierende (5 bis 10), was ein „breiteres“ Interesse Studierender für die Themen aufzeigt. Den teilnehmenden Studierenden fiel es nicht immer leicht, den Vorträgen aus der jeweils anderen Fakultät zu folgen. Hier zeigte sich, dass die thematische Auseinandersetzung in den Studiengängen Angewandte Chemie und Maschinenbau und Versorgungstechnik fokussiert aus dem jeweiligen Blickwinkel der beiden

Disziplinen erfolgt und ein Verständnis für eine andere Sichtweise beziehungsweise Herangehensweise bei der Bearbeitung von Aufgaben unterentwickelt ist. Für alle Beteiligten waren vor allem die Diskussionen, die sich zwangsläufig aus den unterschiedlichen Themen und Erfahrungen ergaben, lehrreich.

Genau an dieser Stelle ist auch in Zukunft anzusetzen. Die mit dem Lehrforschungsprojekt „Perspektivwechsel“ in Gang gesetzte Entwicklung eines fakultätsübergreifenden Seminars ist langfristig hin zu einem gemeinsam Wahlpflichtmodul konsequent weiterzuführen. Das bietet Studierenden die Chance an 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 gestärkt werden. Diese Vorgehensweise hat nicht nur den Vorteil ein fakultätsübergreifendes Lehrkonzept entwickeln zu können, sondern auch den Vorteil, dass Studierende besser in Forschungsvorhaben eingebunden beziehungsweise an Forschungstätigkeiten herangeführt werden. Ein gemeinsames Wahlpflichtmodul und gemeinsame Projekte werden die Lehr- und Forschungskompetenz an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) stärken.



Abbildung 2: Besuch bei der Firma Klüber, einem Hersteller für Spezialschmiermittel, in München. Bild: Eva Mautner

5. Vernetzung und Transfer

Das Lehrforschungsprojekt *Schmierfette* ist als interdisziplinäres Projekt zu den Themengebieten *Schmierstoffe* und *Tribologie* angelegt. Das Projekt bietet Studierenden die Möglichkeit, sich auch unter den Aspekten *Nachhaltigkeit* und *Energieeffizienz* in aktuelle Themen einzuarbeiten und an der Ohm auf diesem Gebiet forschend tätig zu sein. Das ist für Studierende umso interessanter, weil *Schmiermittel* branchenübergreifend von Interesse sind und sie mit ihren darin gewonnen Erfahrungen einen leichteren Zugang in die Industrie haben.

6. Fazit und Ausblick

Für alle Beteiligten war das Lehrforschungsprojekt ein voller Erfolg. Den beteiligten Professoren Sachsenheimer / Fakultät Angewandte Chemie, Monz / Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik und Jacob / Fakultät Angewandte Chemie half das Lehrforschungsprojekt Themenbereiche und Lehrkonzepte zu identifizieren, die zukünftig zu einem gemeinsamen Wahlpflichtmodul weiterentwickelt werden sollen. Den Studierenden verschaffte das Lehrforschungsprojekt Zugang zur interdisziplinären Zusammenarbeit. Die Interdisziplinarität dieses Lehrforschungsprojekts hat den Studierenden so gut gefallen, dass nahezu alle, die ein Projekt bearbeitet haben, dieses Konzept bis zum Ende ihrer Studienzeit an der Ohm weiter begleiten und auch weiter mitentwickeln wollen. Mittelfristig ist dieses Lehrforschungsprojekt Keimzelle für ein gemeinsames Wahlpflichtmodul, das für das Wintersemester 2025/2026 geplant ist. Darüber hinaus bietet sich das *Schmierfettseminar* zukünftig als Plattform für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedenster Kolleginnen und Kollegen der Ohm, Schmierstoffherstellenden und Anwendenden von Schmierstoffen an.

Messedemonstrator: Mensch-Maschine-Kommunikation in der Produktion

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Kausler

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik (efi)

Zusammenfassung:

Aufgrund der thematischen Ausrichtung des diesjährigen „Smart Green Island Makeathon“ wurde die inhaltliche Ausrichtung des Messedemonstrators angepasst. Die Mensch-Maschine-Kommunikation wurde im Anwendungsfall eines Roboters zur Pflanzenpflege und -analyse umgesetzt. Am Projekt nahmen Studierende der Fakultäten efi und Verfahrenstechnik aus Bachelor- und Masterstudiengängen teil.

Aufgabe der Studierenden war es, im Rahmen eines Brainstormings die Funktionalität zu definieren und darauf aufbauend die Ausbaustufen des Demonstrators zu definieren und umzusetzen.

Bei der Teilnahme am Makeathon in Gran Canaria Anfang März 2023 wurde die erste Ausbaustufe des Demonstrators umgesetzt. Dort arbeiteten circa 20 weitere Teams (circa 300 Studierende) an verschiedenen Aufgabenstellungen. Dieses Setup inspirierte die Studierenden zur teamübergreifenden Unterstützung und persönlichen Vernetzung. Die Studierenden erhielten zudem Hilfe von Unternehmen, welche als Sponsorinnen und Sponsoren an der Veranstaltung teilnahmen.

Nach dem Makeathon wurden im Projektarbeitsrahmen die weiteren Ausbaustufen umgesetzt.

Die Ergebnisse präsentierten die Studierenden bei der Eröffnung des Pop-Up-Store der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) im April 2023 und während der Messe Consumenta vom 28.10. bis 05.11.2023 in Nürnberg.

1. Projektdaten

Fördersumme	5.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Kausler
Projektteam (falls Nennung gewünscht)	Prof. Dr. Sven Winkelmann
Kontakt Daten Projektleitung	bernhard.kausler@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die heutige Industrie steht vor einem stetig wachsenden Bedarf an kreativen Lösungsansätzen und innovativen Ideen. Unternehmen erkennen zunehmend die Notwendigkeit, kreative Prozesse zu fördern und die Zusammenarbeit innerhalb sowie zwischen verschiedenen Teams zu intensivieren. Die Herausforderungen, vor denen Organisationen stehen, sind komplex und erfordern oft eine Vielzahl von Fähigkeiten aus verschiedenen Disziplinen.

In diesem Zusammenhang wird auch die disziplinübergreifende Zusammenarbeit immer wichtiger. Die Fähigkeit, über Fachgrenzen hinweg zu arbeiten und gemeinsam innovative Lösungen zu entwickeln, ist ein entscheidender Wettbewerbsvorteil in einer zunehmend vernetzten und globalen Wirtschaft.

Das vorliegende Projekt verfolgt mehrere Ziele, die darauf abzielen, die kreativen und teamorientierten Fähigkeiten von Studierenden zu fördern und sie auf die Anforderungen der modernen Arbeitswelt vorzubereiten.

Ideenentwicklung und Product-Story-Definition: Im Rahmen des Projekts sollen die Studierenden befähigt werden, eigene Ideen zu entwickeln und diese in überzeugende Product Stories zu übersetzen. Durch diesen Prozess werden nicht nur kreative Denkweisen angeregt, sondern auch die Fähigkeit zur Kommunikation und Präsentation von Ideen gestärkt.

Prototypenentwicklung und Veranstaltungspräsentation: Ein zentraler Meilenstein des Projekts ist die Entwicklung eines ersten Prototyps, der im Kontext einer speziellen Veranstaltung präsentiert wird, an der auch andere Teams teilnehmen und ihre Ideen umsetzen. Diese Veranstaltung bietet eine einzigartige Gelegenheit für die Studierenden, ihre Fähigkeiten unter realen Bedingungen zu erproben und Feedback von einem breiten Publikum einzuholen.

Test und Weiterentwicklung an der Hochschule: Nach der Veranstaltung ist geplant, den entwickelten Prototypen an der Hochschule weiter zu testen und zu verbessern. Dabei sollen nicht nur technische Aspekte berücksichtigt werden, sondern auch die Teamdynamik und die Fähigkeit zur Zusammenarbeit innerhalb des studentischen Teams gestärkt werden.

Förderung von Teamfähigkeit und Kreativität: Ein wesentliches Ziel des Projekts ist es, die Teamfähigkeit und Kreativität der Studierenden gezielt zu fördern. Durch die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams lernen die Studierenden, unterschiedliche Perspektiven zu schätzen und gemeinsam nach innovativen Lösungen zu suchen.

Internationale Vernetzung der Studierenden: Darüber hinaus strebt das Projekt an, die internationale Vernetzung der Studierenden zu fördern. Durch den Austausch mit Studierenden aus anderen Ländern und

Kulturen sollen interkulturelle Kompetenzen gestärkt und neue Perspektiven auf komplexe Probleme eröffnet werden.

Zusammenfassend bietet das Projekt eine einzigartige Gelegenheit für Studierende, nicht nur ihre fachlichen Fähigkeiten weiterzuentwickeln, sondern auch wichtige Soft Skills wie Teamarbeit, Kreativität und interkulturelle Kommunikation zu stärken. Durch die enge Verzahnung von praktischer Projektarbeit und akademischem Lernen werden die Studierenden optimal auf die Anforderungen der modernen Arbeitswelt vorbereitet.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die vorliegende Herangehensweise gliedert sich in vier klar definierte Phasen:

Vorbereitungsphase (Dezember 2022 bis Februar 2023):

In dieser Phase liegt der Schwerpunkt auf der Ideengenerierung und der Ausarbeitung der Product Story. Die Studierenden werden dazu angeleitet, eine Systemstruktur zu erstellen und die notwendigen Komponenten zu beschaffen. Ebenso werden sie ermutigt, sich mit den erforderlichen Technologien vertraut zu machen, um die Basis für die bevorstehenden Aufgaben zu legen.

Internationaler Makeathon (01. bis 04.03.2023):

Der Höhepunkt des Projekts findet während des internationalen Makeathons auf Gran Canaria statt. Hier haben die Studierenden die Gelegenheit, innerhalb eines intensiven Zeitrahmens einen ersten Prototyp zu erstellen. Durch tägliche Standups und Abschlusspräsentationen wird die Teamdynamik gestärkt und die Fähigkeit zur teamübergreifenden Zusammenarbeit gefördert.

Ausarbeitung im Rahmen einer Projektarbeit (März bis Oktober 2023):

Nach dem Makeathon folgt die Phase der Verfeinerung des Prototyps zum Messedemonstrator. Die Studierenden arbeiten weiterhin im Team und setzen ihre Ideen im Rahmen einer umfassenden Projektarbeit um. Diese Phase bietet Raum für vertiefte Analyse, Iteration und Optimierung des Prototyps.

Präsentation der Ergebnisse:

Die abschließende Phase beinhaltet die Präsentation der Ergebnisse sowohl im Rahmen der Eröffnung des Pop-Up-Stores der Ohm im April 2023 als auch auf der Messe Consumenta in Nürnberg im November 2023. Diese Veranstaltungen bieten den Studierenden die Möglichkeit, ihre Arbeit einem breiten Publikum zu präsentieren und wertvolles Feedback zu erhalten.

Der Lehrkontext umfasst ein praxisorientiertes Lernumfeld, das auf die Förderung von Teamwork, Kreativität und praktischen Fähigkeiten abzielt. Durch die Kombination aus theoretischem Wissen und praktischer Anwendung werden die Studierenden dazu ermutigt, komplexe Probleme zu lösen und innovative Lösungen zu entwickeln, die einen realen Einfluss auf die Industrie haben können.

4. Forschungsergebnisse

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, wurden die Ergebnisse im Rahmen der Eröffnung des Pop-Up-Stores und auf der Messe Consumenta präsentiert.

Die Studierenden haben im Verlauf dieses Projekts ihre Fähigkeiten und Kompetenzen auf vielfältige Weise erweitert:

Know-how-Aufbau im Bereich von Technologien der Mensch-Maschine-Kommunikation: Die Studierenden haben sich intensiv mit den verschiedenen Technologien der Mensch-Maschine-Kommunikation auseinandergesetzt und ihr Fachwissen auf diesem Gebiet erheblich erweitert. Durch praktische Übungen und Experimente konnten sie ihr Verständnis vertiefen und innovative Lösungsansätze entwickeln.

Know-how im Bereich Kreativitätsmethoden: Ein zentraler Bestandteil des Projekts war die Anwendung und Weiterentwicklung verschiedener Kreativitätsmethoden. Die Studierenden lernten, kreativ zu denken, neue Ideen zu generieren und innovative Lösungsansätze zu entwickeln, um den Herausforderungen ihres Projekts zu begegnen.

Arbeiten im Team: Die Zusammenarbeit im Team spielte eine entscheidende Rolle im Erfolg des Projekts. Die Studierenden haben gelernt, effektiv in multidisziplinären Teams zu arbeiten, Ideen auszutauschen, Konflikte zu lösen und gemeinsam an Lösungen zu arbeiten.

Systemstrukturierung und Systembeschreibung: Die Fähigkeit zur Systemstrukturierung und -beschreibung ist ein wichtiger Bestandteil eines jeden technischen Projekts. Die Studierenden haben gelernt, komplexe Systeme zu analysieren, zu strukturieren und verständlich zu beschreiben, um ihre Arbeit effektiv zu kommunizieren und zu dokumentieren.

Training von Präsentationskompetenzen: Präsentationskompetenzen sind in der beruflichen Welt von entscheidender Bedeutung. Die Studierenden haben ihre Fähigkeiten in der Präsentation von Ergebnissen, Ideen und Lösungsansätzen trainiert und verfeinert, um ihre Arbeit überzeugend und wirkungsvoll zu präsentieren.

Darüber hinaus haben die Studierenden ihr berufliches Netzwerk auf verschiedene Weise erweitert:

Internationale Vernetzung mit anderen Studierenden, Professorinnen und Professoren und Expertinnen und Experten: Durch die Teilnahme an internationalen Veranstaltungen und Projekten haben die Studierenden die Möglichkeit erhalten, Kontakte zu knüpfen und sich mit anderen Studierenden, Professorinnen und Professoren und Expertinnen und Experten aus aller Welt auszutauschen. Diese interkulturelle Vernetzung bereichert nicht nur ihr persönliches, sondern auch ihr berufliches Leben.



Abbildung 1: Pflanzenroboter mit Team. Bild: Projektteam

5. Vernetzung und Transfer

Die Vernetzung mit namhaften Sponsoren wie MVTEC, Vishay, Murr Elektronik, Beckhoff und B&R hat einen bedeutenden Mehrwert für unsere Studierenden geschaffen. Durch enge Kooperationen mit diesen Industriepartnern konnten wertvolle Einblicke in aktuelle Technologien, Produktentwicklungen und branchenspezifische Anforderungen gewonnen werden. Darüber hinaus bot die Zusammenarbeit mit den Sponsoren die Möglichkeit, zu ihrem Projekt direktes Feedback von Branchenexperten zu erhalten. Diese Verbindungen haben nicht nur die Studierenden inspiriert und motiviert, sondern auch die Qualität ihrer Projekte nachhaltig gesteigert.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Vernetzung und des Transfers war die Zusammenarbeit mit anderen Hochschulen während des Makeathons. Durch den gegenseitigen Wissensaustausch und die kreative Zusammenarbeit entstanden neue Perspektiven und Impulse, die über den Rahmen des Projekts hinausreichen und zukünftige Kooperationen zwischen den Hochschulen fördern.

Die Vernetzung mit Sponsoren und anderen Hochschulen hat somit nicht nur dazu beigetragen, die Kompetenzen und das Netzwerk unserer Studierenden zu erweitern, sondern auch den Transfer von Wissen, Ideen und Innovationen zwischen Bildungseinrichtungen und der Industrie gefördert.

6. Fazit und Ausblick

Die Studierenden konnten ihre Kompetenzen auf verschiedenen Ebenen erweitern, sei es fachlich, persönlich oder beruflich. Die Vielfalt der Herausforderungen und die Zusammenarbeit mit namhaften Sponsorinnen und Sponsoren haben das Projekt zu einer prägenden Erfahrung für alle Beteiligten gemacht. Die erzielten Ergebnisse sind ein beeindruckendes Zeugnis für das Engagement und die Kreativität der Studierenden.

Als nächster Schritt planen wir lokale Makeathons in Nürnberg in Zusammenarbeit mit Unternehmen durchzuführen. Diese Veranstaltungen werden eine Plattform bieten, um Studierende, Unternehmen und die akademische Gemeinschaft zusammenzubringen und gemeinsam an innovativen Lösungen zu arbeiten. Lokale Makeathons stärken nicht nur die Verbindungen zwischen Hochschule und Industrie, sondern fördern auch den Austausch von Wissen und Ideen.

7. Literatur

- Video des Prototypen auf dem Makeathon: <https://www.youtube.com/watch?v=Xb1TksKWvXg>
- Imagefilm des Makeathon 2023: <https://www.youtube.com/watch?v=DVupxhyVyO4>

Das Kerngeschäft der Schulsozialarbeit... – Kooperation als zentrale Herausforderung von Schulsozialarbeiterinnen und -arbeitern

Prof. Dr. Johannes Kloha

Fakultät Sozialwissenschaften

Dr. Stefanie Gandt

Lehr- und Kompetenzentwicklung (LeKo)

Sinem Tekin, M. A.

Sozialarbeiterin / Lehrbeauftragte Fakultät Sozialwissenschaften

Melina Riebisch, B. A.

Studentische Hilfskraft Fakultät Sozialwissenschaften

Zusammenfassung:

Interprofessionelle Kooperationsprozesse haben große Bedeutung für Schulsozialarbeiterinnen und -arbeiter. Deshalb ist es wichtig, dass zukünftige Fachkräfte sich schon in der Ausbildung mit den damit verbundenen Herausforderungen befassen. Im Lehrforschungsprojekt gingen Studierende auf der Grundlage qualitativer Interviews mit Fachkräften diesen Fragen nach. Sie wurden dabei begleitet von drei Dozierenden und einer studentischen Hilfskraft. Ergebnisse wiesen unter anderem auf die Bedeutung des eigenen Rollenverständnisses, auf die Relevanz der Implementierung von Schulsozialarbeit in der Ausbildung von Lehrkräften und auf die Bedeutung von Vertrauen hin. Den Abschluss bildete ein Fachtag, an dem diese Ergebnisse mit Praktikerinnen und Praktikern diskutiert wurden.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.943 Euro
Laufzeit	März bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Sozialwissenschaften
Projektleitung	Prof. Dr. Johannes Kloha
Projektteam	Dr. Stefanie Gandt, Sinem Tekin, M. A., Melina Riebisch, B. A.
Kontakt Projektleitung	johannes.kloha@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Schulsozialarbeiterinnen und -arbeiter als zunehmend selbstverständliche Akteurinnen und Akteure in der Schule sind in hohem Maße auf Kooperation mit anderen Professionsgruppen oder mit professionellen Fachkräften aus anderen Institutionen angewiesen. Kooperation wird somit zum „Kerngeschäft von Schulsozialarbeit“ (Spies/Pötter 2011, Seite 29ff.)

Gleichwohl sind diese Kooperationsprozesse eingebunden in ein strukturelles Spannungsfeld. Auf der einen Seite stellt Schulsozialarbeit zusammen mit anderen Akteurinnen und Akteuren das sich zunehmend ausdifferenzierende Feld einer „multiprofessionellen Schule“ (vergleiche unter anderem Kolbe/Reh 2008; Arndt 2014; Seemann 2022) dar. Neben den Lehrkräften sind dies schulintern etwa Schulpsychologinnen und -psychologen, Beratungslehrkräfte und im Kontext des massiven Ausbaus der Ganztagschulen in besonderem Maß Mitarbeitende der Ganztagschulbetreuung. Schulexterne Akteurinnen und Akteure, die ebenfalls im Zuge einer – zumindest programmatisch angepeilten – Öffnung von Schule nach außen (vergleiche unter anderem Deinet 2017) zunehmend an Bedeutung gewinnen, sind neben den Mitarbeitenden des Jugendamtes beispielsweise Beratungsstellen, Therapeutinnen und Therapeuten, Einrichtungen der Offenen Kinder- und Jugendarbeit oder Jugendsachbearbeiterinnen und -bearbeiter der Polizei. In dieser Hinsicht entsteht die Chance, Schule als ganzheitlichen Lebensort zu verstehen, an dem vielfältige Bildungs- und Entwicklungsprozesse von Kindern und Jugendlichen stattfinden und an dem sich dementsprechend auch Problemlagen in deren Alltag in besonderer Weise manifestieren. Schulsozialarbeit hat hier die Möglichkeit, ganz spezifische Unterstützungs- und auch Bildungsprozesse zu initiieren und zu begleiten.

Richtet man den Blick allerdings etwas weg von solchen stark programmatischen Zielperspektiven und hin zur empirisch beobachtbaren Wirklichkeit wird schnell deutlich, dass diese Handlungsoptionen von Schulsozialarbeit in dem komplexen Kooperationsgeflecht, in dem die Fachkräfte eingebunden sind, häufig mühsam immer wieder neu zur Disposition stehen und die Aufgaben und Zuständigkeiten der Fachkräfte oft alles andere als klar umrissen sind. Es zeigt sich, dass in diesem Zusammenhang nach wie vor Macht- und Hierarchiestrukturen – insbesondere in der Kooperation mit der „Leitprofession“ (Bauer 2014) der Lehrkräfte – äußerst wirksam sind. Gerade angesichts überbordender Erwartungen an die Institution Schule und einer zunehmend prekär werdenden Personalsituation bei den Lehrkräften, aber auch den anderen Fachkräften, entsteht schulintern Druck auf Schulsozialarbeiterinnen und -arbeiter, als „Zuarbeiterinnen und Zuarbeiter“ zum Funktionieren von Schule und insbesondere zur Kerntätigkeit des Unterrichtens beizutragen. Die eigentliche Priorität, der lebensweltorientierte Blick auf den Alltag der Schülerinnen und Schüler, droht hier in den Hintergrund zu rücken.

Dieses komplexe, spannungsvolle Arrangement stellt sich insbesondere für Einsteigende in dieses Berufsfeld als besonders herausfordernd dar. Deswegen war es ein zentrales Ziel des Lehrforschungsprojektes, dass sich Studierende intensiv mit den Fragestellungen von Kooperationsprozessen beschäftigen. Der empirische Zugang bietet hier die besondere Chance, dass Studierende nicht primär programmatische Willensbekundungen zum interprofessionellen Zusammenarbeiten in Schule kennen lernen, sondern lernen, diese normativen Überlegungen dem empirisch Beobachtbaren, den Erfahrungen der Fachkräfte gegenüberzustellen und somit einen Eindruck davon gewinnen, wie sich Kooperation als „Kerngeschäft“ der Schulsozialarbeit im alltäglichen Tun manifestiert.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Zentrum des Lehrforschungsprojektes standen studentische Projektgruppen (circa 4 bis 6 Studierende), die jeweils ein Thema innerhalb des Themenspektrums der Kooperationsprozesse bearbeiteten. Die Projektgruppen wurden gebildet an einem ganztägigen Start-Workshop am 13.04. Dieser Workshop wurde bereichert durch einen Input von Ronny Kern, dem Leiter der Abteilung Jugendsozialarbeit an Schulen am Jugendamt der Stadt Nürnberg. Er war darüber hinaus einer der zentralen Kooperationspartner dieses Projektes und unterstützte es unter anderem dadurch, dass er Kontakte zu Praktikerinnen und Praktikern ermöglichte. Der Projektverlauf wurde regelmäßig in Gesprächen zwischen ihm und Prof. Kloha reflektiert und die nächsten Schritte geplant.

Die Aufgaben der Projektgruppen im Anschluss an den Start-Workshop waren insbesondere die:

- Formulierung einer Forschungsfrage.
- Festlegung des empirisch-methodischen Vorgehens.
- Durchführung der Datenerhebung (insbesondere qualitative Interviews mit Praktikerinnen und Praktikern).
- Analyse der Daten.
- Aufbereitung der Daten in Form eines Abschlussberichtes und einer Präsentation.

Die Studierenden wurden dabei auf zwei Ebenen unterstützt und begleitet:

- Die primäre fachliche Betreuung erfolgte durch Prof. Kloha, Dr. Gandt und Sinem Tekin, die jeweils einzelne Gruppen begleiteten.
- Darüber hinaus erwies sich als äußerst effektiv, dass Melina Riebisch als studentische Hilfskraft für alle Gruppen als Ansprechpartnerin zur Verfügung stand. Sie war selbst Absolventin des Schwerpunktes im Vorjahr und hatte dementsprechend umfassende Erfahrung sowohl in der spezifischen Anforderung der Gruppenarbeit als auch in der praktischen Umsetzung der Forschungsmethoden.

Die Forschungskompetenz der Studierenden wurde durch dieses Lernarrangement in besonderer Weise dadurch gestärkt, dass sie Forschung in einem ausgedehnteren zeitlichen Umfang (im Vergleich zum üblichen Semesterrhythmus) als konkretes praktisches Tun erleben konnten und hier spezifische und situationsangemessene Unterstützung erhielten.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Ergebnisse des Lehrforschungsprojektes sind auf drei Ebenen zu verorten:

Erstens erwarben die Studierenden praktische Forschungskompetenz, die wichtig für den weiteren Verlauf ihres Studiums (insbesondere bei der Abschlussarbeit) ist. Auch erschließt sich hier die für Studierende der sozialen Arbeit immer noch eher randständige Möglichkeit des beruflichen Wegs in die Wissenschaft. Zweitens lernten sie über die Beschäftigung mit den in den Interviews gewonnenen Erfahrungen der Praktikerinnen und Praktikern etwas über die alltäglichen Herausforderungen und Themenstellungen in dem Handlungsfeld, was neben theoretischen Seminarinhalten ein zentrales Element des Studienschwerpunktes Schulsozialarbeit darstellt.

Drittens konnten die Studierenden fachlich relevante Themen im Hinblick auf die Relevanz von Kooperation für Schulsozialarbeiterinnen und -arbeiter herausarbeiten. Beispielhaft sollen hier drei Ergebnisse knapp skizziert werden:

Bewusstsein der eigenen Rolle

Für Schulsozialarbeiterinnen und -arbeiter ist es von großer Bedeutung immer wieder zu reflektieren, was die eigene Rolle, die eigenen Zuständigkeiten und Aufgaben im Verhältnis zu Fachkräften und Institutionen ist, mit denen Kooperationsprozesse stattfinden. Dies erschöpft sich nicht in einer bloßen „Abgrenzung“, sondern richtet den Blick auch auf „Überschneidungen“ und Anknüpfungspunkte.

Bedeutung der Ausbildung

Bereits in der grundständigen Ausbildung der Fachkräfte ist es wichtig, interprofessionelle Kooperationsprozesse zu verankern. Dies wurde insbesondere deutlich in Interviews mit (angehenden) Lehrkräften, die zum einen bestätigten, in ihrem Studium kaum Kenntnisse zur Schulsozialarbeit vermittelt bekommen zu haben, die gleichzeitig aber betonen, dass dies von großer Bedeutung gewesen wäre, um bereits mit einer Sensibilisierung für diese Zusammenarbeit in den Beruf einsteigen zu können.

Kooperation und Beziehung

Insbesondere im Hinblick auf die Kooperation mit Lehrkräften arbeitete eine Gruppe heraus, welche enge Interdependenzen zwischen einer alltäglichen Kommunikation (etwa dem Austausch über Schülerinnen und Schülern), einer tragfähigen Beziehung und dem konkreten Zugang zu Schülerinnen und Schülern durch die Schulsozialarbeit besteht. Es konnte gezeigt werden, dass Schulsozialarbeiterinnen und -arbeiter dann einen effektiven Kontakt zu Schülerinnen und Schülern bekommen, wenn zwischen Schulsozialarbeiterin und -arbeiter und Lehrkraft ein Grundmaß an Vertrauen besteht, das sich in alltäglichen Interaktionen regelmäßig aktualisiert.

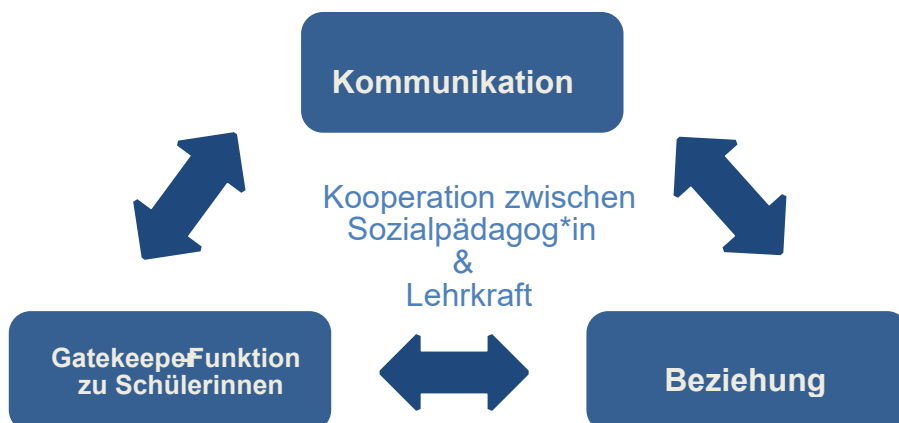


Abbildung 1: Interdependenzen von Kommunikation. Quelle: Ackermann et al. 2024

5. Vernetzung und Transfer

Besonders eindrücklich für die Studierenden war, dass sie ihre Ergebnisse an einem Fachtag mit Praktikerinnen und Praktikern am 09.02.2024 zur Diskussion stellen konnten. Besonders deutlich wurde hier, dass sie mit ihren Forschungsprojekten tatsächlich an für die Praxis relevanten Themen arbeiteten. Auf der Grundlage der Präsentationen entwickelten sich in einem anschließenden Workshop intensive Diskussionen, was von den Beteiligten als fachlicher Gewinn bewertet wurde. Darüber hinaus wurde der Fachtag zu einer wichtigen Austauschplattform im Hinblick auf eine weitere Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen Praxis und Hochschule.



Abbildung 2: Workshopgruppe beim Fachtag am 9.2.2024. Bild: Johannes Kloha

Der didaktische Ansatz dieses Lehrforschungsprojektes insgesamt wird darüber hinaus in einem von Studierenden und Dozierenden gemeinsam gestalteten Vortrag auf einer nationalen Fachtagung zum forschenden Lernen im März an der Hochschule München präsentiert.

6. Fazit und Ausblick

Das didaktische Ziel, dass sich Studierende die spezifischen Charakteristika und Herausforderungen eines Handlungsfeldes über den Weg eines Forschungsprojektes erschließen, wurde in hohem Maße erfüllt. Dies bestätigte sich einhellig in den entsprechenden Rückmeldungen der Studierenden, die insbesondere den praktischen Zugang zu Forschung als etwas betonten, was sie so sonst im Studium kaum erleben. Die Frage der Kooperationsprozesse bleibt weiterhin ein so zentrales Thema für Schulsozialarbeit, dass auch in Folgeprojekten daran festgehalten werden soll, allerdings mit einer etwas schärferen inhaltlichen Ausrichtung. Fachlich äußerst relevante Themen wären hier unter anderem die Kooperationsprozesse in Ganztagschulen und hier insbesondere zwischen Schulsozialarbeit und den fachlich häufig nur minimal qualifizierten Mitarbeitenden der offenen Ganztagschule. Aber auch die Kooperationszusammenhänge im Kontext des Übergangs Schule-Beruf stellt sich als für zukünftige Fachkräfte in diesem Bereich wichtiges Thema dar.

7. Literatur

Ackerman, M., Burger, Y., Albrecht, A., Alesi, K., & Rügheimer, A. (2024, Februar 9). Kooperation zwischen Lehrkräften und Schulsozialarbeiter*innen. Vortrag gehalten auf dem Fachtag Schulsozialarbeit, Nürnberg.

Arndt, A.-K. (2014): Multiprofessionelle Teams bei der Umsetzung inklusiver Bildung. In: Archiv für Wissenschaft und Praxis der sozialen Arbeit, S. 72–79.

Bauer, P. (2014): Kooperation als Herausforderung in multiprofessionellen Handlungsfeldern. In: Faas, S./Zipperle, M. (Herausgeber): Sozialer Wandel: Herausforderungen für Kulturelle Bildung und Soziale Arbeit. Wiesbaden: Springer VS, S. 273–286.

Deinet, U. (2017): Schulsozialarbeit zwischen Schule, Sozialraum und Bildungslandschaft. In: Hollenstein, E./Nieslony, F./Speck, K./Olk, T. (Herausgeber): Handbuch der Schulsozialarbeit: Band 1. 1. Auflage. Weinheim; Basel: Beltz Juventa, S. 48–56.

Kolbe, F.-U./Reh, S. (2008): Kooperation unter Pädagogen. In: Coelen, T./Otto, H.-U. (Hrsg.): Grundbegriffe Ganztagsbildung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 799–808.

Seemann, A.-M. (2022): Multiprofessionelle Teams in der Ganztagschule: Pädagogik, Personal, System. In: Weimann-Sandig, N. (Herausgeber): Multiprofessionelle Teamarbeit in Sozialen Dienstleistungsberufen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 147–163.

Garten-Räume der Hochschule interdisziplinär erschließen, gemeinsam bauen und nutzen – geteilte Verantwortung im öffentlichen Raum erforschen

Prof. Dr. Markus Kosuch

Fakultät Sozialwissenschaften

Kerstin Seeger, M. A.

Fakultät Sozialwissenschaften und Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften (AMP)

David Schmierer, B. A. und Stefan Bendkowski

Forschungs- und Projektteam

Zusammenfassung:

Am zentralen Campus Kesslerplatz wurde ein Urban-Gardening-Projekt etabliert. Die Lehrforschung untersuchte in Kooperation mit dem Technik & Facility Management und der Nachhaltigkeitsbeauftragten die Fragen, wie Hochschul-Räume interdisziplinär erschlossen, gemeinsam bebaut und genutzt werden können. Mittels Beetpatenschaften aus verschiedenen Bereichen wurde geteilte Verantwortung im öffentlichen Raum als gesellschaftlich relevantes Thema verankert. Im interdisziplinären Projekt erwarben die Studierenden Handlungskompetenzen zu Reallaboren sowie gärtnerisches und technisches Umsetzungs-Wissen. Die Bachelor-Studierenden konnten ein nachhaltiges Thema fakultätsübergreifend bearbeiten und den Prozessverlauf von der Planung über die Umsetzung (inklusive institutioneller Herausforderungen) bis hin zur Etablierung und Erhaltung erfahren. Im Studienjahr 2023 waren etwa 100 Studierende aus den Bereichen SW/MB/IN/EI/MIN/BI (erstes bis fünftes Semester) beteiligt. Das Projekt gewann den Preis für Soziale Innovation (sei-Festival) und trägt zu Aufenthaltsqualität, Vernetzung, „social gardening“, gemeinsamer Verantwortung sowie zur Ohm-Nachhaltigkeits-Strategie bei.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.800 Euro (+ 800 Euro Aufstockung)
Laufzeit	Januar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Sozialwissenschaft
Projektleitung	Prof. Dr. Markus Kosuch und Kerstin Seeger, M. A.
Projektteam	David Schmierer, B. A. und Stefan Bendkowski
Kontakt Projektleitung	markus.kosuch@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Freiflächen der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) zeichnen sich durch wenig Aufenthaltsqualität und fehlendes Grün aus. Diese Problematiken werden von den Studierenden gesehen und deren Adressierung gewünscht. Die Nachfrage der vergangenen Urban-Gardening-Seminare war sehr hoch. Mit dem interdisziplinären Projekt wurde eine neue Stufe im Urban Gardening erreicht: Es hat sich die Möglichkeit ergeben, Urban-Gardening-Projekte an der Ohm zu etablieren, das heißt, Außenflächen an Hochschulstandorten in grüne Oasen mit Aufenthaltsqualität zu verwandeln.

Es ergaben sich große Chancen aus der Planungs-Umsetzungs-Dimension direkt an der Ohm. Die Lehrforschung untersuchte die Fragen, wie Hochschul-Räume interdisziplinär erschlossen, gemeinsam bebaut, technisch realisiert und gemeinsam genutzt werden könnten. Hierbei galt es auch, geteilte Verantwortung im öffentlichen Raum zu erforschen und diese zu verankern. Kernfrage war also: Wie kann Pflanzen- und Beziehungspflege nachhaltig etabliert werden?

Das Projekt wurde als Lehrforschung konzipiert, da gemeinsam mit den Studierenden gearbeitet und geforscht werden sollte. Für die Studierenden ergab sich die Möglichkeit, ein nachhaltiges Thema über mehrere Semester zu bearbeiten und den Prozessverlauf von der Planung über die Umsetzung bis hin zur Etablierung und Erhaltung zu erfahren, mitzugestalten und zu erforschen.

Ziele waren die Konzeption, Planung und Umsetzung des Campus-Garten-Projektes inklusive umfangreicher hochschul-interner Abstimmungen. Darüber hinaus sollten Etablierung, Erhaltung und Pflege des Projekts erfolgen. Über die Gartenarbeit hinaus sollten Hintergrundwissen, Reflektion und Erfahrung eines Beziehungs-Netzwerkes sowie Verantwortungs-Übernahme für die eigene Lebensbeziehungsweise Lern- und Arbeits-Umgebung erforscht und erprobt werden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde 2023 am Kesslerplatz ein Campus-Garten-Projekt erschaffen, das heißt, direkt im „Herz“ der Ohm wurde eine Außenfläche begrünt und die Aufenthaltsqualität erhöht. Dies wurde in Zusammenarbeit mit der Nachhaltigkeitsbeauftragten der Hochschule sowie der Leitung Technik & Facility Management umgesetzt. Zudem wurden mit einem Patenschaftsmodell Studierende und Mitarbeitende integriert, welche sich für die Beepflege engagierten. Hiermit wurde ein Modell geschaffen, geteilte Verantwortung im öffentlichen Raum pilothaft umzusetzen.

Zunächst wurde Anfang 2023 ein von Bachelor-Studierenden fakultätsübergreifend erarbeitetes Konzept abgestimmt und weiterentwickelt.

Umfangreiche Abstimmungen mit dem Technik & Facility Management erforderten eine Umplanung aufgrund von örtlichen und gesetzlichen Rahmenbedingungen (beispielsweise Denkmalschutz) sowie angekündigten Bauvorhaben der Stadt (Wasserrohr-Arbeiten). Die ursprünglich abgestimmten Flächen standen nicht mehr in der Form zur Verfügung, so dass die Idee entstand, den Innenhof am Campus Kesslerplatz in den Fokus zu rücken. Nach umfangreichen Planungs- und Vorbereitungsarbeiten durch das Projektteam (Beschaffung sämtlicher Materialien unter Beachtung der hochschul-internen Regelungen) ging es dann im Sommersemester 2023 im Rahmen des interdisziplinären Sozialwissenschaften- und AMP-Fachs URBAN GARDENING an die Umsetzung. Für mehr als 60 Studierende ergab sich die Möglichkeit, ein nachhaltiges Thema zu bearbeiten und den Prozessverlauf von der Planung bis zur Umsetzung zu erfahren, mitzugestalten und zu erforschen. Das Feedback von vielen Hochschulangehörigen (inklusive Hochschulleitung) und auch externen Besuchenden war sehr positiv. Zudem wurde dem Projekt im Juni 2023 der Preis der sozialen Innovation im Rahmen des sei-Festivals verliehen.

Zur weiteren Erhaltung des Projektes wurden mittels eines hochschul-internen Aufrufs und der persönlichen Ansprache Beetpatenschaften etabliert. Eine Gruppe von Menschen kümmerte sich jeweils um eine Beetgruppe. Dabei waren auch Mitarbeitende und Doktorandinnen und Doktoranden. Die Beetpaten bekamen eine Einführung zur Bewässerung und übernahmen ihr „Amt“ mit großer Freude. Das Feedback war durchwegs positiv: Es sei eine tolle „Abwechslung zum Alltag“ und man habe einen neuen „Bezug zum Ort entwickelt“. Im Wintersemester ging es um die Beetpflege, um das Ernten und Verarbeiten sowie Anpflanzen von Sträuchern und Blumenzwiebeln. Auch Beschriftung und verbesserte Projekt-Kommunikation waren Elemente.

Durch das Sozialwissenschaften-AMP-Fach URBAN GARDENING als interdisziplinäres Projekt haben die Studierenden Handlungskompetenzen in folgenden Bereichen erworben: Raum-Gestaltung, gärtnerisches sowie technisches Wissen und dessen Umsetzung, Nachhaltigkeit, sozial-politische Reallabore, Wandel sichtbar machen. Die Studierenden kennen den Hintergrund zum Thema Urban Gardening sowie die verschiedenen Modelle und Beteiligungsformen. Die Ebenen „Architektur im öffentlichen Raum“, „lokale Wasserversorgung“, „Aufenthaltsqualität“, „Verantwortung im öffentlichen Raum“ und „Gemeinwohlorientierung“ wurden thematisiert. Sie lernten verschiedene Möglichkeiten der (Sozial-)Raumgestaltung, des nachhaltigen Gärtnerns sowie Techniken der Bewässerung kennen und diese umzusetzen. Das erworbene Wissen können die Studierenden selbst weiterentwickeln, anpassen und praktisch umsetzen.

Auch persönliche und soziale Kompetenzen wurden gestärkt: Die Studierenden lernten vernetztes, kritisches und vorausschauendes Denken und bauten Kompetenzen zum Gärtnern und gemeinwohlorientiertem Handeln auf. Dabei wurde das Thema Urban Gardening neben der Mikro- und Mesoebene auch auf der Makroebene, in einem politischen Kontext und auf der gesellschaftssystemischen Ebene reflektiert.

Durch Expertinnen und Experten im Kontext Urban Gardening wurden die Studierenden angeleitet, unterstützt und in ihrer Handlungsorientierung ausgebildet. Es ging um eine hochwertige Hochschullehre, die Theorie mit Praxis verknüpft, um Motivation und Eigeninitiative sowie Selbstreflexion zu fördern.

Durch die Zusammenarbeit in interdisziplinären Projektteams wurde die Arbeitsweise in heterogenen Arbeitsgruppen eingeübt. Bei dieser engen und interdisziplinären Verzahnung von Forschung, Lehre und Praxis lockert sich die feste Rollenzuschreibung zwischen Lehrenden und Lernenden, Selbstorganisation und Eigeninitiative wurden gestärkt. Die Studierenden wurden in eine aktive Rolle versetzt, erlebten Selbstwirksamkeit und erfuhren Handlungsalternativen. Es entstand etwas Sichtbares, das weit über den Seminar-Kontext hinauswirkt und Bestand hat.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Für die Studierenden ergab sich die Möglichkeit, ein nachhaltiges Thema über mehrere Semester zu bearbeiten und den Prozessverlauf von der Planung über die Umsetzung bis hin zur Etablierung und Erhaltung zu erfahren, mitzugestalten und zu erforschen.

Die erreichten Ergebnisse (Etablierung eines Campus-Gartens, siehe Kapitel 3) bedurften sehr viel Aufwand. Durch institutionelle Auflagen beziehungsweise Hemmnisse waren Umplanungen nötig, die Beauftragung und Rechnungsstellung erwies sich teilweise als extrem schwierig und es sind auch Fehler passiert (beispielsweise beim Brandschutz). Durch den konstruktiven Umgang mit Hemmnissen und Fehlern konnte ein weiterer Zugewinn für das Projekt entstehen. Es kam zu einer verbesserten Vernetzung sowie guten Zusammenarbeit. Darüber hinaus wurde durch das Teilen dieser Erfahrungen mit den Studierenden professionelles Verständnis für Umsetzungs-Prozesse geschaffen.

Der Aufbau des Projektes erforderte ausdauernde körperliche Arbeit. Diese Anstrengungen boten Raum für echte Erfahrungen und Reflektion.

Es gab viele inhaltliche Ergebnisse und eigen-initiative Ideen der Studierenden. Einzelne Forschungs-Teams befassten sich mit folgenden Themen und entwickelten im Rahmen einer Seminar-Arbeit umsetzungsreife Lösungen. Teilweise wurden die Lösungen bereits während des Seminars umgesetzt:

- Bewässerung durch Gießpatenschaften – Flyer zur Kommunikation und Information wurden entwickelt sowie auf Ohm-Homepage veröffentlicht.
- Bewässerung der Hochbeete durch Ollas.
- Bewässerung der Kräuterschnecke durch saugfähiges Seil oder sonstige saugfähige Textilien.
- Bau eines Insektenhotels.
- Beschilderung der Pflanzen und Informations-Tafel zum Projekt.
- Begegnungsformate.
- Role-Models und Vernetzung.

Die Ergebnisse werden in den folgenden Semestern weiterverwendet und dienen als Ausganglage für weitere Forschungs-Projekte.



Abbildung 1: Gemeinsames Arbeiten verbindet. Foto: Kerstin Seeger



Abbildung 2: Ohm-Kräuterbutter am Sommerfest aus eigenem Anbau. Foto: Stefan Bendkowski

5. Vernetzung und Transfer

Ein Urbanes-Garten-Projekt wird in der Literatur als vielversprechende Lehr-Lern-Umgebung angesehen. Gärten können Lernorte sein und Bildung für nachhaltige Entwicklung ermöglichen (siehe beispielsweise Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUB) 13). Am Wandel hin zu einer nachhaltigen beziehungsweise zukunftstauglichen Gesellschaft können Gemeinschaftsgärten als „offene Labore“ positiv mitwirken. Sie bilden die Bühne einer „Verräumlichung zukunftstauglicher Natur-, Sozial-, und Ernährungsverhältnisse“ (Kropp), auf der neue Antworten auf aktuelle Krisen erprobt werden. Als Experimentierfelder helfen urbane Gärten dabei, komplexe Lebensstile zu entwickeln, „die in der Lage sind, die Grundlagen der Existenz zu erkennen, wertzuschätzen und in einem kooperativen, lebensbejahenden Sinne zu bewirtschaften.“ (Müller 11). Über reale Garten-Kontexte können also diverse Potentiale für Lehr- und Lernprozesse angestoßen werden.

Durch das Projekt entstanden zahlreiche Vernetzungsmöglichkeiten innerhalb der Hochschule, hin zu anderen Hochschulen mit Campus-Garten-Projekten, sowie zur Urban-Gardening-Szene.

Viele Studierende erkannten auch das Potential solcher Projekte für spätere Arbeits-Zusammenhänge.

Hochschul-intern kann das Projekt als Aufenthaltsfläche dienen (Idee: „Top your food“ – gemeinsames Mittagessen an der Kräuterschnecke), sowie als Interaktionsfläche für Vernetzung und interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Das Projekt leistet darüber hinaus einen strategischen Beitrag zur Nachhaltigkeits-Strategie der Ohm:

- Themenfeld Infrastruktur – zur Campusgestaltung: „Zur Steigerung der Aufenthaltsqualität werden mehr Grünzonen geschaffen. Wir fördern die Biodiversität.“
- „Kommunikation und Vernetzung werden gezielt gefördert.“ (Themenfeld Governance, Ziel 5).
- „Studentische Partizipation wird gelebt, Studierende können Nachhaltigkeitsthemen aktiv mitgestalten.“ (Themenfeld Lehre, Ziel 2).
- Themenfeld Forschung: „Forschende an der Ohm sind inter- und transdisziplinär vernetzt.“
- Themenfeld Transfer: „Ehrenamtliches Engagement und studentische Initiativen im Bereich Nachhaltigkeit werden an der Ohm gefördert.“

6. Fazit und Ausblick

Der Ort, der den Studierenden und Lehrkräften zum Forum und Aufenthalt dienen soll, hat für alle spürbar an Potenzial gewonnen. Nun gilt es, das Erschaffene zu verstetigen, weiterzuentwickeln und nachhaltig zu integrieren.

Es stehen verschiedene didaktische wie fachliche Anknüpfungsmöglichkeiten offen: Es besteht beispielsweise die Möglichkeit, eine künstliche Bewässerung zu entwerfen und auch Energie im Campusgarten zu ernten. Aus den für alle sicht- und erlebbaren Ergebnissen kann eine Projektionsfläche für Ideen aus der ganzen Hochschule werden. Es besteht die Gelegenheit, diesen gemeinsamen Ort zum interdisziplinären Experimentierfeld zu entwickeln.

„Probleme folgen keiner Disziplin“ sagt Ulf-Daniel Ehlers im zugehörigen Buch Future Skills - Lernen der Zukunft - Hochschule der Zukunft (Ehlers 237). Es ist laut Ehlers daher unerlässlich, dass Studierende eine interdisziplinäre oder transdisziplinäre Grundhaltung und die Kompetenz zur kreativen Analyse von Problemstellungen auf Basis von methodologischem Handwerkszeug aus verschiedenen Wissenschaftsrichtungen erlernen können (Ehlers 239). Inter- und transdisziplinäres Lehren und Lernen erfordert demnach die Verknüpfung und Anwendung des Erlernten in konkreten und realen Aufgabenstellungen, eine aktive Auseinandersetzung mit praktischen Fragestellungen, die Erarbeitung von interdisziplinären Lösungsansätzen und gemeinsames Bearbeiten von Themen aus Gesellschaft und Wirtschaft. All dies konnten die beteiligten Studierenden im Projekt erleben und reflektieren.

In kommenden Seminaren für Bachelor-Studiengänge werden Future Skills fokussiert. Studierende lernen, wie interne Vernetzung stattfinden kann – interdisziplinär, fakultätsübergreifend und auch in die Verwaltung hinein.

Der entstandene Campus-Garten kann Aufmerksamkeit aus vielen unterschiedlichen Lehrbereichen erfahren. Es werden multidisziplinäre Chancen gesehen, den Campusgarten als Lernumgebung und für Lehranlässe zu nutzen und damit hochschuldidaktische Entwicklungen aufzugreifen. Die wichtige Frage lautet: Wie sieht gute Lehre in Zeiten der Transformation aus?

7. Literatur

- BMUB. Grün in der Stadt - Für eine lebenswerte Zukunft. Berlin, Grünbuch Stadtgrün, 2015.
- Ehlers, Ulf-Daniel. Future Skills - Lernen der Zukunft - Hochschule der Zukunft. Wiesbaden, Springer VS, 2020.
- Kropp, Cordula. „Urban Gardening.“ Kursbuch „Das Grün“, vol. 197, 2019.
- Müller, Christa. Urban gardening. Über die Rückkehr der Gärten in die Stadt. München, oekom, 2012.
- Ohm - Technische Hochschule Nürnberg. „Nachhaltigkeitsstrategie.“ 2023, https://www.th-nuernberg.de/fileadmin/abteilungen/hl/Nachhaltigkeitsstrategie_09062023_web.pdf. Accessed 28 2 2024.

Hochtemperatur-Heizelemente

Prof. Dr.-Ing. Hannes Kühl
Fakultät Werkstofftechnik

Zusammenfassung:

Keramische Hochtemperatur-Heizelemente enthalten bisher Platin als Heizleitermaterial. Ziel des Projekts war es, Untersuchungen durchzuführen, das extrem teure Platin durch Wolfram als Leiterbahnmaterial zu ersetzen. Bei der Herstellung der Heizelemente muss das Wolfram jedoch in Schutzgas gesintert werden, da es sonst oxidieren würde, was viele Schwierigkeiten für den Brennprozess mit sich bringt. Die Studierenden aus dem 4. und 6. Semester des Bachelor-Studiengangs Angewandte Materialwissenschaften untersuchten daher den Entbinderungsprozess der in der Keramik enthaltenen Additive in unterschiedlichen sauerstofffreien Atmosphären mit dem Ziel, dichte Heizelemente mit Wolframleiterbahn herzustellen. Es konnten geeignete Additive identifiziert werden, die auch unter Sauerstoffausschluss vollständig ausbrennen. Die Ergebnisse wurden in einem Abschlussbericht vorgestellt und bilden die Basis für nachfolgende Forschungsprojekte, die speziell den Brennprozess in sauerstofffreien Atmosphären untersuchen sollen, wie es bei SiC-, Si₃N₄ oder B₄C-Keramiken der Fall ist, die in der Technik immer mehr Anwendungen finden.

1. Projektdaten

Fördersumme	6.400 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2023
Fakultät	Werkstofftechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Hannes Kühl
Projektteam	Alena Trost, Johannes Branczyk, Anton Günthner, Christian Heint, Christoph Meier (alles Studierende im 4. und 6. Semester des Studiengangs Angewandte Materialwissenschaften)
Kontakt Daten Projektleitung	E-Mail: hannes.kuehl@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Seit über 20 Jahren werden in der Fakultät Werkstofftechnik keramische Heizelemente entwickelt (Abbildung 1), die bereits den Weg in die Produktion gefunden haben und u.a. als Zündelemente für Holzpellets in Pelletheizungen sowie Heizelemente für Sensoren von der Firma Rauschert millionenfach produziert und vertrieben werden [1].

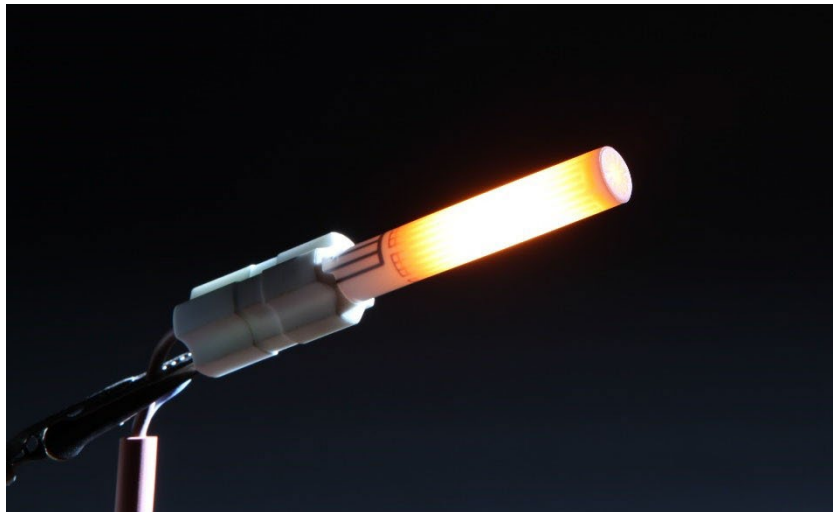


Abbildung 1: Hochtemperatur-Heizelement im Betrieb bei 1200 °C. Bild: Rauschert Steinbach GmbH

Diese Heizelemente bestehen aus dem eigentlichen Heizleiter, der aus Platin gefertigt ist, sowie einer isolierenden Keramik aus Aluminiumoxid. Bekanntlich ist Platin extrem teuer und wird außerdem unter prekären Bedingungen abgebaut. Auch ist die Versorgungslage nie ganz sicher.

Das langfristige Ziel ist es daher, die Platin-Leiterbahn durch Wolfram zu ersetzen, das wesentlich preisgünstiger und deutlich besser verfügbar ist. Wolfram hat jedoch den Nachteil, dass es bei hohen Temperaturen oxidiert und die Leiterbahn somit zerstört wird. Bei der Herstellung der Heizelemente werden diese beim Sinterprozess auf ca. 1600 °C erhitzt. Wird eine Platinleiterbahn verwendet, kann der

Sinterprozess an Luft erfolgen, was vergleichsweise einfach funktioniert. Wird Wolfram verwendet, muss die Oxidation des Wolframs verhindert werden, indem der Sinterprozess in Schutzgas (z.B. Argon) durchgeführt wird. Dies birgt jedoch viele Nachteile, wie z.B. die Tatsache, dass die in der Keramik enthaltenen organischen Hilfsstoffe nicht vollständig verbrennen.

Im Rahmen dieses Lehrforschungsprojekts sollen die Studierenden daher das Oxidationsverhalten von Wolfram untersuchen sowie die unterschiedlichen, in der Keramik enthaltenen organischen Additive hinsichtlich ihres vollständigen Ausbrands in unterschiedlichen Schutzgasatmosphären analysieren. Außerdem sollen sie testen, ob der Einsatz einer feuchten Atmosphäre (Wasserdampf) die Entbinderung unterstützt. Am Ende sollen die Organika identifiziert werden, die auch in Schutzgas vollständig verbrennen und somit für eine Heizelementfertigung mit Wolframleiterbahn geeignet wären.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

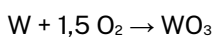
Das Lehrforschungsprojekt ist mit der Lehrveranstaltung „Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten“ verankert, die im Studiengang „Angewandte Materialwissenschaften“ als Wahlpflichtfach im 4. oder 6. Semester gewählt werden kann. Die Studierenden arbeiten somit früh im Studium an einem eigenen wissenschaftlichen Thema und werden so ideal auf die Erstellung von wissenschaftlichen Arbeiten, wie z.B. die Bachelorarbeit vorbereitet. An diesem Projekt nahmen 5 Studierende teil, die von Prof. Kühl und Labormitarbeitern intensiv angeleitet wurden.

Zur Untersuchung des Oxidationsverhaltens des Wolframpulvers sowie des Zersetzungsverhaltens der organischen Additive wurden diese in einer Thermowaage der Firma Netzsch (TG 209 F1) mit 10 K/min auf 900 °C an Luft (Wolfram) bzw. in Argon 4.8 oder Formiergas (95% N₂, 5% H₂) (organische Additive) erhitzt und die Gewichtsänderung in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen.

Da der Ausbrand der Organika durch den Einsatz von Wasserdampf in der Schutzgasatmosphäre unterstützt werden kann, wurde auch der Einfluss von Wasserdampf auf Wolfram während des Brennprozesses untersucht. Dazu wurde das Wolframpulver in einem Schutzgasofen (Nabertherm, N 21-M) auf 700 bzw. 900 °C in wasserdampfhaltiger Argonatmosphäre erhitzt und die Gewichtsänderung des Wolframpulvers untersucht. Die Hoffnung ist, dass das Wolfram durch den Wasserdampf nicht angegriffen wird und somit nicht oxidiert und sich das Gewicht somit nicht ändert.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Eine vollständige Oxidation von Wolfram erfolgt nach folgender Reaktionsgleichung:



Unter Beachtung der molaren Massen hat die Oxidation eine theoretische Gewichtszunahme von 26,11 % zur Folge. Wie Abbildung 2 entnommen werden kann, beginnt die Oxidation des Wolframpulvers in Luft ab ca. 300 °C und ist bei ca. 540 °C abgeschlossen. Die gemessene Gewichtszunahme von 25,29 % entspricht gut dem berechneten Wert.

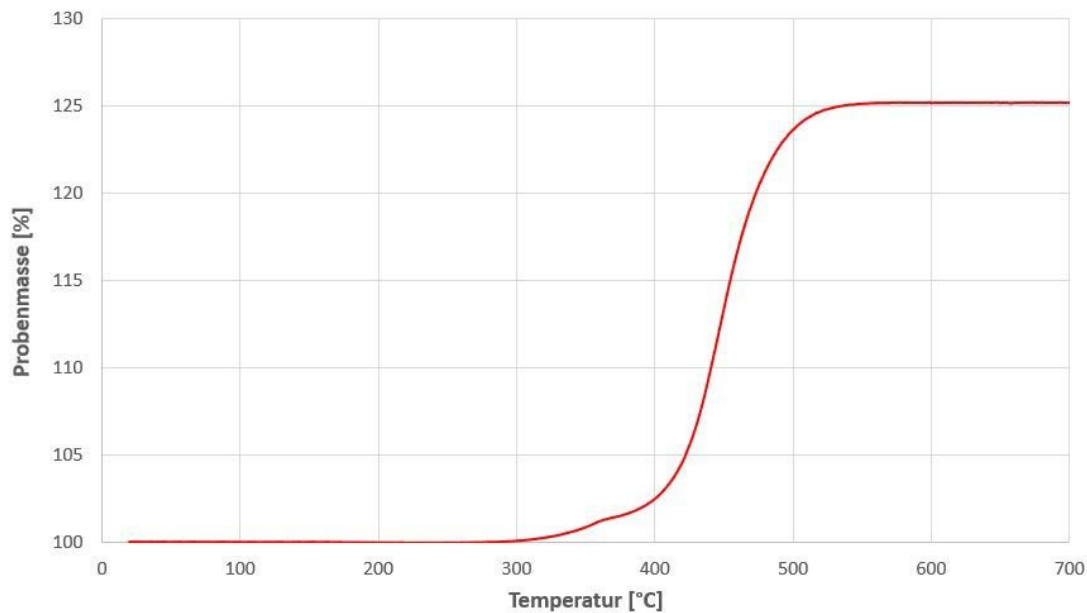


Abbildung 2: Oxidation von Wolfram-Pulver. Bild: Studierende des Projektteams

Um den Einfluss von Wasserdampf auf Wolfram zu untersuchen, wurde das Wolframpulver in einem Vakuumofen in wasserdampfhaltiger Atmosphäre bis 700 bzw. 900 °C erhitzt und die Gewichtsänderung, die durch eine Oxidation zustande kommen würde, dokumentiert. Während das Wolframpulver bis 700 °C keinerlei Gewichtsänderung und damit keinen negativen Einfluss der wasserdampfhaltigen Atmosphäre zeigt, kommt es bis 900 °C zu einer geringfügigen Gewichtszunahme von 0,88 %, die auf eine geringe oberflächliche Oxidation schließen lässt. D.h., dass Wolfram auch in wasserdampfhaltigen Atmosphären bis 700 °C ohne die Gefahr der Oxidation erhitzt werden kann, was für den Ausbrand von organischen Additiven in Keramiken wesentlich sein kann.

Um festzustellen, welche organischen Additive sich für die Herstellung wolframhaltiger Heizelemente eignen, wurden verschiedenste Organika, die für die Herstellung keramischer Heizelemente in Frage kommen, in Argon 4.8 bzw. Formiergas 95/5 bis 900 °C erhitzt. Das gewünschte Ziel wäre ein vollständiges Verbrennen der Organika in diesen Schutzgasen, genauso, wie es in sauerstoffhaltiger Atmosphäre (Luft) passiert. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen am Beispiel von drei unterschiedlichen organischen Bindern die Ergebnisse. Während der PVB-Binder (Polyvinylbutyral) Butvar mit einem Restgewicht von ca. 8,3 % in beiden Atmosphären einen erheblichen Rückstand aufweist, verbrennen die Polyvinylacetat-Binder Vinnapas und Mowilith deutlich besser. Je nach Atmosphäre sind die Rückstände zwischen 1 und 2,8 %. Hierbei handelt es sich um reinen Kohlenstoff, der in der Keramik verbleiben würde und die Qualität negativ beeinflussen würde.

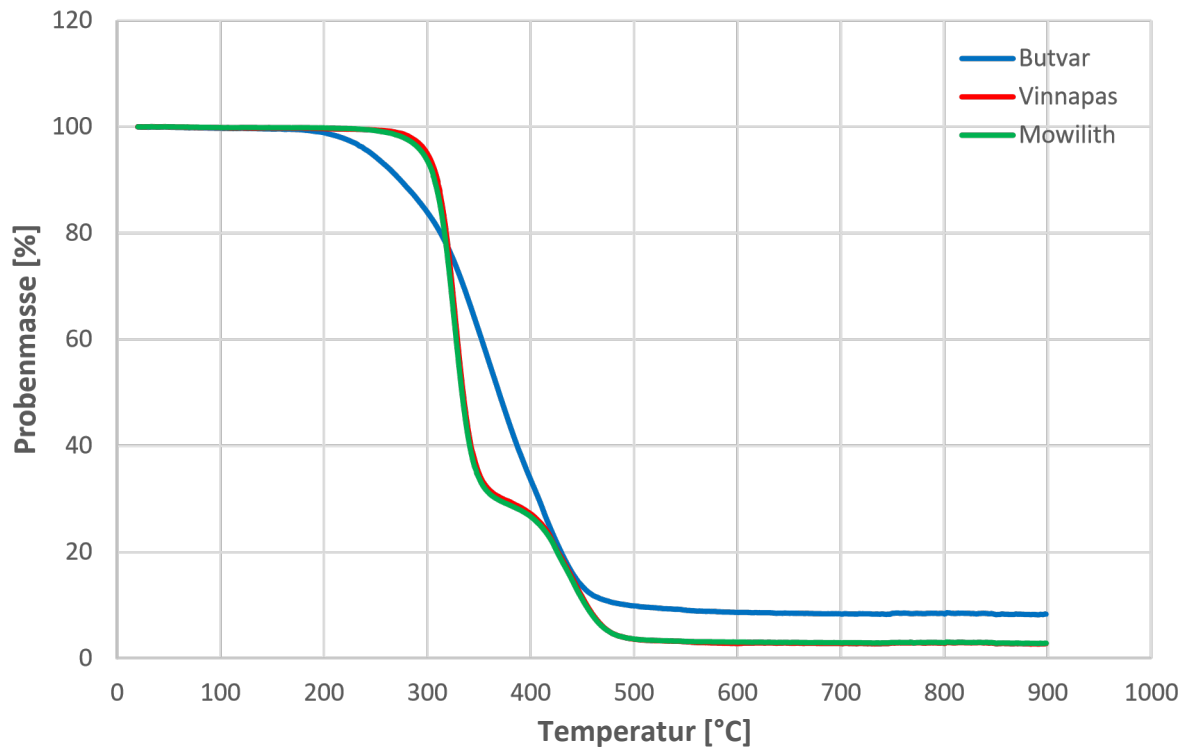


Abbildung 3: Thermische Zersetzung (Ausbrand) dreier Binder in Argon 4.8. Bild: Studierende des Projektteams

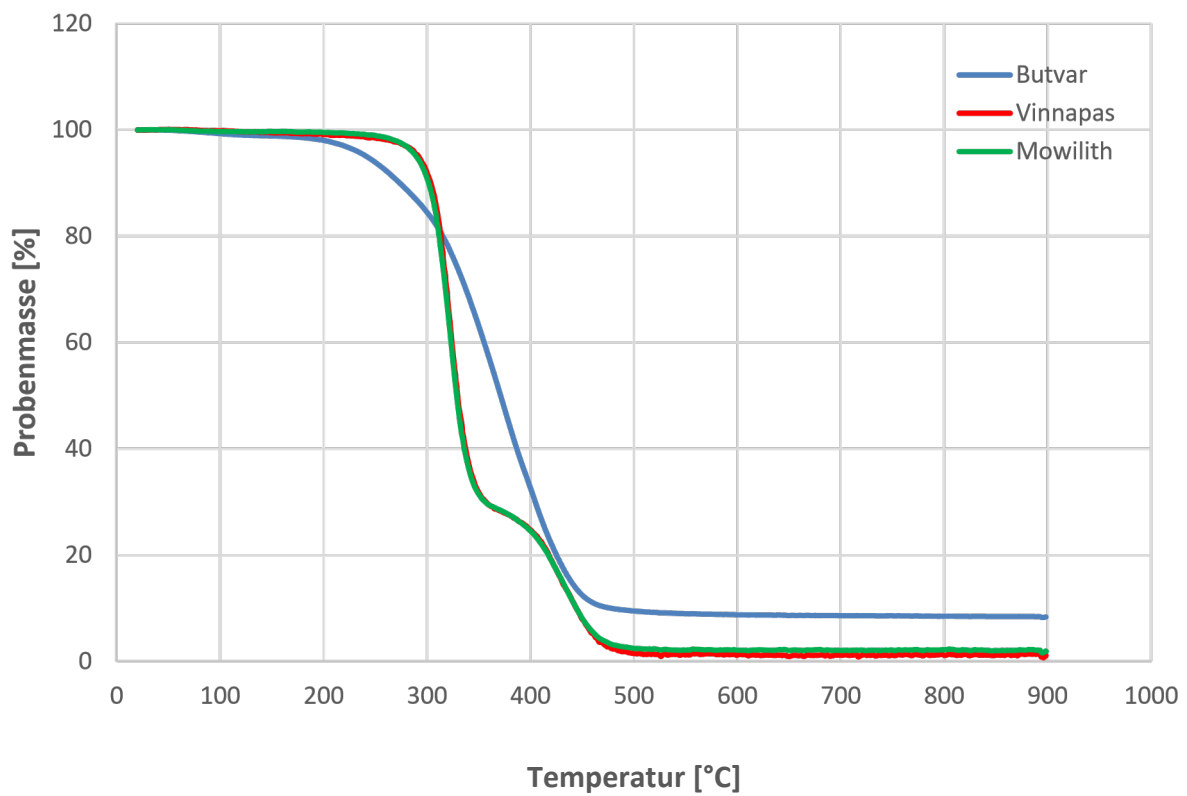


Abbildung 4: Thermische Zersetzung (Ausbrand) dreier Binder in Formiergas 95/5. Bild: Studierende des Projektteams

Im Rahmen dieses Projekts wurden insgesamt 10 verschiedene Organika in beiden Atmosphären untersucht. Bei nahezu allen Stoffen ist der Ausbrand in Formiergas besser als in Argon. Es konnten erhebliche Unterschiede zwischen den Stoffen festgestellt werden und somit konnten Organika identifiziert werden, die sich besonders gut für den Einsatz in Wolfram-Heizelementen eignen, die in Schutzgas hergestellt werden müssen.

5. Vernetzung und Transfer

Den Studierenden wurde im Rahmen dieses Lehrforschungsprojekts die Möglichkeit gegeben, die Ergebnisse mit der Firma Rauschert, die ein Produzent keramischer Heizelemente ist, zu diskutieren. So erlangten die Studierenden einen besseren Einblick in die Denkweise und Strategie eines mittelständischen Unternehmens und hatten die Gelegenheit, die Ergebnisse im industriellen Umfeld zu präsentieren. Es ist geplant, die Ergebnisse direkt in die Heizelemententwicklung bei Rauschert einfließen zu lassen.

6. Fazit und Ausblick

Im Rahmen des Lehrforschungsprojekts ist es gelungen wesentliche Erkenntnisse zum Oxidationsverhalten von Wolfram und Ausbrennverhalten organischer Keramikadditive in Schutzgasatmosphäre zu erlangen, was für die Herstellung wolframhaltiger Heizelemente von hoher Relevanz ist. Mehrere Studierende der Fakultät Werkstofftechnik hatten die Gelegenheit, das Entbinderungsverhalten von Keramik mithilfe thermogravimetrischer Analysen detailliert zu untersuchen. Dieses Lehrkonzept ist bei den Studierenden im mittleren und höheren Studienabschnitt äußerst beliebt, da es die Gelegenheit bietet, an „echten“ wissenschaftlichen Fragestellungen zu arbeiten und nicht „nur“ standardisierte Praktikumsversuche durchzuführen. Dieses Lehrkonzept ist die ideale Vorbereitung zur Erstellung eigener wissenschaftlicher Arbeiten, wie die Bachelorarbeit.

Die erzielten wissenschaftlichen Ergebnisse sind wesentlich für die weitere Entwicklung keramischer Heizelemente auf Wolframbasis. Nach Projektabschluss ist geplant, ein öffentlich gefördertes Projekt zu dieser Thematik und insbesondere zum Thema der Entbinderung in feuchter Atmosphäre zu beantragen. Denn in wasserhaltiger Atmosphäre kann der Ausbrand von organischen Additiven in Schutzgas erheblich erleichtert werden. Zu diesem Forschungsfeld gibt es bisher keine nennenswerten Veröffentlichungen, obwohl diese Technik der Schlüssel zur erfolgreichen Herstellung wolframhaltiger Heizelemente aber auch anderer Hochleistungskeramiken sein kann.

7. Literatur

- [1] H. Kühl, Keramische Hochtemperatur-Heizelemente – Heizen und Zünden mit Keramik, Technische Keramik in der Praxis, VKI-Seminar, 447 – 474, **2011**

Lehrforschungsversuch innerhalb des Praktikums

Energieprozesstechnik – Lösungsbeiträge zur Energiewende

Prof. Dr.-Ing. Thomas Metz

Fakultät Verfahrenstechnik

Prof. Dr.-Ing. Christoph Reichel

Fakultät Verfahrenstechnik

Nancy Waurig, Dipl.-Ing. (FH)

Fakultät Verfahrenstechnik, Labor für Energieprozesstechnik

Zusammenfassung:

Die Kernidee des Lehrforschungsprojektes bestand darin, dass Studierende die Möglichkeit bekommen, eine eigene innovative Idee im Kontext der Energiewende zu entwickeln und diese experimentell in einem Forschungsversuch zu realisieren. Dies erfolgte im vierten Semester des Studiengangs Energieprozesstechnik im Rahmen des Praktikums für Energieprozesstechnik. Die Studierenden hatten ein Projekt-Budget zur Verfügung, welches sie zur Umsetzung ihrer Idee nutzen konnten. Die Studierenden entwickelten und bearbeiteten folgende vier – selbst gewählte – Themen, wobei jeweils die Phasen Themenentwicklung, Planung, Aufbau, Inbetriebnahme und Auswertung durchlaufen wurden:

1. Wasserstoffverbrennung: Verbrennung von Wasserstoff zur Beheizung thermoelektrischer Module mit Untersuchung der thermischen Stickoxid-(NO_x-)Emissionen.
2. Thermoelektrisches Modul: Ermittlung von Wirkungsgrad und Leistungscharakteristik eines thermoelektrischen Moduls.
3. PV-TE-Modul: Untersuchung der Kombination von Photovoltaik-Modulen mit thermoelektrischen Modulen (erhöhte Stromausbeute).
4. PVT-Modul: Untersuchung der Kombination von Photovoltaik-Modulen mit Solarkollektoren (Strom- und Warmwassererzeugung).

Abbildung 1 gibt einen Eindruck der Projekte wieder.

Die Studierenden konnten außerhalb üblicher Praktikumswege vielfältige Erfahrungen sammeln und hierbei Arbeitsabläufe innerhalb forschender Tätigkeiten kennenlernen, handwerkliche Arbeiten vollziehen, Sicherheitsaspekte kennenlernen und umsetzen, Projektmanagement-Erfahrungen sammeln und konkret an aktuellen Forschungsfragen mitarbeiten.



Abbildung 1: PV-Modul mit Thermoelektrikmodul (links), Wasserstoffbrenner mit Thermoelektrikmodul (Mitte), PVT-Modul mit (vorhandener) künstlicher Sonne (rechts), Bilder: Versuchsgruppen

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Verfahrenstechnik, Labor für Energieprozesstechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Thomas Metz, Prof. Dr.-Ing. Christoph Reichel
Projektteam (Studierende)	Jan Cindrić, Atefeh Rezaee, Franziska Trunsch, Robert Heinert, Elena Kryjom, Jacob Strack, Niklas Förster, Lukas Berger, Christoph Schilling, Florian Engelhardt, Michel Engelke, Thomas Krug, Simon Zohsel
Kontakt Daten Projektleitung	thomas.metz@th-nuernberg.de ,

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Nach dem regulären Curriculum des Bachelorstudiengangs Energieprozesstechnik, Fakultät Verfahrenstechnik, wird im vierten Semester das Praktikum „Energieprozesstechnik“ durchgeführt. Dabei untersuchen die Studierenden wichtige Prozesse des Energiesystems anhand von Versuchsanlagen. Dazu gehören konventionelle Prozesse wie etwa Gas- und Dampfturbinenkraftwerke, jedoch auch in Zukunft immer wichtiger werdende Prozesse wie etwa die Erzeugung von elektrischem Strom aus regenerativem

Wasserstoff durch Brennstoffzellen. In der Regel werden im Praktikum acht Versuche durchgeführt, die sehr detailliert ausgearbeitet sind und für die Studierenden bezüglich Versuchsanlagenbetrieb und Datenauswertung sehr konkrete Vorgaben machen. Die Studierenden erhalten fundierten Einblick in die jeweiligen Versuchsthemen, eine eigenständige, kreative und selbständige Erarbeitung von Untersuchungen stand dabei aber bisher nicht im Vordergrund. Um gerade dies nun zu ermöglichen und zu fördern, wurde ein Forschungsversuch in das Praktikum integriert und der Umfang für die regulären Versuche entsprechend reduziert.

Den Studierenden wurde so die Möglichkeit gegeben, eigenständig über Inhalt, Zielstellung und Methodik des Forschungsversuches zu diskutieren und zu entscheiden. Die Aufgabenstellung wurde dabei wesentlich abstrakter gefasst und sollte einige wesentliche Fragestellungen im Bereich Forschung und Entwicklung und im Energiebereich adressieren. Zunächst waren übergeordnete Aspekte zu adressieren:

- *Welcher Beitrag zur Energiewende soll mit dem Forschungsversuch geleistet werden?*
- *Welches Unternehmen oder welche Institution in der Region oder überregional könnte Interesse an Inhalt und Ergebnis des Forschungsversuches haben? Besteht oder lässt sich Kontakt aufbauen?*
- *Lässt sich aus dem Forschungsversuch eine Geschäftsidee ableiten?*

Nachdem dies erfolgt war, konzentrierte sich die Aufgabe auf die technischen Inhalte:

- *Welche theoretischen Grundlagen werden benötigt?*
- *Wie sieht der Versuchsaufbau aus?*
- *Welches Messprogramm soll durchgeführt werden?*
- *Welche Schlussfolgerungen können aus dem Versuch abgeleitet werden?*

Die Praktikumsgruppe wurde hier zum Forschungsteam, wodurch auch zu klären war, wer welche Funktion und Rolle im Forschungsteam einnimmt – Managerin und Manager, Visionärin und Visionär, Macherin und Macher, Tüftlerin und Tüftler, et cetera.

Die für den Forschungsversuch erforderliche experimentelle Ausrüstung wurde im Vorfeld und während des Praktikums beschafft. Neben dem Forschungsversuch selbst wurde so auch mit dem Aufbau eines Baukastensystems begonnen, mit welchem flexibel unterschiedlichste Versuche bei künftigen Praktika und Projektkursen durchgeführt werden können – eine Art „KOSMOS-Experimentierkasten für Fortgeschrittene“.

Zudem wurden teilweise vorhandene Versuchsanlagen beziehungsweise experimentelle Ausrüstung aus Forschungsprojekten und anderen Praktika in dieses Projekt integriert.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die Studierenden haben von diesem Vorhaben in vielfältiger Weise profitiert: Es wurde ihre eigene Kreativität, Motivation und Begeisterungsfähigkeit angeregt, da Zielstellung, Inhalt und Methodik im Forschungsversuch nicht vorgegeben waren, sondern eigenständig erarbeitet wurden. Die Studierenden bekamen nicht nur Einblick in laufende Forschungsprojekte, sondern konnten eigene Untersuchungen durchführen. Interdisziplinarität erfuhren die Studierenden innerhalb ihrer Gruppe, da im „Forschungsteam“ neben rein technischen Aspekten auch Themen wie Management oder Außendarstellung adressiert wurden. Außerdem sollten die Gruppen für den Forschungsversuch auch fakultätsübergreifende und gegebenenfalls hochschulexterne Kontakte nutzen, wodurch ebenfalls Interdisziplinarität und Vernetzung stattfinden sollte. Die Studierenden durchliefen in ihrem Forschungsversuch wesentliche Stationen von Forschungsprojekten im Schnelldurchgang – von der Idee

bis zum Ergebnis. Dabei wurden die Gruppenteilnehmenden mit Budgetplanung und Projektmanagement vertraut, was aufgrund der knappen Zeit einen hohen Planungs- und Organisationsaufwand bedeutete. Alle Gruppen lernten die Komplexität einer organisatorischen Abwicklung unter Zeitdruck kennen. Dabei spielte Eigenorganisation und Motivation eine große Rolle. Gegenmaßnahmen zum Ausgleich langer Lieferzeiten mussten getroffen und abgeschätzt werden.

Mithilfe einer Abschlusspräsentation und anschließender Diskussion wurden die jeweiligen Ergebnisse zusammengefasst und reflektiert.

Betreut wurden die Studierenden vom jeweiligen praktikumsleitenden Professor, der Laboringenieurin sowie von einer studentischen Hilfskraft (peer-to-peer-learning). Durch die Integration eines Forschungsversuches im Energieprozessstechnik-Praktikum bereits im vierten Semester konnten die Studierenden frühzeitig im Studium Forschungserfahrungen sammeln, sodass erste Schritte zum Aufbau einer Forschungskompetenz vollzogen wurden.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Alle Gruppen errichteten innerhalb des Sommersemesters einen Versuchsaufbau, mit dem es möglich war, Versuche durchzuführen. Alle Teilnehmenden konnten beim Aufbau selbst Hand anlegen und Erfahrungen mit Sicherheitsvorschriften bei Laborversuchen sammeln (Abbildung 2).

Die Gruppe 1 errichtete eine Wasserstoffbrenneranlage zur Beheizung eines thermoelektrischen Moduls. Es wurde eine Feuerungswärmeleistung von 4,5 kW angestrebt. Im Versuch stellte sich heraus, dass diese Leistung nicht erreicht werden konnte, was bei den Studierenden durchaus einen „Aha-Effekt“ bewirkte. Schließlich stellte sich heraus, dass nicht alle brenngasseitigen Strömungsdruckverluste berücksichtigt



Abbildung 2: Versuchsanlagen wurden durch die Gruppen selbständig aufgebaut, Bild: Versuchsgruppe 1 (links), Kennenlernen von Sicherheitsvorschriften beim Bau der Anlagen durch Anwendung (hier: Sicherheitskleidung). Bild: Versuchsgruppe 1

wurden und diese in der Praxis nun höher als erwartet ausfielen. Des Weiteren wurde beobachtet, dass die Stabilität der Verbrennung nicht einfach zu erzielen war. So wurden laute, akustische Schwingungen, plötzliches Erlöschen der Flamme und Zündprobleme beobachtet. Aufgrund der instabilen Verbrennung konnten keine stabilen NO_x-Werte erfasst werden. Trotzdem gelang es, ein thermoelektrisches Modul auf die angestrebte Zieltemperatur von 300°C heißseitiger Temperatur zu bringen, so dass die Gruppe 2 die Leistungscharakteristik eines thermoelektrischen Moduls erfassen konnte. Dieses Thema ist ein mehrjähriges Forschungsprojekt eingebunden, in welchem es die Zielstellung ist, Kleinst-Blockheizkraftwerke auf Basis Thermoelektrik zu entwickeln. Die Gruppe zwei war im Vorfeld des

Versuches intensiv mit der Auslegung und Konstruktion des Aufbaus befasst. So wurde der komplette Aufbau hinsichtlich Wärmedurchgang und Rippendimensionierung durchgerechnet. Abbildung 3 (links) zeigt den Versuchsaufbau des thermoelektrischen Moduls (weiß), welches auf der einen Seite beheizt wird (von links, Abgasrohr Wasserstoffbrenner) und auf der anderen Seite gekühlt wird (rechts, Wasserkühlung) und dadurch elektrischen Strom produziert.

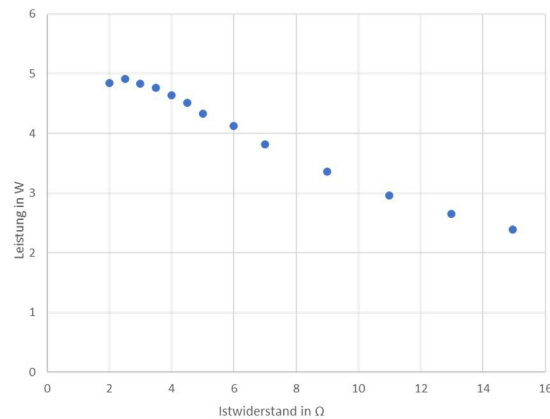
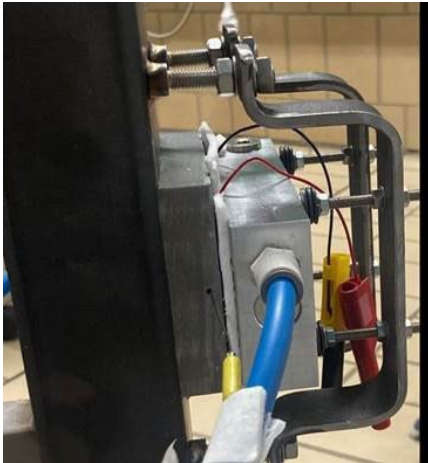


Abbildung 3: Aufbau des Thermoelektrikmoduls am Abgasrohr des Wasserstoffbrenners (links), Leistungscharakteristik bei einer Temperaturdifferenz von 312°C (rechts). Bild: Eigene Darstellung

Es wurde der Zusammenhang zwischen elektrischer Leistung und Temperaturdifferenz untersucht. Hierbei wurde jeweils bei konstanter Temperaturdifferenz der Lastwiderstand variiert. In Abbildung 3 (rechts) ist beispielhaft zu sehen, dass die größte Leistung von 5 Watt bei 2,5 Ohm Lastwiderstand erzielt wurde und so in der Praxis gewählt werden sollte.

Die Versuchsgruppe 3 rund um das PV-Modul in Kombination Thermoelektrik-Modul konnte zeigen, dass die modifizierten PV-Module aufgrund der thermischen Abführung höhere Wirkungsgrade als gängige PV-Module aufwiesen, jedoch die Stromerzeugung durch das Thermoelektrikmodul messtechnisch nicht nachweisbar war. Als Ursache stellte sich heraus, dass die Temperaturdifferenzen über das thermoelektrische Modul zu klein waren, um damit verwertbare Leistungen erzielen zu können. Im Gegensatz dazu konnte Versuchsgruppe 4 ein PVT-Modul vermessen, wobei sowohl der thermische Output sowie der elektrische Output erfasst werden konnte. Diese Untersuchungen konnten mit einer gerade neu errichteten sogenannten künstlichen Sonne durchgeführt werden.

5. Vernetzung und Transfer

Im Zuge der Planungs- und Realisierungsphase hatten die Studierenden intensiven Kontakt mit Firmen und verschiedenen Personen innerhalb und außerhalb der Hochschule. Das Wasserstoff-Thermoelektrik-Projekt wurde auch auf der hochschulweiten Vernetzungsveranstaltung zu den Lehrforschungsprojekten durch die Studierenden vorgestellt. Ein ursprünglich vorgesehener Besuch im Technikum Rednitzhembach und Austausch mit dem Start-up Azure der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) konnte zu Ende des Sommersemesters leider nicht mehr realisiert werden, da sich der Aufbau und die Versuchsdurchführung mehrfach verzögert hatten.

6. Fazit und Ausblick

Der Lehrforschungsversuch war insgesamt sowohl für die Studierenden als auch für die Fakultät ein schöner Erfolg, obwohl gegenüber der ursprünglichen Planung – insbesondere aus Zeitgründen – mehrere Änderungen vorgenommen werden mussten. Die Studierenden konnten außerhalb üblicher Praktikumswege Erfahrungen sammeln und vor allem:

- Selbst über Inhalte und Budget entscheiden.
- Soft Skills ausbauen.
- Arbeitsabläufe innerhalb forschender Tätigkeiten kennenlernen.
- Handwerkliche Arbeiten vollziehen.
- Sicherheitsaspekte kennenlernen und umsetzen.
- Projektmanagement-Fähigkeiten rund um Teamorganisation aneignen.
- Konkret an aktuellen innovativen Forschungsfragen mitarbeiten und beitragen.

Die beschaffte Hardware wird für künftige Lehrveranstaltungen mit experimentellem Charakter wiederverwendet und sukzessive erweitert. Zudem sind mit den entstandenen Anlagen weitere Schritte geplant und konnten teilweise bereits angegangen werden. So wird die Kombi-Versuchsanlage „Wasserstoffbrenner-Thermoelektrik-Modul“ mit einer automatischen Steuerung versehen, wodurch künftig sehr flexibel änderbare und umfangreichere Untersuchungen für die Studierenden möglich werden. Da die Zeiträume für Bestellvorgänge und Lieferzeiten von Bauteilen mit dem begrenzten Zeitraum eines Semesters kollidieren, werden Bestellvorgänge bei künftigen Projekten zeitlich deutlich nach vorne gezogen.

Die sehr intensive Zeit für Studierende führte zu einer steilen Lernkurve und einigen „Aha“-Effekten, vor allem im Vergleich zu den regulären Versuchen innerhalb eines Praktikums. Von Seiten der Studierenden besteht der Wunsch, dieses Konzept künftig weiterzuführen, was fakultätsseitig ebenso angestrebt wird.

Gleitlager – Verifikation und Validierung

Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Luis Huber, M. Sc.

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Zusammenfassung:

Im Rahmen des Projektes war in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner ein Prüfstand zu erweitern. Die Studierenden arbeiteten im Rahmen der Lehrveranstaltung „Projekt aus Konstruktion und Entwicklung“ im sechsten und siebten Fachsemester des Bachelorstudiengangs Maschinenbau an der Konzeption, Konstruktion und Umsetzung. Nach Konzeption und Teilebeschaffung wurde die Erweiterung durch die Studierenden in den Co-Working Spaces der Fakultät selbstständig gefertigt und anschließend am Prüfstand montiert. Es ist den Studierenden dabei gelungen, eine funktionierende Ölversorgung umzusetzen und in die Steuerungssoftware des Prüfstandes zu integrieren. Seitens der Studierenden bestand die Möglichkeit, die eigenen Konzepte praktisch umzusetzen und selbstwirksam die Umsetzung der eigenen Überlegungen zu erleben.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.200 Euro
Laufzeit	Oktober 2022 bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Maschinenbau und Versorgungstechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz
Projektteam	Luis Huber, M. Sc., Martin Bauer, Fabian Braun, Luis Danker, Nikita Demchenko, Marc Dinger, Cedric Gebhardt, Alexander Heimann, Thomas Krug, Benjamin Mayyahi, Daniel Müller, Joseph Voigtländer, Andrea von Lattre-Hertel, Henning Wilmsmann
Kontakt Daten Projektleitung	alexander.monz@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Das Projekt stellte eine inhaltliche Erweiterung des Forschungsprojektes „Plangleit – Einsatzgrenzen innovativer Planetengleitlager“ (Förderung: Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (StMWK)) dar, bei dem in Zusammenarbeit mit einem Partner aus der Industrie die Einsatzgrenzen von Sintergleitlagern an einem neuartigen Prüfstand untersucht wurden. Der Prüfstand wurde im Rahmen des Vorhabens bereits in Betrieb genommen und diente bislang zur Untersuchung der Einsatzgrenzen bei Schmierung mit Getriebefett.

Diese Einsatzmöglichkeit (Fettschmierung) sollte innerhalb von zwei Semestern (zweisemestrige Lehrveranstaltung) so erweitert werden, dass ein Betrieb mit Ölschmierung möglich ist. Die Aufgabe erforderte es, ausgehend von einer durch die Studierenden in Kleingruppen zu entwickelnden Forschungsfrage (zum Beispiel: Welche Beharrungstemperatur ergibt sich im Betrieb unter definierten Lastbedingungen?):

- eine konstruktive Erweiterung des Prüfstandes vorzunehmen,
- die Erweiterung auszuführen und in Betrieb zu nehmen,
- sowie eine begleitende Simulation des Systemverhaltens (thermische Finite Elemente) aufzubauen.

Im Abgleich von Experiment am Prüfstand und Simulation konnte dann das Modell verifiziert und auf dieser Basis die Forschungsfrage beantwortet werden. Die Arbeit in Kleingruppen erfolgte in den Co-Working Spaces der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik. Dort erhielten die Kleingruppen eigene Arbeitsflächen und konnten hybrid zusammenarbeiten. Konzepte sowie die Projektergebnisse wurden gemeinsam mit den beteiligten Industriepartnern erarbeitet und dort vorgestellt.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Lehrforschungsprojekt war folgendermaßen gegliedert:

	2023											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Konzepterstellung (Start: 10/22)												
Aufbau Simulation												
Fertigung												
Inbetriebnahme												
Versuchsreihen												
Modellanpassungen												
Erweiterte Forschungsfragen (2 Abschlussarbeiten)												
Dokumentation												

Abbildung 1: Projektplan. Bild: Alexander Monz

Vorbereitung: Oktober bis Dezember 2022 (nicht im Projektumfang)

Die Studierenden erarbeiteten gemeinsam mit dem Projektteam die notwendigen Grundlagen und formulierten die Forschungsfragen. Daraus wurde ein Versuchsprogramm abgeleitet.

Phase 1: Januar bis März 2023

Passende Konzepte zur Prüfstandserweiterung wurden in Kleingruppen erarbeitet und umgesetzt. Parallel dazu wurde eine thermische Simulationsumgebung aufgebaut.

Phase 2: April bis Juli 2023

Nach der Inbetriebnahme wurden die geplanten Versuche durchgeführt und ausgewertet sowie zur Anpassung der Simulationsmodelle verwendet. Abschließend wurde die Vorhersagegüte eines vorab nicht definierten Versuchslaufs zur Evaluation der einzelnen Modelle verwendet.

Phase 3: August bis Dezember 2023

Aus der Arbeit der Kleingruppen wurden zwei Abschlussarbeiten formuliert, die Einrichtungen und Simulationsmodell für unterschiedliche Werkstoffkombinationen anwenden und weiterentwickeln.

Den Studierenden war es damit möglich, die Inhalte verschiedener Lehrveranstaltungen aus dem bisherigen Curriculum zu verknüpfen und praktisch anzuwenden. Sie profitierten von einer Erweiterung des Lernfeldes Konstruktion durch die konkrete Umsetzung und Anwendung der eigenen Überlegungen in einem realen Forschungsprojekt. Die Betreuung erfolgte in einer wöchentlichen Lehrveranstaltung, sowie durch die unmittelbare Zusammenarbeit mit dem Sachbearbeiter des Forschungsprojektes. Fachliche Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner aus Elektrotechnik und Chemie steuerten zusätzlich benötigte Informationen bei und gaben Hilfestellungen.

Die Studierenden nahmen dabei von der (Aus-)Formulierung der Forschungsfrage bis hin zu deren Beantwortung am gesamten Forschungsprozess teil. Die Anwendung und Weiterentwicklung eigener Konstruktionsergebnisse gaben ihnen dabei ein unmittelbares Feedback zum Erfolg der eigenen Forschungstätigkeit. Die Studierenden waren im Sommersemester 2023 unmittelbar mit dem Ergebnis ihrer Arbeit im Wintersemester 2022/2023 konfrontiert und mussten die Ergebnisse jeweils vor einer Partnerin beziehungsweise einem Partner vertreten. Sie bewegten sich dabei frei innerhalb eines gegebenen Rahmens und kombinierten die Erweiterung studiennaher Inhalte mit der forschenden Anwendung in einem ungewohnten Kontext.

Das geplante Vorgehen konnte, mit Ausnahme der zeitbedingt nicht in erforderlichlichem Umfang und daher erst nach Projektende durchführbaren Versuche, umgesetzt werden. Das primäre Ziel des Lehrforschungsvorhabens wurde erreicht. Abbildung 2 zeigt dazu das umgesetzte Prüfstandskonzept für Ölschmierung.

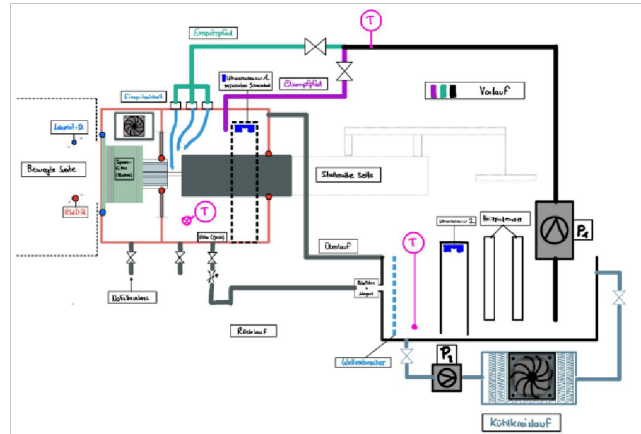


Abbildung 2: Konzeption. Bild: Luis Danker

Insbesondere in der Umsetzung der Konzeption traten teilweise erhebliche Schwierigkeiten auf, die nur durch hohen persönlichen Einsatz einiger Studierender gelöst werden konnten. Das waren insbesondere die Teilebeschaffung, die Fertigung einzelner Komponenten mittels additiver Fertigung sowie die Zusammenarbeit der einzelnen Teilgruppen.

Die Schwierigkeiten waren insofern nicht überraschend. Der weit über das erforderliche Maß hinausgehende Einsatz einzelner Studierender zeigte jedoch deutlich die Attraktivität dieser Form der Aufgabenstellung und die damit einhergehende Bindung an das Projektziel.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen Teil der Umsetzung am Prüfstand. Erkennbar sind additiv gefertigte Teile, die öldicht und ölbeständig gemacht werden mussten, sowie verwirbeltes Öl aus dem Betrieb.

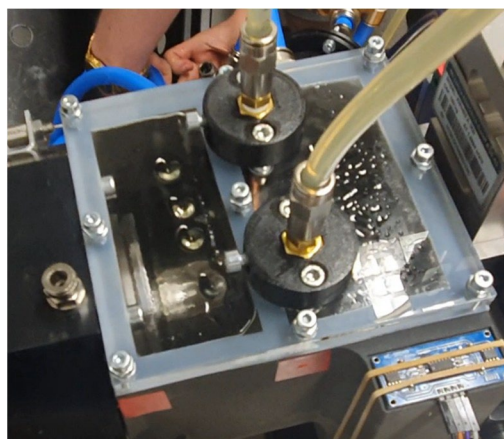


Abbildung 3: Umsetzung am Prüfgehäuse. Bild: Joseph Voigtländer

5. Vernetzung und Transfer

Die Studierenden bearbeiteten das Projekt in Zusammenarbeit mit Industriepartnerinnen und -partnern aus der Region, die in der Folge auch passende Abschlussarbeiten anboten. Innerhalb der Hochschule erfolgte ein reger Austausch mit Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartnern anderer Fakultäten, insbesondere mit Chemie und Elektrotechnik, der in dieser Form sonst nicht stattgefunden hätte.

6. Fazit und Ausblick

Die Konzeption des Lehrforschungsthemas im Kontext eines Forschungsvorhabens und in Verbindung mit der Anwendung verschiedener, im bisherigen Studium erlernter, fachlicher Inhalte hat sich als voller Erfolg erwiesen. Die erreichten Ergebnisse sind überzeugend, auch wenn nicht alle geplanten Versuche innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen werden konnten.

Das Arbeiten am und im Projekt war für alle Beteiligten eine Bereicherung – wir werden es wieder tun.

PraLaTex: Einführung praxisrelevanter Laborversuche im Rahmen der Bachelorausbildung „Physikalische Chemie“ basierend auf textilchemischen Fragestellungen

Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer
Fakultät Angewandte Chemie

Zusammenfassung:

Das Projekt „PraLaTex“ unter der Leitung von Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer an der Fakultät Angewandte Chemie fokussierte sich auf die Integration textilchemischer Fragestellungen in die Bachelorausbildung „Physikalische Chemie“. Ziel war die praktische Umsetzung von Laborversuchen mit einem klaren Praxisbezug und interdisziplinären Ansatz. Dabei wurden textilchemische Färbeversuche durchgeführt, um das Färbeverhalten unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass Parameter wie Temperatur, pH-Wert, Salzgehalt und Farbstoffkonzentration das Färbeverhalten beeinflussen. Eine quantitative Auswertung wurde mittels UV/Vis-Spektrometrie durchgeführt, wobei Schwierigkeiten in der Reproduzierbarkeit und Robustheit der Versuche auftraten. Daher wird von einer Integration entsprechender Versuche in das Grundlagenpraktikum abgesehen. Die Vernetzung mit der Hochschule Reutlingen wurde gestärkt, was weitere Kooperationsmöglichkeiten für zukünftige Projekte erleichtert.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Angewandte Chemie, Labor für Physikalische Chemie
Projektleitung	Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer
Kontaktdaten Projektleitung	dirk.sachsenheimer@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Ausbildung in Physikalischer Chemie im Bachelorstudiengang „Angewandte Chemie“ basiert auf der Vermittlung theoretischer Grundlagen sowie deren Anwendung auf vorgegebene Fragestellungen (zweites, drittes, fünftes und sechstes Semester). Weiterhin werden erlernte Theorien im Rahmen von zwei Praktika (fünftes und sechstes Semester) selbstständig vertieft. Die aktuell angebotenen Praktikumsversuche sind sehr gut geeignet, um die erlernten Theorien anzuwenden. Jedoch fehlen bei Versuchen wie „pH-Abhängigkeit der Solvolysekinetik von Triphenylfarbstoffen“, „Primärer Salzeffekt der Solvolysekinetik von Triphenylfarbstoffen“, „Temperaturabhängigkeit der Solvolysekinetik von Triphenylfarbstoffen“ oder „Adsorption eines Farbstoffs auf Aluminiumoxid“ sowohl ein klarer Praxisbezug als auch eine interdisziplinäre Ausrichtung.

Um den Anwendungsaspekt bei den Laborversuchen in den Vordergrund zu stellen, sollen textilchemische Fragestellungen als Ausgangspunkt dienen. Hierbei soll besonders das Färbeverhalten und dessen Beeinflussung durch Parameter wie Salzgehalt, Temperatur oder pH-Wert untersucht und mit den Theorien der Physikalischen Chemie quantifiziert werden. Weiterhin rücken interdisziplinäre Fragestellungen in den Vordergrund.

Ziel dieses Projektes war es, die Möglichkeit zur Einführung textilchemischer Versuche in die Grundlagenpraktika der Physikalischen Chemie zu evaluieren und bei positiver Evaluation einzuführen.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Rahmen des Projektes „PraLaTex: Einführung praxisrelevanter Laborversuche im Rahmen der Bachelorausbildung ‚Physikalische Chemie‘ basierend auf textilchemischen Fragestellungen“ wurde zunächst die Möglichkeit geschaffen, textilchemische Färbeversuche im Labor für Physikalische Chemie durchzuführen. Hierfür wurde ein Schüttelwasserbad mit Temperierung und geeigneten Gefäßen angeschafft, um Färbeversuche bei vorgegebener Temperatur zwischen 25 °C und 95 °C bei kontinuierlicher Durchmischung der Farbstofflösung (Flotte) durchführen zu können.

Mehrere Studierende führten entsprechende Versuche zum Färben von Baumwoll- und Polyamidgeweben durch, um den Einfluss der individuellen Ausführung auf das Versuchsergebnis zu evaluieren. Das Baumwollgewebe wurde dabei mittels Reaktivfarbstoffe und das Polyamidgewebe mittels Säurefarbstoffe gefärbt. Alle Farbstoffe wurden als Muster von der CHT Germany GmbH (Tübingen) unentgeltlich zur

Verfügung gestellt. Neben der Farbstoffkonzentration wurden auch der Salzgehalt, der pH-Wert und die Temperatur variiert.

Die Studierenden führten diese Versuche im Rahmen von Projekten, Tätigkeiten als studentische Hilfskräfte oder Praxissemester durch. Diese Untersuchungen dienten zur Bewertung der Möglichkeit, textilchemische Fragestellungen in das Grundlagenpraktikum der Physikalischen Chemie zu integrieren. Die Betreuung dieser Projektstudierenden erfolgte durch die Laboringenieure Roland Gross und Fabian Kratzer, während Prof. Sachsenheimer für die inhaltliche Betreuung verantwortlich war.

Eine Vernetzung im Bereich der Textilchemie erfolgte durch zwei fachliche Austausche mit der Hochschule Reutlingen, TEXOVERSUM Fakultät Textil (Prof. Natalie Seng und Prof. Dr. Torsten Textor). Weiterhin besuchte Prof. Textor im vierten Quartal 2023 die Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) und hielt einen Vortrag zum Thema „Hochabweisende Ausrüstungen für Textilien“. Eine weitere Zusammenarbeit im Bereich der Textilchemie zwischen der Hochschule Reutlingen und der Ohm ist geplant.

4. Theoretische Hintergründe

4.1. Physikochemische Vorgänge beim Färben von Textilien

Das Färben von Textilien untergliedert sich prinzipiell in mehrere Teilschritte und ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Zu Beginn müssen der feste Farbstoff und optionale textilchemische Hilfsmittel in Wasser gelöst (erster Schritt) und homogen verteilt (zweiter Schritt) werden. Diese Lösung wird im Rahmen der Textiltechnik auch als Flotte bezeichnet. Das Lösen und Homogenisieren des Farbstoffes in der Flotte werden durch geeignete Strömungen (zum Beispiel Rühren oder Schütteln) begünstigt. Nahe der Faser ist eine konvektive Durchmischung der Flotte nicht mehr gegeben. Hier bildet sich eine diffusive Grenzschicht aus. Diese muss durch die Farbstoffmoleküle diffusiv überwunden werden (dritter Schritt). Die Diffusion der Farbstoffmoleküle ist im Vergleich zur konvektiven Durchmischung deutlich langsamer.

Im Anschluss erfolgt die Adsorption der Farbstoffmoleküle an der Oberfläche der Faser (vierter Schritt). Dieser Prozess ist im Allgemeinen deutlich schneller als die Diffusion der Farbstoffmoleküle durch die Grenzschicht. Daher ist die Farbstoffkonzentration in der diffusiven Grenzschicht gegenüber der Farbstoffkonzentration in der Flotte erniedrigt. Die auf der Faseroberfläche angelagerten Farbstoffmoleküle können im Anschluss in die Faser diffundieren (fünfter Schritt) und gegebenenfalls mit der Faser (zum Beispiel im Fall von Reaktivfarbstoffen) reagieren (sechster Schritt) (Schreiner 1974; Bechtold und Pham 2023).

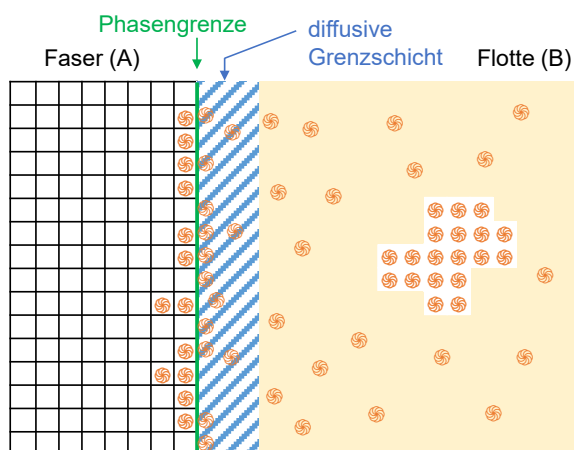


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Färbens einer textilen Faser. Der Farbstoff wird durch das Zeichen ⊗ symbolisiert. Bild: nach (Schreiner 1974)

Das Adsorptionsverhalten von Farbstoffen an einer Faser wird durch die physikochemischen Wechselwirkungen zwischen dem Farbstoff und der Faser bestimmt. Je nach chemischer Beschaffenheit des Farbstoffs und des Textils kann der Farbstoff eine sehr starke (kovalente Bindung) bis sehr schwache (Dispersionswechselwirkung kleiner Farbstoffmoleküle) Wechselwirkung mit der Faser aufweisen. Das Ergebnis ist eine unterschiedlich starke Färbung, wie in Abbildung 2 verdeutlicht. Je besser die Wechselwirkungen zwischen Faser und Farbstoff sind, desto stärker ist die Adsorption des Farbstoffs.

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich ist, eignen sich Säurefarbstoffe besonders zum Färben von Polyamid, während sich Reaktivfarbstoffe für Cellulose zur Färbung von Baumwolle und Viskose eignen. Bei kommerziellen Neocarmin-Lösungen handelt es sich um eine Mischung verschiedener Farbstoffe. Diese Farbstoffmischung wird eingesetzt, um Textilien aufgrund ihrer Anfärbbarkeit zu identifizieren. Die Identifikation erfolgt über einen Farbvergleich.

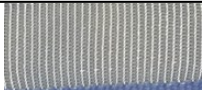





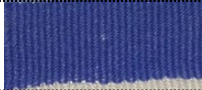











	Säurefarbstoff	Reaktivfarbstoff für Cellulose	Neocarmin- Farbstofflösung
Triacetat			
Baumwolle			
Polyamid			
Polyester			
Polyacryl			
Viskose			

Abbildung 2: Färbbarkeit von Textilien aus Triacetat, Baumwolle, Polyamid, Polyester, Polyacryl und Viskose mit Säurefarbstoff, Reaktivfarbstoff für Cellulose und einer kommerziellen Neocarmin-Farbstofflösung. (Bild: Sachsenheimer)

4.2. Färben von Polyamid mit Säurefarbstoffen

Für das Färbeverhalten von Proteinfasern wie Wolle, Seide oder Kasein sowie von Polyamidfasern wie Nylon oder Perlon ist der molekulare Aufbau der entsprechenden (Bio-)Polymere entscheidend. Abbildung 3 zeigt den grundlegenden chemischen Aufbau eines Polyamids (links) sowie die Abstraktion einer Polyamidfaser unter Berücksichtigung der für das Färben wichtigen Amino- und Carboxy-Endgruppen (rechts).

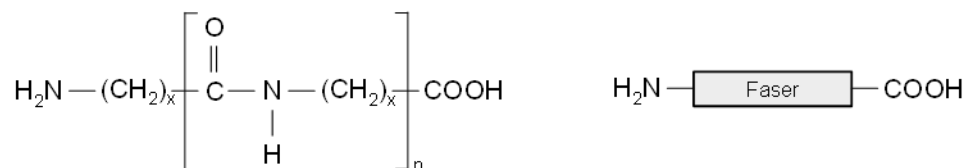


Abbildung 3: Chemischer Aufbau eines Polyamids (links) sowie die Abstraktion einer Polyamidfaser unter Berücksichtigung der Endgruppen (rechts). (Bild: Sachsenheimer)

Abhängig vom pH-Wert können die Endgruppen protoniert beziehungsweise deprotoniert werden. Dies führt zu einer Ladung (positiv oder negativ) der Polyamidfaser. Hierbei kann die endständige Amino-Gruppe ($-NH_2$) Protonen (H^+) aufnehmen, wodurch die Faser eine positive Ladung zeigt. Die endständige Carboxy-Gruppe ($COOH$) kann hingegen Protonen abgeben, was zu einer negativen Ladung der Faser führt. Die Gesamtladung der Faser bestimmt grundlegend über die Färbbarkeit.

Säurefarbstoffe enthalten in der Regel eine bis drei Sulfonsäure-Gruppen ($-SO_3H$). Die Sulfonsäure-Gruppen sind in erster Linie für die Bindung des Säurefarbstoffes an die Polyamidfaser verantwortlich, ermöglichen aber auch die Wasserlöslichkeit des Farbstoffes. In wässriger Lösung deprotonieren die Sulfonsäure-Gruppen, was zu einer negativen Ladung des Farbstoffmoleküls führt.

Die Färbung von Polyamid mit Säurefarbstoffen erfolgt bei niedrigen pH-Werten. Dadurch werden die endständigen Amino-Gruppen des Polyamids protoniert. Infolgedessen weist die Polyamidfaser eine positive Ladung auf, während der Säurefarbstoff negativ geladen ist. Durch die elektrostatische Anziehung zwischen positiver und negativer Ladung ziehen sich Faser und Farbstoff an. Schließlich entsteht eine salzartige Bindung zwischen Faser und Farbstoff (vergleiche Abbildung 4). Darüber hinaus kann der Farbstoff durch weitere intermolekulare Kräfte (wie Wasserstoffbrücken, hydrophobe Wechselwirkungen oder π - π -Wechselwirkungen) an die Faser binden.

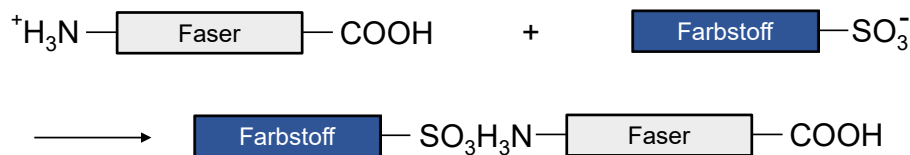


Abbildung 4: Ausbildung einer salzartigen Bindung beim Färben von Polyamid mit Säurefarbstoffen. (Bild: Sachsenheimer)

4.3. Farbstofffixierung bei Reaktivfarbstoffen

Die oben beschriebenen Säurefarbstoffe binden ausschließlich aufgrund physikalischer Wechselwirkungen an beziehungsweise in der Faser. Im Gegensatz dazu bilden Reaktivfarbstoffe eine kovalente Bindung mit der Faser aus, was für eine deutlich festere Bindung sorgt. Der sogenannte reaktive Anker des Reaktivfarbstoffs muss so gewählt werden, dass eine Reaktion mit der Faser möglich ist. Bei Protein- und Polyamidfasern besteht der reaktive Anker meist aus einer Vinylsulfongruppe, die mit der Aminogruppe der Faser reagieren kann. Bei Cellulosefasern wie Baumwolle oder Viskose besteht der reaktive Anker meist aus einer reaktiven Chlor-Gruppe ($-Cl$), die mit einer Hydroxylgruppe ($-OH$) der Cellulose unter Bildung von Chlorwasserstoff (HCl) reagieren kann. Zur Neutralisierung des entstehenden HCl erfolgt die Färbung von Cellulosefasern mittels Reaktivfarbstoffen bei basischen pH-Werten (Ebner und Schelz 2013; Hauser 2018).

5. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

5.1. Qualitative Ergebnisse

In Abbildung 5 wird exemplarisch der Einfluss der Temperatur (im System Säurefarbstoff/Polyamidgewebe), des pH-Werts (ebenfalls im System Säurefarbstoff/Polyamidgewebe), Salzkonzentration (Natriumchlorid im System Reaktivfarbstoff/Baumwollgewebe) sowie der Farbstoffkonzentration in der Färbeflotte (Säurefarbstoff/Polyamidgewebe) aufgezeigt.

Mit steigender Temperatur nimmt die Farbstoffbeladung auf dem Textil zu. Da die Adsorption in der Regel ein exothermer Prozess ist, würde man erwarten, dass eine Erhöhung der Temperatur zu einer verringerten Farbstoffbeladung auf dem Textil führt. Die dieser Theorie entgegengesetzten experimentellen Ergebnisse legen jedoch nahe, dass bei der Untersuchung des Temperatureffekts auf das Adsorptionsverhalten von Säurefarbstoffen auf Polyamidgewebe kinetische Effekte eine Rolle spielen könnten. Eine erhöhte Temperatur führt zu einer schnelleren Diffusion der Farbstoffmoleküle an die Faser oder zu einer schnelleren Diffusion der Farbstoffmoleküle in die Faser (Rouette 2006). Jedoch sind in Bezug auf die Farbstoffadsorption auch endotherme Prozesse in der Literatur beschrieben (Al-Ghouti und Al-Absi 2020). Die Erhöhung des pH-Werts führt im System Säurefarbstoff und Polyamidgewebe zu einer verringerten Farbstoffbeladung auf dem Textil, was der Erwartung entspricht. Bei hohen pH-Werten ist die Polyamidfaser negativ geladen (Abgabe von Protonen), während der Säurefarbstoff ebenfalls negativ geladen ist. Dadurch stoßen sich Faser und Farbstoff ab, was zu einer geringeren Farbstoffbeladung führt. Bei niedrigen pH-Werten hingegen ist die Polyamidfaser neutral oder positiv geladen, was zu einer besseren Färbbarkeit führt.

Die Erhöhung des Salzgehalts (Natriumchlorid) führt im System Reaktivfarbstoff und Baumwollgewebe zu einer Erhöhung der Farbstoffbeladung. Diese Beobachtung entspricht ebenfalls der Erwartung. Unter basischen bis schwach sauren Bedingungen liegt die Baumwollfaser negativ geladen vor (Akbar und Bahar Basim 2019). Reaktivfarbstoffe enthalten neben den reaktiven Ankern in der Regel auch Sulfonsäuregruppen, die zur Verbesserung der Wasserlöslichkeit beitragen. Daher sind die Farbstoffmoleküle in diesem pH-Bereich negativ geladen. Dies führt zu einer abstoßenden elektrostatischen Wechselwirkung zwischen den Farbstoffmolekülen und der Baumwollfaser. Durch Zugabe von Salz wird die Ionenstärke der Farbstofflösung erhöht. Dies hat zur Folge, dass die elektrostatischen Wechselwirkungen abgeschirmt werden. Die Erhöhung des Farbstoffgehalts in der Flotte führt, wie erwartet, zu einer Zunahme der Farbstoffbeladung auf dem Textil.

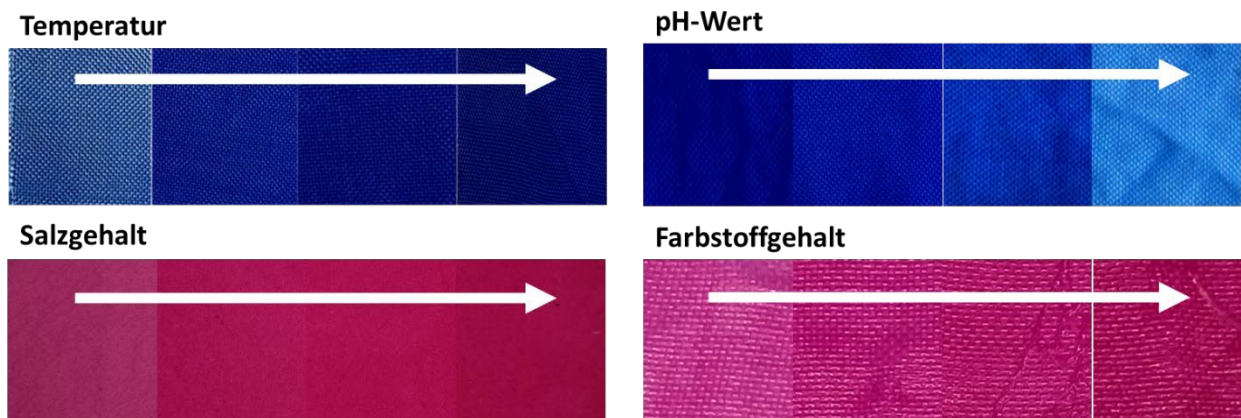


Abbildung 5: Einfluss verschiedener Parameter auf das färberische Verhalten: Temperatur beim System Polyamid/Säurefarbstoff (oben links), pH-Wert beim System Polyamid/Säurefarbstoff (oben rechts), Salzgehalt beim System Baumwolle/Reaktivfarbstoff (unten links) und Farbstoffgehalt beim System Polyamid/Säurefarbstoff (unten rechts). (Bild: Sachsenheimer)

5.2. Quantitative Ergebnisse

Die quantitative Auswertung der Farbstoffadsorption wurde mithilfe eines UV/Vis-Spektrometers durchgeführt. Dazu wurde zunächst die Extinktion A der Farbstofflösungen für vorgegebene Farbstoffkonzentrationen gemessen, um einen Zusammenhang zwischen der Farbstoffkonzentration der

Lösung und der gemessenen Extinktion zu ermitteln. Abbildung 6 (links) zeigt beispielhaft den Verlauf der Extinktion A in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ für sechs Lösungen des Säurefarbstoffs Bemacid F-4B (CHT Deutschland GmbH) in einem Massenkonzentrationsbereich von $\beta = 16 \text{ mg L}^{-1}$ bis $\beta = 200 \text{ mg L}^{-1}$. Die Kalibriergerade für den Zusammenhang zwischen der Extinktion A und der Farbstoffkonzentration β wurde bei einer Wellenlänge von $\lambda = 519 \text{ nm}$ erstellt und ist in Abbildung 6 (rechts) dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß der Regression von $R^2 = 0,9997$ zeigt an, dass die Extinktion im betrachteten Konzentrationsbereich proportional zur Farbstoffkonzentration ist (Lambert-Beer'sches Gesetz).

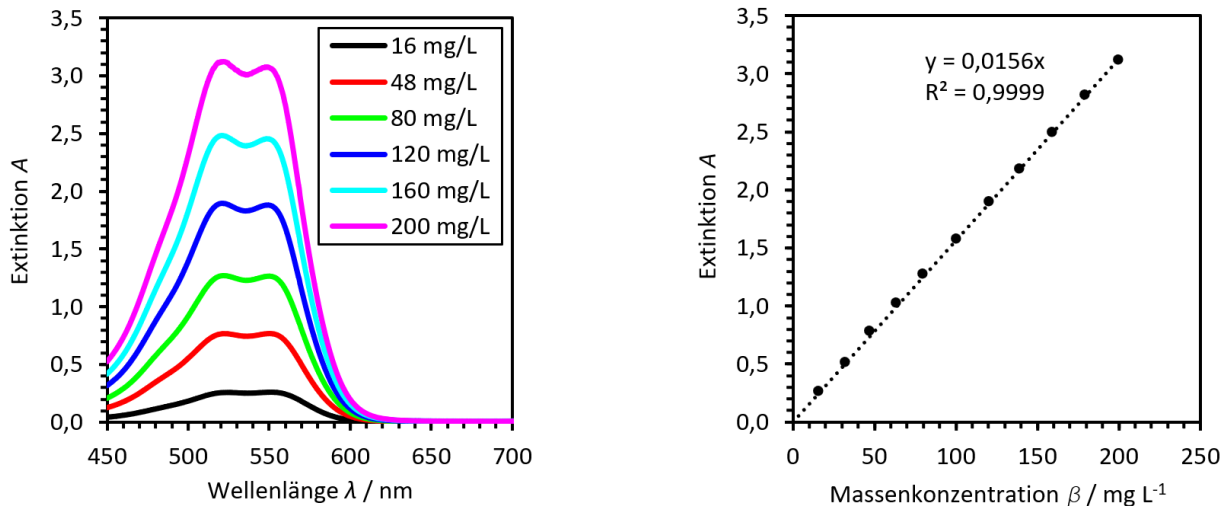


Abbildung 6: Extinktion A in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ für sechs Lösungen des Säurefarbstoffs Bemacid F-4B (CHT Deutschland GmbH) in einem Massenkonzentrationsbereich von $\beta = 16 \text{ mg L}^{-1}$ bis $\beta = 200 \text{ mg L}^{-1}$ (links) und Kalibriergerade für den Zusammenhang zwischen der Extinktion A und der Farbstoffkonzentration β (rechts). (Bild: Sachsenheimer)

Zur quantitativen Bestimmung der Farbstoffaufnahme des Textils während des Färbeprozesses wird die Farbstoffkonzentration der Färbeflotte vor und nach dem Färbeprozess gemessen. Diese Analyse basiert auf der Bestimmung der Extinktion der Lösungen mittels UV/Vis-Spektroskopie und der Umrechnung der gemessenen Extinktionswerte in Farbstoffkonzentrationen mithilfe einer zuvor erstellten Kalibriergeraden (vergleiche Abbildung 6). Im Anschluss wird die Farbstoffbeladung b des Textils als Verhältnis der Masse des Farbstoffes auf dem Textil m_{FS} und der Masse des Textils m_{T} .

Abbildung 7 veranschaulicht beispielhaft die Farbstoffbeladung b eines Polyamidgewebes in Abhängigkeit von der Farbstoffkonzentration β der Färbelösung nach dem Färben mit dem Farbstoff Bemacid F-4B (CHT Deutschland GmbH). Die Färbung des Polyamidgewebes erfolgte bei einer Temperatur von 85°C , einem pH-Wert von 4 und einem Salzgehalt von $3,8 \text{ g L}^{-1}$ für eine Dauer von 45 Minuten. Wie erwartet steigt mit zunehmender Farbstoffkonzentration auch die Farbstoffbeladung des Gewebes. Allerdings zeigen die experimentell bestimmten Beladungen keinen monotonen Verlauf, was auf experimentelle Fehler zurückzuführen ist. Grundsätzlich wurde festgestellt, dass einzelne Versuchsreihen eine hohe Varianz zueinander aufweisen, weshalb eine Mittelwertbildung aus mehreren Versuchsreihen zu keiner besseren Interpretation der Ergebnisse bezüglich eines Praktikumsversuches führt. Innerhalb einer Messreihe können die Messdaten jedoch bei ordnungsgemäßer Versuchsdurchführung gut mithilfe der Adsorptionstheorien von Langmuir (Abbildung 7, rot) und Freundlich (Abbildung 7, grün) beschrieben werden. Eine Unterscheidung, ob das Färbeverhalten eher einer Adsorption nach Langmuir oder nach Freundlich entspricht, konnte mittels der durchgeführten Experimente nicht getroffen werden.

Prinzipiell ist anzumerken, dass bei geringfügigen Abweichungen in der Qualität der Durchführung schnell unplausible Messergebnisse entstehen können. Ein weiteres Problem besteht in der starken Überlagerung

thermodynamischer und kinetischer Effekte während des Färbeprozesses. Eine klare Trennung zwischen kinetischen und thermodynamischen Effekten würde eine erheblich längere Färbezeit erfordern, was in einem Grundlagenpraktikumsversuch nicht umsetzbar ist. Ein zusätzlicher kinetischer Effekt tritt beim Färben mit Reaktivfarbstoffen aufgrund der Deaktivierung des reaktiven Ankers durch Hydrolyse auf. Ebenso können Fasern, die sich während des Färbeprozesses aus dem Gewebe lösen, das Messergebnis der Extinktion erheblich verfälschen. Dies könnte durch ein Versäumen der Schnittkanten gelöst werden.

Bei der Untersuchung des Salzeffekts auf das Färbeverhalten von Säurefarbstoffen auf Polyamidgewebe wurde beobachtet, dass bei hohen Salzkonzentrationen ein Ausfällen des Farbstoffs auftritt. Eine solche verminderte Löslichkeit des Farbstoffs bietet bei industriellen Färbungen den Vorteil, dass über einen längeren Zeitraum eine konstante Konzentration gelöster Farbstoffmoleküle in der Flotte vorhanden ist, was zu einer besseren Prozesskontrolle und reproduzierbareren Färbeergebnissen führt. Jedoch behindert das Ausfällen des Farbstoffs die Konzentrationsbestimmung mittels UV/Vis-Spektroskopie.

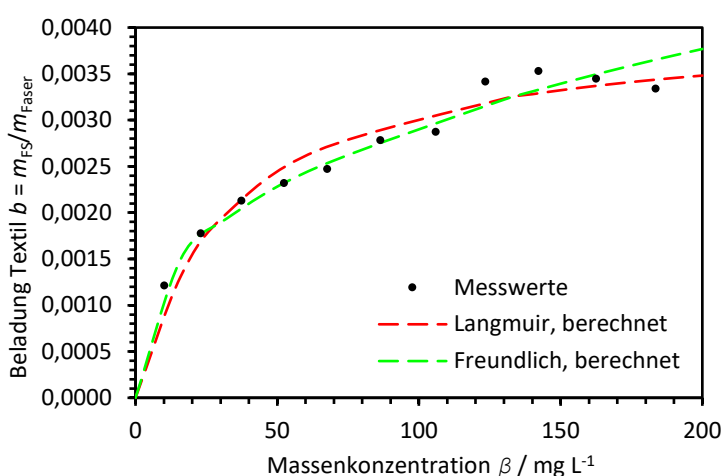


Abbildung 7: Farbstoffbeladung b eines Polyamidgewebes in Abhängigkeit von der Farbstoffkonzentration β der Färbelösung nach dem Färben mit dem Farbstoff Bemacid F-4B (CHT Deutschland GmbH). Die Färbung des Polyamidgewebes erfolgte bei einer Temperatur von 85 °C, einem pH-Wert von 4 und einem Salzgehalt von 3,8 g L⁻¹ für eine Dauer von 45 Minuten. Die Messdaten können gut mithilfe der Adsorptionstheorien von Langmuir (rot) und Freundlich (grün) beschrieben werden. (Bild: Sachsenheimer)

5.3. Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Ergebnisse, wie sie in Abbildung 7 dargestellt sind, wurden innerhalb dieses Projektes nur von äußerst erfahrenen und kompetenten Studierenden erzielt. Bei Versuchen, die mit durchschnittlicher Sorgfalt oder experimentellem Geschick durchgeführt wurden, konnten nur selten quantitativ auswertbaren Messdaten erzielt werden. Darüber hinaus zeigte sich eine beträchtliche Schwankung zwischen identisch durchgeführten Messreihen. Aufgrund dieser Schwierigkeiten ist es nicht sinnvoll, Färbeversuche in das Praktikum Physikalische Chemie einzuführen, da für einen effektiven und frustfreien Lehrbetrieb robuste Versuche erforderlich sind. Die qualitativen Ergebnisse sind jedoch von grundlegender Bedeutung für den Bachelorstudiengang Angewandte Chemie und werden in das geplante neue Wahlpflichtfach „Grundlagen der Produktformulierung“ integriert.

Die für dieses Projekt angeschafften Gerätschaften werden in den aktuell angebotenen Praktika des Bachelorstudiengangs Angewandte Chemie genutzt und tragen somit nachhaltig zur Verbesserung der Ausbildung unserer Bachelorstudierenden bei.

6. Vernetzung und Transfer

Das Projekt „PraLaTex“ hat einen maßgeblichen Beitrag zur Stärkung der Vernetzung zwischen der Hochschule Reutlingen und der Ohm geleistet. Die Zusammenarbeit im Rahmen dieses Projekts hat wichtige Verbindungen zwischen den beiden Institutionen geschaffen. Die gemeinsamen Treffen haben den Dialog und die Zusammenarbeit zwischen den beiden Einrichtungen nachhaltig gefördert.

Für das Jahr 2024 sind weitere gegenseitige Besuche zwischen der Hochschule Reutlingen und der Ohm geplant, um die bestehenden Beziehungen zu vertiefen und neue Kooperationsmöglichkeiten zu erkunden. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Planung zukünftiger gemeinsamer Forschungsprojekte. Durch diese Zusammenarbeit über Disziplingrenzen hinweg können innovative Lösungen für komplexe Herausforderungen im Bereich der Textilchemie und -technik entwickelt werden.

Darüber hinaus werden durch diese Partnerschaft zukünftig weitere interessante Projekte für Studierende außerhalb der Lehrforschung entstehen. Dies könnte beispielsweise die gemeinsame Betreuung von Bachelor- oder Masterarbeiten sowie von Masterprojekten umfassen, die den Studierenden die Möglichkeit bieten, an praxisorientierten Forschungsprojekten teilzunehmen und wertvolle Erfahrungen zu sammeln.

7. Fazit und Ausblick

Die im Rahmen des Projektes „PraLaTex“ durchgeführten Versuche erwiesen sich als ungeeignet für die Einführung in das Grundlagenpraktikum der Physikalischen Chemie, da die quantitativen Messergebnisse einer beträchtlichen Streuung unterliegen. Dennoch werden die qualitativ gewonnenen Erkenntnisse in das geplante neue Wahlpflichtfach „Grundlagen der Produktformulierung“ integriert.

Persönlich ziehe ich ein äußerst positives Fazit bezüglich des forschenden Lernens als Lehrkonzept. Meines Erachtens werden durch das eigenständige Erarbeiten und Bearbeiten von Problemstellungen zentrale Kompetenzen gefördert, die in einer herkömmlichen Hochschulausbildung oft zu kurz kommen. Dazu gehören insbesondere Selbstständigkeit, vernetztes und kritisches Denken, Problemlösungsfähigkeit sowie die Ausbildung von Resilienz bei Misserfolgen. Damit das forschende Lernen jedoch in einem größeren Umfang sinnvoll eingesetzt werden kann, sind meiner Meinung nach Anpassungen bezüglich der räumlichen, personellen und finanziellen Ressourcen erforderlich, um dem zusätzlichen Aufwand und der benötigten Verfügbarkeit von Messgeräten gerecht zu werden.

8. Literatur

- Akbar W, Bahar Basim G (2019) Surface Characterization of Textiles for Optimization of Functional Polymeric Nano-Capsule Attachment. 56:398–406. <https://doi.org/10.3139/113.110645>
- Al-Ghouti MA, Al-Absi RS (2020) Mechanistic understanding of the adsorption and thermodynamic aspects of cationic methylene blue dye onto cellulosic olive stones biomass from wastewater. Scientific Reports 10:15928. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72996-3>
- Bechtold T, Pham T (2023) Textile Chemistry. De Gruyter.
- Ebner G, Schelz D (2013) Textilfärberei und Farbstoffe: Beispiele angewandter organischer Chemie. Springer Berlin Heidelberg.
- Hauser B (2018) Die textile Welt im Fokus: Werkstoffkunde, Textiltechnologie, Warenkunde, Textilveredelung : inkl. digitalem Zusatzpaket. Trauner Verlag.
- Rouette HK (2006) Handbuch Textilveredelung: Ausrüstung, Farbgebung, Beschichtung, Umwelttechnik. Dt. Fachverl.
- Schreiner G (1974) Zur Theorie des Färbens von Polyestersubstraten in Gegenwart von Carriern. Textiltechnik 24:300–302.

Unterstützung der Erforschung und Entwicklung biobasierter Faserverbundkunststoffe unter Einsatz der Dynamisch-mechanischen Analyse (bioFEDA)

Prof. Dr.-Ing. Dominik Söthje
Fakultät Angewandte Chemie

Elisabeth Schamel, M. Sc.
Fakultät Angewandte Chemie

Simon Eichert, B. Sc.
Fakultät Angewandte Chemie

Zusammenfassung:

Das Vorhaben bioFEDA hatte die Unterstützung der Erforschung und Entwicklung von Faserverbundkunststoffen mit biobasierter Harzmatrix zum Ziel. Im Besonderen sollte ein Verständnis des temperaturabhängigen dynamisch-mechanischen Verhaltens gewonnen werden. Das Projekt schließt hinsichtlich der weiterführenden frequenzabhängigen Charakterisierung biobasierter Epoxidharze direkt an die Ziele des derzeit am Lehr- und Forschungsgebiet Makromolekulare Chemie und Kunststofftechnik laufenden Projektes bio-Lufa an.

Eine studentische Hilfskraft hatte durch die aktive Mitgestaltung Kontakt mit dem in den Leitthemen der Hochschule verankerten Bereich der Nachhaltigkeit. Die im Projekt erhaltenen Erkenntnisse finden direkten Einsatz in den Lehrveranstaltungen des Lehr- und Forschungsgebietes.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro + 1.496,66 Euro (Restmittel)
Laufzeit	Januar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Angewandte Chemie / Lehr- und Forschungsgebiet Makromolekulare Chemie und Kunststofftechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Dominik Söthje
Projektteam	Herbert Schlachter, M. Eng.; Elisabeth Schamel, M. Sc.; Florian Bauer, M. Sc.; Simon Eichert, B. Sc.
Kontakt Daten Projektleitung	dominik.soethje@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Das im Rahmen der Förderlinie **Lehrforschung – forschendes Lernen** beantragte Vorhaben **bioFEDA** hat die Unterstützung der Erforschung und Entwicklung von Faserverbundkunststoffen mit biobasierter Epoxidharz-Matrix und insbesondere den Aufbau eines weiterführenden Verständnisses des temperaturabhängigen dynamisch-mechanischen Verhaltens zum Ziel. Das hier beantragte Vorhaben ist direkt mit dem im Juli 2022 im Lehr- und Forschungsgebiet Makromolekulare Chemie und Kunststofftechnik gestarteten Projekt bio-Lufa verzahnt (bio-Lufa: Nachhaltige biobasierte Epoxidharz-Faserverbundkunststoffe für die Luftfahrt, Förderprojekt im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogrammes VI-2 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE)).

Im Vorhaben bio-Lufa sollen erstmalig halogenfreie flammfeste Faserverbundkunststoffe auf Basis regenerativer Rohstoffe für die Luftfahrt, insbesondere den Kabinenbau, erforscht und entwickelt werden. Diese biobasierten Faserverbundkunststoffe sollen zukünftig konventionelle Werkstoffe, hergestellt aus nicht-regenerativen respektive fossilen Quellen, ersetzen. Zudem soll durch chemisches Recycling ein Stoffkreislauf durch Rückgewinnung und Rückführung hochwertiger Sekundärrohstoffe ermöglicht werden.



Abbildung 1: Faserverbundkunststoffe auf Basis regenerativer Ressourcen. Bild: Elisabeth Schamel

Faserverbundkunststoffe sind eine synergetische Kombination ihrer Einzelkomponenten: den kraftaufnehmenden Fasern und der formgebenden und vor Umwelteinflüssen schützenden Kunststoffmatrix. Der Einsatz von Faserverbundkunststoffen lässt sich überwiegend auf ihre guten mechanischen Eigenschaften bei geringer Dichte zurückführen. Durch die damit verbundene Gewichtsreduktion lässt sich eine Energieeinsparung in Form reduzierten Kraftstoffverbrauchs beim Einsatz in Automobilen und Flugzeugen erzielen. Feststoffe zeigen Viskoelastizität; das heißt, sie weisen zum Teil ein elastisches, teilweise aber auch ein viskoses Materialverhalten auf. Der viskose Anteil eines Materials ist ein Maß für die nicht wiedergewinnbare umgewandelte Energie während einer Beanspruchung, zum Beispiel dissipierte Wärme durch Reibung der Molekülketten der Polymere.

Die dynamisch-mechanische Analyse (DMA) dient der Bestimmung der Viskoelastizität von Festkörpern. Dabei wird der zu untersuchende Werkstoff in Abhängigkeit von Temperatur, Zeit und Frequenz einer sinusförmigen, oszillierenden Beanspruchung (kraft- oder deformationsgesteuert) unterworfen und die sich ergebende sinusförmige Kraft- oder Deformationsamplitude gemessen. Aus dem zeitlichen Versatz der Anregung und der Kraft- beziehungsweise Deformationsamplitude des Materials ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen Kraft- und Wegsignal und somit das Verhältnis vom elastischen zum viskosen Anteil des Materials.

Es lassen sich mittels DMA die Glasübergangstemperatur, der Vernetzungsgrad, der elastische und viskose Anteil oder auch das Elastizitätsmodul von Kunststoffen bestimmen.

Die Glasübergangstemperatur ist eine der wichtigsten Kenngrößen von Kunststoffen, da sie angibt, ab welcher Temperatur sich die mechanischen Eigenschaften sprunghaft ändern. Die Glasübergangstemperatur steht daher im direkten Zusammenhang mit der Festigkeit und den Einsatzmöglichkeiten eines Polymers. Unterhalb der Glasübergangstemperatur sind Kunststoffe zäh-hart beziehungsweise spröde, oberhalb werden diese zäh beziehungsweise weich. Die Glasübergangstemperatur ist von der Frequenz respektive der Geschwindigkeit der Beanspruchung abhängig. Die frequenzabhängige Bestimmung ist folglich ein wichtiger Faktor bei der Beurteilung möglicher Einsatzgebiete.

Eine DMA mit Basissoftware ist im Lehr- und Forschungsgebiet Makromolekulare Chemie und Kunststofftechnik bereits vorhanden. Allerdings fehlt die zur im Projekt bioFEDA beabsichtigten weiterführenden Analyse benötigte Softwareerweiterung.

Mit Hilfe der Softwareerweiterung ist nicht nur eine zeit- und temperaturabhängige, sondern vielmehr auch eine frequenzabhängige Messung möglich. Sollen die entwickelten nachhaltigen Materialien nicht nur im Kabinenbau, sondern auch strukturelle Anwendung finden, so ist eine frequenzabhängige Bestimmung charakteristischer Übergangstemperaturen notwendig. Solche Bauteile sind häufig dauerhaften Schwingungsbelastungen bei unterschiedlicher Frequenz ausgesetzt.

Durch die Beschäftigung eines Studierenden hat dieser Kontakt mit dem in den Leitthemen der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) verankerten Bereich der Nachhaltigkeit. Durch die Kooperation mit der DIEHL Aviation Laupheim GmbH kann der Studierende einen Einblick in die industriennahe Forschung und Entwicklung gewinnen und seine Kompetenzen in Kommunikation und Teamfähigkeit ausbauen.

Des Weiteren werden die Messergebnisse als Inhalt für das im Jahr 2022 neu eingeführte Lehrthema *Thermoanalytik* des Modules *Polymerchemie* des Masterstudiengangs der Angewandten Chemie verwendet, um die Frequenzabhängigkeit der Glasübergangstemperatur an realen Messungen aus eigener Forschung zu präsentieren.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Recyclingfähige biobasierte Faserverbundkunststoffe berücksichtigen Ziele der Nachhaltigkeit, wie eine geringere Ökotoxizität und CO₂-Emission. Das Projekt bioFEDA schließt hinsichtlich der weiterführenden thermischen und mechanischen Charakterisierung der biobasierten Epoxidharze direkt an die Ziele des an der Fakultät Angewandte Chemie durchgeführten Projektes bio-Lufa an. Durch Verzahnung des Know-hows der Entwicklung neuer biobasierter Kunststoffe mit einer tiefgehenden werkstofflichen Charakterisierung konnten die geplante Forschungsarbeiten unterstützt und die Interdisziplinarität weiter gestärkt werden.

Zunächst wurde der beschäftigte Studierende in das Thema der frequenzabhängigen DMA eingeführt. Durch die zuvor durchgeführte Bachelorarbeit im Lehr- und Forschungsgebiet Makromolekulare Chemie und Kunststofftechnik war der Studierende bereits mit dem Thema Faserverbundkunststoffe und der Bestimmung von Glasübergangstemperaturen mittels DMA vertraut. Auf diesem Vorwissen wurde aufgebaut und um die Themen Nachhaltigkeit und der neuen Messmethode erweitert.

Anschließend wurden Faserverbundkunststoffplatten aus Referenzmaterialien und biobasierten Materialien hergestellt. Dies brachte einige zu lösende Herausforderungen, unter anderem

- die Berechnung der richtigen Mischungsverhältnisse aus Epoxidmonomer und Härter,
- das Testen geeigneter Lösemittel zum Imprägnieren der Fasern mit einer Lösemittel-Harzmischung,
- die Untersuchung der optimalen Bedingungen zur Vorvernetzung der imprägnierten Fasern,
- die Erprobung der besten Methode zum Aushärten der Proben (Verdichtung in der Presse oder Belastung mit einem Gewicht im Ofen, Bestimmung von Temperatur und Dauer der Härtung, et cetera).

Um die besten Parameter herauszufinden, wurden unter anderem die Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) und DMA herangezogen. Mittels DSC kann eine geeignete Härtungstemperatur ermittelt, anhand von Mehrfachbestimmungen der Glasübergangstemperatur mittels DMA der Aushärtegrad der Harze bestimmt werden.

Nachdem geeignete Parameter für die verschiedenen Mischungen ermittelt wurden, konnten Frequenz-Sweep-Messungen durchgeführt werden. Da diese zeitintensiver als eine einfache Bestimmung der Glasübergangstemperatur sind, wurden diese nur an ausgewählten Proben durchgeführt. Durch eine Aufstockung des Budgets aus Restmitteln war überdies möglich, die Glasübergangstemperatur mittels DSC zu ermitteln und mit den in der DMA erhaltenen Werten zu vergleichen. Messungen mit der DSC bringen den Vorteil der einfachen Probenvorbereitung und der geringen Probengröße, jedoch kann weder eine Frequenzabhängigkeit ermittelt werden, noch ist die Glasübergangstemperatur bei stark vernetzten oder faserverstärkten Kunststoffen sichtbar.

Während der Arbeiten lernte der Studierende die Komplexität des zunächst einfach erscheinenden Themas kennen. Da kleine Abweichungen der Parameter, wie beispielsweise des Mischungsverhältnisses, schon einen großen Einfluss auf das Endergebnis haben können, wurde ein besonders sauberes Arbeiten gefordert. Unterstützt wurde der Studierende von zwei Promovierenden des Lehr- und Forschungsgebiets Makromolekulare Chemie und Kunststofftechnik. Durch Zwischenpräsentationen, interne Besprechungen und ebenso Konferenzen mit dem Projektpartner konnte der Studierende eine wichtige Schlüsselkompetenz, das souveräne Präsentieren, weiter ausbauen und stand im regelmäßigen Kontakt mit der gesamten Arbeitsgruppe.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Da für die Frequenz-Sweep-Messungen nur die vielversprechendsten Harzmischungen ausgewählt wurden, werden im Folgenden auch nur diese beschrieben. Als Referenz wurde das konventionelle Epoxidmonomer Bisphenol-A-diglycidylether (DGEBA) verwendet, welches in über 70 Prozent aller Epoxidharzen eingesetzt wird. Als biobasierte Epoxidharzmonomere wurde Resorcin-diglycidylether (DGE-Resorcin) und Terephthalsäure-diglycidylether (DGE-Terephthalat) genutzt. Beide Monomere weisen einen ähnlichen strukturellen Aufbau wie DGEBA auf (zwei Epoxidgruppen, aromatischer Ring). Dies lässt ähnliche thermomechanische Eigenschaften der Epoxidharze erwarten und sie könnten als ein Ersatz natürlichen Ursprunges des petrochemischen Ausgangsstoffen dienen (siehe Abbildung 2).

Als Härter wurde 4,4'-Diaminodiphenylsulfon (DDS) als petrochemischer aminbasierter Härter und Isophorondiamin (IPDA) als teilweise biobasierter Härter getestet. IPDA wird aktuell mit einem Bio-Anteil von 73 Prozent vertrieben.

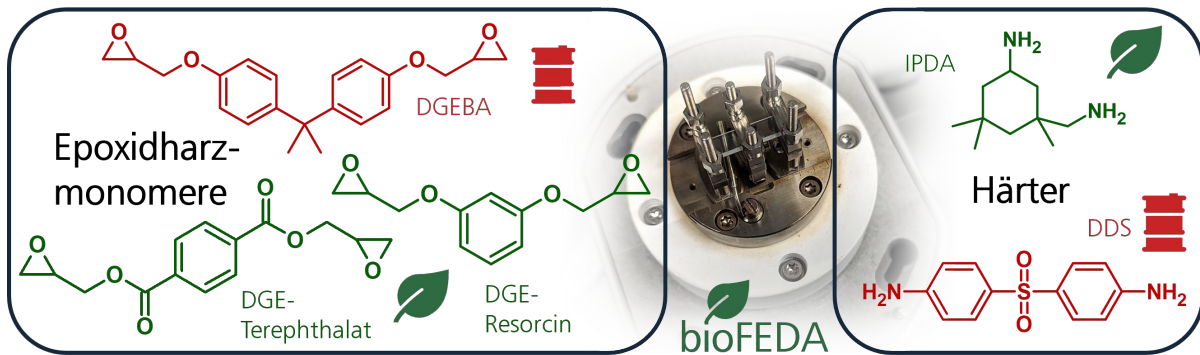


Abbildung 2: Verwendete Epoxidharzmonomere und Härter natürlichen oder petrochemischen Ursprungs zur Herstellung von Faserverbundkunststoffproben. Grafik: Elisabeth Schamel. Bild: Dominik Söthje

In dem mit dem bioFEDA verankerten Projekt bio-Lufa wurde bereits die Glasübergangstemperatur von reinen Epoxidharzen mittels DMA-Messung bestimmt. Darauf wurde nun aufgebaut und faserverstärkte Epoxidharze derselben Mischungen vermessen. Im Vergleich wird deutlich, dass durch eine Faserverstärkung eine Abnahme der Glasübergangstemperatur festzustellen ist. Überraschenderweise war die Abnahme bei der Verwendung des biobasierten Epoxidmonomer DGE-Resorcin in Kombination mit DDS am geringsten, hingegen mit dem konventionellen DGEBA und DDS am höchsten (Abbildung 3).

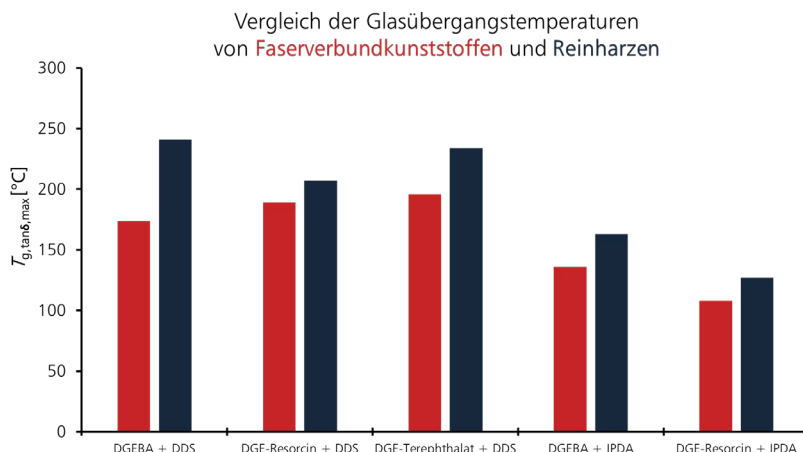


Abbildung 3: Vergleich der Glasübergangstemperaturen von Faserverbundkunststoffen und Reinharzen. Bild: Elisabeth Schamel

Auch bei der Frequenzabhängigkeit der Glasübergangstemperatur konnten Unterschiede beobachtet werden. Gerade bei der Mischung IPDA mit DGE-Resorcin wurde eine sehr starke Frequenzabhängigkeit beobachtet. Durch niedrigere Frequenzen halbierte sich die Glasübergangstemperatur nahezu. Hingegen reduzierte sich die Glasübergangstemperatur bei Mischungen von DGEBA oder DGE-Terephthalat mit dem petrochemischen aminbasierten Härter DDS mit sinkender Frequenz lediglich um circa 10 Prozent. Ein allgemeingültiger Zusammenhang zwischen Faserverstärkung beziehungsweise Ursprung des Monomers und Frequenzabhängigkeit konnte noch nicht gefunden werden, ist aber Ziel von zukünftigen Forschungsaktivitäten.

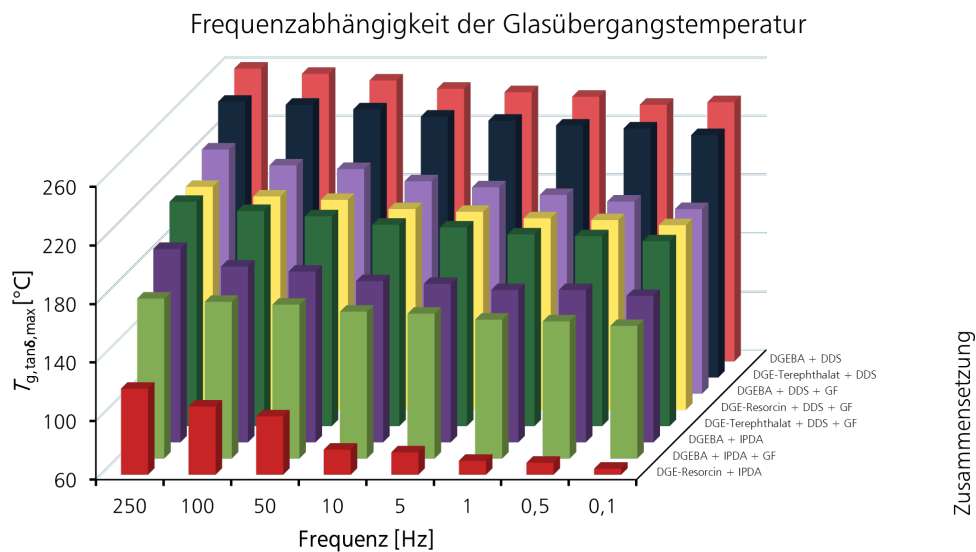


Abbildung 4: Frequenzabhängigkeit der Glasübergangstemperatur von Reinharzen und Faserverbundkunststoffen. Bild: Elisabeth Schamel

5. Vernetzung und Transfer

Im Vorhaben bio-Lufa werden biobasierte Faserverbundkunststoffe speziell für die Anwendung im Kabinenbau entwickelt. Faserverstärkte Epoxidharze werden jedoch in vielen weiteren Einsatzgebieten benötigt, beispielsweise in den Rotorblättern von Windkraftanlagen oder in Sportgeräten. Hier gelten andere Anforderungen, auch in Hinblick auf die während der Nutzung auftretenden Frequenzen. Gerade in Rotorblättern treten dauerhafte Schwingungsbelastungen unterschiedlicher Frequenzen auf. Durch die Softwareerweiterung besteht nun die Möglichkeit, bereits bei der Entwicklung biobasierter Harze Untersuchungen in Hinblick auf die Frequenzabhängigkeit der Glasübergangstemperatur einzubeziehen. Ein breiteres Anwendungsfeld ermöglicht zudem das Zusammenarbeiten mit weiteren industriellen Partnerinnen und Partnern.

6. Fazit und Ausblick

Durch die Arbeiten im bioFEDA-Projekt wurden nicht nur die Promovierenden des bio-Lufa-Projektes unterstützt, es konnte zudem die Wichtigkeit der frequenzabhängigen Bestimmung der Glasübergangstemperatur gezeigt werden. Dies schafft Möglichkeiten, während der Entwicklung neuer Harzsysteme weitere zukünftige Anwendungsgebiete zu erschließen. Durch die Softwareerweiterung wird die DMA zu einem unverzichtbaren Analysegerät, gerade im Hinblick auf die Bestimmung von Eigenschaften von Faserverbundkunststoffen. Alternative Bestimmungen der Glasübergangstemperatur, wie die Bestimmung mittels DSC, sind nur von begrenztem Nutzen. Von den Erkenntnissen werden nicht nur Beteiligte des bio-Lufa-Projektes oder Mitarbeitende des Lehr- und Forschungsgebiets profitieren, denn den Studierenden kann nun industriennahe und anwendungsorientierte Forschung in Vorlesungen und Praktika nahegebracht werden.

Forschendes Lernen am Studienanfang

Förderung der Forschungskompetenz im Modul

„Psychologische Grundlagen“

Prof. Dr. Christina Storck

Fakultät Sozialwissenschaften

Prof. Dr. Marius Raab

Fakultät Sozialwissenschaften

Ada Feldbauer

Fakultät Sozialwissenschaften

Prof. Dr. Johannes Bach

Fakultät Sozialwissenschaften

Aura Violetta Franco Arratia

Fakultät Sozialwissenschaften

Lydia Patrick

Fakultät Sozialwissenschaften

Kira-Liane Poitzsch

Fakultät Sozialwissenschaften

Nadine Rampp

Fakultät Sozialwissenschaften

Zusammenfassung:

Das forschende Lernen wurde in das Studium der sozialen Arbeit an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) integriert, um eine „epistemische Neugierde“ auf das Studienfach zu wecken und die Vernetzung in einer frühen Studienphase zu fördern. Studierende im ersten und zweiten Semester konnten in klar umgrenzten Forschungsprojekten im Modul „Psychologische Grundlagen“ aus verschiedenen methodischen Zugängen auswählen, um interdisziplinäre Forschungskontexte mit engem Anwendungsbezug zur sozialen Arbeit aktiv kennenzulernen. Als Ergänzung zu Lehrvorträgen wurde die Gruppenarbeit als didaktische Methode in Form forschenden Lernens ausgestaltet. Unter tutorieller Anleitung und im Kontakt mit den Lehrenden haben die Studierenden ein Thema mit Vorlesungsbezug aktiv aus wissenschaftlicher Perspektive bearbeitet, unter Einbeziehung aktueller Forschungsliteratur und, wenn möglich, mit kleinen empirischen Erhebungen. Gesichert wurden die Ergebnisse auf Postern nach wissenschaftlichen Standards. Im Rahmen von Posterkonferenzen präsentierten 31 Studierende im Sommersemester 2023 sowie 99 Studierende im Wintersemester 2023/2024 ihre Ergebnisse untereinander und für andere Studierende. Das Lehrforschungs-Angebot wurde in der schriftlichen Abschlussevaluation durchweg als erfolgreich und lohnenswert beurteilt.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.920 Euro
Laufzeit	Februar bis Dezember 2023
Fakultät/Einrichtung	Sozialwissenschaften
Projektleitung	Prof. Dr. Christina Storck
Projektteam	Prof. Dr. Marius Raab, Prof. Dr. Johannes Bach, Prof. Dr. Christina Storck
Kontakt Daten Projektleitung	christina.storck@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Verknüpfung von Lehre und Forschung an der Fakultät Sozialwissenschaften der Ohm ist in den letzten Jahren stetig gewachsen. Angebotsformate zum forschenden Lernen sind jedoch überwiegend in fortgeschrittenen Studienphasen zu finden, da diese in der Regel forschungsmethodische Grundkenntnisse voraussetzen. Gleichzeitig erscheint es aus motivationspsychologischer Perspektive lohnenswert, forschendes Lernen trotz bestimmter Einschränkungen und Unwägbarkeiten von Anfang an in das Studium zu integrieren. Fragen als Ausgangspunkt für wissenschaftliche Prozesse weckt eine „epistemische Neugierde“ auf das Studienfach und erweist sich als günstige Voraussetzung für den Studienerfolg und das fachliche Interesse von Studierenden (Barnat & Jänsch, 2019).

Das vorliegende Vorhaben setzt hier an mit dem Ziel, bereits am Studienanfang Studierende auf die wissenschaftliche Bearbeitung von Fragestellungen neugierig zu machen, ihnen die Möglichkeit zu geben, sich in kleineren, klar umgrenzten Forschungsprojekten zu erproben und dabei grundlegende Forschungskompetenzen zu erwerben, die sie in späteren Studienphasen vertiefen.

Die Zielsetzung des Forschungsprojekts besteht darin,

- Studierenden bereits am Studienanfang die Bearbeitung von Forschungsfragen zu ermöglichen,
- sie dabei persönlich zu vernetzen und den diskursiven Wissenserwerb zu fördern,
- im Rahmen eines Pflichtmoduls Interesse für angewandte Forschung sozialer Arbeit zu wecken sowie
- Studierende an eigenständiges wissenschaftliches Arbeiten heranzuführen und sie im Aufbau einer forschenden Haltung zu unterstützen.

Im Bachelorstudiengang Soziale Arbeit erscheint das Modul „Psychologische Grundlagen“ (Modul 1.7) hierfür geeignet. Psychologie als Wissenschaft ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl an Gegenstandsbereichen und Forschungsansätzen (Prinz & Müsseler, 2017). Der breite Gegenstandsbereich bedient sich traditionell verschiedener methodischer Zugänge aus dem Repertoire der Geistes- und Naturwissenschaften und ist vielfach interdisziplinär ausgerichtet. Studierende können im Modul 1.7 in die Forschungsaktivitäten der beteiligten Dozentinnen und Dozenten eingeführt werden (siehe unten) und dabei interdisziplinäre Forschungskontexte mit engem Anwendungsbezug zur sozialen Arbeit kennenlernen. Darüber hinaus ergeben sich auch Möglichkeiten zur Vernetzung in der Region, indem Studierende für ihre Forschungsfragen Kontakte zu Fachkräften oder Klientinnen und Klienten sozialer Arbeit aufbauen und somit bereits zu Beginn ihres Studiums die regionalen Angebotsstrukturen erkunden. In der Lehrveranstaltung wird hierfür einführend der Unterschied von wissenschaftlicher Psychologie und Alltagspsychologie verdeutlicht und es werden Grundlagen quantitativer und qualitativer Forschungsmethoden vermittelt. Bisher wurden diese Inhalte didaktisch in Form von Vorträgen und Gruppenarbeiten umgesetzt. Ziel des Lehrforschungsprojekts ist es, diese bereits im Modul verankerten Inhalte zu stärken und mit Methoden des forschenden Lernens auszugestalten. Der unmittelbare Bezug von Inhalten aus der allgemeinen Sozial- und Entwicklungspsychologie zu ganz aktuellen Themen, auch der Lebensrealität der Studierenden, bietet die Chance, den Mehrwert einer wissenschaftlichen Herangehensweise zur Orientierung im beruflichen und privaten Alltag zu diskutieren. COVID-19 und damit verbunden Angst vor Krankheit, die Folgen von Isolation, Krieg und Migration, Armut, Angst, Verschwörungstheorien – die akademische Psychologie kann hier Anregungen zur Bewältigung geben, liefert aber keine fertigen Rezepte und muss kritisch reflektiert werden. Die Vermittlung von Grundlagen in Form von Lehrvorträgen bleibt weiterhin ein fester Bestandteil der Lehrveranstaltung. Darüber hinaus soll durch das Forschungsprojekt die Gruppenarbeit als didaktische Methode ausgebaut, in Form forschenden Lernens ausgestaltet und langfristig im Modul implementiert werden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Ablauf des Projekts: Im Sommersemester 2023 wurde das Konzept im Modul „Psychologische Grundlagen“ in einer „Pilotphase“ erprobt und angepasst, so dass es im Wintersemester 2023/2024 in der modifizierten Form als ein fester Bestandteil des Moduls eingeführt werden konnte.

Zu Beginn des Sommersemesters 2023 wurden von den Lehrenden exemplarisch Forschungsfragen definiert, die unter anderem aus der eigenen aktuellen Forschungsarbeit stammten, und bereits Arbeitsaufträge für die Projektgruppen skizziert, die eine Bearbeitung der Forschungsfragen im Rahmen des Workloads ermöglichen. Beispielsweise konnte der Arbeitsauftrag darin bestehen,

- eine Datenbankrecherche zu einer Fragestellung durchzuführen und die gefundenen Forschungsergebnisse kritisch zu rezipieren,
- eine Hypothese zu überprüfen, zu der Studierende bereits Vorannahmen haben oder
- eine systematische Beobachtung im Feld beziehungsweise eine Befragung durchzuführen und auszuwerten.

Um „ihre“ Forschungsfrage in Kleingruppen semesterbegleitend zu bearbeiten, leiteten Studierende eigene Teilfragen ab, sichteten relevante Literatur, überlegten ein passendes Forschungsdesign und werteten die Ergebnisse aus. Hierbei wurden die Studierenden in der Entwicklungsphase im Sommersemester 2023 von Tutorinnen unterstützt und beraten sowie vom Projektteam fachlich und methodisch unterstützt. Sie wurden dazu angeleitet, ihre Ergebnisse interessant und nachvollziehbar vorzustellen. Ein besonderer Fokus lag auf die Planung einer gemeinsamen Abschlussveranstaltung, in der die Studierenden ihre Ergebnisse der gesamten Gruppe in einer Poster-Session mit Kurzvorträgen präsentierten.

Zum Projektstart im Sommersemester 2023 wurde Informationsmaterial für die Studierenden entwickelt und anschließend im Moodle-Kursraum zur Verfügung gestellt. Hierzu gehörten Themenvorschläge für die Studierenden, ein Leitfaden zum Projektverlauf, der die Ziele, den Ablauf und die Prüfungsbeziehungsweise Bonusleistungen des Projekts erläuterte, sowie eine Anleitung zur Literaturrecherche. Das Projekt wurde von den Tutorinnen in der zweiten Lehrveranstaltung (jeweils in beiden Vorlesungsgruppen am 26.04.2023 und 28.04.2023) vorgestellt. Die Bildung von Kleingruppen (zwei bis vier Studierende) und die Auswahl der Themen wurde in Moodle durch entsprechende Tools unterstützt. Dieser Prozess erstreckte sich über den Zeitraum einer Woche, um den Studierenden ausreichend Zeit zu geben sich zu organisieren. Im Sommersemester 2023 nahmen 31 Studierende am Projekt teil. Die Zuständigkeiten für die Gruppen wurden unter den Tutorinnen gleichmäßig verteilt, so dass jede Projektgruppe sich bei organisatorischen oder inhaltlichen Fragen an „ihre“ Tutorin wenden konnte. Die Tutorinnen richteten nach Bedarf offene Sprechstunden ein und trafen sich über Zoom oder in Präsenz mit den Kleingruppen, um den Forschungsprozess zu unterstützen. Sie standen zudem über den gesamten Projektverlauf hinweg in Kontakt mit den Dozentinnen und Dozenten des Moduls, um spezifische fachliche Fragen zu klären. Nach dieser Einteilungsphase entwickelten die Studierenden einen Forschungsplan mit der Präzisierung der Fragestellung, der Auswahl geeigneter Durchführungs- und Auswertungsmethoden, der Aufteilung der Arbeiten in der Kleingruppe sowie einem Zeitplan.

Von den acht Kleingruppen wurden zwei Befragungen (Online-Befragungen) sowie sechs systematische Literaturrecherchen durchgeführt. Fragestellungen waren beispielsweise Hilfsbereitschaft in der Gesellschaft aus der Perspektive unterschiedlicher Generationen, Resilienzförderung bei Kindern von drei bis sechs Jahren, Auswirkungen von psychischen Erkrankungen der Eltern auf die Entwicklung von Kindern oder Mechanismen der Entstehung und der psychologischen Beeinflussung von/durch Verschwörungstheorien.

Die Präsentation der Forschungsprojekte fand am 28.06.2023 in Form einer Poster-Session mit Kurzvorträgen statt. Jede Projektgruppe gestaltete ein oder mehrere Poster, die anschließend an Pinnwänden angebracht wurden. Dieses Präsentationsformat ermöglichte es allen Teilnehmenden, von einer Pinnwand zu nächsten zu wechseln und dabei zu jedem Projekt einen Kurzvortrag im Umfang von circa zehn Minuten zu hören. Die Poster visualisierten die Forschungsfragen, Methoden, Ergebnisse und Schlussfolgerungen jedes Projekts. Die Studierenden sowie die Dozentinnen und Dozenten hatten die Möglichkeit, im Rahmen der Poster-Session mit den Projektgruppen in einen Dialog zu treten. Die offene Gestaltung der Veranstaltung bot den Studierenden zudem die Möglichkeit, sich untereinander zu vernetzen und sich über gemeinsame Interessen auszutauschen. Insgesamt gab die Veranstaltung einen informativen Einblick in verschiedene Forschungsansätze und Ergebnisse aus dem Bereich der Psychologie.

Lehrkontext: Es wurden Spielräume für forschendes Lernen in einer Lehrveranstaltung eröffnet, die traditionell aufgrund der Gruppengröße (zweizügig mit je 90 Studierenden) und der Vermittlung von Grundlagen bislang überwiegend Vorlesungscharakter hatte. Die vermittelten Grundlageninhalte wurden durch Beiträge aus der eigenen Forschung der Professorinnen und Professoren ergänzt und vertieft (zum Beispiel Prof. Dr. Bach: Trainingsprogramm zur Aggressionsverminderung bei Jugendlichen; Prof. Dr. Storck: Resilienzförderung (aktuelles Forschungsprojekt ReSi+), Gesundheitsförderung bei Kindern und Jugendlichen, Gewaltprävention; Dr. Marius Raab: Verschwörungstheorien, Gamification, Digitalisierung). Dadurch, dass die Dozentinnen und Dozenten sicherstellten, dass die Forschungsfragen für Studierende der ersten Studienphase handhabbar waren, konnten sich Studierende bereits am Studienanfang im Forschen als wirksam erfahren, mit dem „Handwerkszeug“ vertraut werden und dabei nicht nur kognitive,

sondern auch emotional-motivationale und soziale Kompetenzen erweitern (vergleiche Sonntag et al., 2016). Dies kann gerade in der Phase des Übergangs von der Schule zur Hochschule eine Brücke darstellen, um sich mit den Anforderungen des Studiums vertraut zu machen. Die Vielfalt der in der Großgruppe bearbeiteten Fragestellungen und angewandten Methoden ermöglichte es den Studierenden, über das Forschungsprojekt ihrer Gruppe hinaus von den Erfahrungen der anderen Studierenden zu profitieren. Sie erlebten die Hochschule als einen Ort, an dem Forschung und Lehre eng miteinander verzahnt sind und an dem vielfältige interdisziplinäre und praxisbezogene Forschungsaktivitäten stattfinden, an denen sie von Anfang an partizipieren können. Die Bearbeitung der Forschungsfragen floss im Rahmen der im § 20 der Allgemeinen Prüfungsordnung (APO) definierten Bonusleistungen in die Modulnote ein, was fehlertolerantes Lernen ermöglichte. Somit konnten die Studierende Forschung mit all den innewohnenden Unwägbarkeiten kennenlernen und konstruktiv aus Fehlern im eigenen Forschungsprozess lernen, ohne negative Auswirkungen auf die Gesamtnote zu befürchten.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Am 28.06.2023 wurde das Projekt evaluiert. Die 31 Teilnehmenden wurden vor der Durchführung der Abschlusspräsentationen schriftlich befragt. Der Fragebogen umfasste sowohl offene Fragen als auch Skalierungsfragen (Bewertungsskala von 1 („sehr gut“) bis 5 („sehr schlecht“)), um Feedback zu verschiedenen Aspekten des Projekts einzuholen. Insgesamt füllten 30 Studierende den Fragebogen aus. Der Erfolg des Projekts wurde von 7 der 30 teilnehmenden Studierenden mit „sehr gut“, von 20 Studierenden mit „gut“ und von 3 Studierenden mit „befriedigend“ bewertet (vergleiche Abbildung 1).

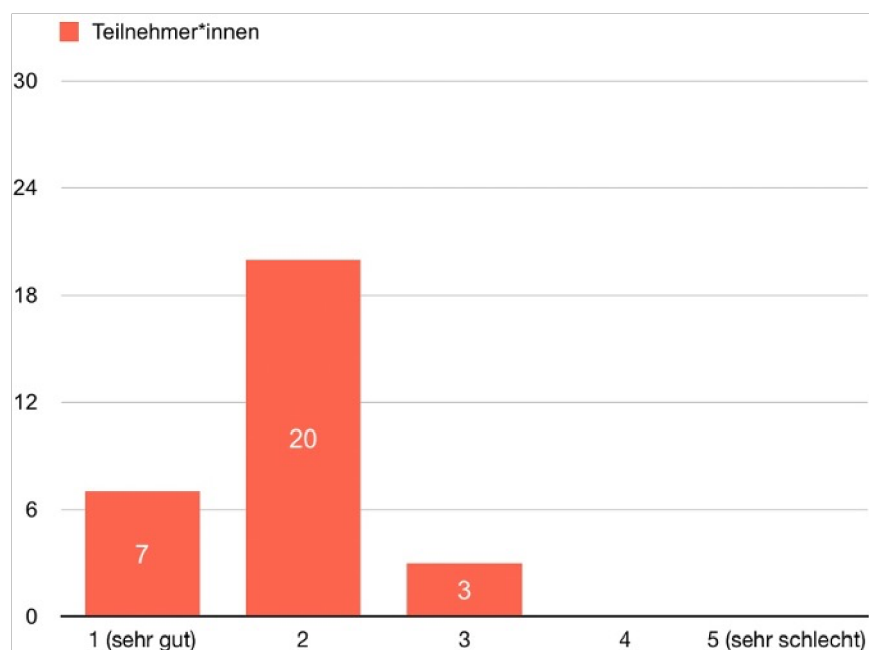


Abbildung 1: „Hat sich für Dich die Teilnahme gelohnt?“; Antworthäufigkeiten (n = 30) auf einer fünfstufigen Skala. Bild: Eigene Darstellung

Alle Teilnehmenden gaben an, neue Fähigkeiten und Kenntnisse erworben zu haben. Am häufigsten wurde die Fähigkeit zur Zusammenarbeit in Gruppen und damit einhergehend Kompromissbereitschaft sowie Konfliktlösungsstrategien genannt. Darüber hinaus konnten die Studierenden durch die vertiefte Auseinandersetzung mit dem Projektthema das Wissen und Verständnis in diesem Fachbereich erweitern und bestehende Vorannahmen überprüfen beziehungsweise korrigieren. Ein Großteil der Teilnehmenden gab zudem an, dass sie im Laufe des Projekts ihre Kenntnisse zur Literaturrecherche sowie zur Gestaltung

eines übersichtlichen Plakats verbessert haben. Zusätzlich erwähnten zwei Personen Erweiterungen ihrer Englischkenntnisse durch die Auseinandersetzung mit englischsprachiger Literatur.

Mit ihrem Projektergebnis zeigten sich die Studierenden zufrieden: Elf der 30 Teilnehmenden vergaben auf der fünfstufigen Skala von 1 „sehr gut“ bis 5 „schlecht“ eine 1. Weitere 16 bewerteten ihr Projektergebnis mit einer 2, eine Person mit einer 3 (vergleiche Abbildung 2). Alle Teilnehmenden gaben an, dass sich für sie die Teilnahme gelohnt habe (sechzehnmal „ja, sehr“, vierzehnmal „sehr“; fünfstufige Skala von 1 „ja, sehr“ bis 5 „nein, überhaupt nicht“; vergleiche Abbildung 3).

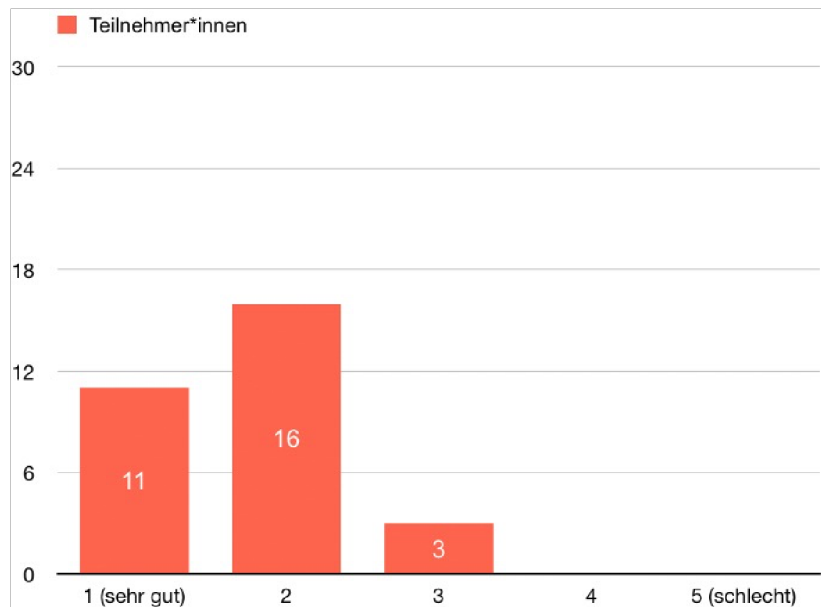


Abbildung 2: „Wie beurteilst Du das Ergebnis Deiner Projektgruppe?“; Antworthäufigkeiten (n = 30) auf einer fünfstufigen Skala. Bild: Eigene Darstellung

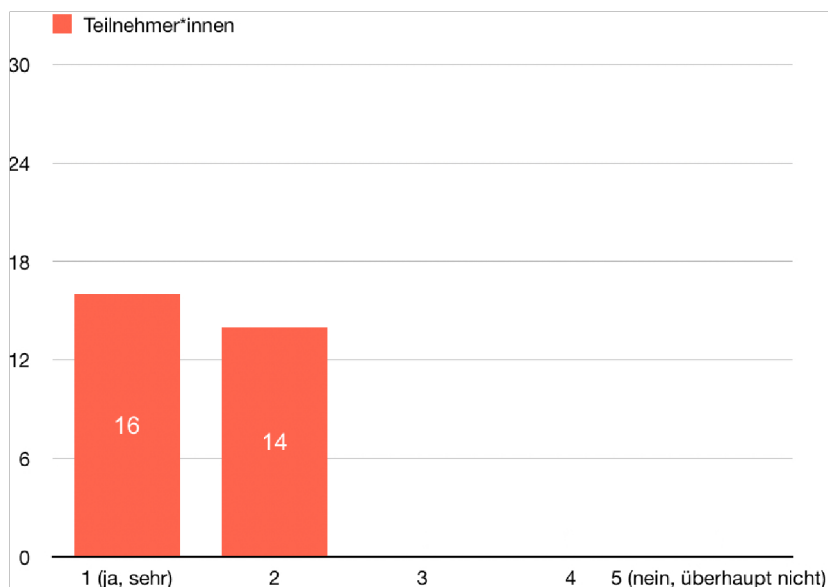


Abbildung 3: „Hat sich für Dich die Teilnahme gelohnt?“; Antworthäufigkeiten (n = 30) auf einer fünfstufigen Skala. Bild: Eigene Darstellung

Die Kommunikation mit den Tutorinnen hat aus Studierendensicht überwiegend gut funktioniert. Im Mittel wurde die Kommunikation anhand einer fünfstufigen Skala von 1 („sehr gut“) bis 5 („schlecht“) mit 1,7 bewertet. Die Bewertung der Organisation des Projekts lag ebenfalls im positiven Bereich (Mittelwert: 2,2).

Probleme und Verbesserungsvorschläge aus Sicht der teilnehmenden Studierenden:

Zweiundzwanzig der 30 teilnehmenden Studierenden nannten Probleme bei der Durchführung des Projekts (Mehrfachnennungen waren möglich). Am häufigsten wurde Zeitmangel genannt (14 Nennungen), gefolgt von Schwierigkeiten bei der Ausformulierung einer Fragestellung (fünf Nennungen) und „fehlende Informationen“ (vier Nennungen). Eine Person gab an, dass die Kommunikation innerhalb der Projektgruppe nicht funktioniert habe.

Die Studierenden hatten die Möglichkeit, Vorschläge für die Weiterführung des Projekts einzubringen. Die genannten Verbesserungsvorschläge bezogen sich auf 1) die Rahmenbedingungen des Projekts, 2) die zeitlichen Vorgaben, 3) die Betreuung durch Tutorinnen und Lehrenden.

Am häufigsten wünschten sich Studierende klare Vorgaben bezüglich des Umfangs der Projektarbeit. Sie kritisierten, dass sie nicht ausreichend über den Arbeitsaufwand des Projekts informiert wurden und dadurch zeitlich unter Druck gerieten. Auch der Wunsch nach mehr Zeit für die Bearbeitung des Projekts wurde mehrfach geäußert. Die Studierenden schlugen vor, flexible Terminoptionen für die Abschlusspräsentationen anzubieten sowie die Möglichkeit zu haben, die Projektergebnisse über Zoom zu präsentieren. Für die fachliche und methodische Betreuung der Studierendengruppen wurde angeregt, regelmäßige Sprechstundentermine zu festgelegten Zeitpunkten einzurichten.

Die Evaluation aus dem ersten Durchgang im Sommersemester 2023 lieferte wertvolle Anhaltspunkte für die Überarbeitung des Konzepts. Für das darauffolgende Wintersemester wurden folgende Anpassungen vorgenommen:

- Die Studierenden wurden bereits in der ersten Lehrveranstaltung über das Konzept des forschenden Lernens informiert und konnten sich über die Moodle-Plattform über organisatorische Aspekte informieren. Durch den frühzeitigen Start im Semester konnte der Zeitdruck verringert werden.
- Den Studierenden wurde zu Beginn des Semesters Informationsmaterial für die Projektarbeit bereitgestellt. Die Rahmenbedingungen des Projekts wurden von Anfang an klar kommuniziert und Informationen im Moodle-Kursraum hinterlegt.
- Im Wintersemester wurde die Betreuung der Kleingruppen ausschließlich von den Dozentinnen und Dozenten vorgenommen. Die Studierenden hatten die Möglichkeit in den Lehrveranstaltungsblöcken in Kontakt zu treten, Besprechungstermine zu vereinbaren oder Fragen zu stellen.
- Als Anregung zur Themenfindung wurden Themenbereiche vorgegeben, jedoch betont, dass Studierende sich eigene Themen und Fragestellungen überlegen können. Dadurch sollte das Interesse für die Projektarbeit gestärkt werden, so dass sich mehr Studierende am forschenden Lernen beteiligen.

Die Beteiligung der Studierenden konnte im zweiten Durchgang deutlich gesteigert werden. Während im Sommersemester 2023 37 Prozent der Studierenden (31 von 83 Prüfungsteilnehmenden) an dem Projekt teilnahmen und von der Bonusleistung profitieren konnten, waren es im Wintersemester 2023/2024 61 Prozent (99 von 161 Prüfungsteilnehmenden).

5. Vernetzung und Transfer

Zusammenfassend lassen sich die mit dem Projekt „Forschendes Lernen am Studienanfang“ erzielten Lernergebnisse wie folgt beschreiben:

- Durch aktives, forschendes Lernen in einem Grundlagenmodul zum Studienbeginn konnten vielfältige Kompetenzen bei den Studierenden gefördert werden, die für das weitere Studium hilfreich sind (kognitiv, emotional-motivational und sozial).
- Durch die Unterstützung einer forschenden Haltung bei den Studierenden sowie durch selbständiges und interessengeleitetes Lernen konnten Kompetenzen bei den Studierenden gefördert werden, auf die sie im weiteren Studienverlauf aufbauen können.
- Studierende konnten durch die Projektarbeit Einblicke in den interdisziplinären und angewandten Charakter der Forschungsaktivitäten an der Ohm erhalten.
- Die semesterbegleitende Zusammenarbeit in Arbeitsgruppen konnte dazu beitragen, dass sich die Studierenden bereits zu Beginn ihres Studiums untereinander vernetzen und kooperative und kommunikative Fähigkeiten in der Teamarbeit schulen.
- Der persönliche Kontakt zwischen Dozierenden und Studierenden wurde schon in einer frühen Studienphase gefördert.

6. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die grundlegenden Ziele des Projekts „Forschendes Lernen am Studienanfang“ erreicht wurden. Durch die Bearbeitung eigener Forschungsfragen konnten die Studierenden Erfahrungen mit der Erstellung einer Umfrage oder der kritischen Auseinandersetzung mit bereits bestehenden Forschungsergebnissen sammeln. Eine Teilnahme bietet die Möglichkeit, erste Schritte in der angewandten Forschung zu machen und sich zudem persönlich zu vernetzen und auszutauschen. Die überwiegend positiven Rückmeldungen in der Evaluation (siehe Abschnitt 4) bestätigen das Erreichen der Projektziele aus Studierendensicht. Alle Teilnehmenden konnten durch die Projektarbeit ihre fachlichen, persönlichen und sozialen Kompetenzen erweitern.

Das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Konzept zum forschenden Lernen am Studienanfang wird zukünftig fest im Modul „Psychologische Grundlagen“ verankert, kontinuierlich evaluiert und fortgeschrieben, so dass Studierende im Bachelorstudiengang Soziale Arbeit von Beginn an die Ohm als einen Ort der Wissenschaft und des lebendigen Austauschs erfahren.

7. Literatur

- Barnat & Jänsch (2019). Die Bedeutung epistemischer Neugier. In G. Reinmann, E. Lübcke & A. Heudorfer (Herausgeber). *Forschendes Lernen in der Studieneingangsphase. Empirische Befunde, Fallbeispiele und individuelle Perspektiven* (S. 93-109). Wiesbaden: Springer VS.
- Prinz, W., Müsseler, J. & Rieger, M. (2017). Einleitung: Psychologie als Wissenschaft. In J. Müsseler & M. Rieger (Herausgeber). *Allgemeine Psychologie* (3. Aufl.) (S. 1-12). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Sonntag, M., Rueß, J., Ebert, C., Friederici, K. & Deicke, W. (2016). *Forschendes Lernen im Seminar. Ein Leitfaden für Lehrende*. Erschienen in der Reihe *Neue Lehre – neues Lernen*. Bologna.Lab. Herausgegeben von der Humboldt-Universität zu Berlin. Verfügbar unter: <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/22764> (16.10.2022).

DRUMACTOR – Auslegung, Aufbau und kreative Anwendung mechatronischer Aktoren für perkussive Instrumente

Prof. Dr.(-Ing.) Alexander von Hoffmann

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Tom, Schmid, M. Eng.

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Prof. Dr. Sebastian Trump

Künstliche Kreativität und musikalische Interaktion, Hochschule für Musik Nürnberg

Zusammenfassung:

Anlässlich der Feierlichkeiten zum Jubiläumsjahr hatte im Sommer 2023 die Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) den Pop-up Store „Ohm City“ im Augustinerhof eingerichtet. Dieser Pop-up Store wurde unter anderem mit Ergebnissen aus diesem Lehrforschungsprojekt mit der in das Nürnberg Digital Festival 2023 eingebundenen Veranstaltung „Pegnitzwaves“ am 4. Juli 2023 bespielt. Die Veranstaltung war ausverkauft. Studierende und Mitarbeitende der Ohm und Hochschule für Musik haben den Abend technisch und musikalisch gestaltet.

Für die „Robopercussion Performance“ wurde mit mechatronischen Komponenten ein Hardwareaufbau umgesetzt, mit dem die einzelnen Bereiche einer sogenannten Handpan durch Schlagroboter computergesteuert gespielt werden können. Dabei konnte dankenswerterweise auf Arbeitsergebnissen des Projektes „Beat’n’Tech“ aufgebaut werden. Unser besonderer Dank gilt Prof. Dr. Alexander Monz und Fabio May, beide Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik der Ohm, für die großartige Unterstützung beim Aufbau der Schlagroboter. Durch kleinere Modifikationen am ursprünglichen Hardwareaufbau konnten die Betriebsgeräusche, die sich dem eigentlich erzeugten Klang überlagern und bei einer Liveaufführung nachteilig sind, deutlich reduziert werden.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	März bis September 2023
Fakultät/Einrichtung	Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik / Hochschule für Musik Nürnberg
Projektleitung	Prof. Dr.(-Ing.) Alexander von Hoffmann, Prof. Dr. Sebastian Trump
Projektteam	Tom Schmid, M. Eng.; Fabio May, M. Sc.; Cosmo Strattner, SHK; Garri Steba, M. Eng. (unterstützend)
Kontakt- daten Projektleitung	alexander.vonhoffmann@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Im Rahmen der im fünften Studiensemester zu absolvierenden Projektarbeit erfolgte eine hochschulinterne Ausschreibung zum Bilden der geplanten Projektteams. Hier konnte leider nicht die geplante Anzahl an Studierenden gewonnen werden, weshalb der Arbeitsplan angepasst werden musste. Hieraus darf jedoch kein Rückschluss auf die Relevanz/Beliebtheit des Themas gezogen werden, da im darauffolgenden Wintersemester ausreichend Anfragen eingingen, welche leider auf Grund der begrenzten Projektlaufzeit nicht mehr berücksichtigt werden konnten. Begleitend zum Projektseminar sollen mit dem Projekt: „DRUMACTOR - Konzeption, Aufbau und kreative Anwendung mechatronischer Aktoren für perkussive Instrumente“ Methoden und Kompetenzen im interdisziplinären Projektumfeld gefördert werden.

Ziel ist es, folgende Kompetenzen zu fördern:

- Systematisches Arbeiten.
- Interdisziplinäre Projekt-Kommunikation.
- Zeitplanung.
- Methodik anwenden.

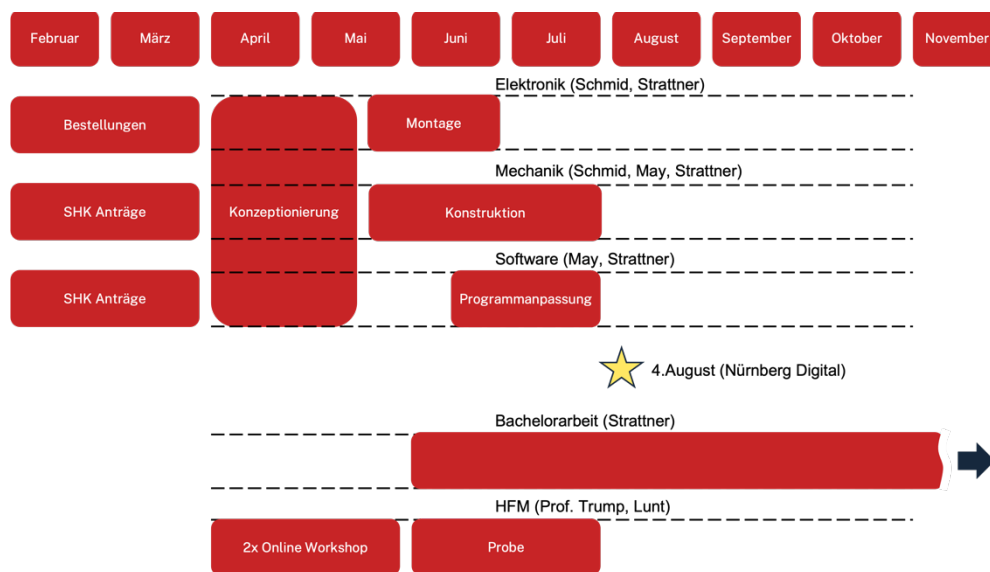


Abbildung 1: Projektstruktur. Bild: Tom Schmid

Für die Bearbeitung des Projektes wurde ein Studierender (Cosmo Strattner) akquiriert. Aus diesem Grund wurde das Projekt umstrukturiert (Abbildung 1) und einige Arbeitspakete, die ursprünglich für die Bearbeitung durch studentische Projektteams geplant waren, wurden vom wissenschaftlichen Mitarbeiter (Tom Schmid) übernommen. Zusätzlich wirkte Fabio May aus dem Projektteam „Beat’n’Tech“, von der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, als studentische Hilfskraft mit.

Aufbauend auf der Vorarbeit von Prof. Dr. Monz und den Arbeiten der inzwischen abgeschlossenen LEONARDO-Projekte „Beat’n’Tech“ [1] und „Preserving Sounds of Rare Musical Instruments“ ([2], [3]) wurden Aktuatoren entwickelt beziehungsweise eingesetzt, um Schlag- und Tasteninstrumente elektronisch gesteuert mit definierter und reproduzierbarer Anschlagsstärke zu spielen. Bisherige Aktoren haben deutlich hörbare Betriebsgeräusche, die den eigentlich erzeugten Klang überlagern, was bei Live-Auftritten und Audio-Aufnahmen nachteilig ist. Dies könnte zum Beispiel durch eine geeignete akustische Dämmung (Gehäuse) oder durch eine Analyse und Optimierung der Komponenten des bisherigen Aktorkonzeptes verbessert werden. Dies erfordert dann auch Anpassungen in der vorhandenen Software und Ansteuerelektronik. Durch die enge interdisziplinäre Ausgestaltung des Projektes und die angestrebte studentische Zusammenarbeit von angehenden Ingenieurinnen und Ingenieuren mit angehenden professionellen Musikerinnen und Musikern der Hochschule für Musik Nürnberg wurden Menschen aus verschiedenen Fachkulturen und mit heterogenen Vorkenntnissen zusammengebracht und es wurde von ihnen an einer gemeinsamen Aufgabe gearbeitet.

Die Ergebnisse des Projekts wurden am 4. Juli 2023 im Rahmen des Nürnberger Digital Festivals im Pop-up Store der Ohm in Form einer Live-Performance des Projektteams und der beteiligten Studierenden unter Verwendung der im Projekt entwickelten Aktoren für perkussive Instrumente präsentiert. Damit wurden die Studierenden in der Region vernetzt und die Außendarstellung der Hochschule im Jubiläumsjahr wurde unterstützt.

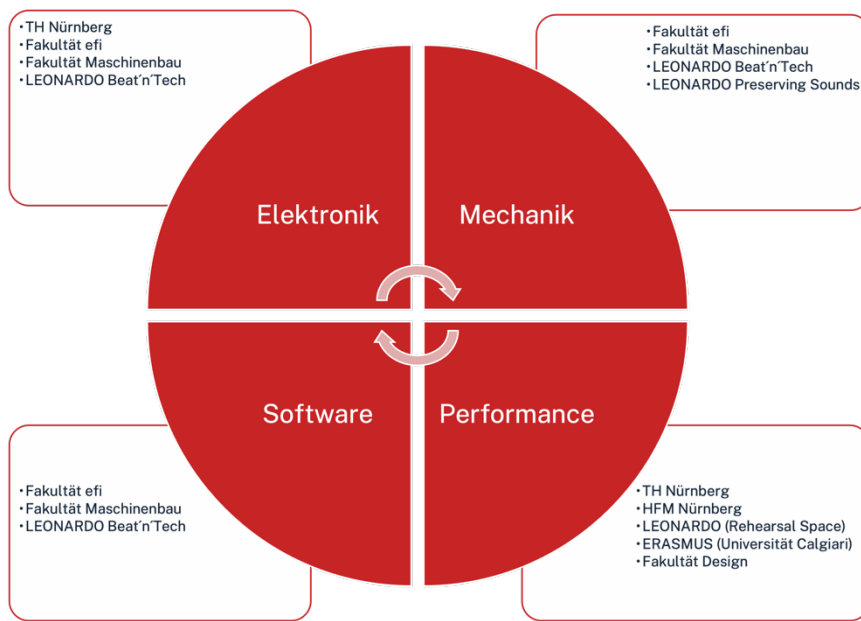


Abbildung 2: Interdisziplinäre Zusammenhänge. Bild: Tom Schmid

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Aufgrund der veränderten Struktur des Projektes und der verminderten Anzahl der Mitwirkenden wurde die geplante Methodik in einen PDCA-Entwicklungszyklus angepasst. Dieser zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität aus und wird mit wöchentlichen Meetings und ständigem Kontakt der beteiligten Personen unterstützt. Für die Performance am Nürnberg Digital Festival wurden zwei Online-Workshops und eine Probe mit der Hochschule für Musik Nürnberg (Prof. Dr. Sebastian Trump) eingeplant.

Zu Beginn des Projekts wurden in einem Kickoff-Meeting Projektrahmenbedingungen und Arbeitspakete definiert. Die Rahmenbedingungen definieren:

- Nutzung einer Handpan als Klangquelle,
- Anwendung von Audioeffekten,
- Quadrofonische Wiedergabe,
- Maschine+ als Midi-Controller und Audiointerface.

Die Handpan ist ein aufschlagidiophones Blechklangerinstrument und zeichnet sich durch die benötigte Spieltechnik als passende Klangquelle für dieses Projekt aus [4]. Es wurde sich für eine Handpan in der Stimmung A-Moll entschieden, was allen weißen Tasten der Klaviatur entspricht. Das Timbre der Handpan hat einen zurückgenommenen Charakter, was durch das wenig ausgeprägte Obertonspektrum gegeben ist (Abbildung 3). Der Grundton ist hier am ausgeprägtesten.

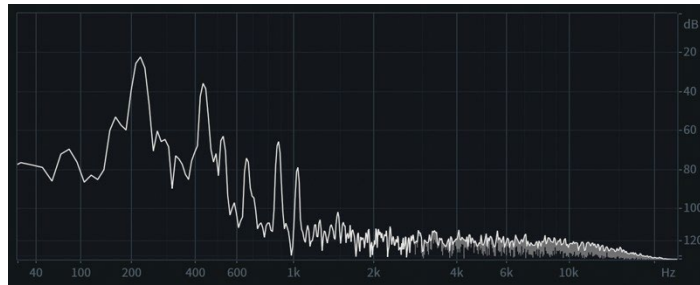


Abbildung 3: Spektrum der Handpan, Note A3. Bild: Tom Schmid

Arbeitspakete sind:

- Geräuschreduzierung (Tom Schmid, Fabio May),
- Montage und Positionierung der Hubmagnete (Tom Schmid, Fabio May),
- Software (Ansteuerung der Hubmagnete / Audioaufnahme der Handpan (Cosmo Strattner),
- Effekte und Quadrofonie (Cosmo Strattner),
- Performance (Alle Projektbeteiligten + Erasmusstudent Roberto Murru),
- Aufbau benötigter Geräte (Hubmagneten, Steuerboxen) (Cosmo Strattner).

Durch die Umstrukturierung des Projekts mussten die Studierenden und Mitarbeitenden nicht nur interdisziplinär Kommunikation erlernen und anwenden, sondern von Beginn an interdisziplinär arbeiten. Die im Seminar erlernten Methoden in der Konzeptionierung konnten direkt angewandt werden. In Abbildung 2 ist das interdisziplinäre Arbeitsumfeld dargestellt. Mit diesem Projekt sollen somit folgende Fähigkeiten der Studierenden gefördert werden:

- Fähigkeit zur Anwendung gelernter Methoden und Techniken.
- Fähigkeit zur Teamarbeit, soziale Kompetenz, Dialogfähigkeit, Kritikfähigkeit.
- Fähigkeit zur Ist-, Anforderungs- und Aufwandsanalyse.
- Fähigkeit, ein größeres System zu strukturieren und in mehreren Teams zu bearbeiten.
- Fähigkeit zur Teambildung und -organisation.
- Fähigkeit, technische Kenntnisse nach Bedarf einzusetzen.

In der Anstellung als studentische Hilfskraft war Strattner für den Aufbau der Steuerboxen und der Hubmagneten zuständig. Dies umfasste die mechanischen Komponenten des Gehäuses und der Peripherie. Zudem hat er die Platinen der Steuereinheit aufgebaut und die Software angepasst. Mit dem Fokus auf die geplante Live-Performance hat er sich mit dem Konzept der Quadrofonie beschäftigt. Dies wurde in seiner Bachelorarbeit bearbeitet. Für die fertigungstechnischen Aspekte wurde er von May im Co-Working Space der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik unterstützt. Es wurde bereits eine Anleitung und eine Stückliste für den Bau der Schaltboxen und der Hubmagnete vom Projektteam von Prof. Monz angefertigt. Anhand dieser Vorgaben wurden Bestellungen durchgeführt.

Die Live-Performance am 4. Juli war bereits zu einem Zeitpunkt ausgebucht, als das Projektteam gerade seine technische Arbeit aufgenommen hatte. Die positive Herausforderung war nun, die wenigen Wochen bis zum Datum der Aufführung zur Umsetzung des technischen Aufbaus und zur kreativen musikalischen Gestaltung zu nutzen. Die Notwendigkeit zum termingerechten Abschluss der Arbeiten hat im positiven

Sinne auch die kreative Arbeit kanalisiert: Das Projektteam war gezwungen, am 4. Juli ein einstündiges musikalisches Programm vorführen zu können und hat diese Aufgabe auch erfolgreich gemeistert.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Geräuschreduktion:

In diesem Arbeitspaket wurden die derzeitig eingesetzten Hubmagnete analysiert. Es konnte festgestellt werden, dass die größte Geräuschentwicklung durch den nicht gelagerten Anker, das plötzliche Anschlagen der Rückstellfeder bei maximalem Hub und bei Rückstellung durch den montierten Anschlag entsteht.

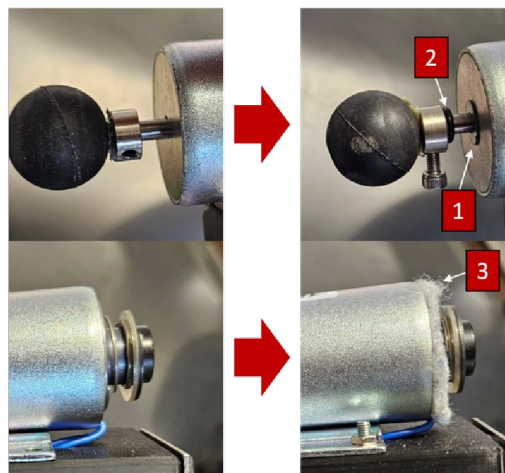


Abbildung 4: Optimierung des Hubmagneten. Bild: Cosmo Strattner, Tom Schmid

Als Lösung für diese Problemstellung wurde im ersten Schritt ein akustisch dämpfendes Material auf der Rückseite des Hubmagneten appliziert (Abbildung 4, 3). Im zweiten Schritt wurde ein Kunststoffgleitlager (Abbildung 4, 1) der Firma Igus auf der Vorderseite des Hubmagneten eingepasst. Hierfür wurde der Durchmesser der Bohrung vergrößert und das Gleitlager kraftschlüssig montiert. Um die Geräuschentwicklung beim Rückstellen zu verringern, wurde ein passender O-Ring am Anker (Abbildung 4, 2) angebracht, welcher ebenfalls akustisch dämpfend wirkt. Als Ergebnis konnte eine Geräuschreduktion von 16,83 dBTP erzeugt werden. Zudem wurde der Obertongehalt des Geräusches minimiert (Abbildung 5), was eine Verringerung des spektralen Schwerpunktes erzeugt. Diese daraus entstehende dumpfere Geräusch kann somit besser vom Klang der Handpan maskiert werden.

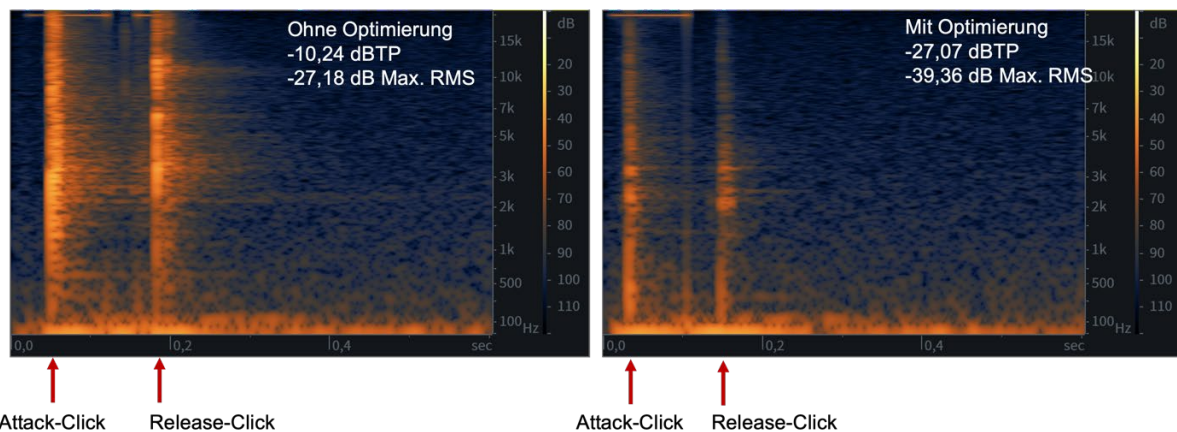


Abbildung 5: Spektrogramm der Hubmagneten (ohne und mit Optimierung). Bild: Tom Schmid

Montage und Positionierung der Hubmagnete

Um die nötige Steifigkeit der Hubmagnethalterungen zu gewährleisten, damit eine ausreichend hohe Impulsübertragung zur Handpan stattfinden kann, wurde in Anlehnung an das Projekt Beat'n'Tech Schlagzeug-Hardware (Abbildung 6) eingesetzt. Es wurde ein Schlagzeug-Rack verwendet, welches modular mit Beckenständer erweitert werden kann. Die Bauform der Beckenständer und die Montagemöglichkeit ermöglichen eine flexible Positionsjustierung der Hubmagnete zur Handpan (Abbildung 6). Das Schlagzeugrack musste in seiner Dimension angepasst werden (Kürzen der Verbindungsrohre). Um mit der Handpan einen guten Klang zu erzeugen, muss der Hubmagnet in einem exakten Abstand sein. Die genaue Positionierung ist nicht trivial, denn das Justieren der Hubmagnete ist sehr zeitaufwendig.



Abbildung 6: Aufbau der Hardware. Bild: Tom Schmid

Software/System

Strattner hat mit seiner Bachelorarbeit das Thema „Digitale quadrophonische Audioverarbeitung für elektromechanisch angesteuerte perkussive Instrumente“ bearbeitet. Hier wurde mit der Software „Reaktor“ von Native Instruments ein Tool entwickelt, welches die Ansteuerung von vier Lautsprechern mit dem durch die Handpan und Schlagroboter erzeugten Audiosignal unterstützt. Ziel ist es, in dieser Klanglandschaft unterschiedliche Bewegungsmuster der Klänge zu erzeugen [5].

System-Design

Das geplante System-Design wurde nicht wie ursprünglich geplant mit der Maschine+ als zentraler Einheit umgesetzt, sondern es wurde ein Computer mit der Software „FL-Studio“ in Kombination mit einem Audiointerface Behringer UMC1820 als Workstation verwendet. Der von Strattner entwickelte Algorithmus zur Kontrolle von Soundobjekten im quadrofonischen Umfeld wurde als Reaktor-Ensemble als Plugin innerhalb der DAW FL-Studio umgesetzt.

Verwertung:

Das erzeugte Hardware-System (Abbildung 6) ist durch die Nutzung einer flexiblen MIDI-Schnittstelle in jedes MIDI-Audio-System integrierbar. Dies ermöglichte Prof. Trump, das Handpan-System in seine entwickelte Künstliche-Intelligenz-(KI-)Robopercussion zu integrieren. Hierfür wurde die MIDI-Software in Ableton beziehungsweise Max/MSP von Prof. Trump und Alexander Lunt angepasst [6]. Mit der Performance am Nürnberg Digital Festival konnte das System in Verbindung mit Prof. Trump und Strattner in separaten Performances präsentiert werden.

5. Vernetzung und Transfer

Die Studierenden des Bachelor-Studiengangs Media Engineering profitieren von der Kooperation mit der Hochschule für Musik Nürnberg. Hier konnten bereits mehrere Projekte realisiert werden. Durch die Möglichkeit, das ingenieurwissenschaftliche Studium um künstlerische Aspekte zu erweitern, bietet die Ohm ein attraktives Angebot für zukünftige Studierende, um in der Metropolregion Nürnberg Präsenz zu zeigen. Die ausverkaufte Veranstaltung „Pegnitzwaves“ im Rahmen des Nürnberg Digital Festivals zeigt deutlich das Interesse der Bürgerinnen und Bürger Nürnbergs. Der Kontakt zu Musikfachleuten ist durch die Hochschule für Musik Nürnberg in Verbindung mit dem Leonardo Zentrum für Kreativität und Innovation gewährleistet. Darüber hinaus konnte dank der freundlichen Unterstützung durch Prof. Dr. Monz, Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, der Co-Working Space der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik für die Arbeiten in diesem Projekt genutzt werden. Auf dem Youtube-Kanal der Ohm wurde zu dem Projekt ein Abschlussvideo veröffentlicht [7].

6. Fazit und Ausblick

Das Lehrforschungsprojekt war trotz der geringen Anzahl der teilnehmenden Studierenden ein voller Erfolg. Es konnte ein Konzept zur Geräuschminimierung der Hubmagnete erarbeitet und in eine Konstruktion zum kreativen Spielen einer Handpan umgesetzt werden. Die hier verwendete Schnittstelle kann für verschiedene Anwendungen genutzt werden. So wurde sie mit der Maschine+ und dem von Prof. Dr. Trump entwickelten KI-Robopercussions eingesetzt. Durch die Förderung konnte somit ein Beitrag zum 200-jährigen Jubiläum der Ohm geleistet werden. Interdisziplinäre Projektarbeiten zeigen und lehren den Studierenden das moderne dynamische Arbeitsumfeld, was durchaus ein Vorteil der Ausbildung an einer Technischen Hochschule gegenüber einer Universität ist. Mit dem Forschungsprojekt und der daraus entstandenen Bachelorarbeit von Strattner konnte auch ein Ansatz für quadrophonische Lautsprecheranwendungen geschaffen werden. Das dabei erworbene Wissen wurde bereits in einer weiteren Abschlussarbeit mittels Körperschallwandlern in den Fahrsimulator-Aufbau des Labors „Mechatronische Mensch-Maschine-Schnittstellen“ angewandt, was wiederum als Grundlage für weitere Abschlussarbeiten dient.

7. Literatur

- [1] Beat'n'Tech, <https://leonardo-zentrum.de/projekte/beatntech/>, Zugriff: 16.02.2024
- [2] Preserving Sounds of Rare Musical Instruments, <https://leonardo-zentrum.de/projekte/preservingsounds/>, Zugriff: 16.02.2024.
- [3] T. Schmid, T. Hinterholzinger, und A. Von Hoffmann, „Analysis of the similarity of a virtualized historical square piano to its original and a modern grand piano“, Appl. Acoust., Bd. 211, S. 109514, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.apacoust.2023.109514.
- [4] Handpan, <https://de.wikipedia.org/wiki/Handpan>, Zugriff 16.02.2024.
- [5] C. Strattner, Digitale quadrophonische Audioverarbeitung für elektromechanisch angesteuerte perkussive Instrumente, Bachelorarbeit, Technische Hochschule Nürnberg, 2024.
- [6] Lunt, A., & Trump, S. (2023, August 29). Latent Space Explorer. Interactive Rhythm Generation through Musical Actions. Proceedings of the 4th Conference on AI Music Creativity. <https://aimc2023.pubpub.org/pub/zgc5j7ha/release/1>
- [7] Handpan-Spiel: Bachelorarbeit im Bereich Media Engineering der Ohm, (19. Februar 2024). Zugegriffen: 23. Februar 2024. [Online Video]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=y7P7BwB9aWk>

Interdisziplinäres Projektseminar der Ruhr-Universität Bochum (Fakultät Geographie und Geowissenschaften) und der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Fakultät Bauingenieurwesen) im Akeakamai-Forschungscamp auf Big Island, Hawai'i - 2024

Prof. Dipl.-Ing. Berthold Best

Fakultät Bauingenieurwesen, Projektleitung

Dipl.-Ing. Thomas Killing

Fakultät Bauingenieurwesen, Photogrammetrie

Michael Kögel, M. Eng.

Fakultät Bauingenieurwesen / Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Laserscanning

Bachelor-Studierende der Ohm:

Laura Dürsch, Luca Forker, Maximilian Klaus, Jakob Lahner, Emma Zwirner

Prof. Dr. Andreas Pflitsch

Geographie/Ruhr Universität Bochum

Prof. Diana E. Northup, Ph. D.

Biologie/University of New Mexico (USA)

Zusammenfassung:

Im fünften interdisziplinären Projektseminar sollte das bisher erstellte 3D-Raummodell der Maelstrom-Höhle auf Wunsch der Geographinnen und Geographen der Ruhr-Universität Bochum (RUB) und der Biologinnen und Biologen der University of New Mexico komplettiert werden. Dazu mussten Restbereiche der Höhle, die bisher noch nicht aufgenommen wurden, mit dem Laserscanner erfasst werden. Diese Aufgabe wurde vom Scan-Team, bestehend aus den 5 Bachelor-Studierenden der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) unter der Leitung von Michael Kögel, durchgeführt. Da diese Bereiche keine Referenzobjekte aus den vorhergehenden Projektseminaren enthielten, wurde erstmals das Iterative-Closest-Point-Verfahren (ICP) in großem Umfang erfolgreich getestet. Das Verfahren kommt ohne Referenzobjekte aus, erfordert aber durch die iterative Annäherung der einzelnen Punktwolken im Nachgang einen hohen Rechenaufwand. Parallel zu diesen Arbeiten haben Studierende der RUB unter der Leitung von Thomas Killing den Höhleneingang der Black Ball Cave in Ocean View, nahe der Iwalani-Wetterstation, mit der Drohne photogrammetrisch aufgenommen. Abschließend wurde noch ein Teil der TAPA Cave, die zum Höhlensystem der Maelstrom Cave gehört, vermessen.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Februar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Bauingenieurwesen
Projektleitung	Prof. Dipl.-Ing. Berthold Best
Projektteam	Dipl.-Ing. Thomas Killing, Michael Kögel, M. Eng.
Kontakt Daten Projektleitung	thomas.killing@th-nuernberg.de michael.koegel@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Prof. Dr. Andreas Pflitsch, Leiter der Abteilung „Klimatologie extremer Standorte“ an der Ruhr-Universität Bochum, betreibt auf Big Island, Hawai‘i, das Akeakamai-Forschungscamp. In verschiedenen Lavahöhlen mit fest installierten Klimasensoren werden grundlegende Daten zur Höhlenklimatologie erfasst und analysiert. Im Rahmen von vier vorausgegangenen interdisziplinären Projektseminaren wurden, in erfolgreicher Zusammenarbeit zwischen Studierenden des Bauingenieurwesens und der Geographie, verschiedene Lavahöhlen auf der Insel digital, dreidimensional und fotorealistisch vermessen. In den letzten drei Seminaren wurde auf Anfrage der bekannten Biologin und Expertin für Mikrobewuchs in Höhlen, Prof. Diana E. Northup von der University of New Mexico (USA), der Maelstrom-Teil des Kipuka-Kanohina-Cave-Systems, einem Höhlensystem in unmittelbarer Nähe des Akeakamai-Forschungscamps, erforscht. Die Studierenden haben mittels Terrestrischem Laserscannings (TLS), Luftbild-Photogrammetrie/Structure from Motion (SfM) und Close-Range-Photogrammetrie mit polarisiertem Licht (Fakultät Design, 2023) das Höhlensystem dreidimensional erfasst und in ein 3D-Raummodell überführt, welches dazu dient, klimatologische und biologische (Mikrobewuchs) Fragestellungen zu beantworten. Eines der Ziele dieses Projektseminars war es, das 3D-Modell der Maelstrom-Höhle zu komplettieren und fertigzustellen.

Zur Komplettierung mussten Restbereiche der Höhle, welche teilweise schwer zugänglich waren, mit dem TLS-Verfahren gescannt werden. Das Problem dabei war es, dass diese Scans nachträglich in das bisher fertiggestellte 3D-Modell implementiert werden mussten. In diesen Bereichen gab es jedoch keine künstlichen Referenzobjekte aus vorhergehenden Scans, an denen sich der Scanner hätte stationieren können.

Die Stationierung musste daher im Nachhinein mit dem Iterative-Closest-Point-Verfahren erfolgen.

Ein weiteres Ziel war es, das Gelände rund um den Höhleneingang der Black Ball Cave, einer weiteren Höhle in Ocean View, photogrammetrisch mit einer Drohne zu erfassen. Diese Daten werden für eine Bachelorarbeit eines Studenten der RUB benötigt. Da Drohnen in den USA seit März 2024 über eine Remote ID verfügen müssen (hierbei sendet die Drohne permanent eine Kennung aus, über die sie eindeutig identifiziert werden kann), konnte die bewährte Phantom 4 Pro der RUB leider nicht mehr eingesetzt werden, da sie nicht über eine solche Sendeeinrichtung verfügt.

Da eine private Mavic Mini 3 Pro mit Remote ID zur Verfügung stand, kam diese zum Einsatz, obwohl es für diese Drohne keine Software für Photogrammetrie-Einsätze gibt.

Das dritte Ziel dieses Projektseminars war es, die Tapa Cave, welche ebenfalls zum Kipuka-Kanohina-Cave-System gehört, mit dem TLS-Verfahren zu vermessen. Hier konnte die Stationierung des Scanners über Referenzkugeln erfolgen.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Während ihres Studiums beschäftigen sich die Studierenden des Bauingenieurwesens in erster Linie mit Planung, Bemessung und Kalkulation von Bauwerken. Hierzu stehen ihnen umfangreiche Regelwerke, wie zum Beispiel die DIN-Normen, zur Verfügung. Daher bekommt der überwiegende Teil von ihnen nur selten mit dem Thema Forschung in Berührung.

Durch das Lehrforschungsprojekt und die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Studienrichtungen Bauingenieurwesen und Geographie bekamen die teilnehmenden Studierenden der Ohm die Gelegenheit, an wissenschaftliches Arbeiten herangeführt zu werden. Hilfreich hierbei war, dass die Studierenden der Geographie während ihres Studiums überwiegend forschend tätig sind und so die Studierenden des Bauingenieurwesens auf Augenhöhe in das Thema „Forschung“ einführen konnten.

Jede der beiden Fachrichtungen hat völlig unterschiedliche Herangehens- und Arbeitsweisen, Problemstellungen zu lösen. Das machte die Zusammenarbeit spannend und bereichernd.

Terrestrisches-Laser-Scanning:

Das TLS sollte grundsätzlich in ähnlicher Weise durchgeführt werden wie bereits bei den vorherigen Projektseminaren.

Um die Punktwolken der einzelnen Scans am Ende zu einer maßstäblichen, lagerichtigen Gesamtpunktwolke zusammenfügen zu können, ist es notwendig, die einzelnen Scanner-Standorte relativ zueinander zu kennen. Man spricht hier von der Stationierung der Einzelscans. In der Regel kann man den Vorgang durch Verwendung von Referenzkugeln automatisieren. Man verteilt mindestens fünf Kunststoff-Kugeln um den Scanner herum und scannt diese mit. Vor dem nächsten Scanvorgang versetzt man den Scanner und zwei der Kugeln in Scan-Richtung. Drei der Kugeln verbleiben am alten Standort. Dann wird erneut so gescannt, dass alle fünf Kugeln vom Scanner erfasst werden. Die Nachverarbeitungssoftware erkennt die drei Referenzkugeln, die sich im ersten und im zweiten Laserscan an derselben Position befunden haben, und kann an diesen Referenzkugeln die Einzelscans zu einer Gesamtpunktwolke verknüpfen. Nun wiederholt man das Versetzen von Kugeln und Scanner. So arbeitet man sich durch die Höhle.

Wird das Scanprojekt vorläufig abgeschlossen und ist eine Weiterführung zu einem späteren Zeitpunkt geplant, empfiehlt es sich, Halterungen im Höhlensystem fest zu montieren, um dann dort bei der weiterführenden Scanausführung die Referenzkugeln erneut zu platzieren. Da die Referenzkugeln magnetisch auf Haltern stehen, kann man am zu markierenden Standort auch passende Unterlegscheiben fest verdübeln. Hier setzt man die Kugeln dann magnetisch auf die Unterlegscheiben und macht den Abschluss-Scan. Die Unterlegscheiben verbleiben fest am Ort und man kann später die Kugeln hier erneut befestigen.

Da als erstes Ziel des Projektseminars die Maelstrom-Höhle komplettiert werden sollte, mussten dort Bereiche gescannt werden, die ursprünglich nicht erfasst werden sollten. Folglich wurden hier auch keine Referenzpunkte für die Kugeln montiert.

Hier konnte der Scanner nur frei positioniert werden. Sind mehrere Einzelscans erforderlich, können diese dann untereinander wieder mit Referenzkugeln stationiert werden. Die Stationierung des ersten Scans erfolgt nun aber mit dem Iterative-Closest-Point-Verfahren (Besl und McKay 1992). Hierbei werden über

Algorithmen der Mustererkennung gleiche Bereiche in den beiden zu stationierenden Punktwolken gesucht. Diese werden dann von der Software übereinandergelegt und damit zusammengesetzt. Theoretisch wäre es auch möglich, vollständig ohne Referenzkugeln zu arbeiten und alle Einzelscans mit dem ICP-Verfahren zusammenzufügen. In der Regel ist dieses Verfahren allerdings deutlich ungenauer als die Nutzung von Referenzobjekten.

Da die Tapa Cave, das dritte Ziel dieses Projektseminars, erstmalig erfasst wurde, konnte hier von Beginn an mit Referenzkugeln gearbeitet werden.

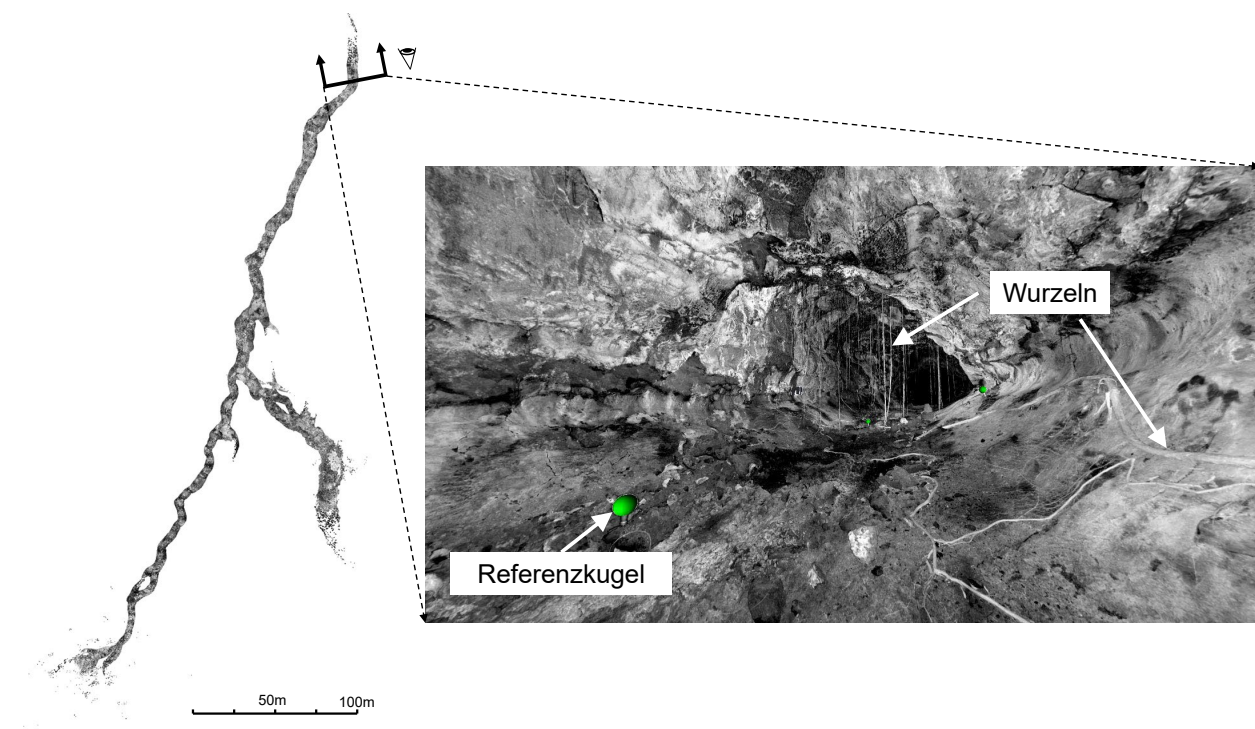


Abbildung 1: a) Draufsicht auf den 2024 aufgenommenen Teil der Tapa-Höhle; b) Innenansicht der Tapa-Höhle mit Markierung durch Referenzkugeln und Wurzeln von über der Höhle wachsenden Ohia-Bäumen. Bild: Michael Kögel

Luftbild-Photogrammetrie (Structure from Motion)

Die Fakultät Bauingenieurwesen verfügt über leistungsfähige Vermessungsdrohnen, die sich mit Hilfe von Real-Time-Kinematik (RTK) zentimetergenau positionieren können. Leider arbeiten die RTK-Referenzstationen in den USA mit anderen Frequenzen als in Europa. Daher können die BI-Drohnen in den USA nicht eingesetzt werden. Die RUB hat jedoch vor Ort eine Phantom 4 Pro-Drohne mit großem Bildsensor, die Vermessungsflüge über eine entsprechende Software vollautomatisch durchführt. Da sie altersbedingt noch nicht über die hochgenauen Positionierungsmöglichkeiten mittels RTK verfügt, gab es auch keine Frequenzprobleme. Daher konnte sie bisher problemlos für unsere Vermessungsflüge auf Hawai'i eingesetzt werden, auch wenn sie nicht über die Genauigkeit einer RTK-Drohne verfügt.

Um die illegale Nutzung von Drohnen einzudämmen, hat die amerikanische Luftfahrtbehörde (FAA) verfügt, dass ab September 2023 alle Drohnen in den USA mit einem Startgewicht über 500 g über eine Remote ID verfügen müssen. Hierbei sendet die Drohne permanent eine Kennung über Funk aus, über die sie eindeutig

identifiziert werden kann. Leider verfügt die Phantom 4 Pro der RUB nicht über so eine Sendeeinrichtung, daher durfte sie in diesem Projektseminar an der Black Ball Cave nicht mehr eingesetzt werden.

Da eine private Mavic Mini 3 Pro vor Ort verfügbar war, die Remote ID unterstützt und eine vergleichbare Kameraauflösung hat, wurde versucht, diese für den Vermessungseinsatz zu nutzen. Leider gibt es jedoch keine Software für Vermessungsflüge für diesen Drohrentyp.

Für Photogrammetrie benötigt man eine Serie von Fotos (Bildblöcke), die sich um rund 60 Prozent in Flugrichtung und um circa 25 Prozent seitlich überlappen. Um diese erforderlichen Mindestüberlappen sicher zu erreichen, müssen die Brennweite der Kamera, die Flughöhe über dem Gelände und die Fluggeschwindigkeit bekannt sein. Damit kann berechnet werden, in welchen Zeitintervallen der Auslöser betätigt werden muss. Außerdem müssen die Flugbahnen absolut parallel beflogen werden, damit die seitliche Überlappung sichergestellt wird.

Normalerweise werden diese Fotoserien mit Hilfe der DJI-Software „Ground Station Pro“ erstellt. Man legt in der Software fest, welches Gebiet beflogen werden soll, welche Drohne genutzt wird (Brennweite der Kamera), sowie Flughöhe und -geschwindigkeit. Außerdem gibt man ein, welche Überlappung der Fotos in Flugrichtung und seitlich dazu erreicht werden soll. Daraus errechnet die Software, in wieviel Bahnen das Gelände überflogen wird und in welchen Intervallen die Kamera auslöst. Diese Daten überträgt die Software in die Drohne, welche anschließend die Befliegung autonom durchführt.

Leider arbeitet diese Software nicht mit der vorhandenen Mavic Mini 3 Pro zusammen.

Daher mussten die Studierenden die erforderlichen Parameter wie Flughöhe, Anzahl und Abstand der Flugbahnen, Auslöseintervalle der Kamera eigenständig berechnen. Anschließend wurde das Gelände über der Black Ball Cave mit den errechneten Parametern händisch beflogen. Hierbei war die große Schwierigkeit, die Flugbahnen händisch genau parallel abzufliegen. Eine Abweichung von nur 1° bedeutet auf 100 m eine Abweichung von 1,75 m. Bei starkem Wind sind Abweichungen von 5° bis 10° nicht vermeidbar. Daher wurde die Anzahl der Flugbahnen verdoppelt und zur Sicherheit eine zweite, um 90° versetzte Kreuzbefliegung durchgeführt. So entstanden knapp 750 Fotos, die photogrammetrisch ausgewertet werden konnten.

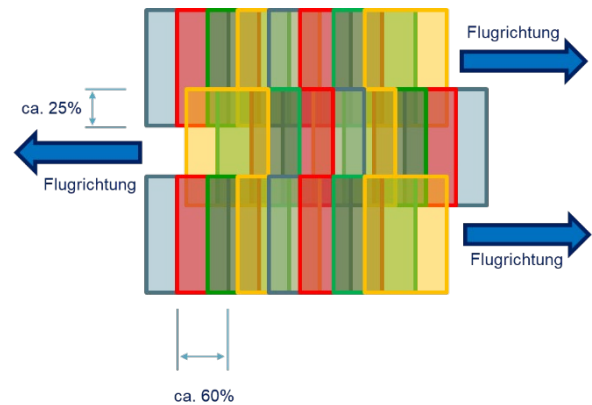


Abbildung 2: Erstellung von Bildblöcken. Bild: Thomas Killing

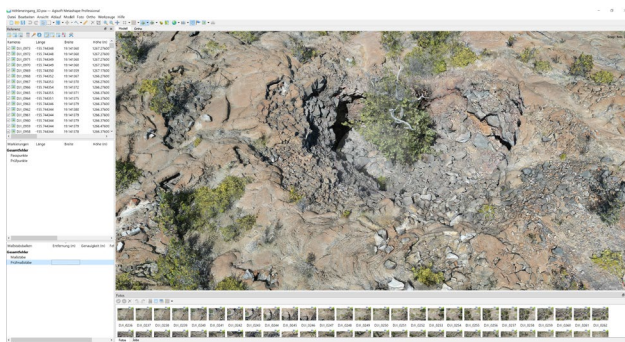


Abbildung 3: Punktwolke Eingang Black Ball Cave. Bild: Thomas Killing



Abbildung 4: Einweisung in den Laser-Scanner. Bild: Thomas Killing

Das Wahlfach „3D Gelände- und Gebäudeaufnahme mittels luftbildgestützter Photogrammetrie und Laserscanner“, welches an der Fakultät Bauingenieurwesen angeboten wird, vermittelt den Ohm-Studierenden die notwendigen Grundlagen dieses Vermessungsverfahrens. An der Fakultät Bauingenieurwesen 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 die Daten aus diesem Lehrforschungsprojekt werden der STUFO wieder zur Verfügung gestellt.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Wie bereits beschrieben, sollten in diesem Projektseminar Lücken im 3D-Modell der Maelstrom Cave geschlossen werden. Da keine Referenzpunkte in Form von Ground Control Points (GCP) vorhanden waren, erfolgte die Verknüpfung der neuen Höhlenabschnitte durch Anwendung des Iterative-Closest-Point-Verfahrens in der open-source-Softwareanwendung CloudCompare (Girardeau-Montaut 2021). Dabei können zwei Punktwolken, welche bereits grob aneinander ausgerichtet wurden, durch iterative Berechnungen mit deutlich höherer Genauigkeit aneinander ausgerichtet werden. Durch dieses Verfahren war es nun möglich, das Höhlensystem zu ergänzen.

Im Gegensatz zum Lehrforschungsprojekt 2022, wo wir das ICP-Verfahren erstmalig am Ende eines fertig gescannten Höhlenabschnitts angewendet haben, um diesen dann weiter zu scannen, mussten in diesem Projektseminar die erforderlichen Ergänzungsscans in bereits bestehende, räumlich sehr komplexe, aus mehreren Punktwolken bestehenden 3D-Modelle eingepasst werden. Das war eine besondere Herausforderung. Abbildung 5 zeigt die hawaiianische Inselkette mit Fokus auf Big Island, sowie eine Detailansicht der Maelstrom-Höhle mit Markierung der in den Jahren 2020, 2022 und 2024 aufgenommenen Bereiche.

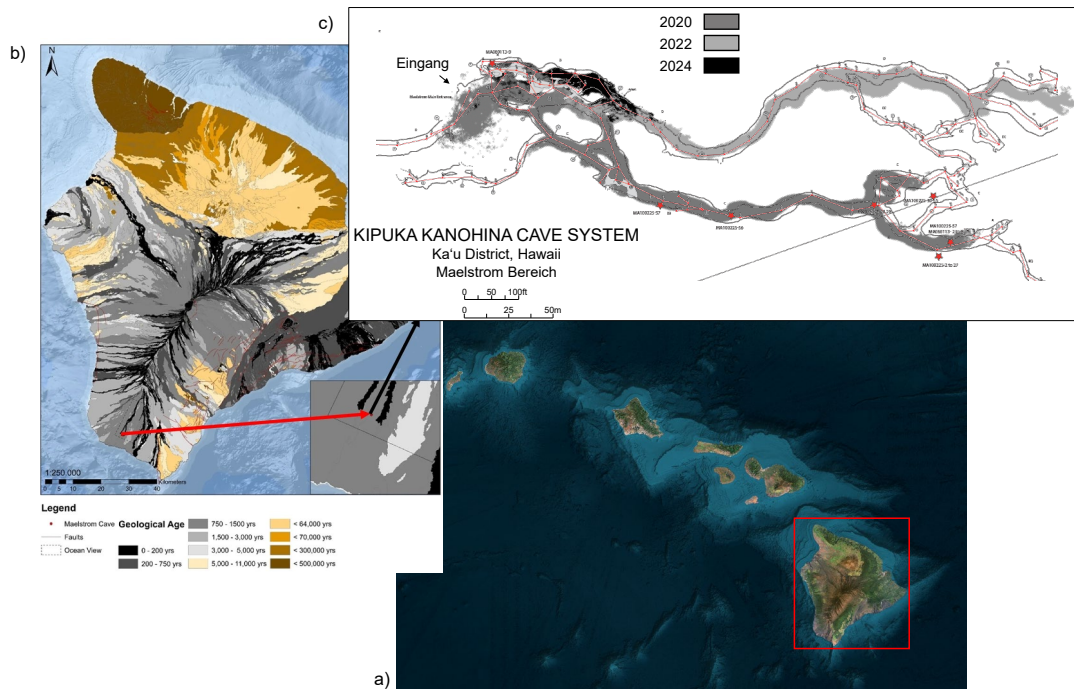


Abbildung 5: a) Hawai'i-Inselssystem; b) Detailansicht Big Island und Lokalisierung der Maelstrom-Höhle; c) Überlagerung einer zweidimensionalen Karte und den 3D-Laserscans mit Markierung der in den Jahren 2020, 2022 und 2024 aufgenommenen Bereiche. Bild: Michael Kögel, abgeleitet aus Wolfe und Morris (1996), Kögel et al. (2022) und Landsat 7 (ETM) satellite imagery

Mit dem nun „fertigen“ Raummodell der Maelstrom-Höhle können nun Prof. Pflitsch und seine Nachfolgenden sowie die Biologinnen und Biologen aus New Mexico und die Höhlen-Community auf Big Island weiterarbeiten.

Wir als Bauingenieure haben neue, wertvolle Erfahrungen in den Bereichen Photogrammetrie und Laserscanning gesammelt, die uns in Forschungs- und Lehrprojekten zugutekommen.

5. Vernetzung und Transfer

Die Erforschung der Höhlensysteme erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum sowie der University of New Mexico. Die Studierenden der Ohm hatten während den Exkursionen nach Hawai'i die Möglichkeit, interdisziplinäre Forschung zu betreiben und sich mit Studierenden sowie Professorinnen und Professoren der Geographie sowie der Mikrobiologie auszutauschen.

In diesem Lehrforschungsprojekt hat sich erneut gezeigt, wie wertvoll und bereichernd eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den eigentlich völlig verschiedenen Fachrichtungen Bauingenieurwesen und Geographie sein kann. Jede Disziplin nutzte mitunter verschiedene Ansätze zur Lösung auftretender Probleme, die sich allerdings häufig ergänzten. Die Erfahrung einer interdisziplinären Teamarbeit hat die Entwicklung von umfassenden Kompetenzen gefördert und das Verständnis für die Anwendungen der jeweiligen Fachrichtungen in verschiedenen Kontexten ermöglicht. Darüber hinaus hat die Beteiligung an einem realen Forschungsprojekt dazu geführt, erlernte Fähigkeiten in der Praxis anzuwenden und einen Beitrag zu echten Problemlösungen zu leisten.

In den Bereichen Erdbau und Verkehrswegebau werden heute ein Großteil der Massenermittlungen bei Aushub- und Trassierungsarbeiten mittels SfM und TLS auf wirtschaftliche Weise schnell und genau bestimmt.

Da unsere Studierenden und auch die Betreuenden beide Verfahren unter erschwerten Bedingungen im Projektseminar eingesetzt haben, wurden wieder wertvolle Erfahrungen gemacht, die sowohl in die Lehre als auch in den Praxiseinsatz im Bauwesen einfließen werden.

6. Fazit und Ausblick

Abschließend kann gesagt werden, dass solche interdisziplinären Projektseminare, vor allem, wenn sie in Form von „Adventure Education“ angeboten werden, für die Studierenden nicht nur eine willkommene Abwechslung zur üblichen Lehre an der Hochschule sind, sondern auch eine Gelegenheit zur Persönlichkeitsentwicklung.

Die internationale Zusammenarbeit mit der University of New Mexico erforderte es, dass die Kommunikation zum größten Teil auf Englisch stattfinden musste.

Da wertvolle Vermessungsgeräte und Ausrüstungsgegenstände von den Studierenden mit in die USA genommen wurden, mussten die notwendigen Zollformalitäten durch die Studierenden selbst abgewickelt werden. All diese Punkte erforderten eine hohe Selbstständigkeit der teilnehmenden Studierenden.

Im Projektseminar selbst hatten sie dann Gelegenheit, sich sehr intensiv mit den angewendeten Verfahren auseinanderzusetzen, was im Rahmen der üblichen Lehre so nicht möglich ist.

Das Akeakamai-Forschungscamp ist hier der ideale Treff- und Ausgangspunkt für diese Art von „Adventure Education“.

Aufbauend auf den über die Jahre gesammelten Erkenntnissen, Erfahrungen und Kontakten wurde vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft in Kooperation mit der RUB und der University of New Mexico

ein DFG-Antrag (12/2024) zur vertieften Erforschung der Höhlensysteme auf Big Island, Hawai'i, gestellt. Sollten die entsprechenden Mittel genehmigt werden, kann die Forschung dort weitergeführt und aufgrund umfangreicher Projektmittel in einem viel größeren Umfang erfolgen.

7. Literatur

- Besl, P. J.; McKay, Neil D. (1992): A method for registration of 3-D shapes. In: *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 14 (2), S. 239–256. DOI: 10.1109/34.121791.
- 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.
- Wolfe, E.; Morris, J. (1996): Geologic map of the Island of Hawaii.

Einsatz von Gamification in der Lehre der Wirtschaftsinformatik: Unterstützung der Motivation von Erstsemesterstudierenden in Zeiten der generativen AI

Prof. Dr. Patricia Brockmann
Fakultät Informatik

Prof. Dr. Heidi Schuhbauer
Fakultät Informatik

Prof. Dr. Margo Bienert
Fakultät Betriebswirtschaft

Zusammenfassung:

Ziel dieses Forschungsprojekts war die Erweckung der Neugier und die Motivierung der neuen Studierenden im ersten Semester durch spielerische Annäherung an ein Praxisbeispiel einer Unternehmensgründung. Dafür wurde zuerst die aktuelle Situation in der Lehre mithilfe eines Fragebogens untersucht. Die bisherigen Erfahrungen von MINT-Studierenden mit Electronic-(E-)Learning-Angeboten sowie die Auswirkungen von Künstliche-Intelligenz-(KI-)Chatbots auf ihr Lernverhalten wurde analysiert. Zudem wurde eine Literaturstudie zur Theorie der Motivation und Neurowissenschaften durchgeführt, um Ideen für verbesserte Lernprozesse mit Gamification zu gewinnen. Ein Prototyp für ein computerbasiertes Lernspiel wurde erstellt und mit Erstsemesterstudierenden getestet. Die Ergebnisse des Projekts wurden auf einer Konferenz für studentische Lehr-Forschung präsentiert.

1. Projektdaten

Fördersumme	8.860 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Informatik
Projektleitung	Prof. Dr. Patricia Brockmann
Projektteam	Prof. Dr. Heidi Schuhbauer, Prof. Dr. Margo Bienert
Kontakt Daten Projektleitung	patricia.brockmann@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Studierende im ersten Semester haben oft Schwierigkeiten, sich an den Übergang von der Schule zur Universität anzupassen. Die aktuelle Kohorte der Studienanfängerinnen und -anfänger steht vor zusätzlichen Herausforderungen, wie zum Beispiel Änderungen des Lernverhaltens durch die Pandemie. Darüber hinaus könnte der Aufschwung der generativen künstlichen Intelligenz einige Studierende zu der Annahme verleiten, dass sie sich nicht anstrengen müssen, sondern einfach Antworten von einem Chatbot kopieren können. Um Studierende im ersten Semester zum Lernen zu motivieren und so ihre Verbleibsrate in MINT-Fächern zu erhöhen, wurde ein E-Learning-System entwickelt, das zwei pädagogische Methoden einsetzt: Problem-Based Learning (PBL) und Gamification.

Ziel dieses Forschungsprojekts war es, die Neugier und Motivation neuer Studierender im ersten Semester des Wirtschaftsinformatik-Studiums durch eine spielerische Annäherung an ein Praxisbeispiel zu wecken. Die Erstsemesterinnen und Erstsemester sollten die Theorien, Methoden und Techniken, die im Modul „Grundlagen der Wirtschaftswissenschaften“ gelehrt werden, an einem konkreten Praxisbeispiel anwenden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Zuerst wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit die aktuelle Situation in der Lehre untersucht. Ein Fragebogen wurde eingesetzt, um quantitative Daten über die bisherigen Erfahrungen von MINT-Studierenden mit E-Learning-Angeboten zu erfassen und auszuwerten. Zudem wurde die Auswirkung von KI-Chatbots auf die Bewertung von Aufgabenlösungen erforscht. Konzepte der Gamification, wie Punktesysteme, Badges und Leaderboards, wurden hinsichtlich ihrer Eignung für dieses Projekt analysiert. Eine Literaturstudie zur Theorie der Motivations- und Neurowissenschaften wurde zur Ideengewinnung für verbesserte Lernprozesse in E-Learning-Systemen mit Gamification im Rahmen einer Bachelorarbeit durchgeführt. Die Vorschläge aus dieser Literaturstudie wurden in einem Interview mit der E-Learning-Expertin der zentralen Einrichtung für Lehr- und Kompetenzentwicklung, Frau Dr. Meissner, evaluiert. Ihre Anregungen flossen in die Entwicklung des Lernspiels ein.

Anschließend wurde eine durchgehende Fallstudie zur Gründung eines Unternehmens erstellt. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden Interviews mit drei Startup-Unternehmen im Großraum Nürnberg durchgeführt, um Ideen für die Fallstudie zu sammeln. Nach einer Stärken-Schwächen-Analyse wurde ein

Unternehmen, das ein innovatives Internet-of-Things-(IoT-)basiertes System zur Schädlingsbekämpfung entwickelt hat, als Grundlage für die Erstellung eines Fallbeispiels ausgewählt. Diese Fallstudie wurde in einem Experteninterview mit der Betriebswirtschaftsprofessorin Frau Prof. Dr. Bienert evaluiert und bewertet. Ihre Anregungen und Kritikpunkte flossen in die Weiterentwicklung der Fallstudie ein.

Als IT-Projekt wurde ein Prototyp für ein Moodle-basiertes Lernspiel erstellt und getestet. Eine Befragung mit einem Fragebogen wurde im Rahmen der Lehrveranstaltung „Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre“ durchgeführt, um Feedback von Erstsemesterstudierenden über ihren Lernerfolg zu erheben. Die Daten des Fragebogens wurden statistisch ausgewertet, um den Erfolg des Projekts zu evaluieren. Die Ergebnisse wurden von den Studierenden auf der neunten Konferenz für studentische Forschung an der Universität Hohenheim präsentiert.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Ein Lernspiel zur Steigerung der Motivation von Erstsemesterstudierenden wurde mit dem Moodle-H5P-Plugin entwickelt (Abbildung 1). Dieses Lernspiel nimmt die Studierenden mit auf die Reise eines neu gegründeten Unternehmens. Jede Phase des Startup-Prozesses bildet einen Abschnitt des Spiels. Angefangen bei der Wahl der Rechtsform über Marketing, Beschaffung, Supply-Chain-Management, Produktion, Finanzen und so weiter lernen die Studierenden die Fähigkeiten, die sie für jede Phase des Unternehmertums benötigen.

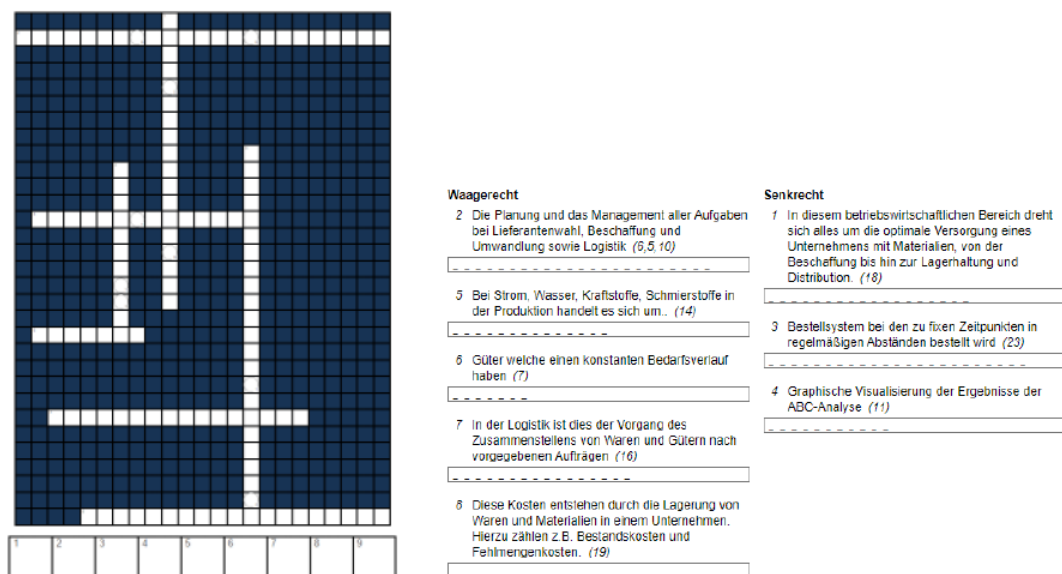


Abbildung 1: Kreuzworträtsel des Lernspiels. Bild: Bleisteiner, Kauschat, Baer, Gebel, Borucu

Dieses Lernspiel wurde in der Erstsemesterlehrveranstaltung „Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre“ des Studiengangs Wirtschaftsinformatik als wichtiger Motivationsfaktor integriert.

Die Untersuchungen dieses studentischen Forschungsprojekts bildeten die Grundlage für ein IT-Projekt und sechs Bachelorarbeiten:

- IT-Projekt: „Gamification in der Lehre zur Erhöhung der Motivation von Erstsemesterstudierenden (durchgeführt von fünf Bachelorstudierenden).“

- Bachelorarbeit: „Aufbereitung von einzelnen Erkenntnissen aus der Motivations-, Neurowissenschafts- und Gamification-Forschung zur Ideengewinnung für einen verbesserten Lernprozess von Studierenden in E-Learning-Systemen“.
- Bachelorarbeit: „Steigerung der Motivation und Verbesserung des Lernerfolges von MINT-Studierenden durch E-Learning-Angebote“.
- Bachelorarbeit: „Analyse von Methoden zur Evaluierung eines Escape Rooms für Wissensmanagement“.
- Bachelorarbeit: „Erstellung und Evaluation einer Fallstudie zur Unternehmensgründung anhand eines Startups für ein interaktives E-Learning-Portal“.
- Bachelorarbeit: „Analyse und Evaluierung von Lernspielen unter Verwendung von Eye-Tracking und Gamification Patterns zur Ableitung von Empfehlungen für effektive Lernsysteme“.
- Bachelorarbeit: „KI-Assessment am Beispiel der Lehrveranstaltung Grundlagen der Volkswirtschaftslehre – Evaluierung von KI-Chatbots zur Bewertung von Aufgabenlösungen“.

5. Vernetzung und Transfer

Die Außenwirkung des Projekts wurde durch die Präsentation der Projektergebnisse auf der neunten Konferenz für studentische Forschung an der Universität Hohenheim (StuFo 2024 - Humboldt Reloaded), gestärkt. Fünf Studierende nahmen an dieser studentischen Tagung teil und präsentierten ihre Ergebnisse:

- einen Vortrag: „KI-Assessment am Beispiel der Lehrveranstaltung Grundlagen der Volkswirtschaftslehre – Evaluierung von KI-Chatbots zur Bewertung von Aufgabenlösungen“ und
- ein Poster: „Lernerfolg durch Gamification“ (Abbildung 2).

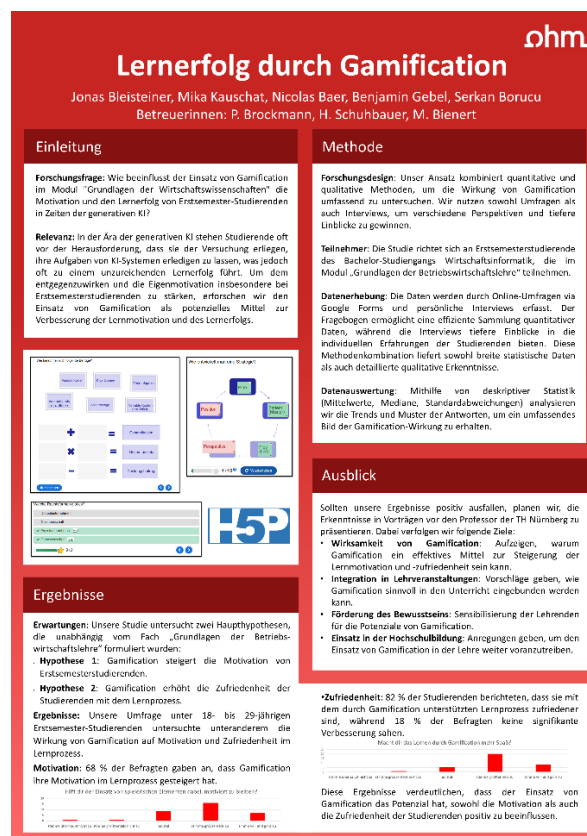


Abbildung 2: Poster-Präsentation von Studierenden auf der StuFo 2024-Konferenz. Bild: Bleisteiner, Kauschat, Baer, Gebel, Borucu

Um die wissenschaftliche Aussagekraft der Projektergebnisse zu dokumentieren, wurden vier akademische Papers auf internationalen wissenschaftlichen Konferenzen präsentiert und veröffentlicht (siehe Literaturliste).

6. Fazit und Ausblick

Durch dieses Lehrforschungsprojekt hatten Studierende am Ende ihres Bachelorstudiums die Möglichkeit, an sämtlichen Phasen eines wissenschaftlichen Projekts teilzunehmen: der Auseinandersetzung mit der aktuellen Literatur, der Einholung von Projektanforderungen, der Generierung von Lösungsideen, der Durchführung eines Experiments, der Sammlung empirischer Ergebnisse sowie der statistischen Analyse und Bewertung der Ergebnisse. Mit der Teilnahme an einer studentischen Konferenz konnten die Studierenden bereits am Ende ihres Bachelorstudiums erste Erfahrungen in der akademischen Welt sammeln.

7. Literatur

- Brockmann, P., Schuhbauer, H. „Generative AI-Chatbots in Higher Education: Challenges and Opportunities in Student Motivation and Authentic Assessments”. In: Proceedings of the International Conference on Education and New Developments (END 2024).
- Schuhbauer, H., Brockmann, P., Schötteler, S. „Agile Learning: Use of EduScrum in Higher Education”. Proceedings of the International Conference on Education and New Developments (END 2024).
- Schuhbauer, H., Kyamil, A., Brockmann, P. „Evaluation of a Digital Escape Room for Higher Education”. Im Druck: Proceedings of the International Teaching and Education Conference (TEDUCONF 2024).
- Brockmann, P., Kühnl, P., Meiler, C., Schuhbauer, H., Bienert, M. „Problem-Based e-Learning to Increase Motivation of STEM-Students: Gamification of a Startup Enterprise”. Proceedings of the International Teaching and Education Conference (TEDUCONF 2024).

ReGeIT – Recht und Gewalt an der Schnittstelle IT, Chatbots als Präventionsmaßnahme im Kontext häuslicher Gewalt und der Umsetzung der Istanbul-Konvention

Prof. Dr. Simone Emmert, LL.M. Eur.

Fakultät Sozialwissenschaften

Prof. Dr. Alexander Piazza

Fakultät Wirtschaft, Hochschule Ansbach

Dr. Daniel Alt

Chief Executive Officer (CEO) beim Institut für Innovation und Digitalisierung (IDA),
Amlingstadt bei Bamberg

Zusammenfassung:

Opfer von sexualisierter Gewalt verfügen nicht über ausreichende Kenntnisse, welche rechtlichen Schritte eingeleitet werden können, um sich und ihre Kinder zu schützen. Um hier Unterstützung zu bieten, wurde ein Chatbot zur niederschweligen Weitergabe von Informationen an Betroffene entwickelt.

Die Studierenden des Bachelorstudiengangs Soziale Arbeit finalisierten ab dem dritten Studiensemester im Rahmen eines Praxis-Theorie-Transfer-Seminars den Chatbot zur vertraulichen Spurensicherung, der bei der Stadt Nürnberg und interessierten Kliniken in Mittelfranken auf der Homepage eingebunden werden soll.

Während des Projekts fand ein regelmäßiger Austausch mit Fachkräften der Gleichstellungsstelle der Stadt Nürnberg und des Frauenhauses Nürnberg statt, indem die Studierenden beispielsweise bei einer Sitzung des Arbeitskreises (AK) Häusliche Gewalt der Stadt Nürnberg teilnehmen durften. Es gab Gastvorträge der Polizei Mittelfranken und der Informationstechnik-(IT-)Branche. Die Abschlusspräsentationen der Studierenden fanden im Rathaus in Nürnberg statt.

Die Studierenden erlernten die Konzipierung und Umsetzung eines konkreten Projektes „Chatbot“ für die Praxis und arbeiteten direkt mit der Praxis zusammen.

1. Projektdaten

Fördersumme	7.500 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Sozialwissenschaften
Projektleitung	Prof. Dr. Simone Emmert, LL.M. Eur.
Projektteam	Prof. Dr. Alexander Piazza, Dr. Daniel Alt
Kontaktdaten Projektleitung	simone.emmert@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Im Wintersemester 2022/2023 wurde zum ersten Mal eine interdisziplinäre Lehrveranstaltung „Praxis-Theorie-Transfer“ (PTT) mit dem Titel „Gewalt in der Familie & Beratungsangebote über Chatbots und Social Media“ angeboten, die im Sommersemester 2023 mit demselben Titel wiederholt wurde. Anlass für diese Lehrveranstaltungen waren die 2022 veröffentlichten Zahlen des Bundeskriminalamts (BKA), wonach im Jahr 2021 in Deutschland 104 Frauen und 23 Kinder im Zuge einer Trennung durch einen Mann getötet worden waren. 120 Frauen und sechs Kinder wurden zum Teil lebensgefährlich verletzt, überlebten aber die Tat, (Bundeskriminalamt (BKA), Partnerschaftsgewalt. Kriminalstatistische Auswertung – Berichtsjahr 2021, Wiesbaden 2022). Die aktuellen Zahlen, die sich auf das Jahr 2024 beziehen, sind inzwischen soweit gestiegen, dass in Deutschland fast täglich eine Frau durch die Hand ihres (Ex-)Partners umgebracht wird. Im Jahr 2024 wurden ca. 171.100 Fälle von Partnergewalt registriert, was einen Anstieg von 1,9 Prozent im Vergleich zum Jahr 2023 darstellt. Im Jahr 2024 waren bei der partnerschaftlichen Gewalt fast 80 Prozent weibliche Opfer zu verzeichnen. (Tagesschau, 02.08.2025). Opfer verfügen nicht immer über ausreichende Kenntnisse, dass die Beziehung, in der sie leben, von häuslicher Gewalt geprägt ist oder, wie sie sich Hilfe holen und welche rechtlichen Schritte eingeleitet werden können, um sich und ihre Kinder zu schützen. Deutschland hat am 01.02.2018 die Istanbul-Konvention (IK) des Europarates ratifiziert und sich somit verpflichtet, gesetzgeberische, politische und sonstige Maßnahmen zu treffen, um Gewalt an Frauen und häusliche Gewalt zu bekämpfen (Artikel 7 IK). Artikel 11 IK sieht vor, dass statistische Daten gesammelt und ausgewertet sowie Forschung betrieben wird, um unter anderem die Verbreitung und Entwicklung der Formen von Gewalt und deren Bekämpfung zu bewerten. Ferner besteht eine Verpflichtung Deutschlands über Artikel 13 IK, durch Kampagnen und Programme auf das Thema auf allen Ebenen in der Zivilgesellschaft zu sensibilisieren und schließt über Artikel 14 IK insbesondere auch das Bildungssystem ein.

Das geförderte Vorhaben hat diese Schnittstellen bedient, indem im Förderzeitraum je eine weitere interdisziplinäre Lehrveranstaltung „Praxis-Theorie-Transfer“ (PTT) im Wintersemester 2023/2024, Sommersemester 2024 und Wintersemester 2024/2025 angeboten wurde, in der die seit dem Wintersemester 2022/2023 entwickelten Chatbots von Studierenden weiterentwickelt wurden, um über das Thema häusliche Gewalt aufzuklären und weiterführende Hilfestellung, wie beispielsweise der Suche nach einem Frauenhaus und Kliniken zur vertraulichen Spurensicherung, zu informieren. Chatbots stellen eine dynamische und interaktive Möglichkeit dar, von Opfern unterschiedlichen Alters oder Ethnien genutzt zu werden und suggerieren auf anwendungspsychologischer Ebene eine Interaktion, indem die künstliche Intelligenz „zuhört“ und „Fragen beantwortet“ werden. Die Nutzung eines Chatbots stellt insofern einen Zwischenschritt

der Information dar, da die Hemmschwelle bei einem Erstkontakt sehr hoch ist, sich nach einem Vorfall an eine Beratungsstelle oder die Polizei zu wenden.

Das Dozierendenteam bestand aus der Projektleitung Prof. Dr. Simone Emmert, LL.M. Eur. sowie aus Prof. Dr. Alexander Piazza, Hochschule Ansbach, Forschungsprofessur für Digitales Marketing und Interkulturelles Management sowie Dr. Daniel Alt, CEO bei IDA Amlingstadt bei Bamberg. Die Vorlesung wurde im Dreier-Team im Wintersemester 2022/2023 initiiert und kontinuierlich fortgesetzt und weiterentwickelt. In den folgenden Semestern konnten die Ergebnisse der Studierenden nunmehr für die Praxis aufbereitet werden. Im Wintersemester 2023/2024 wurde der Chatbot für das Thema „Vertrauliche Spurensicherung“ aufbereitet und im Tandem von Dr. Alt und mir betreut. Hierzu bestand mit der Stadt Nürnberg, dem Rechtsmedizinischen Institut Würzburg und der Polizei Mittelfranken ein Austausch und die Absicht, nach Fertigstellung des Prototyps diesen auf der Homepage der Stadt Nürnberg und interessierten Kliniken in Mittelfranken einzusetzen.

Ziel des Projektes war es zum einen, die Befähigung der Studierenden, sich inhaltlich mit den Themen „digitale Beratung im Kontext häuslicher Gewalt“ und der Konzipierung von Chatbots zu befassen und ihre Kenntnisse zu vertiefen.

Zum anderen war Ziel des Projektes, eine Hilfestellung für Opfer von häuslicher und sexualisierter Gewalt zu bieten, sich niedrigschwellig zu informieren, um gegebenenfalls die kostenlose Möglichkeit der vertraulichen Spurensicherung in den beteiligten Kliniken in Anspruch nehmen zu können.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die Studierenden wurden seit dem Wintersemester 2022/2023 aktiv in den Forschungsprozess eingebunden. Sie erstellten im Wintersemester 2022/2023 die Chatbots und überarbeiteten die bereits bestehenden Chatbots in den darauffolgenden Semestern in neuen Studierendenkohorten und führten die bisherigen Ergebnisse zusammen. Bei der ersten Sitzung im Wintersemester 2023/2024 war Hedwig Schouten von der Gleichstellungsstelle der Stadt Nürnberg anwesend und hat ihre Arbeit vorgestellt. Zum zweiten Termin kam Annegret Steiger, Polizei Mittelfranken, und die Studierenden waren am 13.11.2023 beim AK „Vertrauliche Spurensicherung“ der Stadt Nürnberg eingeladen, online teilzunehmen, ihre Zwischenergebnisse vorzustellen, sich mit Fachkräften in der Praxis zu vernetzen, um sodann in die Testphase und Evaluierung zu gehen. Zum dritten Termin im Dezember 2023 gab Prof. Dr. Piazza einen Input zum Einsatz von Furchts als Social Bots. Die Abschlusspräsentationen fanden im Januar 2024 erneut im Rathaus der Stadt Nürnberg statt. Die Studierenden finalisierten im Förderzeitraum den Chatbot zur vertraulichen Spurensicherung, der bei der Stadt Nürnberg auf der Homepage eingebunden werden soll. Im Förderzeitraum wurde der Austausch mit Fachkräften aus der Praxis fortgesetzt. Das Feedback der Studierenden war durchgängig positiv, da sie zum einen selbst etwas entwickeln konnten, das „greifbar“ und sichtbar war und zum anderen, dass sie einen sinnstiftenden Beitrag zum Wissenstransfer in die Praxis geleistet hatten, um für das Thema „Gewalt gegen Frauen“ gesellschaftlich zu sensibilisieren. Durch die heterogenen Fachinputs wurde Interdisziplinarität live erlebt und es fand eine Auseinandersetzung anhand unterschiedlicher Fachdisziplinen statt. Am Ende ging die Inter- in die Transdisziplinarität über, um für ein bestehendes Problem eine passgenaue Lösung zu entwickeln, bei der ein Überschreiten der eigenen Disziplin erfolgt ist, interdisziplinär zusammengearbeitet wurde und in einer transdisziplinären Lösung endete. Die Betreuung der Studierenden erfolgte engmaschig in einem Zweier-Team, bestehend aus Dr. Daniel Alt und mir selbst, ergänzt um die fachlichen Inputs durch Prof. Dr. Alexander Piazza. Wir hatten regelmäßige Treffen in Präsenz und über Zoom sowie auf Moodle eine interaktive Lehr-Lernplattform eingerichtet. Unterstützt wurde das Dozierendenteam durch studentische Hilfskräfte, die durch das Förderprojekt gefördert wurden. Die studen-

tischen Hilfskräfte hatten die Aufgabe, bei der Weiterentwicklung und fachlichen Aufbereitung der Chatbots zu unterstützen, indem die Digitalisierung professionalisiert wurde und sollten Unterstützung anbieten, wenn Studierende technische Probleme im Zusammenhang mit der Entwicklung und Evaluierung der Chatbots hatten.

Die Forschungskompetenz der Studierenden wurde gefördert, indem sie selbstständig bestehende und zur Verfügung gestellte Quellen recherchierten, diese für den Chatbot auswerteten, sprachlich abänderten und einpflegen mussten. Es ging hier darum, wissenschaftliches Hintergrundwissen laiengerecht zu formulieren, damit potenzielle Opfer fundierte Informationen bekommen, um im Bedarfsfall schnell befähigt zu werden, die richtigen Entscheidungen zu treffen. Zugleich erlangten die Studierenden relevantes methodisches wissenschaftliches Handwerkszeug (welche Quellen geeignet sind), aktives Fachwissen durch das Lesen der Materialien und professionelles Agieren durch den frühen Kontakt mit den Praxispartnerschaften.

Beim Lehrkontext handelte es sich durchgängig um sogenannte Praxis-Theorie-Transfer-Seminare, die von den Studierenden ab dem dritten Fachsemester belegt werden konnten, um so erste Praxiserfahrungen theoretisch aufbereiten und transferieren zu können. Die Seminare wurden in Kleingruppen mit maximal 20 Studierenden abgehalten.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Wintersemester 2023/2024 wurden bis Oktober/November 2023 die bestehenden Chatbots überarbeitet und mit den Inhalten zur vertraulichen Spurensicherung ergänzt. Im Dezember 2023 fand die Testphase mit Fachkräften aus der Praxis statt, um die Plausibilität der Fragen und die Sensibilisierung hinsichtlich der Sprache zu prüfen. Hieran schloss sich die erste Evaluierung an. Im Januar 2024 fanden die Präsentationen im Rathaus statt. Die Kohorte im Sommersemester 2024 betreute den aktiven Chatbot weiter und ergänzte ihn um weitere Inhalte, die sich aus den gesammelten Daten der Online-Testphase durch Fachkräfte der Stadt Nürnberg, der Polizei und des Frauenhauses ergaben. Es schlossen sich weitere Auswertungen im Wintersemester 2024/2025 an.

Als Forschungsergebnis kann festgehalten werden, dass der Chatbot inzwischen für die Online-Testphase zur Implementierung auf der Homepage der Stadt Nürnberg fertig gestellt wurde und nun auf die Freigabe durch die zuständige Stelle der Stadt Nürnberg wartet. Die beteiligten Fachkräfte haben den Chatbot als innovativ und hilfreich bewertet und sehen ihn für ihren Arbeitsalltag als Entlastung an, da er grundlegende Fragen beantworten kann, die keine individuelle persönliche Beratung erfordern.

Weiteres Forschungsergebnis ist, dass die teilnehmenden Studierenden durchweg mit ihren Lernergebnissen sehr zufrieden waren und sich die Mühen der Erarbeitung und ständigen Weiterentwicklung durch konstruktives Feedback der beteiligten Fachkräfte gelohnt hatten.

Die Ergebnisse sind insoweit nachhaltig, als die Lehrveranstaltung in diesem Lehrformat weiter angeboten und von den Studierenden nachgefragt wird.

Bei erfolgreicher Testphase auf der Homepage der Stadt Nürnberg soll der Chatbot in den Kliniken in Mittelfranken, die vertrauliche Spurensicherung durchführen, ebenfalls auf deren Homepage implementiert werden können, sofern diese dies wünschen.

Die hierdurch gewonnenen Daten wurden bereits im Rahmen einer Bachelorarbeit wissenschaftlich aufbereitet. Die Arbeit soll in der Reihe Young Academics „Recht und Politik Sozialer Arbeit“, deren Herausgeberin ich bin, veröffentlicht werden. Am 13.11.2025 werde ich im Rahmen der „Aktionswochen gegen Gewalt an Frauen“ der Stadt Nürnberg einen Impulsvortrag zum Thema „Chatbots und vertrauliche Spurensicherung“ halten und das Thema der Zivilgesellschaft vorstellen.

5. Vernetzung und Transfer

Durch die Zusammenarbeit mit der Gleichstellungsstelle der Stadt Nürnberg, dem Menschenrechtsbüro, der Polizei Mittelfranken und dem Frauenhaus Nürnberg ist die regionale Vernetzung geglückt. Ebenso zeigen sich die Kliniken in Mittelfranken interessiert, den Chatbot auf ihren Homepages zu implementieren. Eine weitere Vernetzung besteht hochschulübergreifend durch die transdisziplinäre Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Alexander Piazza der Hochschule Ansbach und Dr. Daniel Alt, CEO bei IDA.

Unsere Studierenden hatten jederzeit die Möglichkeit, sich im Rahmen ihrer Projektgruppen an die beteiligten Fachkräfte und die Mitglieder unsere Projektteams zu wenden, um auf ihre jeweiligen Fragen Hilfestellung zu erhalten. Insoweit wurde deren Verständnis für komplexe Zusammenhänge erweitert und ihnen konstruktive Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Der Wissenstransfer ist insofern erfolgt, als Theorien der Sozialen Arbeit und der Informatik in der Praxis angewandt und hinterfragt wurden. Im Studium und Praktikum erworbenes Wissen konnten die Studierenden anhand der Entwicklung des Chatbots in ihren Kleingruppen reflektieren, umsetzen und weiterentwickeln.

6. Fazit und Ausblick

Da es bislang wenig Forschung in Deutschland in dem Bereich gibt, der durch das Forschungsprojekt Recht und Gewalt an der Schnittstelle IT abgedeckt wurde, ist der Bedarf groß, die hierdurch gewonnenen Forschungsergebnisse dem wissenschaftlichen Diskurs durch Vorträge und Veröffentlichungen zur Verfügung zu stellen.

Auch die Istanbul-Konvention fordert, Daten zu sammeln, auszuwerten und zu veröffentlichen, um die Datenlage für von Gewalt betroffene Opfer in Deutschland zu konkretisieren, anhand derer sich weitere Maßnahmen ableiten lassen.

In didaktischer Hinsicht soll an dem Lehrkonzept festgehalten werden, da insbesondere durch den engen Bezug zur Praxis den Studierenden vermittelt wurde, dass theoretische Studieninhalte für die Praxis gebraucht werden, um effektive und nachhaltige Lösungen zu entwickeln.

Die Zufriedenheit der Studierenden war insoweit sehr hoch, als sie etwas „Eigenes“ entwickeln konnten, das zugleich auch einen Sinn für die Zivilgesellschaft hat, indem Opfern geholfen werden kann.

In Zukunft sollen die Daten gesammelt und ausgewertet werden, die sich aus der Freischaltung des Chatbots bei den Praxispartnern ergeben.

Der Weg ist insofern bereitet, einen dauerhaften und nachhaltigen Beitrag zur Bekämpfung von sexualisierter und häuslicher Gewalt an Frauen zu leisten.

7. Literatur

Es handelt sich nachfolgend um einen Auszug, der in der Lehrveranstaltung erarbeiteten und verwendeten Literatur.

- Anhorn, Roland; Bettinger, Frank; Horlacher, Cornelis & Rathgeb, Kerstin (2012): Zur Einführung: Kristallisationspunkte kritischer Sozialer Arbeit. In: Anhorn, Roland; Bettinger, Frank; Horlacher, Cornelis & Rathgeb, Kerstin (Herausgeber): *Kritik der Sozialen Arbeit - kritische Soziale Arbeit* (Seite 1–23). Wiesbaden: Springer VS.
- aiaibot & Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften [ZHAW] (2021): *Chatbot Studie '21*. Schweiz: swiss moonshot AG.
- Android-Hilfe (ohne Datum): *Im Notfall mit dem Android-Smartphone Hilfe anfordern*. <https://support.google.com/android/answer/9319337> (abgerufen am 11.01.2025).
- Anti-Bias-Ansatz (ohne Datum): *Anti-Bias*. www.anti-bias-netz.org/start/anti-bias/ (abgerufen am 14.12.2024).
- Arbeitsgemeinschaft der kommunalen Gleichstellungs- und Frauenbeauftragten Mittelfranken (2022): *Vertrauliche Spurensicherung nach sexualisierter Gewalt für alle Betroffenen von sexualisierter Gewalt in Mittelfranken*. https://www.nuernberg.de/imperia/md/frauenbeauftragte/dokumente/internet/broschueren/vss_flyer-web_nov2022.pdf (abgerufen am 14.01.2025).
- Bayerisches Staatsministerium für Familie, Arbeit und Soziales [StMAS] (ohne Datum a): *Sexualisierte Gewalt*. www.bayern-gegen-gewalt.de/gewalt-infos-und-einblicke/formen-von-gewalt/sexualisierte-gewalt/ (abgerufen am 08.11.2024).
- Bayerisches Staatsministerium für Familie, Arbeit und Soziales [StMAS] (ohne Datum b): *Hilfe-Suche*. www.bayern-gegen-gewalt.de/beratung-und-hilfe/hilfe-suche/ (abgerufen am 30.12.2024).
- Berger, Thomas; Krieger, Tobias; Sude, Kerstin; Meyer, Björn & Maercker, Andreas (2018): Evaluating an e-mental health program („deprexis“) as adjunctive treatment tool in psychotherapy for depression: Results of a pragmatic randomized controlled trial. *Journal of Affective Disorders*, 2018 (227), Seite 455–462.
- Blackstein, Achim (2023): *Digitale Seelsorge: Impulse für die Praxis*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Brunner, Alexander (2006): Methoden des digitalen Lesens und Schreibens in der Online-Beratung. *e-beratungsjournal.net Zeitschrift für Onlineberatung und computervermittelte Kommunikation*, 2 (2), Seite 1–11.
- Bruns, Beate & Kowald, Cäcilie (2023): *Praxisleitfaden Chatbots: Conversation Design für eine bessere User Experience*. Wiesbaden: Springer.
- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte [BfArM] (ohne Datum): *Verzeichnis*. <https://diga.bfarm.de/de/verzeichnis> (abgerufen am 05.11.2024).
- Bundeskriminalamt [BKA] (2024): *Vergewaltigung, sexuelle Nötigung und sexuelle Übergriffe*. Wiesbaden: Bundeskriminalamt.
- Bundeskriminalamt [BKA] (2024a): *Sexualdelikte zum Nachteil von Kindern und Jugendlichen Bundeslagebild 2023*. Wiesbaden: Bundeskriminalamt.
- Bundeskriminalamt [BKA] (2024b): *Geschlechtsspezifisch gegen Frauen gerichtete Straftaten 2023*. Wiesbaden: Bundeskriminalamt.
- Bundeskriminalamt [BKA] (2024c): *Polizeiliche Kriminalstatistik 2023: Ausgewählte Zahlen im Überblick*. Wiesbaden: Bundeskriminalamt.
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat [BMI] & Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz [BMJV] (2023): *Dritter Periodischer Sicherheitsbericht*. https://www.bmj.de/SharedDocs/Downloads/DE/Fachpublikationen/Dritter_Periodischer_Sicherheitsbericht_Langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (abgerufen am 09.01.2025).

- Bundesministerium des Innern und für Heimat [BMI] (07.06.2024): *Häusliche Gewalt im Jahr 2023 um 6,5 Prozent gestiegen*. www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2024/06/bundeslagebild-haeuslichegewalt.html (abgerufen am 22.12.2024).
- Bundesverband Caritas Kinder- und Jugendhilfe e. V. (ohne Datum): *KIESA - inklusiv beraten*. <https://www.bvke.de/projekte/kiesa-inklusive-beraten/kiesa-inklusive-beraten> (abgerufen am 04.01.2025).
- Bundesverband Frauenberatungsstellen und Frauennotrufe - Frauen gegen Gewalt e. V. [bff] (ohne Datum): *Kampagne „Vergewaltigung Verurteilen“. Zahlen und Fakten*. <https://www.frauen-gegen-gewalt.de/de/aktionen-themen/kampagnen/vergewaltigung-verurteilen/zahlen-und-fakten-zum-plakat-vergewaltigung-verurteilen.html> (abgerufen am 09.01.2025).
- Bundesverband Frauenberatungsstellen und Frauennotrufe - Frauen gegen Gewalt e. V. [bff] (2021): *Forderungspapier zur Gewährleistung einer flächendeckenden niedrigschwelligen medizinischen und psychosozialen Versorgung sowie vertraulichen Spurensicherung nach sexualisierter und körperlicher Gewalt*. Berlin: bff.
- Büttner, Melanie (2019): Sexuelle Störungen nach sexueller Gewalt. *gyne*, 2019 (4), Seite 28–33.
- Cheng, Cecilia & Ebrahimi, Omid V. (2023): Gamification: a Novel Approach to Mental Health Promotion. *Current Psychiatry Reports*, 25 (10), Seite 577–586.
- Clifton, Erin G. & Losman, Eve D. (03.2024): *Medizinische Untersuchung des Opfers eines sexuellen Übergriffs*. www.msmanuals.com/de/profi/gyn%C3%A4kologie-und-geburtshilfe/h%C3%A4usliche-gewalt-und-sexuelle-%C3%BCbergriffe/medizinische-untersuchung-des-opfers-eines-sexuellen-%C3%BCbergriffs (abgerufen am 26.12.2024).
- Cyberdyne Care Robotics GmbH (ohne Datum): *Wie funktioniert Paro?* <https://robbeparo.de/feature/> (abgerufen am 05.11.2024).
- Deutscher Bundestag (28.10.2020): *Bericht der Enquete-Kommission „Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale“*. Bundestags-Drucksache 19/23700. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/237/1923700.pdf> (abgerufen am 14.12.2024).
- Deutscher Ethikrat (2023): *Mensch und Maschine - Herausforderungen durch Künstliche Intelligenz*. Stellungnahme. Berlin: Deutscher Ethikrat.
- Deutsche Gesellschaft für Onlineberatung e. V. [DGOB] (2018): *Beratungsverständnis*. www.dg-onlineberatung.de/beratungsverstaendnis/ (abgerufen am 15.11.2014).
- Deutsche Gesellschaft für Onlineberatung e. V. [DGOB] (2020): *Anerkennungs-Standards*. www.dg-onlineberatung.de/anerkennungs-standards/ (abgerufen am 15.11.2024).
- Deutsches Institut für Menschenrechte [DIMR] (2022): *Gesamtkonzept für zwei Berichterstattungsstellen zu geschlechtsspezifischer Gewalt und Menschenhandel*. Berlin, Expertise.
- Deutsche STI-Gesellschaft (2018): *Sexuell übertragbare Infektionen (STI) – Beratung, Diagnostik und Therapie*. www.register.awmf.org/assets/guidelines/059-006l_S2k_Sexuell-uebertragbare-Infektionen-Beratung-Diagnostik-Therapie-STI_2019-09-abgelassen.pdf (abgerufen am 27.12.2024).
- Deutsche UNESCO-Kommission (2023): *Künstliche Intelligenz für mehr Geschlechtergerechtigkeit und gegen Diskriminierung - Handlungsansätze für die Politik*. www.unesco.de/assets/dokumente/Digitalisierung_und_KI/01_Digitalisierung_KI_allgemein/Handlungsansätze_KI_Geschlechtergerechtigkeit_DUK.pdf (abgerufen am 15.12.2024).
- Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe e. V. [DGGG] (2009): *Leitlinien, Empfehlungen, Stellungnahmen. Ärztliche Gesprächsführung, Untersuchung und Nachbetreuung von Frauen nach mutmaßlicher sexueller Gewaltanwendung*. www.dggg.de/fileadmin/data/Presse/Pressemitteilungen/2009/In_ho_hem_Masse_einfuehlsam_-_Leitlinie_zum_Umgang_mit_Frauen_nach_sexueller_Gewalt/4-1-6-dggg-sexuelle-gewalt-2009.pdf (abgerufen am 29.12.2024).

- Dialogbits (23.06.2022): *Chatbot-Arten im Überblick – KI, Hybrid und regelbasiert*. www.dialogbits.com/chatbot-ratgeber/chatbot-arten/ (abgerufen am 04.12.2024).
- DOIT Software (08.04.2024): *ChatGPT-Statistiken enthüllt – Vom Benutzerwachstum bis zur wirtschaftlichen Auswirkung*. <https://doit.software/de/blog/chatgpt-statistiken#screen1> (abgerufen am 08.01.2025).
- Duden (ohne Datum): *online*. www.duden.de/rechtschreibung/online (abgerufen am 03.12.2024).
- Eichenberg, Christiane (2021): Onlinepsychotherapie in Zeiten der Coronapandemie. *Psychotherapeut*, 66 (3), Seite 195–202.
- Engelhardt, Emily M. (2021): *Lehrbuch Onlineberatung* (zweite, erweiterte Auflage). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Engelke, Ulrich & Engelke, Barbara (2023): *ChatGPT - Mit KI in ein Neues Zeitalter*. Frechen: mitp.Europäisches Parlament (20.06.2023): *Künstliche Intelligenz: Chancen und Risiken*. www.europa.eu/topics/de/article/20200918STO87404/kunstliche-intelligenz-chancen-und-risiken (abgerufen am 15.12.2024).
- Fischer, Lisa (2020): *Akutversorgung nach sexualisierter Gewalt*. Berlin: Deutsches Institut für Menschenrechte.
- ForGen Team (04.04.2018): *ForGen informiert: Zur Haltbarkeit von DNA-Spuren*. www.forsikhh.de/2018/04/04/forgen-informiert-zur-haltbarkeit-von-dna-spuren/ (abgerufen am 26.12.2024).
- Fox, Philip; Privitera, Daniel & Reuel, Anka (2023): *So denken die Deutschen über KI*. KIRA-Report. Berlin: Zentrum für KI-Risiken & -Auswirkungen.
- FRA - European Union Agency for Fundamental Rights (2014): *Violence against women: an EU-wide survey*. https://fra.europa.eu/sites/default/files/fra_uploads/fra-2014-vaw-survey-at-a-glance-oct14_de.pdf (abgerufen am 23.12.2024).
- Frauenberatung Notruf bei sexueller Gewalt Wien (2021): *Zahlen und Fakten zu sexueller Gewalt gegen Frauen*. https://www.sexuellegewalt.at/site/assets/files/1450/zahlen_und_fakten-sexuelle-gewalt_03-2021.pdf (abgerufen am 09.01.2025).
- frauenBeratung Nürnberg (ohne Datum): *Erste Hilfe*. www.frauenberatung-nuernberg.de/notfall (abgerufen am 30.12.2024).
- Frauennotruf Frankfurt (2024): *Befunderhebung, Spurensicherung, Versorgung bei Verdacht auf sexualisierte Gewalt*. www.soforthilfe-nach-vergewaltigung.de/fileadmin/redaktion/pdf/FRAUENNOTRUF-FFM-sexualisierte-Gewalt-Dokubogen.pdf (abgerufen am 28.12.2024).
- Friebs, Barbara & Gabriele, Martin (2021): *Methoden und Techniken in der systemisch-lösungsorientierten Beratung*. Wiesbaden: Springer.
- Fryszer, Lina Ana; Büttner, Melanie; Etzold, Saskia; Muetzel, Elisabeth; Rall, Katharina & Schellong, Julia (2022): Empfehlungen zur Betreuung und Versorgung von weiblichen mutmaßlich Stuprum-Betroffenen. *Geburtshilfe und Frauenheilkunde*, 82 (4), Seite 384–391.
- Getronics (02.11.2023): *The Fear of Artificial Intelligence: Is It Justified?* www.getronics.com/the-fear-of-artificial-intelligence-is-it-justified/ (abgerufen am 13.12.2024).
- Gewaltfrei in die Zukunft (ohne Datum): *Deine Sicherheit - unsere Priorität*. <https://www.gewaltfrei-indie-zukunft.de/app> (abgerufen am 11.01.2025).
- Glammeier, Sandra; Müller, Ursula & Schröttle, Monika (2004): *Unterstützungs- und Hilfebedarf aus der Sicht gewaltbetroffener Frauen. Lebenssituation, Sicherheit und Gesundheit von Frauen in Deutschland*. Berlin: Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend.
- Gleichstellungsstelle der Stadt Nürnberg (ohne Datum): *Gegen häusliche und sexualisierte Gewalt*. www.nuernberg.de/internet/gleichstellung/gegen_gewalt.html (abgerufen am 30.12.2024).

- Gleichstellungsstelle der Stadt Nürnberg (ohne Datum a): *Vertrauliche Spurensicherung in Mittelfranken*. www.nuernberg.de/internet/gleichstellung/vss.html (abgerufen am 30.12.2024).
- GlobeNewswire (13.03.2023): *Weltweites Marktvolumen von Chatbots im Jahr 2022 und Prognose bis 2032 (in Milliarden US-Dollar)*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1373729/umfrage/weltweites-marktvolumen-chatbots/> (abgerufen am 04.01.2025).
- Görder, Björn (2020): Wann ist KI ok? Der Einsatz künstlicher Intelligenz in der Sozialen Arbeit aus ethischer Perspektive. *Soziale Arbeit: Zeitschrift für soziale und sozialverwandte Gebiete*, 69 (1), Seite 16–22.
- Haque, M. D. Romael & Rubya, Sabirat (2023): *An Overview of Chatbot-Based Mobile Mental Health Apps: Insights from App Description and User Reviews*. <https://mhealth.jmir.org/2023/1/e44838> (abgerufen am 11.12.2024).
- Herbig, Daniel (18.03.2020): *Google: App kann Sprache live übersetzen*. <https://www.heise.de/news/Google-App-kann-Sprache-live-uebersetzen-4685493.html> (abgerufen am 05.01.2025).
- Herrmann, Simon; Wolleschensky, Johanna; Schober, Maximilian; Jennewein, Nadja (2021): *Begriffe2go*. <https://digid.jff.de/magazin/kuenstliche-intelligenz/begriffe2go/> (abgerufen am 12.12.2024).
- Herrmann, Simon; Wolleschensky, Johanna; Schober, Maximilian; Jennewein, Nadja (2021 a): *Fünf Fragen aus dem Netz*. www.digid.jff.de/magazin/kuenstliche-intelligenz/fuenf-fragen/ (abgerufen am 12.12.2024).
- Hessisches Ministerium für Digitalisierung und Innovation (ohne Datum): *Chatbot "Sophia"*. www.digitales.hessen.de/chatbot-sophia (abgerufen am 11.12.2024).
- Hilfetelefon (ohne Datum): *Herzlich willkommen zur telefonischen Beratung in 18 Fremdsprachen – Welcome to our telephone counselling in 18 other languages*. <https://www.hilfetelefon.de/das-hilfetelefon/beratung/beratung-in-18-sprachen.html> (abgerufen am 06.01.2025).
- Hilfetelefon (ohne Datum a): *Sexualisierte Gewalt*. www.hilfetelefon.de/gewalt-gegen-frauen/sexualisierte-gewalt.html (abgerufen am 08.11.2024).
- Hilfetelefon (2023): *Zahlen und Fakten*. <https://www.hilfetelefon.de/das-hilfetelefon/zahlen-und-fakten.html> (abgerufen am 08.01.2025).
- Hille, Katrin (2003): Beratung bei sexueller Gewalt an Frauen und Kindern. In: Christina Krause; Bernd Fittkau; Reinhard Fuhr & Heinz-Ulrich Thiel (Herausgeber): *Pädagogische Beratung. Grundlagen und Praxisanwendung* (Seite 205–222). Paderborn: Schöningh.
- IBM (ohne Datum): *Was versteht man unter einem Decision Tree?*
- Jugendamt der Stadt Nürnberg (ohne Datum): *Hilfe bei sexuellem Missbrauch und Gewalt in Nürnberg*. www.nuernberg.de/internet/jugendamt/missbrauch_gewalt.html (abgerufen am 30.12.2024).
- Kaiser, G. (07.11.2024): *Statistiken zur Internetnutzung in Deutschland*. <https://de.statista.com/themen/2033/internetnutzung-in-deutschland> (abgerufen am 31.12.2024).
- Kapella, Olaf & Hornung, Helena (2024): *Onlineberatung im psychosozialen Kontext. Praxis | Definition | Einstellung*. Wien: Universität Wien, Österreichisches Institut für Familienforschung.
- Kehl, Christoph (2018): *Robotik und assistive Neurotechnologien in der Pflege – gesellschaftliche Herausforderungen Vertiefung des Projekts »Mensch-Maschine-Entgrenzungen«*. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Kelbert, Patricia; Siebert, Julien & Jöckel, Lisa (12.12.2023): *Was sind Large Language Models? Und was ist bei der Nutzung von KI-Sprachmodellen zu beachten?* <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/large-language-models-ki-sprachmodelle/> (abgerufen am 12.12.2024).
- Killersreiter, Birgitt (2023): Beratung und Begleitung in der Sozialen Arbeit. In: Matthias Buntrock & Katharina Peinemann (Herausgeber): *Grundwissen Soziale Arbeit* (Seite 247–266). Wiesbaden: Springer Gabler.

- Klinikum Fürth (ohne Datum): *Vertrauliche Spurensicherung*. www.klinikum-fuerth.de/de/patienten/soziale-dienste/vss.php (abgerufen am 30.12.2024).
- Klinikum Nürnberg (ohne Datum): *Opfer sexualisierter Gewalt können Spuren vertraulich sichern lassen*. <https://www.klinikum-nuernberg.de/behandlung/notfallmedizin-schmerzen/notaufnahmen/notaufnahme-knn/vertrauliche-spurensicherung> (abgerufen am 30.12.2024).
- Knatz, Birgit & Schumacher, Stefan (2019): *Mediale Dialogkompetenz*. Berlin: Springer. Kocur, Sylwia (08.08.2024): *Confidence score*. www.chatbot.com/help/settings/confidence-score/ (abgerufen am 28.12.2024).
- Kutscher, Nadia (2019): Digitale Ungleichheit als Herausforderung für Medienbildung. *DSD - Die Deutsche Schule*, 111 (4), Seite 379–390.
- Krisenchat (ohne Datum): *Über uns*. www.krisenchat.de/ueber-uns (abgerufen am 27.11.2024).
- Lieberei, Barbara & Linden, Michael (2008): Unerwünschte Effekte, Nebenwirkungen und Behandlungsfehler in der Psychotherapie. *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen (ZEFQ)*, 102 (9), Seite 558–562.
- Limbic Limited (ohne Datum): *Limbic Access – The clinical AI assistant for intake and assessment*. www.limbic.ai/access (abgerufen am 11.12.2024).
- Lömker, Malte; Weber, Ulrike & Moskaliuk, Johannes (2021): *Chatbots im Coaching Chancen im lösungsfo-kussierten Coaching*. Wiesbaden: Springer.
- Microsoft (08.03.2023): *Microsoft unterstützt KI-Chatbot für Opfer von häuslicher Gewalt*. www.news.microsoft.com/de-ch/2023/03/08/microsoft-unterstutzt-ki-chatbot-fur-opfer-von-hauslicher-gewalt/ (abgerufen am 11.12.2024).
- Microsoft (28.08.2024): *The confidence score of an answer*. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/qnamaker/concepts/confidence-score> (abgerufen am 06.01.2025).
- Mindverse (15.06.2024): *Multimodale Chatbots: Die Evolution der digitalen Kommunikation mit Künstlicher Intelligenz*. www.mind-verse.de/news/multimodale-chatbots-evolution-digitale-kommunikation-kuenstliche-intelligenz (abgerufen am 06.12.2024).
- Mindverse (06.08.2024): *Chatbots: Funktionsweise, Einsatzgebiete und Zukunftsperspektiven*. www.mind-verse.de/post/chatbots-einsatz-ki-nlp-technologie-anwendung-vorteile-zukunft (abgerufen am 06.12.2024).
- Montemayor, Carlos; Halpern, Jodi & Fairweather, Abrol (2022): In principle obstacles for empathic AI: why we can't replace human empathy in healthcare. *AI & Society*, 37 (4) Seite 1353–1359.
- Mossaheb, Nilufar (2024): Gewalt gegen Frauen und ihre psychischen Auswirkungen. *psychopraxis. neuropraxis* 27 (3), Seite 169–174.
- Müller, Ursula; Schröttle, Monika; Glammeier, Sandra; Oppenheimer, Christa; Hess, Doris; Prussog-Wagner, Angela; Marwinski, Karen; Fredebeul, Christine; Gilberg, Reiner & Kästner, Gerd (2004): *Lebenssituation, Sicherheit und Gesundheit von Frauen in Deutschland: Eine repräsentative Untersuchung zu Gewalt gegen Frauen in Deutschland*. Berlin: Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend.
- Mundt, Dana & Zenz, Maria (2024): KI-gestützte Assistenz für digitale psychosoziale Beratung. In: Bundeskonferenz für Erziehungsberatung e. V. (bke) (Herausgeber): *Erziehungs-, Familien- und Jugendberatung im Internet. Bericht 2023* (Seite 32–35). Fürth: bke.
- OpenAI (03.11.2022): *Introducing ChatGPT*. www.openai.com/index/chatgpt/ (abgerufen am 02.11.2024).
- PIDAS - The Customer Care Company & Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (2018): *Chatbot-Studie 2018: Die digitalen Helfer im Praxistest*. Zürich: PIDAS.

- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (24.07.2024): *Kabinett beschließt Netzausbau-Gesetz. Schnelleres Internet für alle*. www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/schneller-netzausbau-2300562 (abgerufen am 31.12.2024).
- Reindl, Richard (2015): Psychosoziale Onlineberatung - von der praktischen zur geprüften Qualität. *e-beratungsjournal.net Fachzeitschrift für Onlineberatung und computervermittelte Kommunikation*, 11 (1), Seite 55–68.
- Rogers, Carl R. & Schmid, Peter F. (1991): *Personen-zentriert: Grundlagen von Theorie und Praxis*. Mainz: Matthias-Grünwald-Verlag.
- Roth, Gerhard (ohne Datum): *Bewußtsein*. <https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/bewusstsein/1446> (abgerufen am 18.12.2024).
- Sachverständigenkommission für den Dritten Gleichstellungsbericht der Bundesregierung (2021): *Digitalisierung geschlechtergerecht gestalten: Gutachten für den Dritten Gleichstellungsbericht der Bundesregierung*. Berlin: Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ).
- Schelisch, Lynn & Spellerberg, Annette (2021): Digital Divide. Soziale Aspekte Der Digitalisierung. In: Annette Spellerberg (Herausgeber): *Digitalisierung in ländlichen und verdichteten Räumen* (Seite 53–62). Hannover: ARL.
- Schuster, Corinna (17.09.2024): *Wikidata und Künstliche Intelligenz: Vereinfachter Zugang zu offenen Daten für Open-Source-Projekte*. <https://blog.wikimedia.de/2024/09/17/wikidata-und-ki-einfacherer-zugang/> (abgerufen am 15.12.2024).
- SCNAT (2018): *Health tracking Apps*. https://naturwissenschaften.ch/personalized-health-explained/welche-methoden-werden-eingesetzt/_health_tracking_apps (abgerufen am 05.01.2025).
- Seibt, Markus (2023): *Professionsethische Grundlagen und Reflexionen im Kontext der Sozial- und Gesundheitswissenschaften*. Norderstedt: BoD - Books on Demand.
- Semmler, Stefan (26.10.2023): *Für Android und iOS! Begleit-Apps für den sicheren Weg nach Hause*. <https://www.handyhase.de/magazin/begleit-apps/#life360-deine-digitale-schutzengel-app> (abgerufen am 11.01.2025).
- Sieber, Armin (2019). *Dialogroboter*. Wiesbaden: Springer VS.
- SPARX (ohne Datum): *The Game. Are you ready to restore balance?* <https://www.sparx.org.nz/the-game> (abgerufen am 05.01.2025).
- Spring Act (ohne Datum): *Sophia – The Chatbot*. www.springact.org/sophia-chatbot/ (abgerufen am 11.12.2024).
- Stadt Nürnberg (ohne Datum): *Vertrauliche Spurensicherung (VSS) nach sexualisierter Gewalt*. www.nuernberg.de/internet/leichte_sprache_ls/vertrauliche_spurensicherung_nach_sexualisierter_gewalt_stadt_nuernberg_leichte_sprache_ls.html (abgerufen am 30.12.2024).
- Stegkemper, Jan M. & Ullrich, Manuel (2024): Digitale Kommunikation im Kontext inklusiver Schulbildung. Eine teilhabeorientierte Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Bedarfe von Schüler:innen mit kognitiven und sprachlichkommunikativen Beeinträchtigungen. In: Klaus Götz; Katrin Böttcher & Alexandra Merkert (Hrsg.): *Kommunikation und Beratung digital* (Seite 69–86). Baden-Baden: Nomos.
- Stieler, Mara; Lipot, Sarah & Lehmann, Robert (2022): Zum Stand der Onlineberatung in Zeiten der Corona-Krise. Entwicklungs- und Veränderungsprozesse der Onlineberatungslandschaft. *e-beratungsjournal.net Zeitschrift für Onlineberatung und computervermittelte Kommunikation*, 18 (1), Seite 50–65.
- Stix, Daniela Cornelia (2022): *Praxishandbuch Beraten mit Social Media*. Weinheim Basel: Beltz Juventa.
- Strippel, Christian (2024). *Künstliche Intelligenz zwischen Mythos und Kritik*. Berlin: Weizenbaum-Institut e. V.

- Tagesschau, <https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/anstieg-haesusliche-gewalt-100.html> (abgerufen am 13.10.2025).
- Telefonseelsorge Berlin e. V. (ohne Datum): *Geschichte*. www.telefonseelsorge-berlin.de/ueber-uns/geschichte/ (abgerufen am 18.11.2024).
- TelefonSeelsorge (ohne Datum): *Über uns*. www.telefonseelsorge.de/ueber-uns/ (abgerufen am 18.11.2024).
- TelefonSeelsorge (02.11.2021): *TelefonSeelsorge feiert 25 + 1 Jahre Online-Seelsorge*. www.telefonseelsorge.de/telefonseelsorge-feiert-25-1-jahre-online-seelsorge/ (abgerufen am 18.11.2024).
- TERRE DES FEMMES Menschenrechte für die Frau e. V. (ohne Datum): www.frauenrechte.de/unsere-arbeit/haeusliche-und-sexualisierte-gewalt/unterstuetzung-fuer-betroffene/vertrauliche-spurensicherung (abgerufen am 30.12.2024).
- Tholen-Ihnen, Katja (2024): *GPS-Tracker bei Demenz*. <https://www.pflege.de/hilfsmittel/seniorennotruf/gps-tracker-demenz/> (abgerufen am 05.01.2025).
- Top 5 Accessibility (ohne Datum): *Assistive Technology Tools for Reading*. <https://top5accessibility.com/blog/assistive-technology-tools-for-reading/> (abgerufen am 05.01.2025).
- UNDDU (n. d.): *#UNDDU?*. <https://unddu-portal.de/de> (abgerufen am 11.01.2025).
- Upmann, Patrick (06.02.2023): *Chatbot Replika in Italien gestoppt*. www.now.digital/world-of-data/data-governance-insights/datenschutz/chatbot-replika-in-italien-gestoppt/ (abgerufen am 19.12.2024).
- Userlike (10.01.2024): *Haben Sie schon einmal mit einem Chatbot gechattet?* <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1424197/umfrage/umfrage-schon-einmal-mit-einem-chatbot-gechattet/> (abgerufen am 04.01.2025).
- von Lindern, Jakob (14.04.2023): *KI-Risiken: Warum Menschen Angst vor Künstlicher Intelligenz haben*. www.zeit.de/digital/2023-04/ki-risiken-angst-umfrage-forschung-kira/komplettansicht (abgerufen am 13.12.2024).
- World Health Organization [WHO] (2017): *Responding to children and adolescents who have been sexually abused: WHO clinical guidelines*. Genf: WHO.
- Wysa (ohne Datum): Wysa. www.wysa.com (abgerufen am 11.12.2024).
- Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung (ohne Datum): *kvappradar.de*. www.zi.de/themen/it-und-data-science/kvappradarde (abgerufen am 05.11.2024).
- zm-online (13.06.2023): *UPD-Monitor 2022 veröffentlicht. Weiterhin hohe Nachfrage nach Beratungsangeboten*. <https://www.zm-online.de/news/detail/weiterhin-hohe-nachfrage-nach-beratungsangeboten> (abgerufen am 08.01.2025).

Laser Cyberlab 2.0 – Remote-Werkstoffanalyse

Prof. Dr.-Ing. Thomas Frick

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Dipl.-Ing. Andreas Schkutow

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Zusammenfassung:

Die optischen Materialeigenschaften der zu bearbeitenden Werkstoffe spielen in der Lasermaterialbearbeitung eine entscheidende Rolle. Bisher werden diese in der Regel in aufwendigen Laboranalysen bestimmt. Im Rahmen des Projekts evaluierten die Studierenden, ob sich mit dem Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) aus einfachen Kameraaufnahmen durchstrahlter Bauteile die wesentlichen Informationen über die Absorptions-, Reflexions- und Streueigenschaften von Werkstoffen ermitteln lassen. Der Machine-Learning-Algorithmus, der aus Fotos der durchstrahlten, teilweise transparenten Bauteile die optischen Koeffizienten vorhersagt, wurde mit Spektrometerdaten aus einem Laboraufbau trainiert. Der Einsatz der künstlichen Intelligenz könnte zukünftig den Weg ins Labor überflüssig machen.

1. Projektdaten

Fördersumme	11.158 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Maschinenbau und Versorgungstechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Thomas Frick
Projektteam	Prof. Dr.-Ing. Thomas Frick, Johanna Breit, M. Sc., Dipl.-Ing. Andreas Schkutow, Markus Renninger, Max Rahner
Kontakt Projektleitung	thomas.frick@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die optischen Eigenschaften eines Materials werden geprägt durch die Reflexions-, Absorptions- und Streueigenschaften. Sie bestimmen, wie ein Laserstrahl mit dem bestrahlten Bauteil interagiert und müssen deshalb für die Auslegung von Lasermaterialbearbeitungsprozessen genau bekannt sein. Besonders für teilweise transparente Materialien wie Kunststoffe oder inhomogene Materialien wie Faserverbundwerkstoffe müssen diese Eigenschaften bisher in der Regel in aufwendigen Versuchen bestimmt werden. Neben dem Zeitaufwand sind auch die benötigten Messgeräte oft nur begrenzt verfügbar. Alternative Methoden, mit welchen diese Eigenschaften direkt vor Ort, zum Beispiel beim Einrichten einer Maschine, bestimmt werden können, wären deshalb sehr hilfreich. Künstliche Intelligenz könnte dabei helfen.

Künstliche Intelligenz ist in der Lage, in Daten Zusammenhänge zu erkennen, die für den Menschen nicht ohne weiteres nachvollziehbar sind. Insbesondere in Bildern stecken oft viele Informationen, die für das menschliche Auge nicht erkennbar sind, aber für technische Zwecke genutzt werden können. Im Rahmen dieses Lehrforschungsprojekts sollen die Studierenden an die Anwendung künstlicher Intelligenz für die Werkstoffanalyse und die Auswertung von Bilddaten herangeführt werden, um die optischen Eigenschaften von Kunststoffbauteilen zu ermitteln.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Rahmen einer Einführungsveranstaltung wurde den Studierenden zunächst ein Überblick über die theoretischen Hintergründe bei der Anwendung künstlicher Intelligenz und insbesondere dem maschinellen Lernen mit Hilfe tiefer neuronaler Netze gegeben. Neuronale Netze müssen zunächst trainiert werden. Dabei spielt sowohl die Menge als auch die Qualität der Trainingsdaten eine entscheidende Rolle. Abbildung 1 zeigt das Grundprinzip, mit dem im Projekt die Trainingsdaten erzeugt werden sollen. Als Eingabedaten dienen Fotos der transparenten Bauteile, wobei diese von der Rückseite mit einem geeigneten Prüfmuster beleuchtet werden. Die Muster können zum Beispiel auf einem Smartphone-Display dargestellt werden und die Bauteile dann mit einer Kamera aufgenommen werden. Zusätzlich werden die Bauteildicke und die Belichtungszeit der Fotos an den Algorithmus übergeben.

Als Ausgabedaten dienen die zur Charakterisierung der optischen Eigenschaften benötigten Transmissions-, Absorptions-, und Reflexionskoeffizienten. Diese müssen zur Gewinnung der Trainingsdaten auf klassischem Weg im Labor bestimmt werden. Der Laboraufbau zur spektralen Charakterisierung der Bauteile und die Entwicklung von Prüfmustern, die einen optimalen Informationsgehalt in den Fotos ermöglichen, waren die Hauptaufgaben der Studierenden. Die Studierenden kennen aus dem Modul Fügetechnik einige theoretische Grundlagen der Strahl-Stoff-Wechselwirkung und lernen in diesem Versuch zum einen die Bedeutung der optischen Materialeigenschaften für die Lasermaterialbearbeitung praktisch kennen. Zum anderen wird die enge Verzahnung zwischen Werkstoffstruktur und Verarbeitungseigenschaften deutlich und es werden Erfahrungen mit optischen Messgeräten und Versuchsaufbauten gesammelt und dabei, teils ungeplant, auch einige Tücken des experimentellen Arbeitens erlebt. Außerdem wird die Vielfältigkeit der Einsatzmöglichkeiten von künstlicher Intelligenz und deren Bedeutung in der Zukunft aufgezeigt.

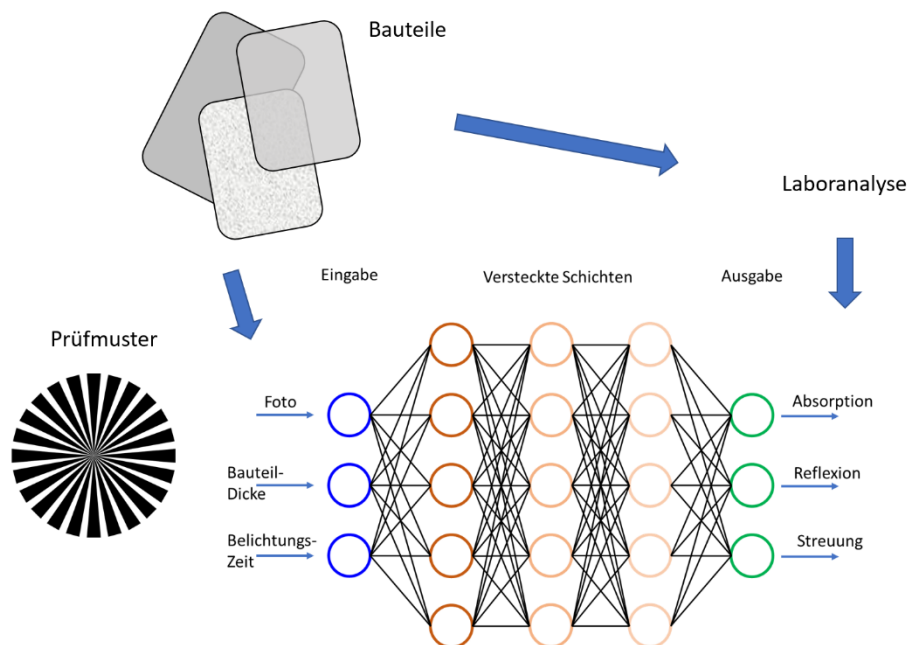


Abbildung 1: Prinzip zur Bestimmung optischer Materialeigenschaften mit Hilfe neuronaler Netze. Bild: Andreas Schkutow

Zur Bestimmung der optischen Materialeigenschaften wurde ein sogenannter Doppelulbrichtkugelaufbau verwendet. Es handelt sich dabei um zwei Hohlkugeln, die aus einem besonders hochreflektierenden, weißen Kunststoffmaterial bestehen. Zudem besitzen sie mehrere Öffnungen, an welchen Licht in die Kugeln eingestrahlt werden kann oder Messgeräte oder Proben platziert werden können. Das Licht wird in den Kugeln vielfach diffus reflektiert, sodass die Kugeloberflächen fast perfekt gleichmäßig beleuchtet sind. Dadurch kann an einen beliebigen Punkt an der Kugeloberfläche ein Messgerät platziert werden, mit dem die Strahlung repräsentativ charakterisiert werden kann. Abbildung 2 (links) zeigt den realisierten Aufbau mit zwei dieser Ulbrichtkugeln. Zwischen den Kugeln kann eine Probe platziert werden, die von links mit einer Halogenleuchte bestrahlt werden kann. In der linken Kugel wird das von der Probe reflektierte Licht gemessen, während in der rechten Probe die transmittierte Strahlung erfasst wird.

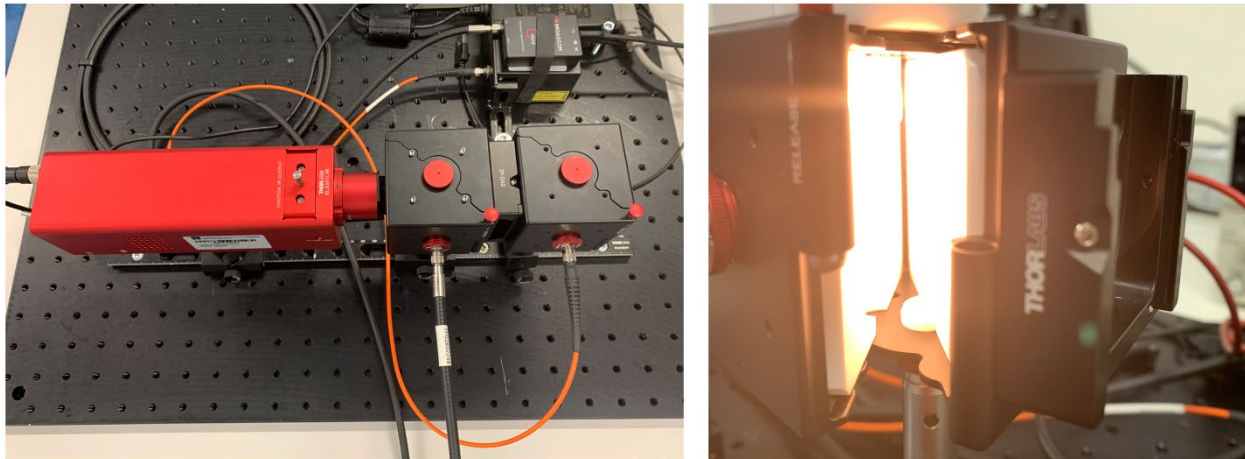


Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Bestimmung der optischen Eigenschaften im Labor mit Halogenlichtquelle und zwei hochreflektierenden Hohlkugeln mit glasfasergekoppelten Spektrometern (links) und geöffneter Hohlkugel (rechts). Bild: Andreas Schkutow

An der teilweise geöffneten Kugel in Abbildung 2 (rechts) kann man die sehr gleichmäßige Ausleuchtung der Kugeloberfläche gut erkennen. Zur Charakterisierung der Strahlung werden über Glasfasern zwei Spektrometer angeschlossen, mit welchen die Intensität der transmittierten beziehungsweise reflektierten Strahlung in Abhängigkeit der Wellenlänge gemessen werden kann. Außerdem kann an der rechten Seite der rechten Kugel ein zusätzlicher Port geöffnet werden, über den Strahlung, die die Probe ohne Richtungsänderung durchlaufen hat, die Kugel verlassen kann. Somit kann zwischen geradlinig transmittierter und diffus gestreuter Strahlung unterschieden und die entsprechenden charakteristischen Kennwerte für Absorption, Reflexion und Streuung können berechnet werden.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Studierenden zeigten große Kreativität bei den generierten Prüfmustern und es wurden verschiedenste Grafiken erzeugt, die durch unterschiedliche Inhalte verschiedene Aspekte des Transmissionsverhaltens der untersuchten Probekörper in den Vordergrund rückten. Teils wurde durch feine Muster der verbleibende Kontrast beziehungsweise die Schärfe der Abbildung bewertet, teils durch unterschiedlich helle Flächen die Intensität der transmittierten Strahlung und einige Muster analysierten durch unterschiedliche Farben auch die Abhängigkeit der Transmissions- und Streueigenschaften von der Wellenlänge der Strahlung. Ein Beispiel, das diese verschiedenen Aspekte in einem Prüfmuster kombiniert, ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Muster wurden auf verschiedenen Displays dargestellt und durch Auflegen der Probekörper konnten bereits mit bloßem Auge gewisse Zusammenhänge ermittelt werden.

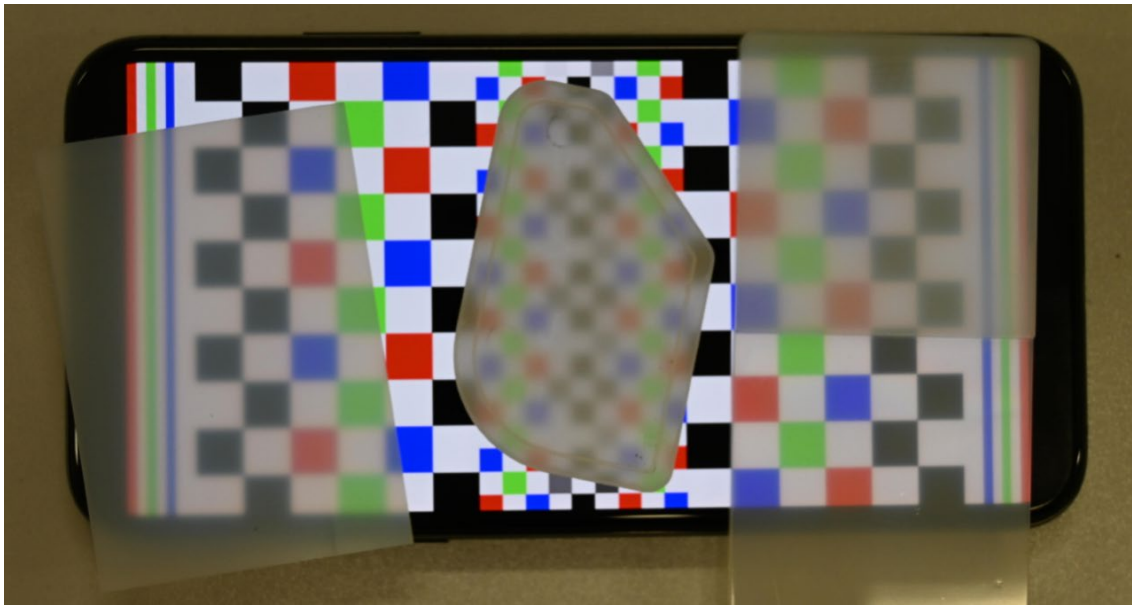


Abbildung 3: Darstellung eines Prüfmusters auf dem Smartphone und unterschiedliche transparente Kunststoffproben zur Analyse des Transmissionsverhaltens. Bild: Andreas Schkutow

Bei der quantitativen Bestimmung der optischen Koeffizienten zeigten sich jedoch einige Schwierigkeiten mit dem geplanten Versuchsaufbau. Die verwendeten Spektrometer konnten aufgrund der begrenzten Erfassungsfläche der Glasfaser, der nicht beliebig einstellbaren Belichtungszeiten sowie der relativ geringen Leistung der Halogenleuchte für viele Probekörper kein ausreichendes Signal-Rausch-Verhältnis erreichen. Zudem muss im Versuch sichergestellt sein, dass das Licht zunächst nur die Probe trifft und nicht bereits ein Teil der Strahlung auf die hochreflektierende Oberfläche der ersten Kugel trifft und so das Messergebnis verfälscht. Aufgrund dieser Limitierungen war zunächst eine umfassende Überarbeitung der Beleuchtungseinrichtung notwendig und die praktische Umsetzung des KI-Algorithmus konnte nicht mehr im Rahmen der Lehrveranstaltung, sondern erst im Rahmen einer Abschlussarbeit realisiert werden.

Abbildung 4 zeigt die überarbeitete Beleuchtungseinrichtung, für die eine wesentlich leistungsstärkere Kurzbogen-Xenonleuchte eingesetzt wurde. Um eine gute Fokussierbarkeit der Strahlung auf die Proben zu gewährleisten wurde nur ein Teil des Lichtkegels in eine Glasfaser eingekoppelt und zum Ulbrichtkugelaufbau geleitet. Aufgrund der hohen Ausgangsleistung der Leuchte war dafür eine Sonderanfertigung mit einem wassergekühlten Steckverbinder erforderlich. Mit dieser Leuchte war eine hinreichende Intensität auf der Probe möglich und die benötigten optischen Koeffizienten konnten bestimmt und zum Training der künstlichen Intelligenz genutzt werden.

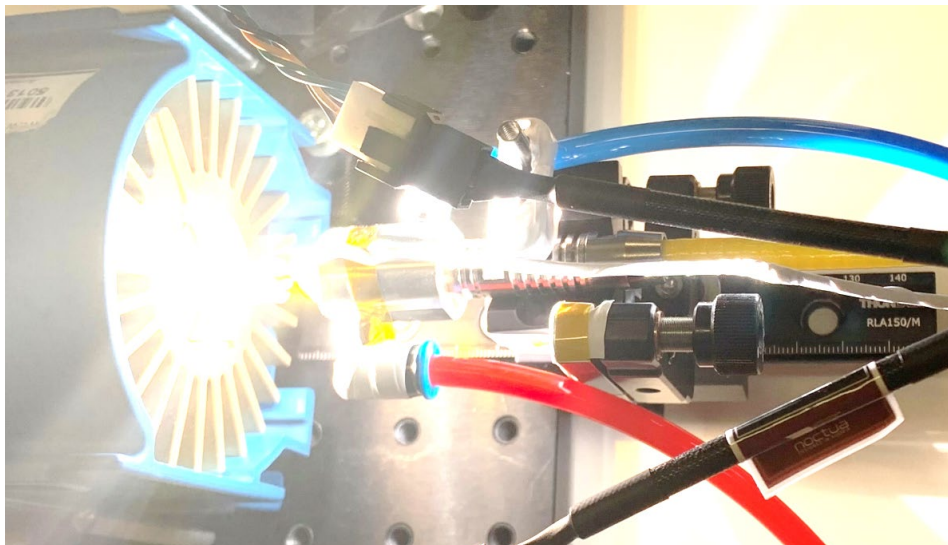


Abbildung 4: Neue Xenonlichtquelle mit wassergekühlter Glasfaser zur Verbesserung der Lichtausbeute. Bild: Andreas Schkutow

Das KI-Modell konnte im Rahmen der Abschlussarbeit erfolgreich umgesetzt werden. In ersten Tests konnten die Absorptions- und Reflexionskoeffizienten aus Kameraaufnahmen mit Abweichungen von unter 10 Prozent gegenüber den Labormessungen vorhergesagt werden. Auch die Streukoeffizienten konnten trotz der deutlich komplexeren Wechselwirkungen und größeren Unsicherheiten bei der Messung von der KI gut vorhergesagt werden, wobei die Fehler überwiegend unter 20 Prozent lagen [1].

5. Vernetzung und Transfer

Die Projektinhalte bieten einen ersten Einblick in die Möglichkeiten beim Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Materialanalyse. Das Prinzip, Laboranalysen durch den Einsatz von KI schneller, mobiler und günstiger zu machen, lässt sich auf verschiedenste Anwendungen übertragen und sowohl an der Ohm fakultätsübergreifend als auch im Rahmen der Kooperation mit Industriepartnerinnen und -partnern verschiedener Branchen einsetzen. Auch in der Wirtschaft hat das Thema großes Interesse hervorgerufen. Die Evosys Laser GmbH aus Erlangen, ein Hersteller von Anlagen zum Laserschweißen von Kunststoffen, möchte zukünftig einen KI-basierten Ansatz zur Materialcharakterisierung einsetzen. Dazu läuft aktuell bereits ein Forschungsprojekt, in dem der Ansatz vertieft untersucht werden soll. Auch die Abschlussarbeit [1], in der durch einen Studenten der Fakultät Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften ein KI-Algorithmus für diese Anwendung entwickelt wurde, wurde bereits in Kooperation mit diesem Unternehmen durchgeführt und ist ein hervorragendes Beispiel für die fakultätsübergreifende Zusammenarbeit und den erfolgreichen Wissens- und Technologietransfer in der Region.

6. Fazit und Ausblick

Das Lehrforschungsprojekt hat sowohl dem Projektteam als auch den Studierenden neue Einblicke in die Einsatzmöglichkeiten von künstlicher Intelligenz im Forschungsumfeld und insbesondere zur Materialanalyse gegeben. Diese Themen werden bereits in einem aktuellen Forschungsprojekt weiter vertieft, sollen aber in Zukunft auch im Rahmen von fakultätsübergreifenden Forschungsprojekten fortgesetzt werden. Bei der Bearbeitung des Lehrforschungsprojekts hat sich gezeigt, dass es mit einem gewissen Risiko verbunden ist, einen Versuchsaufbau erst im Rahmen des Projekts aufzubauen, wenn die vollständige Umsetzung der geplanten Inhalte vom Erfolg dieses Aufbaus abhängen. Obwohl der volle Funktionsumfang erst nach den Versuchen mit den Studierenden erreicht wurde, haben diese einen guten Einblick in die Forschungstätigkeit, die Laborarbeiten und die KI-basierten Analysemethoden erhalten.

7. Literatur

[1] Renninger, M.: Entwicklung einer KI zur Bestimmung von prozessbestimmenden optischen Bauteileigenschaften für das Laserkunststoffschweißen basierend auf Streueigenschaften des transparenten Fügepartners, Masterarbeit Wintersemester 2024/25, Fakultät Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm.

TrueMensa: True Cost Accounting für wahre Lebensmittelpreise in der Mensa der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm)

Prof. Dr. Tobias Gaugler

Fakultät Betriebswirtschaft

Prof. Dr. Jan Niessen

Fakultät Betriebswirtschaft

Lennart Stein, M. Sc.

Fakultät Betriebswirtschaft

Dr. Carolin Lano

Referentin für Nachhaltigkeit und Diversität

Michael Sens

Klimaschutzmanager der Ohm

Dirk Voit, André Müller

Studierendenwerk Erlangen-Nürnberg

Viktoria Vogel, Lara Heeg und Felix Hirschberg

Fakultät Betriebswirtschaft

Zusammenfassung:

Das Projekt „TrueMensa“ an der Ohm machte die „wahren“ Kosten von Lebensmitteln, einschließlich ökologischer Folgekosten, transparent. In einer dreitägigen Aktionswoche wurden in der Mensateria der Ohm die Hauptgerichte mit „zweiten Preisschildern“ versehen, um Umweltfolgekosten – und damit der Ansatz des True Cost Accounting (TCA) – sichtbar zu machen und einen Diskurs anzuregen. Begleitende Fragebögen erfassten Veränderungen im Kaufverhalten, deren Ergebnisse auf einer wissenschaftlichen Tagung präsentiert werden. Die Studierenden erlernten durch interdisziplinäre Zusammenarbeit und multimediale Lehrmethoden, wie wissenschaftliche Forschung und Nachhaltigkeitsmanagement praxisnah umgesetzt werden.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Sommersemester 2024
Fakultät/Einrichtung	Betriebswirtschaft, Studiengang „Management in der Ökobranche“
Projektleitung	Prof. Dr. Tobias Gaugler
Projektteam	Prof. Dr. Jan Niessen, Lennart Stein, Dr. Carolin Lano, Michael Sens, Studierendenwerk Erlangen-Nürnberg, Viktoria Vogel, Lara Heeg, Felix Hirschberg
Kontakt Daten Projektleitung	tobias.gaugler@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Eine Umgestaltung der Ernährungswirtschaft ist angesichts aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse unausweichlich. Die Implementierung eines nachhaltigen Ernährungssystems bringt komplexe Problematiken auf politischer, wirtschaftlicher und Verbraucherebene mit sich. Der TCA-Ansatz verdeutlicht dabei die negativen externen Effekte (ökologische und soziale Schäden) der derzeitigen Produktionspraktiken in der Landwirtschaft und des aktuellen Nahrungsmittelkonsums. Auf all diesen Ebenen sind Veränderungen erforderlich.

Studierenden des Studiengangs „Management in der Ökobranche“ wird diese Problematik anhand multiperspektivischer Beispiele nähergebracht und Forschungsprojekte auf regionaler und nationaler Ebene vorgestellt, die theoretische Grundlagen dieses Forschungsgebietes in Fallstudien umsetzen. Zudem wird auf multinationaler Ebene, unterstützt durch das von Prof. Dr. Gaugler an der Ohm koordinierte Europäische-Union-(EU-)Projekt „FOODCoST“ zusammengearbeitet, um TCA-Ansätze zu standardisieren und als Basis für politische Maßnahmen zu nutzen. Basierend darauf wurde im interdisziplinären Studiengang „Management in der Ökobranche“ eine Aktionswoche vorbereitet und durchgeführt, in der die Umwelt- und sozialen Folgekosten von Lebensmitteln für alle Ohm-Studierenden sichtbar gemacht wurden. Die Mensa-Hauptgerichte wurden mit „zweiten, wahren Preisschildern“ versehen, wobei die zusätzlichen Kosten nicht tatsächlich bezahlt, aber freiwillige Spenden an die „Essbare Stadt“ in Nürnberg zur Kompensation ermöglicht wurden. Außerdem wurde das Kaufverhalten, die Einstellung zu bestimmten Lebensmitteln und deren Kosten mittels Fragebögen erforscht, wobei die Ergebnisse auf dem wissenschaftlichen Kongress der BIOFACH am 11.02.2025 präsentiert und diskutiert wurden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext



Studentische Hilfskräfte, aber auch Mentorinnen und Mentoren aus dem Forschungsteam von Prof. Gaugler unterstützten die Studierenden in den Modulen „Methoden der empirischen Markt- und Sozialforschung mit wissenschaftlichem Arbeiten“ und „Management – Projekte und Transformationsprozesse“ im Projektkontext. So lernten die Studierenden interdisziplinäre Forschungsansätze kennen, die sowohl die Datenerhebung und -auswertung als auch die Kommunikation der Wissenschaft betreffen. Die studentischen Hilfskräfte waren auch Teil des Projektteams und wurden

gemeinsam mit den Studierenden des vierten Semesters wöchentlich in den Vorlesungen und einem zusätzlichen Termin von Prof. Gaugler angeleitet, um die „TrueMensa“-Aktion vorzubereiten. Im Zuge dessen wurden die Studierenden mit Hilfe der studentischen Hilfskräfte zum aktiven Mitgestalten ermutigt und konnten innerhalb des Projektrahmens ihre eigenen Forschungsfragen für die jeweiligen Prüfungsleistungen entwickeln.

Durch die Vermittlung von Erfahrung aus der wissenschaftlichen Praxis und die Qualitätssicherung der entwickelten Forschungsfragen wurden in mehreren Vorlesungen Workshops zu den Themenschwerpunkten „Fragebogenerstellung und Fragebogenauswertung“ von Anna Schmidt (M. Sc. Nachhaltigkeitsgeographie, Universität Greifswald) abgehalten. Die erlernten notwendigen Fähigkeiten, um geeignete Literatur zu finden sowie strukturiert vorzugehen und Methoden zu kombinieren wurde genutzt, um die Hausarbeit in eine wissenschaftliche Paper-Struktur zu bündeln. Die Studierenden erfuhren somit, wie wissenschaftliches Arbeiten im Laufe des Studiums in Richtung Forschung entwickelt werden kann. In gemeinsamen Diskussionsrunden mit Prof. Gaugler wurden aktuelle mediale Berichterstattungen in Form zahlreicher Artikel über TCA bei der Penny-Aktion behandelt. Anhand dessen sollten die Studierenden die Thematik interpretieren und auch diverse Problematiken sowie Risiken ihres eigenen Projektes ausdifferenzieren. Die Gestaltung von Umfragen, deren Auswertungen sowie die Nutzung der Tools „SoSci-Survey“ und „SPSS“ wurden durch multimediale Lehre übermittelt. Darauf folgend wurde gemeinsam mit der Expertin ein standardisierter Fragebogen zur Befragung der „wahren Kosten“ erstellt. Aufgrund des strukturierten Vorlesungsaufbaus konnten die Studierenden eigenständig evaluieren, was für Fragen gestellt, wer befragt und wie die Befragung durchgeführt werden sollte. Höhepunkt für die Studierenden war die groß angelegte, eigenständige Befragung vor und während der „TrueMensa“, wofür die Studierenden mithilfe des LLF-Budgets zahlreiche „Incentives“ zur Anwerbung von Teilnehmenden an der Umfrage schufen. Dazu zählten mit Quick-Response-(QR-)Codes bedruckte Gummibärchen, gesponsortes Eis und die Entwicklung eines Gewinnspiels unter allen ausgefüllten Fragebögen. Die enge Design-Abstimmung der Begleitmaterialien mit verschiedenen Stellen der Hochschule wie der Hochschul-KOM und die Einhaltung der „Corporate Identity“ erfolgte dabei eigenständig. Resultierend daraus entstanden einheitlich gestaltete Flyer, Prisma-Aufsteller, Roll-Ups und ein Banner, die nach der Aktion zu hochwertigen Taschen upgecycelt wurden.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die in den Vorlesungen erlernten Fähigkeiten nutzten die Studierenden, um mithilfe von „SoSci-Survey“ einen wissenschaftlichen Fragebogen für die „TrueMensa“ zu erstellen, um eine wissenschaftliche Studie durchzuführen und das Kaufverhalten/-bewusstsein mittels „SPSS“ auswerten zu können. Die umfassende Betrachtung und Berechnung (siehe Abbildung 1) des Themenschwerpunkts „wahre Preise“ aus betriebswirtschaftlicher, sozio-kultureller und ökologischer Perspektive zeigte den Studierenden verschiedene Systeme des Nachhaltigkeitsmanagements im Ernährungssystem auf. Zudem konnten die Studierenden einen tiefen Einblick in das wissenschaftliche Arbeiten erhalten und verstehen, welche Vorgehensweisen hinter der Sozialforschung stehen. Diese methodischen Fähigkeiten lassen sich beispielsweise auf ihre Bachelorarbeit und weitere Hausarbeiten anwenden.

Ergebnisse der Berechnung aller Mensa Gerichte

Mensa Gericht	Preis Studierende	„wahre“ Kosten Aufschlag (absolut) ¹	„wahre“ Kosten Aufschlag (%) ¹	„wahre“ Kosten Preis Studierende ¹
Köfta mit Gemüseris und Pfefferminzdipl	3,06€	3,58€	117%	6,64€
Camembert gebacken mit Preiselbeeren	2,52€	1,62€	64%	4,14€
Ungarische Krautnudeln	2,67€	0,29€	11%	2,96€
Soja-Mais-Chilli mit Paprikareis	2,98€	0,41€	14%	3,39€
Schweineschnitzel gebacken Wiener Art mit Zitrone	2,79€	1,36€	49%	4,15€
Pasta Funghi	2,18€	0,32€	15%	2,50€
Bratwürste – Fränkische Art	4,07€	1,52€	37%	5,59€
Bratwürste vegan	4,90€	0,46€	10%	5,36€
Die „Buddha“ Bowl	5,50€	0,15€	3%	5,65€

¹ gültig: 10.06.24-12.06.24

Erfahre mehr über True Cost Accounting




Abbildung 1: Produkte und Preisübersicht. Bild: Viktoria Vogel

5. Vernetzung und Transfer

Der Wahre-Preise-Supermarkt "ECHT" war bei der „TrueMensa“ vertreten und unterstützte das Projektteam zur besseren Greifbarkeit von „wahren Preisen“ und der Wissenschaftskommunikation. Des Weiteren wurden die zuvor mit SoSci-Survey erstellten Umfragen durchgeführt. Abgesehen von den Aktivitäten an der Hochschule hat das Lehrforschungsprojekt „TrueMensa“ während der Projektphase einen umfassenden Einblick in die Zusammenhänge und Fragestellungen im Kontext der Transformation von Ernährungssystemen sowie in die praktischen Umsetzungsmöglichkeiten für die Ohm-Studierenden vermittelt. Gemeinsam mit dem Projektteam wurden (je nach Modul) die verschiedenen Forschungsaufträge und deren grundlegende Hintergründe und Kontexte sowie die damit verbundenen Fragestellungen erarbeitet. Um unterschiedliche Perspektiven zu integrieren, erhielten die Studierenden Unterstützung von Expertinnen und Experten, um ihre Forschungsfragen iterativ zu formulieren. Außerdem wurde den Studierenden und studentischen Hilfskräften zu einigen Projekten inter- und transdisziplinäre Bezüge und Einblicke sowie eigene Synergien ermöglicht:

- Nachhaltigkeitskommunikation (**Bildung für nachhaltige Entwicklung, BNE**) von Forschungsergebnissen im Projekt **Bio für Kinder** bei dem mithilfe von Aufklärungsveranstaltungen und einem Ernährungs-Rechner die Vorteile nachhaltiger Ernährung für Heranwachsende kommuniziert und in der Praxis auf regionaler Ebene umgesetzt werden.
- Der **Wahre-Preise-Supermarkt „ECHT“** sorgte durch seine Authentizität und seine Greifbarkeit in den Jahren 2023 und 2024 für großes Interesse bei allen Altersgruppen. Der Stand unterstützte eine niederschwellige Wissenschaftskommunikation und war bei der BIOFACH 2023, den deutschen evangelischen Kirchentagen, den Ökofeldtagen, der Gewerbeschau in Neumarkt, der BioSüd in Augsburg, dem Erntedankfest der Neumarkter Lammsbräu, die Lange Nacht der Wissenschaften, der Consumenta und im Schloss Bellevue bei der Woche der Umwelt.
- Das Projekt **„Wahre Kosten und Preisbildung in Agrarlieferketten“** erfasst und analysiert die wahren Kosten, Preismechanismen, Märkte und Lieferketten der Rohstoffe Kakao, Kaffee und Bananen, die für den deutschen Markt produziert werden, mit dem Ziel die externen Kosten zu

senken und positive Externalitäten zu steigern. Hierzu werden abschließend politische Handlungsempfehlungen erarbeitet zur Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit und sozialen Gerechtigkeit in diesen Lieferketten.

- Auf dem **Tollwood-Festival** (fand im Winter und Sommer 2024 statt) werden TCA-Forschungsergebnisse niederschwellig an Festivalbesuchende, die aus der Region Bayern und dem gesamten deutschsprachigen Raum anreisen, vermittelt. Im Fokus steht hier, wie Nachhaltigkeitskommunikation „in die Breite“ gelingen kann. Es ist ein gemeinschaftliches Unterfangen des International Food Policy Research Institute (IFPRI), dem True Price/Impact Institut in den Niederlanden und Forschenden der Universität Göttingen und der Ohm.
- **Synergien zu dem Lehrforschungsprojekt „FairTrade-University“** konnten ebenfalls genutzt werden, weshalb bei der „TrueMensa“ im Rahmen der Bewerbung zur FairTrade-University auch auf die sozialen Externalitäten von Lebensmitteln aufmerksam gemacht wurde.
- Hervorgehoben werden kann die Zusammenarbeit der Studierenden mit vielen Hochschulstellen wie der Nachhaltigkeitsabteilung, dem Datenschutzbeauftragten, der Hochschul-Kommunikation, der Hochschulleitung, der Rechtsabteilung und dem Studierendenwerk Erlangen-Nürnberg.
- Das im Sommer 2022 gestartete **EU-Projekt „FOODCoST“** verfolgt das Ziel einer europäischen Standardisierung von True Cost Accounting, die eine Grundlage für einen politischen Handlungskatalog erarbeitet. Im Projekt-Rahmen werden zwei Fallstudien mit Ohm-Beteiligung durchgeführt: Case Study 8 in Kooperation mit der Universität Aarhus, der SLU University Schweden und der REWE Group mit Fokus auf Nachhaltigkeitslabel sowie Case Study 10 in Kooperation mit Ecozept, GutEssen und Tollwood zu AHV in Schulen in Frankreich, Österreich und Deutschland.
- Die Studierenden konnten zudem durch engagierte Medienarbeit mit Beiträgen beim Bayerischen Rundfunk, den Nürnberger Nachrichten, dem MDR „Zahl der Woche“ und dem Donaukurier für mediales Aufsehen sorgen.
- Basierend auf der besonderen Arbeit beider Lehrforschungsprojekte „IdEA_TCA“ und „TrueMensa“ erhielt das Team um Prof. Gaugler bei der Förderpreisverleihung der Ohm den **Preis der Stiftung Zukunft und Innovation**.

Die Fragestellungen wurden aus betriebswirtschaftlicher, kultureller, demografischer und sozialer Perspektive untersucht. Die transparente Herangehensweise und das Aufzeigen verschiedener Ansätze und Blickwinkel in den Forschungsfeldern ermöglicht Studierenden, ihre Forschungs- und Sozialkompetenzen weiterzuentwickeln. Dieser Prozess wurde durch eine umfassende Betreuung des Projektteams begleitet. Die Kombination aus Theorie und Praxis ermöglichte es den Studierenden, Selbstwirksamkeit zu erfahren und sich sowohl auf Herausforderungen im Studium als auch im späteren Berufsleben vorzubereiten. Dank des seminaristischen Charakters konnte nicht nur die Lehre in die Forschung integriert werden, sondern auch die Forschung in die Lehre.

6. Fazit und Ausblick

In Arbeitsgruppen von drei bis fünf Studierenden wurde veranschaulicht, dass die Ökologisierung der Ernährungssysteme und Transformation des Ernährungssystems nur unter Einbeziehung wirtschaftlicher, politischer und sozialer Fragen zu bewältigen ist. Verbunden mit forschendem Lernen wurden die Studierenden zur eigenständigen Konzeption von Projekten und Lösungen motiviert. Die im Forschungsprozess gewonnenen Erkenntnisse wurden durch praktisch angewandte Forschung vertieft,

wodurch die Anwendungskompetenzen der Studierenden gestärkt und nachhaltig verankert wurden. Ein Studierender berichtet beispielsweise: „Durch das Forschungsprojekt habe ich in puncto Risikomanagement, wissenschaftliches Arbeiten, Konzeption und Vernetzung zwischen Praxis und Theorie viel dazulernen können“. Neben inhaltlichen Fragen und den Herausforderungen praktischer Umsetzungsprozesse wurde auch die Bedeutung kollegialer Zusammenarbeit deutlich, wodurch die sozialen und Zukunftskompetenzen der Studierenden gestärkt wurden. Die studentischen Hilfskräfte (viertes Semester, Studiengang „Management in der Ökobranch“) konnten verschiedene multiperspektivische Arbeitsfelder betrachten. Die studentische Hilfskraft Viktoria Vogel beschreibt ihre Eindrücke wie folgt: „Die Möglichkeit, ein solches Projekt unabhängig und mit eigenem Budget umzusetzen, hat mir große Freude bereitet. Zudem habe ich viel über Außenkommunikation, Pressearbeit, Zusammenarbeit in der Gruppe und Projektplanung gelernt“. Begleitende Fragebögen erfassten Veränderungen beim ökologischen Bewusstsein der Studierenden, deren Ergebnisse im Februar 2025 auf dem wissenschaftlichen Kongress der BIOFACH präsentiert werden. Das Projekt stieß auf großes öffentliches und mediales Interesse und förderte den Diskurs über Umweltfolgekosten. Die Studierenden lernten wissenschaftliche Methoden und Nachhaltigkeitsmanagement und waren aktiv in die Entwicklung und Umsetzung von Forschungsfragen eingebunden, unterstützt durch interdisziplinäre Zusammenarbeit und multimediale Lehrmethoden. Der Erkenntnisgewinn des vorherigen Lehrforschungsprojektes „IdEa_TCA“ wurde ausgebaut und dessen Inhalte unter intensiver Einbeziehung der Studierenden weiterentwickelt. Die Darstellung der „wahren Preise“ sensibilisierte Studierende, Mensamitarbeitende und Lehrende für ihr Konsumverhalten und die Externalitäten von Lebensmitteln. Neben den Studierenden des Studiengangs „Management in der Ökobranch“ wurden auch viele weitere Anspruchsgruppen der Ohm in das Projekt einbezogen. Die Forschungsinhalte und -ergebnisse können auch für andere Hochschulen nutzbar gemacht werden. Mit dem 2025 startenden Projekt TrueMensa 2.0 werden in verschiedenen Mensen des Studierendenwerks wissenschaftliche Nudges (Anreize) mit informations-, verhaltens- und emotions-basierten Ansätzen getestet und deren Wirkung analysiert, um nachhaltige Ernährung in der AHV zu erlangen.

7. Literatur

Brandt-Bohne, U., (2021): Die zentralen fünf Dimensionen der Wissenschaftskommunikation. <https://www.wissenschaftskommunikation.de/die-zentralen-fuenf-dimensionen-der-wissenschaftskommunikation-48385/>

FAO (2024): The State of Food and Agriculture 2024. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd2616en>

Kennedy, E., Webb, P., Block, S., Griffin, T., Mozaffarian, D., Kyte, R., (2021): Transforming Food Systems: The Missing Pieces Needed to Make Them Work. *Current Developments in Nutrition* 5, nzaa177. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa177>

Michalke, A., Köhler, S., Meßmann, L., Thorenz, A., Tuma, A., Gaugler, T. (2023): True cost accounting of organic and conventional food production. *Journal of Cleaner Production*, 408, 137134.

Michalke, A., Stein, L., Fichtner, R., Gaugler, T., Stoll-Kleemann, S., (2022): True cost accounting in agri-food net-works: a German case study on informational campaigning and responsible implementation. *Sustain Sci*. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01105-2>

Stein, L., Michalke, A., Gaugler, T., Stoll-Kleemann, S., (2024): Sustainability Science Communication: Case Study of a True Cost Campaign in Germany. *Sustainability* 16, 3842. <https://doi.org/10.3390/su16093842>

Projekt Formula Student, Strohm und Söhne

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Grau

Fakultät Maschinenbau

Tim Lerch

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Zusammenfassung:

Wir, Strohm und Söhne, das Formula-Student-Team der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) entwickelt und fertigt jedes Jahr im Rahmen des weltweit größten internationalen Konstruktionswettbewerbs, der Formula Student Electric, ein vollelektrisches Rennfahrzeug.

Unser Team besteht aus Studierenden, die jeden Bereich der Fahrzeugentwicklung und des Fahrzeugbaus überblicken und durchführen. Vom Chassis und Fahrwerk über die Elektronik und Softwareentwicklung bis hin zur Organisation und Teamleitung erfolgt alles eigenständig durch Studierende.

Jedes Jahr messen wir uns mit anderen Hochschulteams in Wettbewerben in ganz Europa. Die Bewertung umfasst nicht nur die Performance auf der Rennstrecke (zum Beispiel Beschleunigung, Ausdauer, Effizienz), sondern auch die technische Konstruktion, Businessplan und Kostenanalyse.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Fakultätsübergreifendes Projekt
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Grau
Projektteam	Tim Lerch
Kontaktdaten Projektleitung	ulrich.grau@th-nuernberg.de , tim.lerch@strohmleitung.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Das Formula-Student-Team der Ohm entwickelte und fertigte im Zeitraum von 2023 bis 2024 im Rahmen des weltweit größten internationalen Konstruktionswettbewerbs, der Formula Student Electric, ein vollelektrisches Rennfahrzeug. Ziel des Projekts ist die Teilnahme an den renommierten Wettbewerben der Formula Student in Deutschland sowie weiteren europäischen Ländern, um dort sowohl technische als auch organisatorische Kompetenzen unter Beweis zu stellen. Im Jahr 2024 konnte das Team erfolgreich an drei Events in Tschechien, Deutschland und der Schweiz teilnehmen und dabei wertvolle Erfahrungen in der technischen Entwicklung sowie im interdisziplinären Teammanagement sammeln. Neben der Fahrzeugentwicklung liegt der Fokus auf den einzelnen Teammitgliedern, die mit innovativen Ideen, Forschung und interdisziplinärer Zusammenarbeit durch Wissensweitergabe den Fortschritt des Projekts maßgeblich gestalten.

Seit der Vereinsgründung im Jahr 2011 profitiert unser Team von der wertvollen Vorarbeit früherer Mitglieder sowie einer starken Alumni-Kultur. Um den Wissenstransfer nachhaltig zu gestalten, dokumentieren wir alle wichtigen Entwicklungsschritte auf verschiedenen Plattformen. Dazu zählt ein eigens eingerichtetes Wiki-System, das in seiner Nutzung der Wikipedia ähnelt. Für die Elektrotechnik und Softwareentwicklung setzen wir auf GitLab und GitWiki – Industriestandards, die nicht nur eine strukturierte Dokumentation ermöglichen, sondern auch durch ihre Versionsverwaltung essentiell für die Softwareentwicklung sind.



Abbildung 1: Teamfoto Rollout. Bild: Strohm und Söhne

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Zu Beginn der Saison werden neue Studierende in das Projekt eingeführt, wobei ihnen die fachlichen Grundlagen vermittelt und das Reglement umfassend erarbeitet wird. Parallel dazu beginnt die Konzeptphase, in der gemeinsam Teamziele definiert und ein übergreifendes Fahrzeugkonzept entwickelt werden. Anschließend werden diese Konzepte innerhalb der einzelnen Baugruppen weiter verfeinert und konkretisiert.

Sobald sie eine solide Grundlage bieten, beginnt die technische Umsetzung der Fahrzeugpläne in den jeweiligen Abteilungen und Baugruppen. Dabei entstehen unter anderem ein detailliertes Computer-Aided-Design-(CAD-)Modell des Fahrzeugs, Schaltpläne, Platinen-Layouts sowie Softwarearchitekturen. Parallel dazu werden Material- und Bauteiltests durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Konstruktion und Schaltungen den Anforderungen im Fahrbetrieb standhalten und den Vorgaben des Reglements entsprechen. Diese Arbeiten erfolgen in enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Hochschullaboren, wobei die Studierenden eigenständig relevante Versuche konzipieren, durchführen und auswerten.

Durch Kooperationen mit regionalen Unternehmen finanzieren wir nicht nur die praktische Umsetzung der Fahrzeugfertigung, sondern stärken zugleich die Vernetzung zwischen Hochschule und Industrie. Die Studierenden übernehmen dabei die Verantwortung für die Akquise und Pflege von Partnerschaften, wodurch sie ihre Kommunikations- und Verhandlungsfähigkeiten in realen beruflichen Kontexten weiterentwickeln können. Dieser Prozess fördert nicht nur ihre Teamarbeit- und Projektmanagement-Kompetenzen, sondern eröffnet ihnen auch langfristige berufliche Perspektiven, indem sie Einblicke in die Arbeitsweise und Anforderungen der Industrie gewinnen. Die gewonnenen praktischen Erfahrungen stärken nicht nur ihre Fachkenntnisse, sondern erweitern auch ihr berufliches Netzwerk und bereiten sie optimal auf die Herausforderungen der Arbeitswelt vor.

Nach der erfolgreichen Konstruktion und Fertigung erfolgt die Montage des Fahrzeugs in der eigenen Werkstatt. Da einige Bauteile in Eigenfertigung hergestellt werden, werden in dieser Phase sowohl handwerkliche als auch organisatorische Fähigkeiten geschult. Parallel dazu erstellt ein Teil des Teams auf Basis der zuvor erstellten Dokumentationen den sogenannten Cost Report. In diesem werden die Kosten für die Entwicklung und den Bau des Fahrzeugs nach betriebswirtschaftlichen Kriterien ermittelt und präsentiert. Auf dieser Grundlage wird der Business Plan erstellt, der ein maßgeschneidertes, wirtschaftliches Vermarktungskonzept für den Rennwagen umfasst. Dieser Plan wird anschließend auf den

Formula-Student-Events vorgestellt und gegenüber Vertreterinnen und Vertretern der Industrie verteidigt. Aus technischer Sicht werden die Entwicklung und Konstruktion des Fahrzeugs auf den Events von Jurorinnen und Juroren aus dem Motorsport und der Automobilindustrie im sogenannten Engineering Design Report bewertet. Dabei liegt der Fokus insbesondere auf einem präzisen und gut durchdachten Vorgehen bei der Entwicklung und Umsetzung der Konzepte.

Vor der Teilnahme an den Renndisziplinen muss das Fahrzeug eine umfangreiche technische Prüfung durchlaufen. Diese wird von den Jurorinnen und Juroren durchgeführt, um sicherzustellen, dass alle Regularien eingehalten werden und die Sicherheit aller Beteiligten gewährleistet ist. Nach dem erfolgreichen Abschluss dieser Tests kann das Team in verschiedenen Renndisziplinen antreten und die Ergebnisse seiner intensiven, zielgerichteten Arbeit hautnah auf der Rennstrecke erleben.

Das Projektteam verwaltet sich in allen Projektphasen selbst. Dafür wurde über die vergangenen Jahre, aus der Erfahrung mehrerer Generationen von Studierenden, eine geeignete Teamstruktur entwickelt. Diese Struktur gliedert sich in eine Leitungs- und eine Abteilungsschicht.

Die Leitungsschicht koordiniert die übergeordnete Ziel- und Zeitplanung und stellt sicher, dass das Gesamtprojekt planmäßig voranschreitet. Die Abteilungsschicht unterteilt sich in spezifische Arbeitskreise, die sich mit den jeweiligen Baugruppen des Fahrzeugs befassen. Jeder dieser Arbeitskreise wird von einer Abteilungsleitung geführt, die für die fachliche und strukturelle Weiterentwicklung ihrer Baugruppe verantwortlich ist.

Dank dieses gut durchdachten Systems konnte unsere Hochschule europaweit auf den Rennstrecken vertreten werden, wo wir uns mit anderen Teams messen. Unsere Mitglieder profitieren von flexiblen Arbeitsmöglichkeiten, da sie von zu Hause aus arbeiten und virtuell an Treffen teilnehmen können. Dies erfordert jedoch ein hohes Maß an Eigeninitiative und Selbstorganisation. Gleichzeitig bietet sich den Studierenden dadurch die Möglichkeit, ihre organisatorischen und kommunikativen Fähigkeiten zu schärfen und wertvolle Erfahrungen für ihre berufliche Zukunft zu sammeln.

Die technische Entwicklung des Fahrzeugs ist ein evolutionärer Prozess, bei dem auf Erfahrungen vergangener Generationen aufgebaut wird. Studierende werden ermutigt, den Austausch mit aktuellen und ehemaligen Teammitgliedern zu suchen, um sich in ihre Aufgaben einzuarbeiten und eigene Ideen optimal umzusetzen.

Jede neue Fahrzeugiteration bringt neue technische und organisatorische Herausforderungen mit sich. Aktuell arbeitet das Team an einem „Driverless“-System, das autonomes Fahren ermöglicht. Hierfür werden neue Strukturen und Systeme geschaffen, die speziell auf die Anforderungen der Formula Student abgestimmt sind.

Jährlich wird auch das Chassis überarbeitet und muss deshalb stets neuen Sicherheits- und Festigkeitsprüfungen unterzogen werden. Bereits die ersten Testpaneele sind gefertigt und werden nach einem festgelegten Prüfplan in den Laboren der Hochschule untersucht. Diese Tests erfolgen in Zusammenarbeit mit Hochschulprofessorinnen und Hochschulprofessoren sowie wissenschaftlichen Mitarbeitenden, um höchste Qualitätsstandards sicherzustellen.

Durch diese praxisnahe und eigenverantwortliche Arbeitsweise sammeln die Studierenden wertvolle Erfahrungen in unterschiedlichsten Bereichen, darunter Personalmanagement, Projektorganisation und Kommunikation mit der Industrie. Das Projekt stellt damit eine erstklassige Ergänzung zum Studium dar und bietet die Möglichkeit, theoretisch erlerntes Wissen in realen Projekten anzuwenden und zu vertiefen.

Unterstützt wird dieser Prozess durch das Engagement ehemaliger Studierender sowie die fachliche Betreuung durch die Hochschule. So wird das Projekt stetig weiterentwickelt und bleibt ein herausragendes Beispiel für eine innovative, praxisorientierte Ausbildung im Hochschulbereich.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Wir konnten dieses Jahr an drei Events erfolgreich teilnehmen und konnten in Tschechien einen zweiten Platz im Skidpad, der Disziplin der stationären Kreisfahrt, einfahren. Das diesjährige Fahrzeug war dank der verbesserten Aerodynamik, dem angepassten Fahrwerk und dem neuen Torque-Vektoring-System schneller als je zuvor und brachte auf den europäischen Rennstrecken unsere Gegnerinnen und Gegner ins Schwitzen. Die Aufgabe des Torque-Vektoring-Systems ist es, in jeder Fahrsituation das maximal mögliche Drehmoment an die Reifen zu übertragen und die Fahrerinnen und Fahrer bei der Kurvenfahrt zu unterstützen, indem die Antriebsleitung, lenkwinkelabhängig, auf die äußeren Reifen verlagert wird.

In der Saison 2024 wurde mit der Konzeptionierung eines autonomen Systems begonnen. Dazu wurden verschiedene Ideen zur Umgebungsdetektion durch beispielsweise Computervision und LIDAR-Messung entworfen. Durch erste Proof of Concepts fand eine Evaluierung anhand implementierter Anwendungen statt. Zusätzlich wurden Algorithmen zur automatischen Erstellung von Fahrtlinien bewertet. Um einen hohen Wissenserhalt zu fördern wurde eine eigene Website zur Dokumentation erstellt und der strukturelle Grundstein für weitere Arbeiten im Team gelegt.

Die Elektronik des Fahrzeugs wurde hinsichtlich Zuverlässigkeit, Modularität und Wartbarkeit optimiert. Herausforderungen wie elektromagnetische Interferenzen (EMI) führten zu unerwartetem Mehraufwand, konnten jedoch durch gezielte Maßnahmen bewältigt werden. Der Umstieg auf die Programmiersprache C++ für die Microcontrollersoftware war zwar aufwendig, erleichtert aber nachhaltig die Integration von neuen Sensoren und Aktoren. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die nächste Fahrzeuggeneration ein, insbesondere im Bereich Softwarestrukturierung und Sensortechnik. Durch Workshops und Dokumentation wird zudem sichergestellt, dass neues Teamwissen effizient weitergegeben wird.

Auf der mechanischen Seite des Fahrzeugs wurden einige größere Entwicklungen getätigt. So wurde die Felgengröße von 13" auf 10" reduziert, um aerodynamischer und leichter zu sein. Dies hatte eine komplette Neuauslegung der Fahrzeugkinematik und des Getriebes zur Folge, da die kleineren Felgen deutlich weniger Bauraum boten. So wurde sich dafür entschieden, ein 1,5-stufiges Planetengetriebe zu entwickeln.

Allerdings mussten wir in dieser Saison auch einige Rückschläge hinnehmen. In der Schweiz und in Tschechien konnten wir die Ausdauerdisziplin nicht bestreiten, weil eine unserer Radnaben versagte. In Deutschland sorgte ein elektrotechnischer Defekt dafür, dass wir auch dort in dieser wichtigen Disziplin ausfielen. Diese Fehler haben uns wichtige Punkte gekostet – aber wir haben daraus gelernt. In der nächsten Saison setzen wir alles daran, mehr Testzeit einzuplanen, um solche Probleme frühzeitig zu erkennen und auszumerzen.



Abbildung 2: FS-Czech Skidpad NoRaX. Bild: FS-Czech Official

5. Vernetzung und Transfer

Das Projekt Formula Student ist nur möglich durch die Zusammenarbeit mit Unternehmen, der Hochschule und anderen Formula-Student-Teams. Wir stehen dauerhaft mit regionalen, überregionalen und internationalen Unternehmen im Austausch, wie zum Beispiel Schaeffler, Siemens oder Mekra Lang. Der Kontakt wird von den Studierenden aufgebaut und gepflegt und bietet daher gleich die Kontaktmöglichkeit für den Einstieg in das Berufsleben.

Auch der Austausch mit anderen Teams ist ein wichtiger Bestandteil unserer Arbeit. Besonders innerhalb Bayerns gibt es eine starke Community: Wir besuchen regelmäßig die Fahrzeugpräsentationen anderer Teams, diskutieren über technische Lösungen und teilen unsere Erfahrungen. Es geht aber nicht nur um Ideen – wir helfen uns auch gegenseitig mit Materialien und Testmöglichkeiten. Außerdem sind wir immer gerne gesehene Gäste in den gegenseitigen Werkstätten.

6. Fazit und Ausblick

Die Saison 2024 hat uns als Team gezeigt, wie schnell und performant unser Auto ist und dass wir es mit gesammelten Kräften auch mit den Top-Teams aufnehmen können. Fehlende Testzeit hat uns wichtige Punkte gekostet und muss zwingend in der kommenden Saison ausgebaut werden.

Unser Ziel für die kommende Saison ist klar: Mehr Testzeit, höhere Zuverlässigkeit und der nächste große Meilenstein – das erste Mal autonom fahren! Damit wollen wir nicht nur aufs Podest, sondern uns auch langfristig unter den Top-Teams etablieren.

Lehrforschungslabor Schmierfette

Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob
Fakultät Angewandte Chemie

Prof. Dr. Alexander Monz
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer
Fakultät Angewandte Chemie

Zusammenfassung:

Die Fakultäten Angewandte Chemie sowie Maschinenbau und Versorgungstechnik kooperieren eng in der Forschung zu Schmierfetten. Die Schwerpunkte dieser Zusammenarbeit liegen auf der Herstellung, Charakterisierung und Wirkung von Fetten. Um den Studierenden beider Fakultäten bereits im Bachelorstudium die Möglichkeit zu geben, sich mit dem Thema „Schmierfette“ vertraut zu machen, ist die Einrichtung eines „virtuellen“ fakultätsübergreifenden Labors geplant. In einem ersten Schritt wurden Versuche entwickelt, die es zukünftigen interdisziplinären Studierendengruppen ermöglichen, eigenständig Schmierfette herzustellen und zu prüfen. Diese fakultätsübergreifende Zusammenarbeit soll die interdisziplinären Kompetenzen der Studierenden fördern und den Zugang zu komplexen Inhalten erleichtern.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Angewandte Chemie; Maschinenbau und Versorgungstechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Karl-Heinz Jacob
Projektteam	Prof. Dr.-Ing. Alexander Monz, Prof. Dr. Dirk-Sachsenheimer
Kontakt Daten Projektleitung	karl-heinz.jacob@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Das Lehrforschungsprojekt „Lehrforschungslabor Schmierfette“ zielt darauf ab, Studierenden der Fakultäten Angewandte Chemie und Maschinenbau und Versorgungstechnik ein Verständnis für die Eigenschaften und Wirkungen von Schmierstoffen zu vermitteln. Da die fachliche Disziplin der Studierenden ihren Blickwinkel auf das Thema prägt, kann dies das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Schmierfettformulierung, Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Schmierfetten beziehungsweise Tribosystemen erschweren.

Um diese interdisziplinären Aspekte zu fördern, werden die Professoren Monz und Sachsenheimer ein gemeinsames Wahlpflichtmodul mit dem Titel „Tribologie und Eigenschaften von Schmierfetten“ anbieten. In diesem Modul haben die Studierenden die Möglichkeit, sich sowohl theoretisch als auch praktisch mit dem Thema auseinanderzusetzen. Ein wichtiger Bestandteil ist der Aufbau eines virtuellen Labors, das den Studierenden praktische Erfahrungen und Einblicke in die Materie bieten soll. So wird eine umfassende und praxisnahe Ausbildung in diesem wichtigen Bereich der Technik und Chemie ermöglicht.

Wahlpflichtmodul „Tribologie und Eigenschaften von Schmierfetten“

Virtuelles Labor



Abbildung 1: schematischer Aufbau eines interdisziplinären Wahlpflichtmoduls. Der praktische Teil dieses Moduls wird in Räumen der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik bei Prof. Monz und Räumen der Fakultät Angewandte Chemie bei Prof. Sachsenheimer stattfinden. (Bild: Karl-Heinz Jacob)

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 werden und die Studierende schon während ihres Studiums erlangen sollten.
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit** und die Fähigkeit, auch einen ungewohnten Blickwinkel zu verstehen, sind Voraussetzungen für eine erfolgreiche industrielle Forschung.

Für das geplante fakultätsübergreifende Wahlpflichtmodul leiten sich für das geplante Modul folgende Ideen ab:

1. Die Studierenden erhalten in einem kompakten theoretischen Block einen Einblick darüber, wie Schmierfette aufgebaut sind, wie sie hergestellt werden können und welche physikalisch-chemischen, rheologischen und tribologischen Eigenschaften sie haben.
2. Die Studierenden durchlaufen zu Beginn in interdisziplinär aufgestellte Gruppen einen „Rundkurs“. In diesem „Rundkurs“ lernen sie ein Schmierfett herzustellen, die „Qualität“ durch geeignete Prüfungen festzustellen und seine Wirkung durch tribologische Messungen abzu prüfen.
3. Die interdisziplinär aufgestellten Gruppen erhalten Projektaufgaben, die sie eigenständig und zielorientiert bearbeiten sollen.
4. Die Gruppen präsentieren am Ende ihre Ergebnisse und zeigen in der darauf aufbauenden Diskussion, dass sie Ursache-Wirkung-Beziehungen verstehen und in der Lage sind, geeignete Schlussfolgerungen aus ihren Ergebnissen zu entwickeln.

Den unter Punkt 2 zur Sprache gebrachten Rundkurs gibt es bislang nicht. Deshalb sind im Rahmen dieses Lehrforschungsprojekts als Basis dafür Versuchsvorschriften erstellt und erprobt worden. Diese Vorschriften sollen Studierendengruppen helfen, möglichst eigenständig Versuche durchzuführen.

Das geplante fakultätsübergreifende Schmierfettseminar wird voraussichtlich im Wintersemester 2025/26 das erste Mal angeboten.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die bislang erstellten Vorschriften beziehen sich zunächst auf die Prüfung von Schmierfetteigenschaften. Die Prüfung tribologischer Eigenschaften erfolgt bei Monz. Die Vorrichtungen dazu existieren schon und werden im Wahlpflichtmodul benutzt.

Im Rahmen des Lehrforschungsprojekts sind folgende Vorschriften erstellt worden:

- 1) OOT (Oxidation Onset Temperature) und OIT (Oxidation Induction Time) in Anlehnung an DIN EN ISO 11357-6 zur Prüfung der Wirksamkeit von Antioxidantien in Schmierfetten.
- 2) Gaspyknometrie zur Ermittlung der Dichte von Pulvern (hier Verdicker von Schmierfetten).
- 3) Bestimmung der Ölabgabe von Schmierfetten während ihrer Lagerung mittels analytischer Photozentrifuge.
- 4) Bestimmung der Ölabgabe von Schmierfetten nach DIN 51817.

5) Bestimmung der Konsistenz (Steifigkeit) von Schmierfetten nach DIN ISO 2137 mit nachfolgender Zuordnung zu einer NLGI-Konsistenzklasse nach DIN 51818 [2].

6) Rheologische Bestimmung der Fließgrenze von Schmierfetten nach DIN 51810-2:2017-04.

7) Bestimmung der Dichte des Grundöls.

8) Bestimmung zur Herstellung eines Calcium-Komplex-Schmierfetts aus 12-Hydroxystearat und Stearinsäure.

Weitere Vorschriften sind derzeit noch in Vorbereitung. Dazu gehören die IR-spektroskopische Identifizierung von Grundöl und Verdicker, die Bestimmung des Viskositätsindex (VI) von Grundölen, die rheologische Bestimmung der Viskosität von Grundölen und Schmierfetten, die Ermittlung des Einflusses von Additiv-freien und additivierten Schmierfetten auf den Reibkoeffizienten.

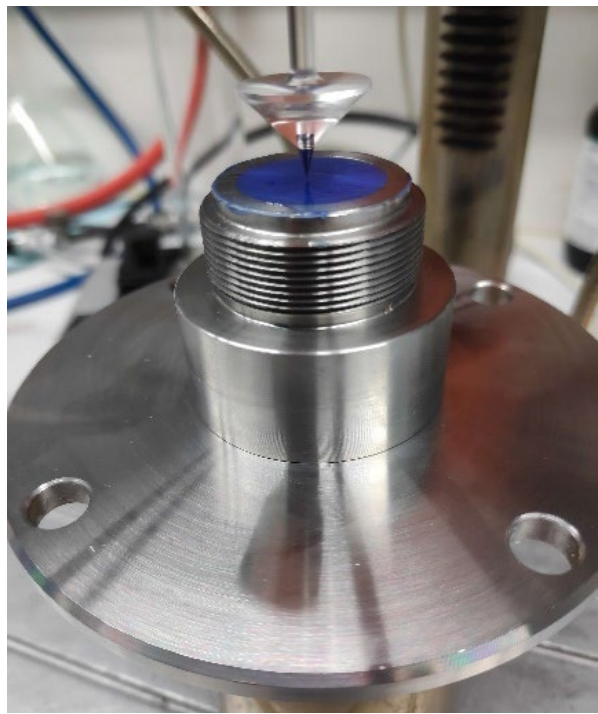


Abbildung 2: Links: hergestelltes Schmierfett blau eingefärbt; rechts: Konsistenzprüfung des Schmierfetts nach DIN ISO 2137. Bild: Steven Singer

5. Vernetzung und Transfer

Das Projekt *Lehrforschungslabor Schmierfette* hat einen stark interdisziplinären Charakter. Durch Aufbau eines virtuellen Labors eröffnet zukünftigen Studierenden der Fakultäten *Maschinenbau* und *Versorgungstechnik* und *Angewandte Chemie* die einmalige Gelegenheit, ein spannendes und zugleich zukunfts-trächtiges (Stichpunkt Energieeffizienz) Themengebiet kennenzulernen. Auch die Möglichkeit, erste Schritte in dieses Themengebiet in einem fakultätsübergreifenden Labor unter praktischen Gesichtspunkten unternehmen zu können, ist in Deutschland einmalig. Das dazu geplante Wahlpflichtmodul „Tribologie und Schmierfetteigenschaften“ hilft Studierenden die Aspekte *Nachhaltigkeit* und *Energieeffizienz* näher zu bringen. Es bietet ihnen auch die Chance, mit den erworbenen Kenntnissen und Kompetenzen an der Hochschule forschend tätig zu sein. Das ist für Studierende umso interessanter, weil *Schmiermittel* branchenübergreifend von Interesse sind und sie mit ihren Erfahrungen einen leichten Zugang in die Industrie haben.

6. Fazit und Ausblick

Das Lehrforschungsprojekt 2024 ist das dritte Lehrforschungsprojekt in Folge auf dem Themengebiet Schmierfette und Tribologie. Für alle Beteiligten war das Lehrforschungsprojekt ein voller Erfolg. Den beteiligten Professoren Sachsenheimer / Fakultät Angewandte Chemie, Monz / Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik und Jacob / Fakultät Angewandte Chemie halfen sie, Themenbereiche und Lehrkonzepte für eine Zusammenarbeit zu identifizieren und ein gemeinsames Wahlpflichtmodul auf den Weg zu bringen. Dem Großteil der beteiligten Studierenden verschafften die Lehrforschungsprojekte zum ersten Mal einen Zugang zur interdisziplinären Zusammenarbeit. Das hat den Studierenden so gut gefallen, dass nahezu alle, die in den Projekten beteiligt waren, bis zum Ende ihrer Studienzeit in diesem Themengebiet verblieben. Mittelfristig soll das aktuell ins Leben gerufene interdisziplinäre Wahlpflichtmodul mit seinem virtuellen Labor Keimzelle für eine enger werdende fakultätsübergreifende Zusammenarbeit auf diesem Themengebiet sein.

Hörer-Akzeptanz von KI-Radios

Prof. Markus Kaiser

Fakultät für Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften

Zusammenfassung:

Bachelorstudierende von Media Engineering und Technikjournalismus/Technik-PR haben mit einem Online-Fragebogen Hörerinnen und Hörer befragt, wie sie zu künstlicher Intelligenz (KI) im Radio stehen. Am größten ist die Akzeptanz des Einsatzes von KI bei Verkehr und Wetter, gefolgt von der Musikauswahl. Nur 13 Prozent der 340 Befragten befürworten KI bei den Nachrichten. Die Studierenden aus verschiedenen Fachsemestern haben von der Fragebogengestaltung über die Erhebung bis zur Auswertung die Studie selbstständig durchgeführt. Dabei durften sie auch hinter die Kulissen des Funkhauses Nürnberg und von Antenne Deutschland in Garching blicken, die das KI-Radio „Absolut AI“ betreiben. Knapp 43 Prozent der Befragten zeigten sich sehr offen oder offen, eine von einer KI moderierte Radioshow zu hören.

1. Projektdaten

Fördersumme	6.000 Euro
Laufzeit	März bis Juli 2024
Fakultät/Einrichtung	Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften
Projektleitung	Prof. Markus Kaiser
Projektteam	Bachelorstudierende von Media Engineering und Technikjournalismus/Technik-PR
Kontaktdaten Projektleitung	markus.kaiser@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die rasante Entwicklung der künstlichen Intelligenz hat in den vergangenen Jahren zahlreiche Branchen revolutioniert, insbesondere auch die Medienbranche. Traditionelle Medien stehen vor der Herausforderung, sich an die digitalen Veränderungen anzupassen, um ihre Relevanz und Überlebensfähigkeit zu sichern. Das Riepl'sche Gesetz besagt, dass etablierte Medienformen durch neue Technologien nicht vollständig verdrängt werden, sondern sich anpassen und neue Aufgabenfelder finden. Dennoch zeigt die kontinuierliche Abnahme der Auflagenzahlen von Printmedien, dass diese Anpassung nicht immer erfolgreich verläuft. Im Gegensatz dazu verzeichnen digitale Formate wie Apps und Websites einen Anstieg der Nutzungszahlen. Ein ähnlicher Wandel ist im Audibereich zu beobachten: Neben der traditionellen Radionutzung gewinnen Podcasts zunehmend an Beliebtheit.

KI bietet im Hörfunk vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, die von der automatisierten Inhaltserstellung über personalisierte Musikauswahl bis hin zur Echtzeit-Analyse von Hörerpräferenzen reichen. Durch den Einsatz von KI können Radiosender effizienter arbeiten, indem sie Routineaufgaben automatisieren und gleichzeitig ein individuell zugeschnittenes Hörerlebnis bieten. Mögliche Einsatzfelder sind die Erstellung von Nachrichten, Wetter oder Verkehr. Neben dem Verfassen dieser Meldungen können diese auch automatisiert vorgelesen werden (text to speech), wobei es statt einer künstlich entworfenen Stimme möglich ist, dass ein Voice-Klon einer bekannten Moderatorin und eines bekannten Moderators genutzt wird. Zudem ermöglicht KI die Erstellung von personalisierten Playlists, die den Musikgeschmack der Hörerinnen und Hörer berücksichtigen, und die Analyse von Hörgewohnheiten, um das Programm entsprechend anzupassen.

Ein Beispiel für den Einsatz von KI im Hörfunk ist der Sender „Absolut AI“ der Antenne Deutschland GmbH in Garching, der am 18. Juli 2023 gestartet worden ist und technisch von der Radio.Cloud betreut wird. Dieser Sender wird vollständig von einer KI mit den Moderatorennamen „kAI“ und „Alline“ moderiert, die die Hörerinnen und Hörer durch die Songs des vergangenen Jahrzehnts führen und gleichzeitig über das Thema künstliche Intelligenz informieren. Der Sender richtet sich an eine breite Zielgruppe von 14- bis 49-Jährigen und zeigt, wie KI im Hörfunk eingesetzt werden kann. Ein weiteres Beispiel ist der Radiosender „BigGPT“ von BigFM in Mannheim, der ebenfalls vollständig von KI-Technologie betrieben wird. Dieser Sender nutzt fortschrittliche KI-Modelle, um Inhalte zu generieren und zu moderieren. Solche

Entwicklungen verdeutlichen das Potenzial von KI, den Hörfunk zu transformieren und neue Formen der Interaktion mit den Hörerinnen und Hörern zu ermöglichen.

Bei diesen technischen Möglichkeiten bleibt die Frage offen, wie Hörerinnen und Hörer auf KI-generierte Inhalte im Radio reagieren. Die Akzeptanz solcher Inhalte ist entscheidend für den Erfolg von KI-basierten Radiosendern. Es bedarf daher wissenschaftlicher Untersuchungen, die die Hörer-Akzeptanz untersuchen und dabei Faktoren wie Vertrauen, Authentizität und Präferenzen berücksichtigen. Solche Studien können wertvolle Erkenntnisse liefern, die Radiosendern helfen, ihre Programme an die Bedürfnisse und Erwartungen ihrer Hörerinnen und Hörer anzupassen und die Potenziale von KI optimal zu nutzen. Schließlich gibt es neben den oben genannten KI-Radiosendern auch die Möglichkeit, dass traditionelle Radiosender lediglich einzelne Elemente von einer KI erstellen lassen (zum Beispiel würde der Einsatz von KI bei Verkehrsnachrichten zu einer schnelleren Übermittlung von Geisterfahrer-Meldungen führen).

Die Studie im Rahmen des Lehrforschungsprojekts zielte darauf ab, die Hörer-Akzeptanz von KI-generierten Inhalten im Radio zu untersuchen. Die Ergebnisse sollten dazu beitragen, Handlungsempfehlungen für Radioredaktionen zu entwickeln, um den Einsatz von KI im Hörfunk effektiv und hörerorientiert zu gestalten.

Die Studie wurde als Lehrforschungsprojekt aufgegriffen, nachdem Projektleiter Kaiser bereits Kontakte mit dem Funkhaus Nürnberg, Antenne Deutschland und der Radio.Cloud geknüpft hatte, die großes Interesse daran hatten, Daten für ihre eigenen KI-Strategien zu erhalten.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Lehrforschungsprojekt waren sowohl Bachelorstudierende von Media Engineering im Rahmen ihres Wahlpflichtfachs Technischer Journalismus als auch Bachelorstudierende von Technikjournalismus/Technik-PR im fachwissenschaftlichen Wahlpflichtfach Hörer-Akzeptanz von KI-Radios im Einsatz. Zunächst haben sich die Studierenden mit Radio-Grundbegriffen (wie einer Sendeuhr, dem Formatradio et cetera) beschäftigt und durch eine Exkursion ins Funkhaus Nürnberg und Gespräche mit der Programmchefin von Antenne Deutschland, Tina Zacher, und dem Geschäftsführer des Technik-Dienstleisters Radio.Cloud in Garching sich mit den Herausforderungen und Trends in der Radiobranche vertraut gemacht.



Abbildung 1: Stefan Grundler vom Funkhaus Nürnberg erklärt die Arbeitsweise der Radiosender. Bild: Markus Kaiser

Anschließend haben die Studierenden in Gruppenarbeiten einen Online-Fragebogen entwickelt, um die Hörer-Akzeptanz von KI-Radios zu eruieren. Bestandteil waren auch Audio-Aufnahmen sowohl von einer KI-generierten Stimme als auch von einem Menschen, um fragen zu können, welche Stimme sich angenehmer und welche sich authentischer anhört. Nach der Erhebungsphase mit 340 Teilnehmerinnen und Teilnehmern wurden die Antworten von den Studierenden ausgewertet. Vertieft wurde die Thematik im Anschluss durch eine Bachelorarbeit im Studiengang Technikjournalismus/Technik-PR von Daniel Eli. Die Ergebnisse der Studie wurden unter anderem auf dem Nürnberg Digital Festival, auf den Lokalrundfunktagen Nürnberg und bei Besser Online in Leipzig vorgestellt. Das Interesse von Radiosendern (wie auch eine Diskussion mit dem Digital-Chef Roger Hofmann von Radio FFH in Frankfurt) an den Ergebnissen war spürbar groß, da derzeit die meisten Stationen vor der Frage stehen, ob und in welchem Umfang sie KI in ihren Workflows einsetzen können – ohne zu wissen, wie die Hörerinnen und Hörer dazu stehen. Daher war auch eine bedeutende Frage, ob KI-generierte Inhalte als solche kenntlich gemacht werden sollten.



Abbildung 2: Vor einem Heimspiel von Eintracht Frankfurt hat der Digitalchef von Radio FFH in Frankfurt, Roger Hofmann (rechts), mit unserem Medien-Professor Markus Kaiser (2. von rechts) über den Einsatz von KI in den Medien diskutiert. Bild: EintrachtTech

Die Studie der Studierenden der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) knüpft an eine Untersuchung der Landesanstalt für Medien NRW an, die im Dezember 2023 insbesondere basierend auf dem Einsatz von KI beim Lokalfernsehsender Studio 47 untersucht hatten, wie die Akzeptanz dort ist. Bei Studio 47, dem einzigen Lokalfernsehsender in Nordrhein-Westfalen (NRW), wird neben der Erstellung von Nachrichtenbeiträgen auch ein Avatar als Nachrichtensprecher eingesetzt. Die Studierenden standen auch in Austausch mit Sascha Devigne, Geschäftsführer von Studio 47 in Duisburg.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen der Studie zur Hörer-Akzeptanz von KI im Radio wurde eine Online-Befragung durchgeführt, an der insgesamt 340 Personen verschiedener Altersgruppen teilnahmen. Die Befragung diente dazu, Einblicke in die Wahrnehmung und Akzeptanz von KI-generierten Inhalten im Radiobereich zu gewinnen. Dabei wurden verschiedene Hypothesen getestet, um die Einstellungen der Hörerinnen und Hörer gegenüber KI-Moderation, Transparenz, Einsatzgebieten und der Zukunft von KI im Radio zu untersuchen.

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass jüngere Hörerinnen und Hörer offener für KI-Moderation im Radio sind als ältere. Die Ergebnisse zeigen, dass 44 Prozent der unter 27-Jährigen eine grundsätzliche Offenheit gegenüber KI-Moderation im Radio haben. Bei den älteren Teilnehmern (27 Jahre und älter) lag die Zustimmung bei 42 Prozent. Der Unterschied zwischen den Altersgruppen ist somit geringer als erwartet, sodass sich die Hypothese nicht eindeutig bestätigen lässt.

Ein entscheidender Faktor für die Akzeptanz von KI im Radio ist, dass die Sender transparent damit umgehen: 56 Prozent der Befragten gaben an, dass es ihnen „sehr wichtig“ ist zu wissen, ob Inhalte KI-generiert sind. Weitere 25 Prozent hielten diese Information für „eher wichtig“. Damit legen insgesamt 81 Prozent der Hörerinnen und Hörer großen Wert auf Transparenz bei KI-generierten Inhalten. Die Empfehlung für Radiosender lautet daher, KI-Moderation klar zu kennzeichnen und durch Info-O-Töne oder Hinweise kenntlich zu machen.

KI-Moderation wird von den Befragten vor allem außerhalb der Hauptsendezeiten bevorzugt. Während der Stoßzeiten bevorzugen die Hörerinnen und Hörer weiterhin menschliche Moderatorinnen und Moderatoren. Dies legt nahe, dass KI-Moderation vor allem als ergänzende Technologie in weniger frequentierten Sendezeiten, zum Beispiel nachts, sinnvoll sein könnte.

Die Befragten konnten angeben, in welchen Bereichen sie sich den Einsatz von KI im Radio vorstellen können. Die am häufigsten genannten Einsatzgebiete waren: Verkehrsnachrichten und Wetterberichte, gefolgt von der Playlist-Gestaltung. Weniger Zustimmung erhielt der Einsatz von KI im Bereich der redaktionellen Berichterstattung und bei Interviews, was mit einer allgemeinen Skepsis gegenüber KI-generierten Inhalten zusammenhängen könnte.

Ein zentrales Ergebnis der Studie war, dass 84 Prozent der Befragten den menschlichen Sprechertext gegenüber einem KI-generierten Text bevorzugten. Obwohl 63 Prozent der Befragten die KI-Stimme als natürlich empfanden und 57 Prozent sie als angenehm bewerteten, lag die Hauptkritik an der KI-Stimme in der mangelnden Wiedergabe emotionaler Nuancen. Zwei Drittel der Befragten (66 Prozent) gaben an, dass die KI-Stimme emotionale Nuancen nur selten oder gar nicht wiedergeben konnte. Dieses Defizit führt dazu, dass menschliche Moderatorinnen und Moderatoren aktuell noch als unersetzlich angesehen werden. Allerdings mag dieser Test nicht für alle durch eine KI geklonten Stimmen gleich gelten. So hatte die oben erwähnte Studie der Landesanstalt für Medien NRW zu besseren Ergebnissen von KI-generierten Avataren geführt.

Rund 75 Prozent der Befragten glauben, dass KI-Moderatoren menschliche Moderatorinnen und Moderatoren auch in naher Zukunft nicht vollständig ersetzen können. Dies unterstreicht die Bedeutung menschlicher Moderatorinnen und Moderatoren für den Radiosektor und legt nahe, dass KI in absehbarer Zeit eher eine ergänzende als eine ersetzende Rolle spielen wird. Als Handlungsempfehlung für

Radiosender kann dadurch festgehalten werden, dass es umso wichtiger wird, Moderatorinnen und Moderatoren zu Personalitys zu entwickeln, um sich weiterhin gegenüber Streaming-Diensten wie Spotify abzuheben.

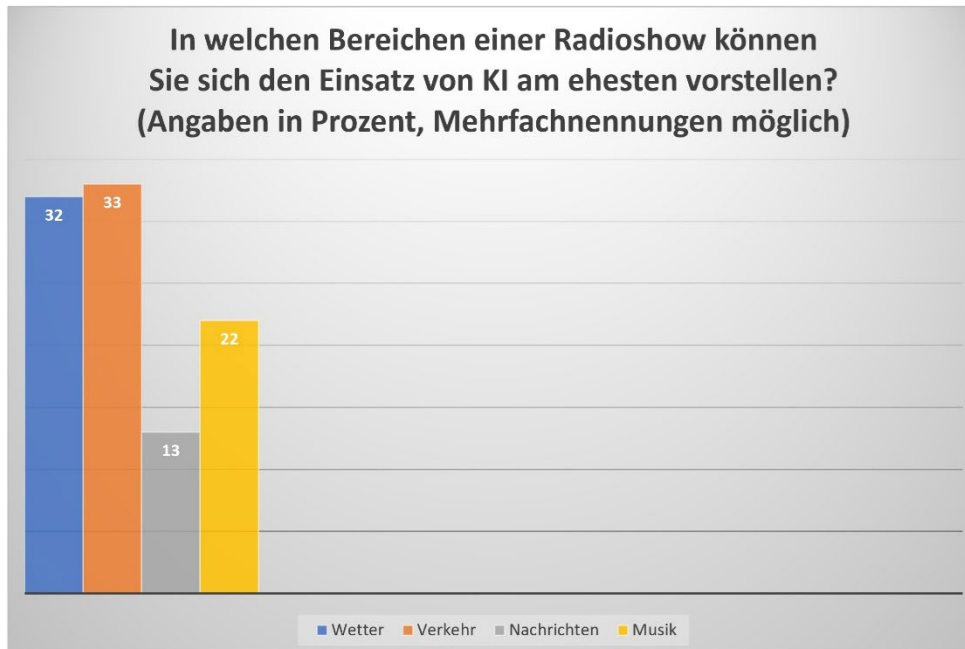


Abbildung 3: Am meisten akzeptieren Hörerinnen und Hörer den Einsatz von KI bei Verkehrsmeldungen und dem Wetter. Bild: Markus Kaiser

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass Hörerinnen und Hörer grundsätzlich offen für den Einsatz von KI im Radio sind, insbesondere in unterstützenden Funktionen wie Wetter- und Verkehrsmeldungen oder außerhalb der Hauptsendezeiten. Gleichzeitig bestehen jedoch deutliche Vorbehalte gegenüber einer vollständigen Ersetzung menschlicher Moderatorinnen und Moderatoren, insbesondere aufgrund der mangelnden emotionalen Nuancierung von KI-Stimmen. Transparenz spielt eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz von KI-generierten Inhalten.

Als Handlungsempfehlung für Radiosender ergibt sich daraus, dass KI-Moderation sorgfältig und transparent eingeführt werden sollte. Besonders geeignet wäre der Einsatz in ergänzenden Bereichen, um menschliche Moderatorinnen und Moderatoren zu entlasten, ohne deren Präsenz gänzlich zu ersetzen. Mit fortschreitender technologischer Entwicklung könnte sich die Akzeptanz von KI im Radio weiter verändern, insbesondere wenn KI-Systeme in der Lage sind, emotionaler und authentischer zu kommunizieren. Deshalb sollte eine Hörer-Akzeptanz-Studie von KI-Elementen im Radio auch regelmäßig wiederholt werden.

5. Vernetzung und Transfer

Durch das Lehrforschungsprojekt und die finanzielle Zuwendung hatten die Studierenden die Gelegenheit, sich auf den Lokalfunktagen in Nürnberg und dem vom Deutschen Journalisten-Verband ausgerichteten Kongress Besser Online in Leipzig sich mit Branchenvertreterinnen und -vertretern zu vernetzen.

Die Ergebnisse der Studie zur Hörer-Akzeptanz von KI-Radios konnten auf verschiedenen Kongressen vorgestellt werden. Darüber hinaus hatten mehrere Radiosender großes Interesse an den Ergebnissen geäußert und sich diese in persönlichen Gesprächen erläutern lassen, um für ihre eigene KI-Strategie Schlussfolgerungen daraus zu ziehen.



Abbildung 4: Eugen Nussbaum von „Welt der Wunder“ als Studiogast bei einer Live-Radiosendung der Media-Engineering-Studierenden an der Ohm. Bild: Markus Kaiser

Studierende von Media Engineering hatten zudem im Anschluss an das Lehrforschungsprojekt eine eigene Radiosendung im Audio- und Video-Studio an der Bahnhofstraße geplant und moderiert, die live auf dem YouTube-Kanal von Technikjournalismus/Technik-PR ausgestrahlt worden ist. Inhaltlicher Schwerpunkt dieser Sendung waren die Themen künstliche Intelligenz und Metaversen, zu der auch ein Gast von „Welt der Wunder“ eingeladen worden war.

6. Fazit und Ausblick

Die Hörer-Akzeptanz-Studie von KI-Radios hat gezeigt, dass es sich hierbei nur um eine Momentaufnahme gehandelt hat, da die Entwicklung von künstlicher Intelligenz rasant voranschreitet. Dies betrifft zum einen komplett neue Möglichkeiten von Radiosendern, wie sie KI bei sich einsetzen können. Zum anderen nimmt KI aber auch bei Menschen im Alltag und in deren unterschiedlichen Berufen immer mehr Einzug, was mutmaßlich auch Auswirkungen auf die Akzeptanz von KI in der Radiobranche hat. Daher sollte eine vergleichbare Studie in einem regelmäßigen Turnus durchgeführt werden.

Wissenstransfer kann zudem stattfinden im Bereich Change-Management: zum einen bezogen auf die Redaktionen der Sender, zum anderen aber auch auf Hörerinnen und Hörer, um bei ihnen ein Bewusstsein für veränderte Produktionsprozesse zu sorgen.

7. Literatur

Antenne Deutschland (2024), Absolut Radio AI erhält Zustimmung der Bayerischen Landeszentrale für neue Medien (BLM), <https://www.antenne-deutschland.de/absolut-radio-ai-erhaelt-zustimmung-der-bayerischen-landeszentrale-fuer-neue-medien-blm/> (zuletzt abgerufen am 10.03.2025).

Landesanstalt für Medien NRW (2024), Landesanstalt für Medien NRW veröffentlicht Studie zur Akzeptanz von KI im Journalismus, <https://www.medienanstalt-nrw.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen-2024/default-a455c6a6ed/maerz/akzeptanzstudie-ki-im-journalismus.html> (zuletzt abgerufen am 10.03.2025).

Schulsozialarbeit in ganztägigen schulischen Settings

Prof. Dr. Johannes Kloha

Fakultät Sozialwissenschaften

Dr. Stefanie Gandt

Lehr- und Kompetenzentwicklung (LeKo)

Sinem Tekin, M. A.

Sozialarbeiterin / Lehrbeauftragte Fakultät Sozialwissenschaften

Melina Riebisch, B. A.

Studentische Hilfskraft Fakultät Sozialwissenschaften

Zusammenfassung:

Das Lehrforschungsprojekt untersuchte die interprofessionelle Zusammenarbeit zwischen Schule und Jugendhilfe im Bereich Kinderschutz, insbesondere im Kontext der Ganztagsbetreuung. Es wurde analysiert, wie unterschiedliche institutionelle Logiken und diffuse Rollenzuweisungen die Kooperation beeinflussen. Die Ergebnisse zeigten, dass Schulsozialarbeit eine zentrale Rolle als Bindeglied zwischen Schule, Jugendhilfe und externen Partnerinnen und Partnern übernimmt. Herausforderungen bestanden in unklaren Zuständigkeiten und Machtstrukturen, insbesondere in Ganztagsschulen. Das Projekt förderte den Austausch zwischen Theorie und Praxis, was durch Workshops mit Praktikerinnen und Praktikern vertieft wurde.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.760 Euro
Laufzeit	März bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Sozialwissenschaften
Projektleitung	Prof. Dr. Johannes Kloha
Projektteam	Dr. Stefanie Gandt, Sinem Tekin, M. A., Melina Riebisch, B. A.
Kontaktdaten Projektleitung	johannes.kloha@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Mit der Einführung des Rechtsanspruchs auf Ganztagsbetreuung ab dem Schuljahr 2026/2027 gewinnt die Kooperation zwischen Schule und Jugendhilfe zunehmend an Bedeutung. Besonders im Bereich des Kinderschutzes erfordert die Zusammenarbeit klare Strukturen und abgestimmte Handlungsstrategien. Zu diesem Thema hat sich eine bayernweite Arbeitsgruppe aus Praxis- und Hochschulvertreterinnen und -vertretern gebildet, in der der Projektleiter Mitglied ist. Da dieses Thema von wachsender Bedeutung ist, was unter anderem durch einen Fachtag deutlich wurde, der im November 2024 von der Arbeitsgruppe organisiert wurde und von circa 80 Praktikerinnen und Praktikern besucht wurde, wurde zu Beginn des Lehrforschungsprojektes im März 2024 entschieden, das eigentlich anvisierte Thema „Migration“ auf einen späteren Zeitpunkt zu verschieben.

Gegenstand des Lehrforschungsprojektes war somit, wie insbesondere die interprofessionelle Zusammenarbeit im schulischen Feld zum Thema Kinderschutz gestaltet ist und welche konkreten Herausforderungen sich an den Schnittstellen der beteiligten Akteurinnen und Akteure ergeben.

Schulen sind zentrale Orte der Sozialisation und damit wesentliche Instanzen für den Kinderschutz. Sie nehmen sowohl als Schutzräume als auch als Orte potenzieller Gefährdung eine bedeutende Rolle ein. Gleichzeitig sind sie eine der wichtigsten Meldeinstanzen bei Kindeswohlgefährdung. Die Zusammenarbeit mit der Jugendhilfe wird somit unerlässlich. Allerdings bestehen divergierende Systemlogiken: Während Schulen auf Bildung und Erziehung fokussiert sind, steht in der Jugendhilfe die Unterstützung von Kindern und Familien im Mittelpunkt. Diese Unterschiede erschweren die Kooperation und führen zu Unsicherheiten bezüglich Zuständigkeiten und Handlungsstrategien (Kopp 2023).

Der Forschungsstand zeigt, dass Schule und Jugendhilfe trotz gesetzlicher Vorgaben oft nicht über klar definierte Kooperationsstrukturen verfügen. Das Gesetz zur Kooperation und Information im Kinderschutz (KKG) von 2012 hebt die gemeinsame Verantwortung von Schule und Jugendhilfe hervor, doch bestehen in der Praxis häufig Unklarheiten hinsichtlich konkreter Zuständigkeiten und Verfahren. Statistiken zeigen, dass sich die Zahl der erhärteten Verdachtsfälle von Kindeswohlgefährdung in den letzten Jahren deutlich erhöht hat, was die Bedeutung der Kooperation zusätzlich unterstreicht (Statistisches Bundesamt 2022). Gleichzeitig erweist sich die Zusammenarbeit als spannungsreich, da ungleiche Machtverteilungen und institutionelle Logiken immer wieder zu Konflikten führen. Während Schulsozialarbeit als zentrale Schnittstelle etabliert ist, bleibt ihre Einbindung oft von individuellen Strukturen der jeweiligen Schule abhängig, was zu einer uneinheitlichen Praxis führt (Maurer 2023).

Ein weiteres Problem ergibt sich aus der Heterogenität der Ganztagsangebote. Während die Ganztagsbetreuung einerseits als Chance für eine intensivere Kooperation zwischen Schule und Jugendhilfe betrachtet wird, erschwert das Fehlen einheitlicher Qualitätsstandards die Entwicklung verbindlicher Konzepte. Studien zeigen, dass multiprofessionelle Kooperationen im schulischen Umfeld häufig durch diffuse Aufgabenzuschreibungen und unklare Kommunikationsstrukturen geprägt sind. Diese Faktoren beeinflussen die Wirksamkeit von Kinderschutzmaßnahmen erheblich und machen eine systematische Analyse bestehender Kooperationsformen notwendig (Rother/Sauerwein/Fischer 2024).

Das Projekt zielte darauf ab, die strukturellen und inhaltlichen Herausforderungen der Kooperation zwischen Schule und Jugendhilfe im Kinderschutz zu analysieren. Die zentralen Forschungsfragen lauteten: Welche Herausforderungen bestehen in der interprofessionellen Zusammenarbeit zwischen Schule und Jugendhilfe im Bereich Kinderschutz? Inwiefern beeinflussen unterschiedliche institutionelle Logiken die Kooperationspraxis? Welche Gelingensbedingungen können identifiziert werden, um die Zusammenarbeit zu verbessern?

Durch die Untersuchung dieser Fragen sollte ein Beitrag zur Schaffung tragfähiger Kooperationsstrukturen geleistet werden. Gleichzeitig bot das Projekt die Möglichkeit, wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse zu generieren, die für die Praxis relevant sind. Im Mittelpunkt stand dabei die Frage, wie bestehende Spannungen überwunden und nachhaltige Kooperationen gefördert werden können.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Lehrforschungsprojekt arbeiteten studentische Projektgruppen (4 bis 6 Studierende) an Themen zu Kooperationsprozessen. Die Gruppenbildung erfolgte im ganztägigen Start-Workshop am 18.04.2024, der auch eine vertiefte Einführung in das bayerische Modell der Schulsozialarbeit, das Programm Jugendsozialarbeit an Schulen, umfasste.

Nach dem Workshop übernahmen die Gruppen folgende Aufgaben:

- Entwicklung einer Forschungsfrage.
- Festlegung des methodischen Vorgehens.
- Durchführung der Datenerhebung (vor allem qualitative Interviews mit Praktikerinnen und Praktikern).
- Analyse der Daten.
- Erstellung eines Abschlussberichts und einer Präsentation.

Die Studierenden erhielten auf zwei Ebenen Unterstützung:

- Fachlich begleitet wurden sie von Prof. Kloha, Dr. Gandt und Sinem Tekin, die einzelne Gruppen betreuten.
- Zusätzlich stand Melina Riebisch als studentische Hilfskraft und ehemalige Absolventin des Schwerpunkts allen Gruppen als Ansprechpartnerin zur Verfügung.

Eine Innovation im Vergleich zu den vorherigen Schwerpunkten stellte die Klausur im Sommersemester dar. Systematisch wurde sie in das Kompetenzraster des Lehrforschungsprojektes integriert. Zentraler Gegenstand der Klausur war die ausschnittsweise Analyse eines Interviews mit einer Schulsozialarbeiterin. Dieses Interview wurde bei einer Exkursion im April zu der Schulsozialarbeiterin unter Anwesenheit der Studierenden geführt. Anschließend wurde es transkribiert und den Studierenden zur Verfügung gestellt. In der Klausur, die als Open-Book-Klausur durchgeführt wurde, mussten die Studierenden eine bestimmte Passage unter einer gegebenen Fragestellung nach den analytischen Regeln der Grounded Theory interpretieren. Der Vorzug dieses Klausuransatzes, der von den Studierenden als sehr hilfreich evaluiert wurde, liegt darin, dass sie sich damit schon mit den Verfahren der Datenanalyse auseinandersetzten, bevor sie diese Schritte an ihrem eigenen Material durchführten.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Forschungsergebnisse der Studierenden konnten die komplexen Interaktionsprozesse verdeutlichen, die bedingen, welche Zuständigkeiten und Perspektiven sich im multiprofessionellen schulischen Kontext herausbilden und wie dies den Umgang mit jugendhilferelevanten Themen und Situationen beeinflusst. Zwei Projektgruppen beleuchteten dabei jeweils eine Berufsgruppe, die Schulsozialarbeit und die Mitarbeitenden an Ganztagschulen.

Diffuse Rollenzuweisungen und Machtstrukturen

Die Interviews mit Mitarbeitenden in Ganztagschulen ergaben, dass deren Rollen- und Aufgabenzuschnitt sowohl für sie selbst als auch für andere schulische Akteurinnen und Akteure häufig diffus bleiben. Gerade im Hinblick auf den Kinderschutz ist deren Rolle etwa in schulischen Schutzkonzepten nicht klar definiert beziehungsweise wird vollständig ausgelassen. Umso wichtiger erweisen sich deshalb konkrete funktionierende Kooperationsbeziehungen, die dann auch wieder in die jeweiligen beruflichen Gruppen ausstrahlen können („Türöffner in die andere Profession“).

Schulsozialarbeit als Bindeglied zu externen Kooperationspartnerinnen und -partnern

Besonders deutlich in den Interviews mit Schulsozialarbeiterinnen und -arbeitern wurde im Hinblick auf Kinderschutzfälle deren Rolle als Schnittstelle zu externen Akteurinnen und Akteuren, wie etwa dem Jugendamt oder Beratungsstellen. Dabei übernimmt Schulsozialarbeit hier sowohl eine Koordinations- als auch eine „Übersetzer“-Funktion, da sie institutionell mit dem Schulsystem verbunden ist, aber gleichzeitig die Logik der Externen durch die gemeinsame Professionszugehörigkeit versteht.

Schulartspezifische Unterschiede

Eine Projektgruppe zeigte schließlich, dass schulartspezifische Faktoren wie Übergänge, altersspezifische Herausforderungen und soziale Durchmischung den Fallfokus in der Schulsozialarbeit beeinflussen. Externe Faktoren wie gesellschaftliche Krisen sowie der Standort mit seinen spezifischen Ressourcen und Stigmatisierungseffekten spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Zusätzlich wird der individuelle Gestaltungsraum der Fachkräfte, die Kooperationsstruktur mit Ganztagschulen und deren Einfluss auf die Arbeit hervorgehoben.

5. Vernetzung und Transfer

Wie bereits in den vorherigen Lehrforschungsprojekten konnten diese Ergebnisse nach dem Abschluss des Projektes an einem Fachtag mit Praktikerinnen und Praktikern diskutiert werden. Dieses Mal wurde der Rahmen des Fachtages deutlich ausgeweitet und als Workshop konzipiert, an dem schulische Akteurinnen und Akteure (Lehrkräfte, Schulleitungen, Jugendsozialarbeit an Schulen (JaS), Mitarbeitende an Ganztagsschulen) gemeinsam an innerschulischen Kooperationsprozessen arbeiten können. Die Beiträge der Studierenden dienten hier als wertvolle Anregungen, was von den Teilnehmenden besonders hervorgehoben wurde. Der Gewinn der Studierenden bestand darin, als Teilnehmende an den Workshops in vertiefter Weise die unterschiedlichen Perspektiven kennenzulernen.



Abbildung 1: Präsentation studentischer Ergebnisse am Fachtag am 21.02.2025. Bild: Melina Riebisch



Abbildung 2: Präsentation studentischer Ergebnisse am Fachtag am 21.02.2025. Bild: Melina Riebisch



Abbildung 3: Diskussion mit Praktikerinnen und Praktikern am Fachtag am 21.02.2025. Bild: Melina Riebisch

6. Fazit und Ausblick

Grundsätzlich hat sich das Format des forschenden Lernens für diesen Studienschwerpunkt bewährt, was durch wiederholt sehr positive studentische Evaluationen deutlich wurde. Das Thema des Kinderschutzes durch die „schulische Verantwortungsgemeinschaft“ erwies sich dabei in dem abgeschlossenen Projekt als so umfassend und komplex, dass es auch als Rahmenthema des folgenden Lehrforschungsprojektes herangezogen wird. Modifikationen wird es dabei zum einen hinsichtlich des Fokus des Projektes geben, bei dem noch gezielter auf multiprofessionelle Interaktionsprozesse eingegangen werden wird. Dies erfordert möglicherweise eine methodische Erweiterung, beispielsweise um ethnographische Methoden. Die Grundlagen dafür – insbesondere der Feldzugang – können dadurch erleichtert werden, dass es gelungen ist, ein dichtes Netz an Praxispartnerinnen und -partnern zu gewinnen, die eine hohe Bereitschaft signalisierten, als Forschungspartnerinnen und -partner zur Verfügung zu stehen. Eine weitere Änderung liegt in der geplanten Kooperation mit einem Lehrforschungsprojekt an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar), bei dem Daten aus einer bundesweiten quantitativen Befragung von Schulsozialarbeiterinnen und -arbeitern ausgewertet werden. Geplant ist unter anderem die Durchführung eines gemeinsamen Abschlussfachtages im Februar 2026 in Nürnberg.

7. Literatur

Kopp, K. (2023): Kinderschutz in gemeinsamer Verantwortung von Jugendhilfe und (Ganztags-)Schule. In: Böllert, K./Demski, J./Bokelmann, O. (Hrsg.): Ganztagsbildung - Kooperation von Jugendhilfe und Schule? Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 77–99.

Maurer, S. (2023): Ringen um fachliche Souveränität? Zur Frage von Handlungsmächtigkeit in den Grenzzonen der Kooperation. In: Hopmann, B./Marr, E./Molnar, D./Richter, M./Thieme, N./Wittfeld, M. (Hrsg.): Soziale Arbeit im schulischen Kontext: Zuständigkeit, Macht und Professionalisierung in multiprofessionellen Kooperationen. Weinheim: Beltz Juventa, S. 102–115.

Rother, P., Sauerwein, M., und Fischer, N.: „Qualität in der Ganztagsschule – Qualität im Ganzttag.“ Soziale Passagen, April 24, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12592-024-00495-7>.

Statistisches Bundesamt (2022): Statistiken der Kinder- und Jugendhilfe - Gefährdungseinschätzungen nach § 8a Absatz 1 SGB VIII. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DESerie_mods_00002278.

URBAN-GARDENING + NACHHALTIG STUDIEREN an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) – vom Projekt zur nachhaltig integrierten Aktionsfläche

Prof. Dr. Markus Kosuch

Fakultät Sozialwissenschaften

Kerstin Seeger, M. A.

wirKSam verändern

David Schmierer, M. Sc.

Transition Roßtal

Zusammenfassung:

Es wurden interdisziplinäre Seminare „Urban Gardening“ und „Nachhaltig Studieren“ angeboten, um den erschaffenen Campus-Garten zu verstetigen, weiterzuentwickeln und als nachhaltig-integrierte Aktionsfläche zu etablieren, die für weitere Projekt-Ideen dienen kann. 80 Bachelor-Studierende (erstes bis fünftes Fachsemester) aus den Studiengängen Bauingenieurwesen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik, Mechanical Engineering, Sozialwissenschaften, Wirtschaftsinformatik nahmen an dem Projekt teil. Durch die Kombination aus fachlichen Impulsen, Gartenarbeit, Projektarbeit und Reflektion wurde eine interdisziplinäre Verzahnung von Forschung, Lehre und Praxis erfahrbar. Individuelle und gesellschaftsbezogene Reflexion wurden fokussiert. In Projektteams konnten die Studierenden eigene Anliegen und Themen umsetzen: Prototyp für ein automatisiertes Bewässerungssystem, Vertikalbegrünung, Brunnen, Vogelhäuschen, Insektenhotel sowie Konzeption für weitere Begrünung des Campus und Erhöhung der Aufenthaltsqualität.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.800 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Sozialwissenschaften und Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften
Projektleitung	Prof. Dr. Markus Kosuch
Projektteam	Kerstin Seeger, M. A. / David Schmierer, M. Sc.
Kontaktdaten	markus.kosuch@th-nuernberg.de
Projektleitung	

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Ziel war es, das erschaffene Campus-Garten-Projekt zu verstetigen, weiterzuentwickeln und zu integrieren. Im Vorgängerprojekt (2023) wurde am Keßlerplatz ein Campus-Garten-Projekt erschaffen, das heißt, direkt im „Herz“ der Ohm wurde eine Außenfläche begrünt und die Aufenthaltsqualität erhöht. Dies wurde in Zusammenarbeit mit der Nachhaltigkeitsbeauftragten der Ohm sowie der Leitung Technik & Facility Management umgesetzt. Zudem wurden mit einem Patenschaftsmodell Studierende und Mitarbeitende integriert, welche sich für die Beetpflege engagierten. Hiermit wurde ein Modell geschaffen, geteilte Verantwortung im öffentlichen Raum pilothaft umzusetzen.

Das Feedback von vielen Hochschulangehörigen (inklusive Hochschulleitung) und auch externen Besuchenden war sehr positiv. Zudem wurde dem Projekt der Preis der sozialen Innovation im Rahmen des sei-Festivals verliehen.

Nun galt es in 2024, das Erschaffene zu verstetigen, weiterzuentwickeln und nachhaltig zu integrieren. Hierzu wurden im Vorhabenszeitraum weitere interdisziplinäre Seminare „Urban Gardening“ und „Nachhaltig Studieren“ angeboten.

Dabei war die fachliche Problemstellung, wie das erschaffene Projekt als nachhaltig-integrierte Aktionsfläche etabliert werden kann, als Inspirationsquelle für weitere nachhaltige Projekt-Ideen dienen kann und darüber hinaus eine Praxis der echten Zusammenarbeit (Stichwort Interdisziplinarität) erfahrbar macht.

Unterschiedliche Fakultäten können in diesem Zusammenhang Projekte entwickeln (wie beispielsweise eine Bewässerungsanlage – konzipiert von angehenden Bauingenieurinnen und Bauingenieuren, Informatikerinnen und Informatikern und Elektroingenieurinnen und Elektroingenieuren). Die Studierenden können lernen und gleichzeitig etwas beitragen – ein idealer Theorie-Praxis-Transfer am Campus im Sinne einer angewandten Lehre.

Dabei war eine weitere Kernfrage: Wie kann Vernetzung so organisiert und kanalisiert werden, dass solche Projekte entstehen können und dass aus Ideen tatsächliche Umsetzungsprojekte werden? Hierfür braucht es interne Vernetzung – interdisziplinär, fakultätsübergreifend und in die Verwaltung hinein. Auch diese Handlungskompetenz konnten Studierende im Rahmen der Seminare „Urban Gardening“ und „Nachhaltig Studieren“ erlernen. Es ging dabei auch um Aneignung und Identifikation mit der Ohm und damit dem eigenen Lebens- und Lernumfeld sowie um Einsatz für gemeinsame Ziele und Erfahrung von Sinnhaftigkeit.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

An den interdisziplinären Seminaren „Urban Gardening“ und „Nachhaltig Studieren“ nahmen 80 Bachelor-Studierende (erstes bis fünftes Fachsemester) aus den Studiengängen Bauingenieurwesen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik, Mechanical Engineering, Sozialwissenschaften, Wirtschaftsinformatik teil. Durch Expertinnen und Experten wurden die Studierenden angeleitet, unterstützt und in ihrer Handlungsorientierung ausgebildet.

Das Forschungsprojekt NextSkills (nextskills.org) der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe (DHBW Karlsruhe) hat Fähigkeiten identifiziert, die junge Menschen zukünftig in der Arbeitswelt und zur Gestaltung der Gesellschaft benötigen. Dabei geht es neben der fachlichen Qualifizierung, die in der Vergangenheit vorrangig war, vermehrt um Kompetenzen, die dazu befähigen, sich mit Krisensituationen und gesellschaftlichen Wandlungsprozessen auseinanderzusetzen – aktiv, reaktiv und kreativ.

„Probleme folgen keiner Disziplin“ sagt Ulf-Daniel Ehlers im zugehörigen Buch Future Skills - Lernen der Zukunft - Hochschule der Zukunft (Ehlers 237). Es ist laut Ehlers daher unerlässlich, dass Studierende eine interdisziplinäre oder transdisziplinäre Grundhaltung und die Kompetenz zur kreativen Analyse von Problemstellungen auf Basis von methodologischem Handwerkszeug aus verschiedenen Wissenschaftsrichtungen erlernen können (Ehlers 239). Inter- und transdisziplinäres Lehren und Lernen erfordert demnach die Verknüpfung und Anwendung des Erlernten in konkreten und realen Aufgabenstellungen, eine aktive Auseinandersetzung mit praktischen Fragestellungen, die Erarbeitung von interdisziplinären Lösungsansätzen und gemeinsames Bearbeiten von Themen aus Gesellschaft und Wirtschaft.

In den Seminaren für Bachelor-Studiengänge wurden diese Future Skills fokussiert. Studierende lernten, wie interdisziplinäre Vernetzung stattfinden kann. Durch die Zusammenarbeit in Projektteams wurde die Arbeitsweise in heterogenen Arbeitsgruppen eingeübt. Im Vorhaben wurde eine enge und interdisziplinäre Verzahnung von Forschung, Lehre und Praxis erfahrbar gemacht, Selbstorganisation und Eigeninitiative wurden gestärkt. Die Studierenden wurden in eine aktive Rolle versetzt, konnten eigene Anliegen und Themen umsetzen, erlebten Selbstwirksamkeit und erfuhren Handlungsalternativen. Es entstand etwas, das weit über den Seminar-Kontext hinauswirkt.

Darüber hinaus wurden Themen, Inhalte und Methoden angeboten, die häufig noch nicht im normalen Fächerkatalog vertreten sind, wie beispielsweise Permakultur, Theorie U (Ebenen des Zuhörens nach Dr. Otto Scharmer, Massachusetts Institute for Technology) und vieles mehr.

Auch persönliche und soziale Kompetenzen wurden gestärkt: Die Studierenden lernten vernetztes, kritisches und vorausschauendes Denken und bauten Kompetenzen zum zukunftsfähigen und gemeinwohlorientierten Handeln auf. Dabei wurden die Themen neben der Mikro- und Mesoebene auch auf der Makroebene, in einem politischen Kontext und auf der gesellschaftssystemischen Ebene reflektiert.

Durch eine klare praxisorientierte Ausrichtung wurden verschiedene Kompetenzen sowie motivationale Faktoren gestärkt. Durch die Verknüpfung von fachwissenschaftlichen Inhalten und praxisorientierter Methodologie erhielten die Studierenden die Chance, reale Anwendungsmöglichkeiten und Schnittstellen der einzelnen Bereiche ihres Studienfaches zu erfahren und die erworbenen Kenntnisse im weiteren Studienverlauf einfließen zu lassen. Dies spiegelte sich insbesondere in den von Studierenden entwickelten Projekten wider.

Darüber hinaus wurden auch hochschul-externe Orte besucht: die WiSo-Oase und der Waldgarten in Roßtal.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Konkret entstanden: ein Prototyp für ein automatisiertes Bewässerungssystem, der Versuch einer Vertikalbegrünung, ein Brunnen, mehrere Vogelhäuschen, sowie ein neu-renoviertes Insektenhotel. Die Beete wurden gemeinschaftlich bepflanzt und gepflegt, sowie individuelle und gesellschaftsbezogene Reflexion geübt. Auch am Ohm-Sommerfest 2024 leistete das Projekt einen Beitrag.

Theoretische Projekt-Arbeiten waren des Weiteren: Weiterentwicklung des Campus Keßlerplatz („Bunter Keßlerplatz“), Erhöhung der Aufenthaltsqualität vor der Cafeteria („Grüner Himmel“), Sanierungskonzept für das KB-Gebäude, Vertical Gardening, Erhöhung der Aufenthaltsqualität innerhalb des KA-Gebäudes.

An den Themen der praktischen wie theoretischen Arbeiten zeigt sich, dass das Projekt einen Beitrag zur Nachhaltigkeits-Strategie der Ohm leistet:

- Themenfeld Infrastruktur - zur Campusgestaltung: „Zur Steigerung der Aufenthaltsqualität werden mehr Grünzonen geschaffen. Wir fördern die Biodiversität.“
- „Kommunikation und Vernetzung werden gezielt gefördert.“ (Themenfeld Governance, Ziel 5)
- „Studentische Partizipation wird gelebt, Studierende können Nachhaltigkeitsthemen aktiv mitgestalten.“ (Themenfeld Lehre, Ziel 2)
- Themenfeld Forschung: „Forschende an der Ohm sind inter- und transdisziplinär vernetzt.“
- Themenfeld Transfer: „Ehrenamtliches Engagement und studentische Initiativen im Bereich Nachhaltigkeit werden an der Ohm gefördert.“

Das Feedback der Studierenden und anderer Hochschul-Angehöriger ist durchwegs positiv, es bahnt sich weitere Zusammenarbeit an.

Im Sinne der Verstetigung und Weiterentwicklung war das Projekt erfolgreich. Die interdisziplinären Seminare „Urban Gardening“ waren gut besucht und es wurden auch technische Projekte (wie eine automatisierte Bewässerung) realisiert.

Die „Aneignung“ und Identifikation mit der Hochschule und damit dem eigenen Lernumfeld wurde von den Studierenden in vielen Feedback-Gesprächen bestätigt.

Herausfordernd ist und bleibt die Frage, wie Vernetzung so organisiert und kanalisiert werden kann, dass größere interdisziplinäre Projekte entstehen. Nach vielen Gesprächen mit Lehrenden kann festgestellt werden, dass akuter „Zeit-Notstand“ herrscht, und es gleichzeitig ein „Überangebot“ an Austausch-Formaten und Veranstaltungen gibt, welchen es an Teilnehmenden mangelt, da die Lehrenden aus Ressourcen-Gründen häufig nicht hingehen können – außer „ehrenamtlich“.

Aufgrund dieser Erkenntnis wurde im Rahmen dieses Projekts darauf verzichtet, ein zusätzliches Vernetzungsformat ins Leben zu rufen. Lohnend wäre ein Überblick dazu, welche Formate es bereits gibt, und wo eine „Andock-Möglichkeit“ besteht (siehe auch Fazit und Ausblick).

Das Projekt kann also auf Erfolge sowie auf interessante Herausforderungen zurückblicken.



Abbildung 1: Ein Team von Bachelor-Studierenden bei der praktischen Arbeit. Bild: Kerstin Seeger

5. Vernetzung und Transfer

Das Projekt bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten für fakultäts- oder hochschulübergreifende Zusammenarbeit. Es können interdisziplinäre Projekte und Kooperationen entstehen. Studierende entwickeln Fragestellungen in puncto Stadtökologie, Gesundheit, Technologie und Nutzung des öffentlichen Raums. Das Projekt könnte als „Katalysator“ für andere Fakultäten und Module dienen. Beispiele hierfür wären:

- alternative, nachhaltige Baustoffe (Bauingenieurwesen);
- Architektur für Garten- und Landschaftsbau beziehungsweise die grüne Transformation der Städte;
- die Medical School / Hebammen mit alternativer Naturmedizin;
- Angewandte Chemie mit der chemischen Nutzung beziehungsweise biotechnologischen Nutzung von Pflanzen für die Medizin beziehungsweise Medizintechnik – konkret ist eine Kooperation mit dem Wahlpflichtmodul „Naturstoffe“ (Angewandte Chemie) anvisiert;
- neue alternative regenerative Energietechnologien wie z.B. Photovoltaik, oder Verfahrenstechnik für großtechnische Wasserrauaufbereitung und Extraktionsverfahren ist für folgende Fachbereiche interessant: Elektrotechnik, Feinwerktechnik, Informationstechnik, Maschinenbau und Versorgungstechnik, Energie- und Gebäude-Technik/Materialwissenschaften sowie Energie- und Wasserstofftechnik;
- Betriebswirtschaft für die Gründung neuer Start-Ups zur Weiterführung der entstehenden Ideen.

Es bestehen auch Vernetzungsmöglichkeiten zu anderen Urban-Gardening-Projekten, welche es an immer mehr Hochschulen gibt. Hierdurch entstehen konkrete Anknüpfungspunkte zu anderen Hochschulen sowie zu zivilgesellschaftlichen Projekten.

Die Learnings aus dem Urban Gardening können natürlich im Berufsleben in die jeweiligen Organisationen übertragen werden.

6. Fazit und Ausblick

Gemeinsam mit mehr als 60 Studierenden wurde am Keßlerplatz ein Campus-Garten-Projekt erschaffen, das heißt, direkt im „Herz“ der Ohm wurden zwei große Baum-Beete, eine Kräuterschnecke sowie 11 Hochbeete angelegt. In zwei darauffolgenden Semestern wurde pilotiert und experimentiert: Geteilte Verantwortung im öffentlichen Raum mittels Beetpatenschaften wurde erprobt, sowie interdisziplinäre Projekte angestoßen und Versuche gestartet, hochschulweites Interesse zu wecken. Dies ist jeweils pilothaft gelungen, konnte aber noch nicht verstetigt und strukturell verankert werden. Nun gilt es, die Potentiale eines solchen Projektes nachhaltig zu heben. Die bisher gemeinsam mit Studierenden eingesetzte Energie soll mit weiteren Bachelor-Studierenden verstärkt und potenziert werden. Das Campus-Garten-Projekt soll als Möglichkeitsort (Real-Labor) vielfältiger Wandel-Prozesse dienen.

Die Studierenden haben mit interdisziplinärem Knowhow bereits Klein-Projekte theoriegeleitet konzipiert und umgesetzt (beispielsweise Mini-Solar-Bewässerung). Nun sollen interdisziplinäre Projekte in größerem Stil angestoßen werden.

Die Anbahnung solcher Groß-Projekte braucht Forschungs- und Netzwerk-Arbeit.

Vernetzung braucht Zeit, ist ein komplexes Thema und besteht aus vielen Abhängigkeiten. Eine große Fragestellung ist, wie Vernetzung organisiert werden kann. Nicht als zusätzliches Angebot, sondern als Benefit, das einen vorhandenen Bedarf aus Forschung und Lehre befriedigen kann.

Lohnend wäre ein Überblick dazu, welche Formate es gibt und wo „Andock-Möglichkeiten“ bestehen. Es wäre spannend und wegweisend, wenn diesbezüglich im Rahmen folgender Lehrforschungs-Projekte Lösungen entstehen. Mittlerweile gibt es mehrere Anfragen an das Campus-Garten-Projekt im Hinblick auf Projekte aus anderen Disziplinen. Es deuten sich erste Erfolge der Netzwerkarbeit an, die es weiter auszubauen gilt.

Stadtwandel – Eine städtebauliche und sozialräumliche Untersuchung Nürnbergs

Dipl.-Ing. Xiaotian Li

Fakultät Architektur

Dipl.-Soz. Päd. Ulrike Krämer

Fakultät Sozialwissenschaften

Alina Burose, M. A.

Fakultät Architektur

Zusammenfassung:

Das Projekt „Stadtwandel“ ist in seiner Grundidee an den gleichnamigen Bildband von 1990 angelehnt, dessen Fotografien das Nürnberg der 1980er Jahre mit historischen Aufnahmen der Industrialisierungs- und Vorkriegszeit kontrastieren. Studierende der Fakultäten Architektur und Sozialwissenschaften widmeten sich im Sommersemester 2024 der Fotografie, indem sie die 1990er Jahre mit dem aktuellen Status Quo verglichen und griffen zudem die soziologische Komponente von Stadttransformation auf. Daraus ergab sich im Wintersemester 2024/2025 die zweite Phase „Wir.machen.Stadt“. Um Stadtentwicklung nachzuvollziehen, aber auch kritisch zu hinterfragen und Handlungspotentiale auszumachen, kuratierten die Studierenden Gesprächsrunden und Dialoge mit der Öffentlichkeit. Das Projekt bleibt damit ein dynamisches und ergebnisoffenes Tun, welches von stetiger Weiterentwicklung, Reflexion und Engagement lebt.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	März 2024 bis Februar 2025
Fakultät/Einrichtung	Architektur, Sozialwissenschaften
Projektleitung	Dipl.-Ing. Xiaotian Li, Dipl.-Soz. Päd. Ulrike Krämer
Projektteam	Friedrich Meyer, Alina Burose
Kontaktdaten Projektleitung	xiaotian.li@th-nuernberg.de ; ulrike.kraemer@th-nuernberg.de alina.burose@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Städte befinden sich stetig in dynamischen Transformationsprozessen. Das Buch „Stadtwandel. Nürnberg in Photographien von einst und Neuaufnahmen von heute“, herausgegeben von Hugendubel und getragen vom Centrum Industriekultur der Stadt Nürnberg, präsentierte 1990 eindrucksvolle Fotografien, die das Nürnberg der 1980er Jahre mit historischen Aufnahmen der Industrialisierungs- und Vorkriegszeit kontrastieren.¹ Als gleichnamiges Forschungsprojekt ist „Stadtwandel“ an diese Methodik angelehnt: Um die Veränderungen der letzten 35 Jahre abzubilden, sollten Fotografien um das Jahr 1990 gesammelt und durch Neuaufnahmen dem derzeitigen Status Quo gegenübergestellt werden. Gleichzeitig widmen sich die damit einhergehenden Untersuchungen auch der soziologischen Perspektive auf Stadt. Die Zusammenarbeit mit dem Straßenkreuzer e. V. für die Publikation der Arbeiten und öffentliche Ausstellungen an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) sowie im Offenen Büro des Stadtplanungsamtes Nürnberg sorgten für ein erweitertes Netzwerk an Personen, die sich für die Themen um den Wandel der Stadt Nürnberg interessieren. Dieses bot Anlass für die zweite Projektphase „Wir.machen.Stadt“, welche einen weiteren Schritt geht und den Dialog zu den beteiligten – oder bisher unbeteiligten – Stadtakteurinnen und -akteuren sucht: Wer steht hinter der Stadtentwicklung? Welche Bedürfnisse herrschen seitens der einzelnen Akteurinnen und Akteure? Und wie können wir unsere Lebensräume mitgestalten?

Das Vorhaben bewegt sich damit im Diskurs der partizipativen Stadtentwicklung. Die Auseinandersetzung stellt allerdings den konventionellen Rahmen vieler etablierter Ansätze infrage, um mehr Heterogenität und kreative Praxis zu fördern. Das partizipative Entwerfen wird zur kollektiven Bricollage, in der Architektin und Architekt, Bauherrin und Bauherr und Nutzende im starken Austausch stehen. Diese Konstellation und Wechselbeziehungen hinterfragen gleichzeitig die klassische Rolle von Architektinnen und Architekten.² Die Ansätze beziehen sich auf den von Meike Schalk geprägten Begriff der *Urban Curation*. Darin fungieren Architektinnen und Architekten als städtische Kuratorinnen und Kuratoren,

¹ Vgl. Käs/Dollhopf, 1990.

² Vgl. Petrescu, 2005, S. 45.

welche sich um die Bedürfnisse der urbanen Akteurinnen und Akteure kümmern.³ Die Studierenden erleben anhand dieser Praxis und realer Konflikte die Chancen verschiedene Partizipationsprinzipien. Ziel ist keine absolute Übereinkunft der Beteiligten, sondern das Teilen der Perspektiven und permanente Offenheit gegenüber unerwarteten Ereignissen. Durch die Heterogenität der Gesprächsrunden sind die Studierenden als Kuratorinnen und Kuratoren dazu angehalten, eine Ausgewogenheit zwischen Wissen und Macht herzustellen – während zuständige Ämter in Sachen Stadtentwicklung die Entscheidungsgewalt besitzen, profitieren sie gleichzeitig vom *Urban Storytelling* der Nutzenden.

Die Ziele beschränken sich daher nicht nur auf Information, sondern fordern aktive Teilhabe. „Stadtwechsel“ ist und bleibt ein dynamisches Projekt, welches sich durch Ergebnisoffenheit und zyklische Weiterentwicklung mit den Studierenden verschiedener Fakultäten auszeichnet.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die erste Projektphase startete im Februar 2024 mit einem Aufruf an die Nürnberger Stadtbevölkerung: „Wir brauchen Ihre Fotos!“ Trotz der zur Verfügung stehenden Fotos aus der eingangs erwähnten Publikation „Stadtwechsel. Nürnberg in Photographien von einst und Neuaufnahmen von heute“ wurden zugesandte Fotos von Privatpersonen gesammelt und damit auch deren Geschichten: Für die soziologische Perspektive war es wichtig, den Bezug der Nürnbergerinnen und Nürnberger zur Stadt durch die Fotos und deren Hintergründe nachzuvollziehen. Durch die Zusammenarbeit mit Gerd Dollhopf, Fotograf der Publikation von 1990, erhielten die Studierenden einen vertieften methodischen Einblick in das Medium Fotografie. In Kurzvorträgen und Workshops konnte Gerd Dollhopf auf explizite Aufnahmen eingehen und Hinweise zu den Neuaufnahmen geben. Als praktischer Auftakt erkundeten die Studierenden ausgewählte Orte gemeinsam in Form eines Stadtspazierganges. Die mit den Fotografien einhergehenden Themen wurden parallel auch von den Studierenden der Fakultät Sozialwissenschaften aufgearbeitet und in ihrer soziologischen Perspektive vertieft. Durch die fakultätsübergreifende Zusammenarbeit und den Input waren die Architekturstudierenden in der Lage, diese Themen zudem in journalistischen Texten zusammenzufassen, welche begleitend zu den erstellten Fotopaaren angelegt waren. Die Veröffentlichung erfolgte im Sozialmagazin „Straßenkreuzer“. Mit dem Ende der ersten Projektphase stellten sich Fragen: Wie kommt es zu den beobachteten Transformationen in Nürnberg? Und wer sind die verantwortlichen Akteurinnen und Akteure? Die zweite Phase begann mit dem Wintersemester 2024/2025 und griff genau diese Fragen auf. Mit dem weiterentwickelten Titel „Wir.machen.Stadt“ sollte es um Aktivität, Initiative und Teilhabe an Stadtentwicklung gehen. Dazu bildeten die Studierenden interdisziplinäre Gruppen, bestehend aus den Fakultäten Architektur und Sozialwissenschaften, und widmeten sich insgesamt sieben Orten in Nürnberg:

- Weinmarkt.
- Hintere Bleiweißstraße.
- Platz an der Wilhelm-Spaeth-Straße.
- Paulus-Buchhandlung.
- Nationalsozialistischer-Untergrund-(NSU-)Tatort Scharrerstraße.
- Platz vor der Gustav-Adolf-Gedächtniskirche.
- Innere Laufer Gasse/Theresienstraße.

³ Vgl. Schalk, 2007, S. 153 ff.

Die Studierenden untersuchten die Orte zunächst hinsichtlich ihrer Konflikte und Defizite, sprachen mit involvierten und betroffenen Personen über ihre Bedürfnisse und erarbeiteten daraus mögliche Potentialräume und Ausblicke. Ziel dieser Projektphase war es, verstärkt in einen Dialog mit der Öffentlichkeit zu treten. Dadurch reagiert sie auf den Vorwurf, die akademische Architektur entferne sich zu sehr vom Alltäglichen.⁴ Der erste Schritt erfolgte räumlich: Die Studierenden kuratierten das Offene Büro des Stadtplanungsamtes Nürnberg zu einem Raum, der sowohl Ausstellungs- als auch Arbeitsatmosphäre zuließ: Die Fotos der vorangegangenen Projektphase wurden ausgestellt, während vor Ort die Lehrveranstaltungen und Konsultationen stattfanden. Gleichzeitig waren die Türen für Interessierte und Besuchende geöffnet. Didaktisch war der Austausch zwischen Studierenden und Lehrenden dadurch eher informell und auf Augenhöhe. Input-Vorträge seitens der Fakultät Sozialwissenschaften zu verschiedenen Teilbereichen der Stadtentwicklung haben das Seminar inhaltlich sehr bereichert. Hinzukommend haben die Studierenden aufgrund der Zusammenarbeit von Bachelor- sowie Masterstudierenden ein hohes Maß an Autonomie genießen können.



Abbildung 1: Expertinnen- und Expertenrunde „Wir müssen reden!“ zur Buchhandlung Paulus im Offenen Büro des Stadtplanungsamtes vom 18.11.2024. Bild: Nicola Warncke

Ab November 2024 fand der öffentliche Dialog in Form verschiedener Veranstaltungen statt. Den Auftakt machte eine Vortragsreihe verschiedener öffentlicher Akteurinnen und Akteure der Stadt Nürnberg: Vertreterinnen und Vertreter des Stadtplanungsamtes, des Umweltamtes, des Services Öffentlicher Raum (SÖR), des Verkehrsplanungsamtes sowie der Bürgerstiftung Nürnberg stellten sich und ihre jeweilige Rolle in der Stadtentwicklung vor. Die Studierenden bekamen dadurch einen Einblick in die

⁴ Vgl. „Die Öffentlichkeit der Architektur“. In: Arch+, Heft 211/212, 2013, S. 87 ff.

Zuständigkeitsbereiche der verschiedenen Ämter und konnten bezogen auf die untersuchten Orte individuelle Fragen stellen. Darauf folgte die Veranstaltung „Wir müssen reden!“. Dabei handelte es sich um sogenannte Expertenrunden, welche die Studierenden selbst organisieren, kuratieren und moderieren sollten. Die einzelnen Stadtakteurinnen und -akteure bekamen hier eine Stimme: In Gesprächsrunden mit Anwohnerinnen und Anwohnern, lokalen Vereinen, aber auch Vertreterinnen und Vertreter der zuständigen Ämter konnten sie ihre Bedürfnisse, Sorgen und Wünsche äußern und damit verbundene Konflikte austragen (Abbildung 1).

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Erkenntnisse und Forschungsergebnisse stellten die Studierenden im Rahmen der Finissage „Wir.machen.Stadt/Wir.machen.Nürnberg“, einer öffentlichen Abendveranstaltung im Offenen Büro des Stadtplanungsamtes, vor (Abbildung 2). Dabei zeigten sie für jeden der untersuchten Orte prägnant die aktuelle Situation, bestehende Konflikte, entdeckte Potentiale und im Zuge der Expertenrunde erschlossene Handlungsmöglichkeiten auf. Dadurch konnten die Inhalte ein weiteres Mal in die Öffentlichkeit getragen und diskutiert werden. Die jeweiligen Ergebnisse stellten sich je nach Ort sehr individuell dar. Im Zuge des öffentlichen Austauschs und der Diskussionen ergaben sich imaginative Hürden bei den externen Gesprächspartnerinnen und -partnern, weshalb die zweite Hälfte dieser Projektphase in Teilen einer gestalterischen Ausarbeitung gewidmet wurde. Ziel war es hier, in Vorbereitung einer künftigen Weiterbearbeitung, greifbare Ideen in Form von Skizzen und Bildern zu erzeugen, um den Fokus stärker auf die Handlungsfähigkeit und die Aktivität zu legen.

Die Gesamtheit der Untersuchungen und Ergebnisse inklusive der ausgearbeiteten und visualisierten Konzepte stellten die Studierenden als Abgabeleistung im Rahmen einer hochschulinternen Abschlusspräsentation vor. Da der Dialog mit Externen jedoch als so bereichernd und anregend empfunden wurde, sind weitere Veranstaltungen für das Sommersemester 2025 angesetzt.



Abbildung 2: Finissage „Wir.machen.Stadt/Wir.machen.Nürnberg“ am 22.11.2024 im Offenen Büro des Stadtplanungsamtes Nürnberg.
Bild: Nicola Warncke

5. Vernetzung und Transfer

Aus dem Lehrforschungsprojekt gehen eine Reihe an Kooperationspartnerinnen und -partnern hervor. Dazu gehören das Stadtplanungsamt Nürnberg, das Umweltamt Nürnberg, das Verkehrsplanungsamt Nürnberg, der Servicebetrieb Öffentlicher Raum (SÖR) der Stadt Nürnberg sowie die Bürgerstiftung Nürnberg und der Straßenkreuzer e. V. Für die Studierenden haben sich direkte Vernetzungsmöglichkeiten durch die Ansprechpartnerinnen und -partner der jeweiligen Ämter und Einrichtungen ergeben. Diese sind nicht nur für die inhaltliche Weiterbearbeitung, sondern auch für die individuelle berufliche Laufbahn nach Beenden des Studiums sehr wertvoll. Da sich alle Beteiligten sehr interessiert an dem weiteren Fortgang des Projekts gezeigt haben und diese auf unterschiedliche Weise unterstützen möchten, sind diese für kommende Veranstaltungen als Gäste fest eingeplant. Zudem hat das Urban Lab als künftiger Kooperationspartner Interesse an „Stadtwechsel“ bekundet. Gespräche über eine künftige Zusammenarbeit und sowie die Vernetzung mit den Studierenden laufen aktuell. Insgesamt ist der Transfer des Projekts sehr transparent und hierarchiearm aufgebaut: Die Studierenden besitzen Zugang zu direkten Ansprechpartnerinnen und -partnern und stehen im selbstständigen Kontakt zu anderen Akteurinnen und Akteuren wie Anwohnerinnen und Anwohnern, Vereinen, Einrichtungen und Kirchengemeinden. Viele der Studierenden haben sich positiv zum Austausch geäußert und möchten auch in Zukunft am Projekt beteiligt sein. Zwei Studierende der Fakultät Sozialwissenschaften planen zudem im Sommersemester 2025 aufbauend auf den Projekterkenntnissen ihre Bachelorarbeit zum NSU-Tatort in der Scharrerstraße.

6. Fazit und Ausblick

„Stadtwandel“ beziehungsweise „Wir.machen.Stadt“ bringt eine inhaltliche, methodische und didaktische Vielfalt mit, von der sowohl Studierende als auch Lehrende und extern Beteiligte stark profitieren. Aus dem Beobachten wurde ein Handeln: Die Transformation vom Passiven ins Aktive stellt den Ausbruch aus dem sonst so geschützten akademischen Raum dar. Insbesondere die positive Resonanz aus der Öffentlichkeit zeigt dessen Wert. Die Dynamik des Projekts lebt von einer stetigen und zyklischen Weiterentwicklung, wodurch sich viele Anknüpfungspunkte für eine kommende Weiterbearbeitung ergeben. Derzeit ist eine erste Publikation in Arbeit, welche sich auf die erste Projektphase konzentriert und die Geschichte hinter den Fotos erzählt. Darauf soll langfristig aufgebaut werden. Parallel dazu fand am 20. März 2025 das Mitmach-Parlament der Bürgerstiftung Nürnberg statt. Dort wurden die ausgearbeiteten Gestaltungskonzepte der zweiten Projektphase vorgestellt und priorisiert, bevor sie im anstehenden Sommersemester 2025 weiter vertieft werden. Ziel ist es, Wege in die Realisation und damit Eintritt in die aktive Stadtentwicklung zu finden.

7. Literatur

Blundell Jones, Peter: *Peter Hübner. Bauen als sozialer Prozeß. Building as a social process*. Stuttgart, London 2007.

Carlo, Giancarlo de: „Architecture's Public“. In: Blundell Jones, Peter/Petrescu, Doina/Till, Jeremy (Hrsg.): *Architecture and Participation*. London, New York 2005.

Carlo, Giancarlo de: „Die Öffentlichkeit der Architektur. Die Studentenrevolte und die Frustration an den Architekturschulen / Architecture's Public. The Revolt and the Frustration of the School of Architecture“. In: *Arch+*, Heft 211/212, 2013.

Hofmann, Susanne: *Partizipation macht Architektur. Die Baupiloten – Methoden und Projekte*. Jovis, 2014.

Käs, Rudolph/Dollhophf, Gerd: *Stadtwandel. Nürnberg in Photographien von einst und Neuaufnahmen von heute*. Hugendubel, 1990.

Nowotny, Helga/Scott, Peter/Gibbons, Michael: *Wissenschaft neu denken. Wissen und Öffentlichkeit in einem Zeitalter der Ungewissheit*. Weilerswirst-Metternich 2004.

Pantle, Ulrich: „Partizipation, Alltag, Pop“. In: Bruyn, Gerd de/Trüby, Stephan: *architektur_theorie.doc: Texte seit 1960*. Basel, Boston, Berlin 2003.

Petrescu, Doina: „Losing Control, Keeping Desire“. In: Blundell Jones, Peter/Petrescu, Doina/Till, Jeremy (Hrsg.): *Architecture and Participation*. London, New York 2005, S. 45.

Schalk, Meike: „Urban Curating: A Critical Practice towards Greater ‚Connectedness‘“. In: Petrescu, Doina (Hrsg.): *Altering Practices. Feminist Politics and Poetics of Space*. London, New York 2007, S. 153 ff.

Till, Jeremy: „The Architect and the Other“. In: *openDemocracy*. 25. Juni 2006.

Lösungsbeiträge für die Energiewende - Entwicklung eines Wasserstoffbrenners und eines thermoelektrischen Compound-Moduls für den Einsatz in einem Kleinst-Blockheizkraftwerk (Nano-BHKW)

Prof. Dr.-Ing. Thomas Metz

Fakultät Verfahrenstechnik

Dipl.-Ing. (FH) Nancy Waurig

Fakultät Verfahrenstechnik, Labor für Energieprozesstechnik

Zusammenfassung:

Die Kernidee des Lehrforschungsprojekts bestand darin, Studierenden die Möglichkeit zu geben, eine eigene innovative Idee im Kontext der Energiewende zu entwickeln und experimentell in einem Forschungsversuch umzusetzen. Im Sommersemester 2024 wurden hierzu zwei Themen parallel bearbeitet: Zum einen die Entwicklung eines Wasserstoffbrenners als emissionsfreier Wärmeerzeuger zur Beheizung thermoelektrischer Generatoren, zum anderen die Entwicklung eines thermoelektrischen Compound-Moduls zur effizienten Umwandlung von Wärme in elektrische Energie in einem Nano-Blockheizkraftwerk (Nano-BHKW). Beide Projekte wurden im Rahmen des Praktikums für Energieprozesstechnik von studentischen Teams durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem entwickelten Diffusionsbrenner eine kompakte Wasserstoffflamme mit einer Feuerungswärmeleistung von 2 kW erzeugt werden kann, die thermoelektrischen Module (TE-Module) näherungsweise gleichmäßig beheizt werden können und elektrische Energie gewonnen werden kann. Das demonstrierte System erreichte mit lediglich zwei TE-Modulen eine elektrische Leistung von circa 10 Watt, was bei einer vollständigen Bestückung des Brennraumes (acht TE-Module) circa 80 Watt beziehungsweise einem elektrischen Wirkungsgrad von 4 Prozent entspräche. Das Projekt baute auf vorangegangenen Forschungsprojekten auf und lieferte wichtige Erkenntnisse für die kontinuierliche Weiterentwicklung der kleinskaligen Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis von Thermoelektrik.

1. Projektdaten

Laufzeit	Sommersemester 2024
Fakultät/Einrichtung	Verfahrenstechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Thomas Metz
Projektteam	H ₂ -Brenner-Team: M. Schnaitmann, J. Mark, R. Kurz, J. Schreiner TE-Compound-Modul-Team: A. Berisha, D. Monheim, D. Dawidziuk, D. Felbinger
Kontakt Daten Projektleitung	thomas.metz@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

In gefeuerten Heizungssystemen, zum Beispiel auf Basis von Erdgas oder Biomasse, wird der Brennstoff in der Regel vollständig in Nutzwärme umgewandelt (Zentralheizung, Warmwasser). Wird zugleich Strom produziert (Kraft-Wärme-Kopplung), können die Gesamteffizienz im Energiesystem gesteigert und Kohlenstoffdioxid-(CO₂-)Emissionen reduziert werden. Thermoelektrische Module bieten die Möglichkeit, einen Teil der Wärme direkt in elektrische Energie umzuwandeln. Hier setzen die Projekte an: Ein Nano-BHKW auf Basis von thermoelektrischen Generatoren kann gleichzeitig Wärme und Strom im kleinen Maßstab (circa 100 W bis 20 kW) bereitstellen und dies zum Beispiel gegenüber Verbrennungsmotoren lautlos, wartungsfrei, ohne bewegliche Teile und kostengünstig. Als Wärmequelle wurde im Projekt Wasserstoff (H₂) gewählt, da bei seiner Verbrennung keine CO₂-Emissionen entstehen und er bei Verwendung aus regenerativer Herstellung klimaneutral ist. Allerdings erfordert die Verbrennung von Wasserstoff eine angepasste Brennertechnologie. Ziel des ersten Projekts war es daher, einen Diffusionsbrenner für Wasserstoff mit 2 kW Feuerungswärmeleistung zu entwickeln, welcher geometrisch so ausgelegt ist, dass ein 40 × 40 mm großes TE-Modul optimal beheizt werden kann. Die Flamme sollte aus Sicherheitsgründen als Diffusionsflamme (ohne Vorvermischung von H₂ und Luft) betrieben werden und in einem Überschuss an Luft sauber und stabil brennen (Verbrennungsluftzahl $\lambda = 1,3 - 2,5$). Parallel war im zweiten Projekt das Ziel, ein thermoelektrisches Compound-Modul zu entwerfen, welches sich direkt in den Brennraum eines Heizgerätes integrieren lässt. Compound-Modul bedeutet hier, dass ein TE-Modul direkt auf Modulebene (nicht auf Systemebene) mit weiteren Komponenten ausgestattet ist. Hierzu zählen unter anderem heiß- und kaltseitige Wärmeüberträger, eine mechanische Spannvorrichtung oder eine stoffschlüssige Verbindung zur Minimierung thermischer Kontaktwiderstände sowie eine hermetische Abdichtung zwischen Thermoelektrik und Heißgasatmosphäre. Dies stellt einen Schlüssel für eine praxistaugliche und zugleich sehr effiziente Integration der Thermoelektrik in Brennräume dar.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Beide Lehrforschungsprojekte wurden als Teil des Praktikums Energieprozesstechnik im vierten Semester des Bachelorstudiengangs Energieprozesstechnik durchgeführt, sodass die Studierenden parallel zum regulären Praktikumsbetrieb forschungsorientiert arbeiten konnten. Zu Beginn erfolgte eine Einarbeitung in die theoretischen Grundlagen. So wurden Literatur zu Thermoelektrik und Wasserstoffverbrennung ausgewertet und relevante Kenngrößen bestimmt (zum Beispiel räumliche Ausdehnung einer Diffusionsflamme, Druckverluste, Stoffwerte, Massen- und Energiebilanzen). Für den Wasserstoffbrenner legte das H₂-Brenner-Team anhand theoretischer Berechnungen die

Brennergeometrie fest: Über die Länge eines 40 mm breiten TE-Moduls sollte eine Reihe feiner Brennöffnungen angebracht werden, um ein gleichmäßiges Flammenbild von etwa 4 cm Breite zu erzeugen. Dabei wurden der benötigte Gesamt-Volumenstrom an H_2 ($\approx 0,667 \text{ m}^3/\text{h}$ für 2 kW) und die zugehörige Luftzufuhr für verschiedene Lambda-Werte berechnet. Parallel konzipierte das zweite Team das Compound-Modul: Stoffschlüssige Verbindungen, mechanische Halterungen und eine Druckvorrichtung wurden entworfen, um mehrere TE-Module in Compound-Module und diese schließlich in den Brennraum zu integrieren. Eine besondere Herausforderung war, die gleichmäßige Anpresskraft auf die Module sicherzustellen, wofür Federn und Schraubverbindungen dimensioniert und entsprechende DIN-Normen herangezogen wurden. In beiden Projekten durchliefen die Studierenden alle Phasen von der Themenentwicklung über Planung und Aufbau bis hin zur Inbetriebnahme und Auswertung. Nach der Konstruktions- und Beschaffungsphase wurden die Prototypen im Labor aufgebaut. Der Wasserstoffbrenner wurde zunächst einzeln getestet und optimiert, bis eine stabile, kaum sichtbare Diffusionsflamme erzielt wurde, siehe Abbildung 1.

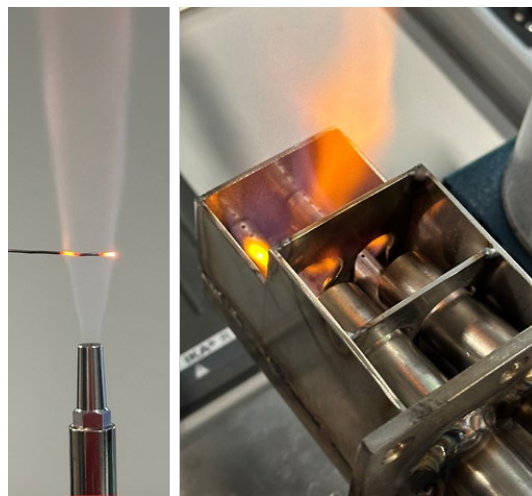


Abbildung 1: Vorversuche zur Diffusionsverbrennung von H_2 anhand einer Einzeldüse (links), entwickelter H_2 -Brenner mit Mehrlochdüsen, Luftzufuhr und optischer Flammenüberwachung (rechts). Bilder: A. Berisha

Ebenso wurde das Compound-Modul separat entwickelt und in einem eigens dafür konzipierten Teststand mit einem konventionellen Bunsenbrenner untersucht, siehe Abbildung 2.

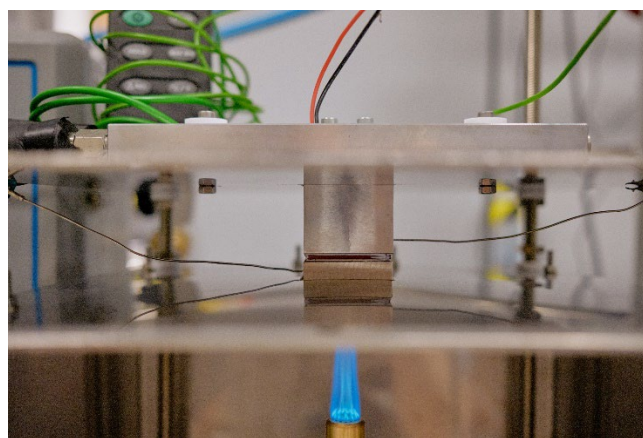


Abbildung 2: Versuchsaufbau Compound-Modul, Einzeltest über einem Bunsenbrenner. Bild: A. Berisha

Anschließend erfolgten gekoppelte Versuche im Zusammenspiel von H₂-Brenner und zwei symmetrisch angeordneten Compound-Modulen. Beide Studierendenteams arbeiteten eng zusammen. So diente der entwickelte H₂-Brenner dem Compound-Modul der TE-Gruppe als Wärmequelle, während Erkenntnisse aus den TE-Tests an die H₂-Brenner-Gruppe zurückflossen. Abbildung 3 zeigt den Versuchsaufbau, in welchen die Ergebnisse beider Teams einfließen.

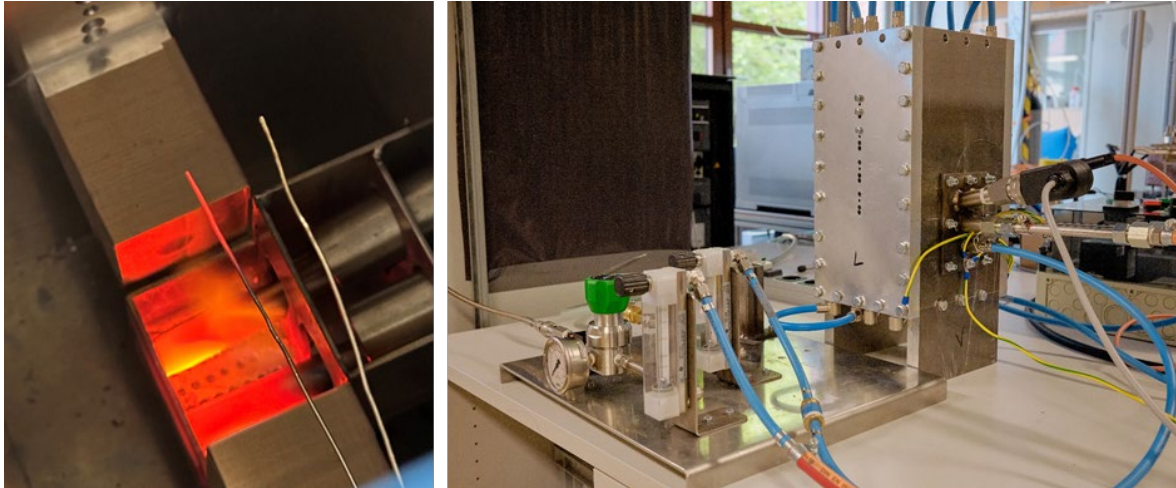


Abbildung 3: Beheizung von zwei Compound-Modulen mit H₂-Brenner (links), Gesamtversuchsaufbau Nano-BHKW (rechts). Bild: A. Berisha

Die Studierenden hatten ein eigenes Projektbudget zur Verfügung und konnten dadurch Sensoren, Kühlkomponenten oder spezielle TE-Module beschaffen. Insgesamt bot der Lehrforschungsrahmen viel Freiraum, um kreativ zu arbeiten und gleichzeitig Forschungskompetenzen zu erwerben. Die Studierenden organisierten sich in ihren Teams selbst, stimmten Arbeitsschritte untereinander ab und lernten so, projektorientierte Aufgaben im Team zu bewältigen. Durch dieses forschende Lernen konnten sie Soft Skills weiterentwickeln (Teamarbeit, Projektplanung et cetera) und praktische Erfahrungen im Experimentieren, handwerklichen Aufbau und im Umgang mit Sicherheitsvorschriften sammeln. Regelmäßige Treffen mit den Betreuenden stellten sicher, dass die Arbeiten koordiniert blieben und Sicherheitsaspekte (insbesondere im Umgang mit Wasserstoff) stets beachtet wurden.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Trotz begrenzter Projektdauer konnten greifbare Ergebnisse erzielt werden. Der entwickelte Wasserstoff-Diffusionsbrenner lieferte im Testbetrieb eine saubere und stabile Flamme mit einer Länge zwischen 8 und 16 cm, und damit ausreichend kompakt um bis zu acht TE-Module (16 cm Aufbauhöhe) gleichmäßig zu beheizen. Die Verbrennung ließ sich in dem vorgesehenen Lambda-Bereich von circa 1,3 bis 2,5 einstellen, was auf einen zuverlässigen Betrieb mit ausreichend Luftüberschuss hinwies, siehe Abbildung 4 (links).

Beim Einzeltest der Compound-Module konnte eine Temperaturdifferenz zwischen heißer und kalter Seite von etwa $\Delta T \sim 170$ K erzielt werden. Das verwendete TE-Modul (40×40 mm, Bismutellurid-(Bi₂Te₃-)basiert) erzeugte hierbei über einem Bunsenbrenner in ersten Versuchen eine Leerlaufspannung von bis zu circa 7,9 V. Die maximale elektrische Leistung wurde bei angepasstem Lastwiderstand gemessen: Ein einzelnes Modul lieferte 5,04 W Spitzenleistung, erreicht bei rund 1,2 A Strom und circa 4,2 V Spannung, siehe hierzu Abbildung 4 (rechts).

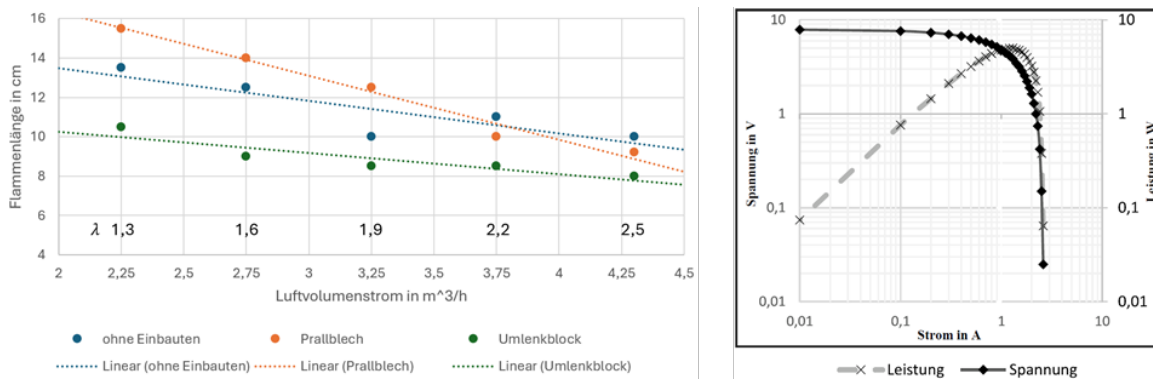


Abbildung 4: Messergebnisse: H₂-Flammenlänge in Abhängigkeit vom Luftüberschuss und Brennergeometrievarianten (links), gemessene Strom-Spannungs-Leistungskurve für ein Compound-Modul (rechts). Bild: Eigene Darstellung

Im nächsten Schritt wurden zwei Compound-Module im Zusammenspiel mit dem H₂-Brenner getestet. Dazu integrierte das Team zwei Module gleichzeitig in einen Brennkammer-Prototyp, der perspektivisch Platz für bis zu acht Module bietet. Es zeigte sich, dass die elektrische Leistung pro Modul im Zwei-Modul-Betrieb etwas geringer ausfiel als beim Einzelmodul-Versuch, obwohl der Brenner mit voller Leistung betrieben wurde. Konkret wurden pro Modul maximal circa 3,7 W beziehungsweise 3,9 W erzielt, also insgesamt rund 7,7 W, während ein Einzelmodul zuvor circa 5 W erreicht hatte. Die Auswertung der Messungen ergab, dass die beiden Module im Verbund durch einen leichten Schiefbrand nicht ganz identisch mit Wärme versorgt wurden und der Brennraum noch keine weitere thermische Isolierung besaß, wodurch ein Teil der Heißgase nicht für die Compound-Module zur Verfügung stand. Zudem stellte die Wärmeabfuhr an der kalten Seite einen begrenzenden Faktor dar. Diese Befunde liefern wertvolle Hinweise für künftige Verbesserungen. So ließe sich durch den Einsatz von Rippenkühlern und vollständiger Isolierung des Brennraumes die TE-Leistung deutlich erhöhen. Ebenso wird eine weitere Optimierung des Brennerdesigns angestrebt, um ein noch gleichmäßigeres Flammenbild und damit eine homogenere Temperaturverteilung über alle TE-Modulpositionen hinweg zu erzielen (zum Beispiel durch geänderte Lochanordnung oder Brennerdüsen).

Auf Basis der Messdaten ist bei einer H₂-Brennerleistung von 2 kW und einer vollständigen Ausstattung der Brennkammer mit Compound-Modulen eine elektrische Leistung von 80 Watt erzielbar. Dies entspricht einem elektrischen Wirkungsgrad von 4 Prozent. Dies erscheint wenig, passt jedoch durchaus zum Bedarf von Strom und Wärme vieler Haushalte. So könnte in einem Privathaushalt zum Beispiel der elektrische Strombedarf von Heizkreislaufpumpen oder generell ein nennenswerter Teil der elektrischen Grundlast im Haushalt gedeckt werden.

Hervorzuheben ist, dass die im Projekt angefertigten Prototypen für weitere Forschungstätigkeiten genutzt werden. Auch ist geplant, diese für künftige Lehrveranstaltungen mit experimentellem Charakter wiederzuverwenden und schrittweise zu erweitern.

5. Vernetzung und Transfer

Im Verlauf der Projekte ergaben sich einige Vernetzungsmöglichkeiten innerhalb und außerhalb der Hochschule. Die Studierenden standen etwa in Kontakt mit verschiedenen Firmen bei der Beschaffung von Spezialteilen (zum Beispiel geeignete Brennerdüsen, thermoelektrische Module und Hochtemperatur- Dichtungen beziehungsweise -Klebstoffe) und holten externen Rat ein, wo dies nötig war. So wurden beispielsweise Herstellerangaben und Empfehlungen von Firmen sowie der Fakultätswerkstatt herangezogen, um die optimalen Betriebsparameter für die Module festzulegen und geeignete konstruktive Lösungen zu entwickeln. Außerdem fand ein kontinuierlicher Austausch zwischen den beiden Projektgruppen statt, da deren Arbeiten sich thematisch ergänzten. Insgesamt zeigten die Projekte, wie Studierende durch forschungsorientierte Lehre mit internen und externen

Akteurinnen und Akteuren in Kontakt kommen können. Schließlich erstellte jede Gruppe einen Abschlussbericht zur Veröffentlichung, siehe [1], [2], in welchen weitere Details dargestellt sind. Dieser Wissenstransfer fördert nicht nur die Motivation der Studierenden, sondern bringt auch neue Impulse von außen für die Hochschule.

6. Fazit und Ausblick

Aus fachlicher Sicht konnten mit den zwei Lehrforschungsversuchen wichtige Schritte für die Weiterentwicklung der TE-basierten, kleinskaligen Kraft-Wärme-Kopplung geleistet werden. Es wurden funktionierende Prototypen sowohl auf der Seite des H_2 -Brenners als auch auf der Seite der thermoelektrischen Compound-Module realisiert. Auch wenn die ursprünglich anvisierte maximale Brennraumbelegung mit acht Compound-Modulen im gegebenen Zeitrahmen nicht vollständig getestet werden konnte, stellen die erzielten Teilergebnisse mit zwei Modulen bereits einen wichtigen Grundstein dar.

Aus didaktischer Sicht war das Lehrforschungsprojekt sehr erfolgreich. Die Studierenden konnten außerhalb üblicher Lehrveranstaltungen eigenständig an einer aktuellen Fragestellung arbeiten und so einen tiefen Einblick in forschungsorientierte Arbeitsweisen gewinnen. Trotz einiger unerwarteter Herausforderungen – etwa Verzögerungen bei der Teilelieferung und Anpassungen des Versuchsaufbaus – bewerteten die Teams die Erfahrung durchweg positiv. Insbesondere hoben sie hervor, dass sie „endlich Theorie in die Praxis umsetzen konnten“ und dabei viel über interdisziplinäres Arbeiten gelernt haben. Die Studierenden lernten, Verantwortung für ihr Projekt zu übernehmen, selbstständig Entscheidungen zu treffen und auch Misserfolge (wie zunächst nicht funktionierende Aufbauten) zu bewältigen. Für die Fakultät sind die Ergebnisse ebenfalls wertvoll, da nun neue experimentelle Aufbauten verfügbar sind, die in Lehre und Forschung weiterverwendet werden können. So bestätigte sich der Ansatz des forschenden Lernens als Win-Win-Situation. Vor dem Hintergrund der Energiewende sind solche Lehrforschungsprojekte ein gelungenes Beispiel dafür, wie Hochschulen einen Beitrag zur Ausbildung von Fachkräften leisten können und neue Technologien für eine nachhaltige Zukunft erforschen können. Eine Weiterführung dieser Projekte ist geplant. Interessierte Studierende können auch im Rahmen von Abschlussarbeiten die Thematik weiterführen. Außerdem wird angestrebt, die Entwicklung TE-basierter Nano-BHKW in öffentlich geförderten Forschungsprojekten mit Industriebeteiligung bis hin zur Marktreife weiterzuentwickeln. Nicht zuletzt war das Projekt für alle Beteiligten auch mit Freude und Spaß am Entwickeln, Experimentieren und Lernen verbunden. Abbildung 5 zeigt das Lehrforschungsteam im EPT-Praktikum, Sommersemester 2024.



Abbildung 5: Lehrforschungs-Team, EPT-Praktikum, Sommersemester 2024, von links nach rechts: Prof. Dr.-Ing. Th. Metz, D. Dawidziuk, D. Felbinger, R. Kurz, J. Schreiner, J. Mark, M. Schnaitmann, A. Berisha, Dipl.-Ing. (FH) N. Waurig. Bild: A. Berisha

7. Literatur

- [1] Kurz, R.; Mark, J.; Schnaitmann, M.; Schreiner, J. (2024): Entwicklung eines Wasserstoffbrenners zur Beheizung thermoelektrischer Module. Lehrforschungsprojekt Abschlussbericht, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm).
- [2] Berisha, A.; Dawidziuk, D.; Felbinger, D.; Monheim, D. (2024): Entwicklung eines thermoelektrischen Compound-Moduls für ein Nano-BHKW. Lehrforschungsprojekt Abschlussbericht, Ohm. Verfügbar unter: https://opus4.kobv.de/opus4-ohm/files/2124/Entwicklung_eines_TEM.pdf

Genesis Vision Test - Automated Monocular Visual Acuity Test with Eye-Tracking (GVT-MVAT-ET)

Prof. Dr. Wolfgang Mönch

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Andreas Pazureck, M. Sc.

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Alexander Pletner, B. Eng.

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Zusammenfassung:

Der Genesis VisionTest (GVT) ist ein seit 2014 laufendes Forschungsprojekt. Ziel ist die Entwicklung eines automatisierten Testsystems zur Früherkennung einäugiger Amblyopie im Kindesalter, da diese Sehkraftminderung im Erwachsenenalter nicht mehr korrigierbar ist.

Um den GVT auch für kooperationsunfähige Patienten wie Kleinkinder zu öffnen, entwickelten die Projekt-Studierenden eine PC-Anwendung zur Nutzung eines Eye-Trackers, die in das bestehende System integriert wurde. Dadurch kann automatisiert festgestellt werden, ob ein Testmuster von der Patientin und dem Patienten erkannt wird.

Die beteiligten Studierenden aus den Studiengängen Bachelor Elektrotechnik und Informationstechnik sowie Bachelor Medizintechnik befanden sich im sechsten oder achten Fachsemester. Sie erweiterten im Projekt ihre Programmierkenntnisse, erprobten die agile Software-Entwicklungsmethodik Scrum in der Praxis und lernten eine medizintechnische Anwendung kennen.

1. Projektdaten

Fördersumme	6.461,12 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Projektleitung	Andreas Pazureck
Projektteam	Alexander Pletner, B. Eng., Maria Alkaddoura, Petru Broasca, Quirin Friedmann, Marcel Meyer, Memuna Nazir
Kontakt Projektleitung	andreas.pazureck@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Ziel des Projekts *Genesis VisionTest* ist die Entwicklung eines Screenings zur Prävention von Amblyopie bei Kleinkindern im Alter zwischen einem und sechs Jahren. Die Entwicklung wird zusammen mit Expertinnen und Experten der Frühförderung für Blinde und Sehbehinderte (BBS) Nürnberg, dem Lehrstuhl für allgemeine Psychologie der Otto-Friedrich-Universität Bamberg (OFU), der Ophthalmologie des Nordklinikums in Nürnberg, der genesis Systems gUG in Nürnberg und genesis mediware GmbH betrieben.

Amblyopie äußert sich im Erwachsenenalter durch eine nicht korrigierbare Sehschwächung. Sie tritt durch eine meist einäugige Sehschwäche im Alter von bis zu acht Jahren auf. Diese sorgt dafür, dass das Gehirn die Seheindrücke aus dem geschwächten Auge unterdrückt und somit auch die Entwicklung des Sehnervs gestört ist [1]. Um eine monokulare Sehschwächung zu erkennen, werden üblicherweise die Augen abgedeckt oder abgeklebt. Dieser Eingriff kann jedoch dazu führen, dass die Kinder nicht kooperationsbereit oder abgelenkt sind, wodurch Tests schwieriger durchzuführen und ungenauer sind.

Das Projekt *Genesis VisionTest* ist ein seit 2014 laufendes Forschungsprojekt an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm). Das Screening soll dabei monokular die Sehschärfe testen, ohne die Nutzung von Hilfsmitteln wie Abdecken oder Abkleben. Dafür wurde eine sogenannte Parallaxenbarriere entwickelt, die auf dem Testbildschirm angebracht ist und durch den Stereoskopie-Effekt ein Testmuster gezielt nur für ein Auge sichtbar macht. Im Test wird das Testmuster für das jeweilige getestete Auge an einer von neun Positionen angezeigt. Die getestete Person befindet sich in einem Abstand von zwei Metern vor dem Testbildschirm. Das Testmuster wird feiner, wenn es richtig erkannt wird, und gröber, wenn es nicht erkannt wird. Somit pendelt sich die Testmusterfeinheit auf einen Wert ein und lässt auf die Sehschärfe schließen. Im momentanen Aufbau gibt die getestete Person durch eine kleine Nummerntastatur die gesehene Position an. Da sich diese Art der Bedienung für Kinder nicht eignet oder sie sogar ablenkt, soll im vorliegenden Lehrforschungsprojekt ein Eye-Tracker in das System integriert werden, der die Augenposition auf dem Testbildschirm und damit das Erkennen des Testmusters erkennt.

Der verwendete Eye-Tracker funktioniert bei einem Abstand von zwei Metern nicht und muss deshalb näher an die Testperson gestellt werden. Das Ziel dieses Teilprojekts ist es, ein Programm zu entwickeln, die in die aktuelle Software integriert werden kann und alle nötigen Funktionen zur Nutzung des Eye-Trackers sowie Algorithmen zur Extrapolation der Eye-Tracker-Blickpunkte auf dem Bildschirm beinhaltet.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Zur Strukturierung des Projekts wurde die agile Entwicklungsmethode Scrum gewählt und für die Projektdurchführung im Studium angepasst. Die benötigten Funktionen und Aufgaben werden dabei als gewichtete User Stories formuliert. Mehrere User Stories werden in einen Sprint gepackt; ein Sprint läuft zwei Wochen. Der Masterstudent Alexander Pletner übernahm die Rolle des Produkt Owner, welcher die User Stories initial erstellt und die Fertigstellung einer User Story bewertet. Andreas Pazureck übernahm die Rolle als Scrum Master, der dafür sorgt, dass das Scrum-Verfahren eingehalten wird. Die Studierenden sind die Entwickler, welche die User Stories abarbeiten.

Der Produkt Owner präsentiert zuerst die User Stories und verfeinert diese mit dem Team. Dabei wird auch festgelegt, unter welchen Bedingungen die User Stories als fertig bearbeitet gelten. Im Sprint müssen die Studierenden die User Stories in konkrete Aufgaben, sogenannte Tasks, aufteilen und einer Person oder mehreren Personen zuweisen und abarbeiten. In einem Sprint gibt es auch jede Woche ein kurzes Treffen, wobei die Studierenden sich mit Pazureck über den aktuellen Stand, bestehende Probleme oder offene Fragen besprechen können. Am Ende eines Sprints gibt es jeweils ein Treffen mit dem Produkt Owner, dem Scrum Master und dem Entwicklerteam. In diesem werden die Scrum-Prozesse Sprint Review, Sprint Retrospektive und das Sprint Planning für den nächsten Sprint durchgeführt.

Im Sprint Review werden die Entwicklungsarbeiten präsentiert und vom Produkt Owner abgenommen. Die Retrospektive wird genutzt, um die Arbeitsweisen wie zum Beispiel Aufgabenumfang, Kommunikation, Zusammenarbeit zu bewerten und zu verbessern. Genutzt wurden hierbei Amazon Rating, das heißt, es wurden von jedem Beteiligten für den Sprint Sterne vergeben und eine kurze Rezension verfasst [2]. Auch die Lean-Coffee-Methode wurde genutzt. Bei Lean Coffee schreibt jeder sein wichtigstes Diskussionsthema auf und präsentiert dieses. Dann werden ähnliche Themen zusammengepackt und jeder Teilnehmende kann drei Punkte auf Themen verteilen. Die Themen mit den meisten Punkten werden kurz besprochen [3].

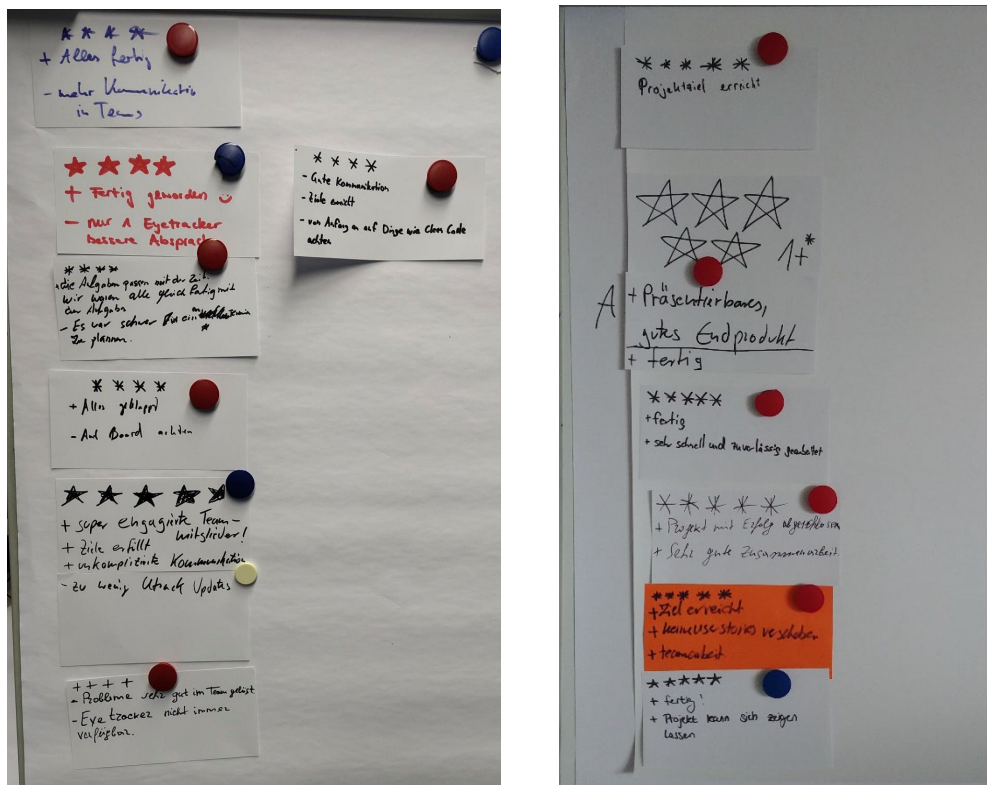


Abbildung 1 (links) und 2 (rechts): Zwei Amazon-Rating-Ergebnisse aus Sprint-Retrospektiven. Bild: 1: Andreas Pazureck 2: Alexander Pletner

Das Projekt wurde in sechs Sprints, je zwei Wochen lang, also in zwölf Wochen fertiggestellt. Im Folgenden werden die Sprints sowie ihre Inhalte kurz aufgelistet:

- Einarbeitung in Programmiersprache C#, da im Studium C# nicht behandelt wird, sowie Clean Code & SOLID Prinzipien für verständliche Codearchitektur und Codestruktur, sowie Einarbeitung in die Programmierung mit dem Eye-Tracker anhand von Beispielcodes.
- Vertiefte Einarbeitung in den Eye-Tracker, Programm mit Status- und Videoanzeige des Eye-Trackers entwickeln.
- Erkennung der Augen und Anzeige der erkannten Augen in der Videoanzeige.
- Recherche zum Erhalt der Blickpunkte, Implementierung der Blickpunktextrapolation, Software-Eye-Tracker, um ohne den realen Eye-Tracker Softwaretests durchführen zu können.
- Aufnahme einer Kalibrierfunktion in das Programm, Anzeige der Blickpunkte als Koordinaten.
- Anzeige der Blickpunkte auf dem Display, Entwicklung eines Testmodus, in welchem die Blickpunktgenauigkeit getestet werden kann.

Durch das Projekt lernten die Studierenden die Programmiersprache C# kennen und verschiedene Prinzipien, um eine Codearchitektur strukturiert und verständlich aufzubauen. Sie lernten auch die gängige Entwicklungsmethode Scrum kennen und mussten im Team zusammenarbeiten und Probleme lösen.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die entwickelte Anwendung wird im Folgenden aufgezeigt. Sie besitzt ein schlichtes User Interface, in dem auf der linken Seite Informationen angegeben sind, wie der Modellname des Eye-Trackers, Seriennummer, Position des linken und rechten Auges, Position des Blickpunkts, Status des Eye-Trackers und Anzeige, ob der Eye-Tracker kalibriert wurde. Auch gibt es eine Eingabe für die Distanz bei der Kalibrierung und Distanz nach der Kalibrierung zur Extrapolation des Blickpunkts. Für die Kalibrierung gibt es einen Button neben dem Kalibrierstatus. In dem restlichen Fenster ist die Videoausgabe des Eye-Trackers mit den drei Buttons *Start/Stop Device*, *Test* und *Toggle Gaze*. Mit *Start* und *Stop Device* startet oder stoppt man den Eye-Tracker. Nach einem Klick auf *Test* kann man einen Test der Kalibrierung durchführen oder sich alte Testresultate anschauen. Mit *Toggle Gaze* aktiviert oder deaktiviert sich die Anzeige des Blickpunkts auf dem ganzen Bildschirm.

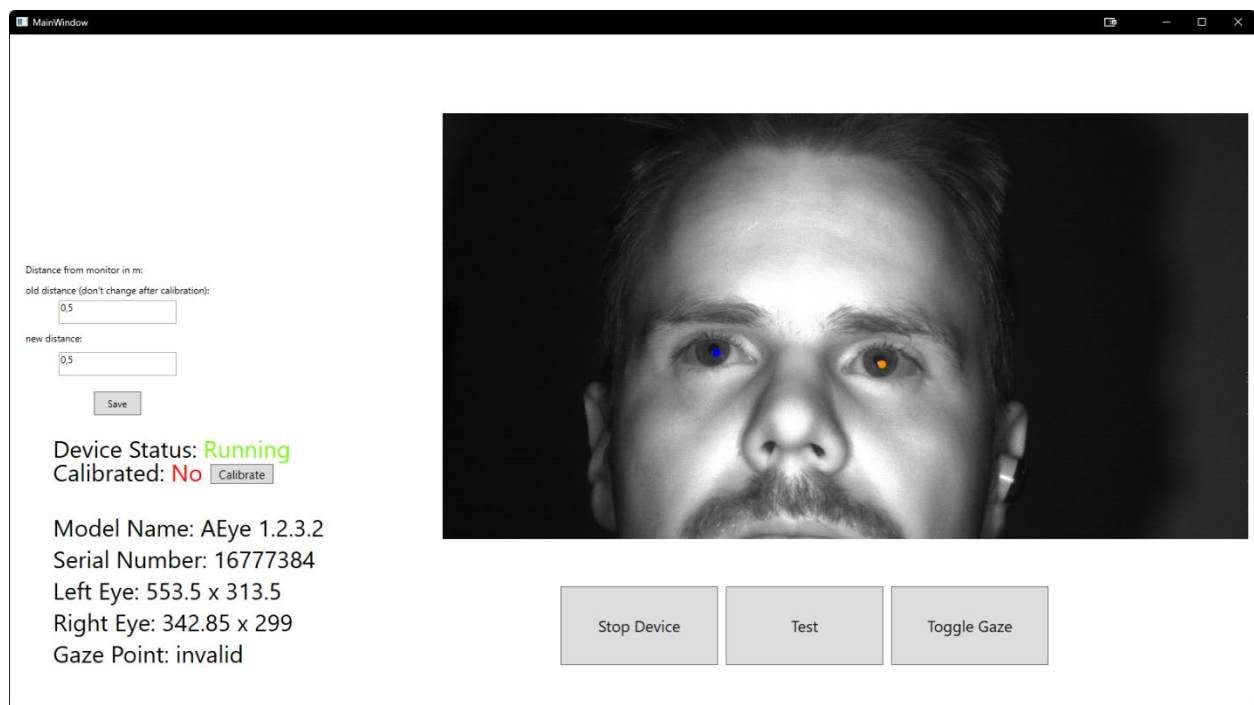


Abbildung 3: Programm Benutzeroberfläche. Blickpunkt (Gaze Point) wird als invalid angezeigt, da noch keine Kalibrierung durchgeführt wurde. Bild: Alexander Pletner

Bei der Kalibrierung wird auf dem gesamten Bildschirm ein weißes Bild angezeigt. Es werden dann nacheinander von oben links nach unten rechts neun Punkte angezeigt. Wenn der erkannte Blickpunkt sich in einem Zeitraum nicht ändert, wird der jeweilig aktive Punkt als erkannt vermerkt. Dies wird zeilenweise durchlaufen, bis die untere rechte Ecke erkannt wurde.

Der Test verläuft ähnlich. Der Bildschirm wird in neun Zonen aufgeteilt und die Punkte, welche in dem Zentrum der Zonen liegen, werden nacheinander angezeigt, ohne dass der Blickpunkt für die Testperson sichtbar ist. Hierbei wird aber nicht automatisch weitergeschaltet, sondern der Nutzende gibt an, wenn er den Punkt anschaut, und geht mit einem Klick zum nächsten Punkt. Dieser Zyklus wird dreimal durchlaufen, um für jeden Testpunkt drei Blickpunkte zu haben. Die Ergebnisse von einem Test können gespeichert und anschließend angezeigt werden.

Es wurden zwar einige Tests durchgeführt, aber zu wenige für eine aussagekräftige statistische Auswertung. Die Anwendung wurde auch in den *Genesis VisionTest* integriert. Dadurch könnte ein zukünftiges Projekt den Eye-Tracker und die Blickpunktgenauigkeit detailliert analysieren. Darauf aufbauend könnte der Eye-Tracker genutzt werden, um automatisch zu erkennen, ob ein Testmuster erkannt wurde.



Abbildung 4: Anzeige des Testergebnisses eines Testdurchlaufs. Punkte gleicher Farbe sind Blickpunkte, welche bei einem schwarzen Testpunkt aufgenommen wurden. Bild: Alexander Pletner

5. Vernetzung und Transfer

Durch den Kontakt zum Centrum für Interdisziplinäre Gesundheitsförderung (CIG) und der Firma genesis mediware GmbH, dessen Geschäftsführer Pazureck das Projekt betreute, konnten sich die Studierenden vernetzen. Dadurch wurden auch wissenschaftliche Hilfskräfte aus dem Projektteam für andere Vorhaben des CIG gewonnen.

6. Fazit und Ausblick

Die in dem Projekt entwickelte Anwendung ermöglicht die Nutzung eines Eye-Trackers. Der Eye-Tracker kann kalibriert werden, der Blickpunkt kann angezeigt und extrapoliert werden. Zusätzlich können Tests durchgeführt werden, um die Genauigkeit des Eye-Trackers abzuschätzen.

In zukünftigen Projekten oder Arbeiten kann die Software genutzt werden, um die Genauigkeit des Eye-Trackers statistisch zu analysieren. Auch kann der Eye-Tracker in das Testverfahren des Genesis VisionTests eingebaut werden, um automatisch die Testmustererkennung zu bestimmen.

Die Studierenden fanden die Herangehensweise von diesem Projekt, wie zum Beispiel die Nutzung der Scrum-Entwicklungsmethode, gut. Vor allem die Flexibilität und das regelmäßige Diskutieren der Arbeitsweisen im Team wurden als Vorteile hervorgehoben.

7. Literatur

- [1] „Amblyopie“, zuletzt aufgerufen am 20.02.2025. [Online]. Available: <https://www.usz.ch/krankheit/amblyopie>
- [2] „Amazon Retrospektive“, zuletzt aufgerufen am 20.02.2025. [Online]. Available: <https://t2informatik.de/wissen-kompakt/amazon-retrospektive>
- [3] Marie-Theres, „Die Lean Coffee Retrospektive – Inkl. Direktzugang“, zuletzt aufgerufen am 20.02.2025. [Online]. Available: <https://echometerapp.com/de/lean-coffee-retrospektive>

Benchmark und prototypische Umsetzung eines Raumbellegungssystems

Prof. Dr. Alexander Monz

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Prof. Dr. Alexander Kröner

Fakultät Informatik

Johannes Frank, M. Sc.

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Zusammenfassung:

Im Rahmen des Entwicklungsprojektes wurden interaktive Raumbellegungsanzeigen mit Buchungsmöglichkeit durch die Studierenden spezifiziert, entwickelt und umgesetzt. Damit sind sowohl eine weithin sichtbare Anzeige von Raumbellegungen sowie spontane Buchungen möglich. Das Projektteam bestand aus fünf Studierenden aus dem Bachelor Informatik sowie 16 Studierenden aus dem sechsten Semester des Bachelor Maschinenbau, zwei studentischen Hilfskräften sowie den betreuenden Professoren.

Die Aufgabe wurde in Kleingruppen anhand einer auf die Bedürfnisse der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) angepassten Spezifikation in Zusammenarbeit umgesetzt. Die Entwicklungsaufgabe konnte komplett erfüllt und in einer Prototypenanwendung umgesetzt werden. Die Buchungssysteme wurden der interessierten Hochschulöffentlichkeit vorgestellt.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.200 Euro
Laufzeit	Oktober 2023 bis Dezember 2024
Fakultät	Maschinenbau und Versorgungstechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Alexander Monz
Projektteam (falls Nennung gewünscht)	Prof. Dr. Alexander Kröner, Johannes Frank, M. Sc.
Kontaktdaten Projektleitung	alexander.monz@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Motiviert durch von verschiedenen Nutzergruppen erlebte Unzulänglichkeiten der Raumverwaltung sollen interaktive Raumbellegungsanzeiger mit Buchungsmöglichkeit durch die Studierenden spezifiziert, entwickelt und umgesetzt werden. Damit sind sowohl eine weithin sichtbare Anzeige von Raumbellegungen sowie spontane Buchungen möglich.

Die Aufgabe erforderte es, ausgehend von einer durch die Studierenden in Kleingruppen durchzuführenden Bestandaufnahme (Benchmark, bestehende Infrastruktur, existierende Schutzrechte) eine auf die Bedürfnisse der Ohm angepasste Spezifikation zu erarbeiten und auf deren Basis eine passgenaue Lösung zu erarbeiten. Diese wurde anschließend durch die Studierenden gefertigt und montiert und im Anschluss in einem Gebäudeteil prototypisch in Betrieb genommen.

Die Arbeit in Kleingruppen erfolgt in den CoWorking-Spaces der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik. Dort erhielten die Kleingruppen eigene Arbeitsflächen und konnten hybrid zusammenarbeiten.

Neben den üblichen Problemstellungen einer Produktentwicklung mit Prototypenphase galt es, innerhalb des Projektes noch fehlende Kompetenzen in der Studierendengruppe gezielt zu vervollständigen, insbesondere im Bereich Elektronik und Informatik. Dies geschah durch die enge Zusammenarbeit mit Studierenden der Fakultät Informatik im Rahmen einer Projektarbeit.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Projekt gliederte sich in drei wesentliche Phasen (siehe Abbildung 1):

	2024											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Konzeptentwicklung (Start: 10/23)												
Entwicklung und Konstruktion												
Fertigung												
Softwareentwicklung												
Inbetriebnahme												
Testphase												
Modellanpassungen												
Erweiterung (2 SHk)												
Dokumentation												

Abbildung 1: Projektablauf. Bild: Alexander Monz

Vorbereitung: Oktober bis Dezember 2023

Die Studierenden erarbeiteten im Team die notwendigen Grundlagen und formulierten eine Spezifikation für die Entwicklungsaufgabe. Zusätzlich benötigte Kompetenzen wurden ermittelt und durch Kooperation beziehungsweise Kompetenzerwerb zugänglich gemacht.

Phase 1: Januar bis April 2024

Ein passendes Gerätekonzept wurde detailliert und umgesetzt. Parallel dazu wurde ein Dummy-Interface entwickelt. Die serverseitige Programmierung und Einbindung in die Infrastruktur wurden vorbereitet.

Phase 2: April bis Juli 2024

Nach der Inbetriebnahme erfolgte eine Testphase unter Einbezug aller relevanten Nutzergruppen. Die Ergebnisse wurden dokumentiert und bildeten die Basis für eine Weiterentwicklung.

Phase 3: August bis Dezember 2024

Aus der Arbeit in der Lehrveranstaltung wurden konkrete Arbeitspakete abgeleitet, um die Prototypen in einen potenziell marktfähigen Demonstrator weiterzuentwickeln.

Der gesamte Projektverlauf wurde durch eine wissenschaftliche Hilfskraft in den CoWorkingSpaces begleitet und dokumentiert, die auch den Support bei der Fertigung sicherstellt.

Die Studierenden profitierten von einer Erweiterung des Lernfeldes Konstruktion durch die konkrete Umsetzung und Anwendung der eigenen Überlegungen in einem realen Entwicklungsprojekt. Die Zusammenarbeit mit Studierenden der Informatik war dabei essenziell für den Erfolg der Projekte. Die Betreuung erfolgte in einer wöchentlichen Lehrveranstaltung sowie durch die unmittelbare Zusammenarbeit mit den Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartnern in den CoWorkingSpaces. Fachliche Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner aus Elektrotechnik und Informatik steuerten zusätzlich benötigte Informationen bei und gaben konkrete Hilfestellungen.

Die Studierenden nahmen dabei von der Formulierung der Spezifikation bis hin zu deren konkreter Umsetzung und Testung am gesamten Entwicklungsprozess teil. Die Anwendung und Weiterentwicklung eigener Konstruktionsergebnisse gaben ihnen dabei ein unmittelbares Feedback zum Erfolg der eigenen Forschungstätigkeit. Die Studierenden waren im Sommersemester 2024 unmittelbar mit dem Ergebnis ihrer Arbeit im Wintersemester 2023/2024 konfrontiert und mussten die Ergebnisse vor der

Hochschulöffentlichkeit vertreten. Sie bewegten sich dabei frei innerhalb eines gegebenen Rahmens und kombinierten die Erweiterung studiennaher Inhalte (Ergebnisdarstellung) mit der selbstständigen Anwendung in einem ungewohnten Kontext.

Eine gemeinsame Reflexion des beschrittenen Weges sowie individuelle Feedbackgespräche als Basis für die Bewertung der Lehrveranstaltung führte den Studierenden abschließend den eigenen Beitrag im Projekt vor Augen. Die Gestaltung wirkte dabei motivierend und ließ die Studierenden Selbstwirksamkeit erfahren. Im Ergebnis erlernten die Studierenden sowohl die Arbeit in einem (eigenen) Entwicklungsprojekt als auch den zielgerichteten Einbezug anderer Disziplinen in Bereichen, in denen die eigenen Fähigkeiten nicht ausreichen.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen des Vorhabens ist es gelungen, ein System zur Anzeige von Raumbellegungen inklusive des benötigten Backends zu entwickeln und aufzubauen. Die Anzeigegeräte funktionieren batteriegetrieben über Jahre und erlauben sowohl geplante als auch spontane Buchungen verschiedener Nutzergruppen mit individuellen Berechtigungen. Das System sowie die Anzeigegeräte orientieren sich im Funktionsumfang dabei an bestehenden marktgängigen Lösungen, allerdings zu einem Bruchteil der Kosten.

Abbildung 2 zeigt den Prototypen sowie den daraus entwickelten Demonstrator.



Abbildung 2: Anzeigegeräte (Prototyp links, Demonstrator rechts). Bild: Alexander Monz

5. Vernetzung und Transfer

Die Studierenden haben über den Zeitraum von anderthalb Jahren fakultätsübergreifend zusammengearbeitet und eine Lösung entwickelt, die für die gesamte Ohm einsetzbar ist.

Die Überführung in eine Ausgründung ist eine denkbare Option in der weiteren Entwicklung.

6. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass eine kabellose Anzeige von Raumbellegungsinformationen auch als Nachrüstlösung und unter Einbezug bestehender Ressourcenmanagementtools mit geringem Aufwand möglich ist.

Es wäre wünschenswert, das System in größerem Umfang an der Ohm zu etablieren und so die Zugänglichkeit von Raumbellegungsinformationen erheblich zu verbessern.

Transformation und Nachhaltige Ernährungssysteme in der Metropolregion Nürnberg – Fair Trade University Edition (TuNErMeNü Fair)

Prof. Dr. Jan Niessen

Fakultät Betriebswirtschaft

Dr. Carolin Lano

Referentin für Nachhaltigkeit und Diversität

Ralf Mützel

Leiter des Amtes für Nachhaltigkeit der Stadt Neumarkt

Viktoria Vogel

Fakultät Betriebswirtschaft

Felix Hirschberg

Fakultät Betriebswirtschaft

Zusammenfassung

Das Lehrlernforschungsprojekt der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) befasste sich mit nachhaltiger und fairer Beschaffung im Bereich Verpflegung und Merchandising, um den Status einer „Fairtrade-University“ zu erreichen. Studierende im Bachelorstudiengang „Management in der Ökobranche“ (drittes und sechstes Semester) analysierten dabei den Status Quo, Potenziale und Herausforderungen der Ohm. Sie führten Recherchen und Bestandsaufnahmen durch, organisierten und unterstützten unter anderem die aktive Umsetzung des Anerkennungs-Prozesses. Fachliche Ergebnisse zeigten das Potenzial für langfristige, nachhaltige und faire Beschaffungsstrategien, um das Bewusstsein für Fairness und ökologische Verantwortung zu fördern. Die Hochschule ermöglichte Vernetzungs- und Austauschmöglichkeiten wie den „Lunch & Talk – Der offene Nachhaltigkeitstreff“. Über Exkursionen, Projekte mit lokalen Partnerinnen und Partnern und die Teilnahme an Veranstaltungen vertieften die Studierenden ihr Verständnis und den Aufbau von relevanten Akteurs-Netzwerken. Mit der Anerkennung als „Fairtrade-University“ wird Bildung für Nachhaltige Entwicklung an der Ohm im Kontext fairer und nachhaltiger Wirtschaft weiter gestärkt.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.339,42 Euro
Laufzeit	Sommersemester 2024, Wintersemester 2024/2025
Fakultät/Einrichtung	Betriebswirtschaft
Projektleitung	Prof. Dr. Jan Niessen
Projektteam/Autorinnen	Felix Hirschberg, Viktoria Vogel, Dr. Carolin Lano, Ralf Mützel
Kontakt Daten Projektleitung	jan.niessen@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Ohm befindet sich in der fairen Metropolregion Nürnberg, die sich durch ihr starkes Engagement für nachhaltige Entwicklung auszeichnet. Auch in diesem Kontext möchten die Verantwortlichen der Ohm die Vorbildfunktion einer Hochschule wahrnehmen und nutzen, indem die Beschaffungspraktiken ökologisch und sozial verantwortungsvoll im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ausgestaltet werden. Mit dem Lehrforschungsprojekt wurde das Ziel verfolgt, bestehende Prozesse in der Hochschulverpflegung und im Merchandising zu analysieren und Strategien für eine nachhaltigere Beschaffung zu entwickeln. Es ging insbesondere darum, die Integration von Fairtrade-Produkten zu fördern und die Basis für eine „Fairtrade-Zertifizierung“ der Ohm im Sinne des Formats „Fairtrade University“ zu schaffen. Durch die Einbindung von Studierenden des Studiengangs „Management in der Ökobranchen“ im Rahmen der Lehrveranstaltungen „Zertifizierung und Nachhaltigkeitskennzeichnung“ sowie „Nachhaltige Unternehmensführung und Wertschöpfungskettenmanagement“ in alle Phasen des Projekts wurde das Konzept der Lehrforschung verfolgt. Dies ermöglichte es den Studierenden, forschungsbasierte Kompetenzen im Bereich des Nachhaltigkeitsmanagements auszubauen und gleichzeitig ihr theoretisches Wissen praxisnah anzuwenden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Projekt war methodisch in mehrere Phasen unterteilt. Zu Beginn führten die Studierenden eine umfassende Literaturrecherche durch, um sich mit „Best-Practice“-Beispielen und bestehenden Zertifizierungskonzepten von Fairtrade-Universitäten vertraut zu machen. Dies erbrachte eine solide theoretische Grundlage für die weitere Arbeit. In der nächsten Phase analysierten die Studierenden bereits durch das Studierendenwerk gelistete Fairtrade-Produkte und die damit verbundenen Beschaffungspraktiken. Dabei wurden Daten zu verwendeten Produkten, Wertschöpfungsketten und Lieferantinnen und Lieferanten erhoben. Diese Informationen wurden durch Interviews und Workshops mit relevanten Akteurinnen und Akteuren, wie dem Studierendenwerk Erlangen-Nürnberg, der Referentin für Nachhaltigkeit und Diversität sowie dem Klimaschutzmanager der Hochschule ergänzt. Aus den erhobenen Daten wurden Handlungsempfehlungen zur Optimierung einer fairen und nachhaltigen Beschaffung erarbeitet. Die Studierenden arbeiteten in kleinen Gruppen, wodurch Teamarbeit und interdisziplinäre Zusammenarbeit gefördert wurden. Zudem präsentierten sie ihre Ergebnisse regelmäßig in Workshops und erhielten so die Möglichkeit, ihre Kommunikations- und Präsentationsfähigkeiten zu stärken.

4. Forschungsergebnisse und Verwertung für Nachhaltige Entwicklung der Ohm

Die Forschungsergebnisse zeigten, dass in der Hochschulverpflegung und im Merchandising bereits erste Ansätze für eine faire und nachhaltige Beschaffung vorhanden sind, wie die Nutzung von regionalen Lebensmitteln und einzelnen Fairtrade-Produkten. Dennoch besteht erhebliches Potenzial für weitere Optimierungen. Zu den zentralen Empfehlungen gehörte die stärkere Integration von Fairtrade-Produkten, insbesondere in der Gemeinschaftsverpflegung und Merchandising. Es wurde vorgeschlagen, verbindliche Beschaffungsrichtlinien zu entwickeln und die Transparenz in den Lieferketten zu erhöhen. Zudem wurde darauf hingewiesen, dass sowohl faire als auch biologische Produkte stärker berücksichtigt werden sollten, um einen stärkeren Fokus auf ökologische und soziale Aspekte in der Beschaffung zu legen. Ein Teil der Ergebnisse kann in der Nachhaltigkeitsstrategie der Ohm berücksichtigt werden. Perspektivisch sollen die entwickelten Konzepte Grundlage für weitere Initiativen im Bereich Beschaffung sowie eine angestrebte Fairtrade-Zertifizierung der Ohm bilden.



Abbildung 1: Forschungsposter Studienarbeit „Nachhaltige und faire Beschaffung in Hochschulverpflegung und Merchandising der Ohm. Potenziale für Nachhaltigkeitsmanagement und Fairtrade-Zertifizierung für die Ohm“. Bild: Alina Steinbrenner, Felix Hirschberg, Magdalena Schreiner, Viktoria Vogel

5. Vernetzung – Aktivierung – Transfer

Das Projekt hat Austausch und Vernetzung zum Themenkomplex Nachhaltigkeit, nachhaltige Beschaffung und Fairtrade innerhalb der Ohm sowie mit externen Akteurinnen und Akteuren deutlich gestärkt. Intern wurde die Zusammenarbeit zwischen der Nachhaltigkeitsabteilung, dem Studierendenwerk Erlangen-Nürnberg, der Fakultät Betriebswirtschaft sowie Studierenden intensiviert. Die Arbeit und damit verbundene Kooperation etablierten eine Basis für zukünftige Projekte im Bereich nachhaltiger Beschaffung. Extern wurden Kontakte zu Fairtrade-Organisationen der Metropolregion Nürnberg und anderen Hochschulen mit Fairtrade-Zertifizierung aufgebaut. Die Workshops und Interviews boten den Teilnehmenden zudem die Gelegenheit, sich mit Expertinnen und Experten aus Wirtschaft und Zivilgesellschaft zu vernetzen und deren Perspektiven und Erfahrungen kennenzulernen. Die Ergebnisse des Projekts sollen nicht nur an der Ohm, sondern auch in der Region weiterverbreitet werden. Dies fördert den Wissenstransfer zwischen Bildungseinrichtungen, Unternehmen und der Öffentlichkeit und stärkt das Bewusstsein für nachhaltige Beschaffung in der Metropolregion Nürnberg.

6. Fazit und Ausblick

Das Lehrforschungsprojekt verdeutlicht, dass die Ohm durch eine nachhaltige und faire Beschaffung sowohl ihre ökologische als auch ihre soziale Verantwortung stärken kann. Insbesondere die Bereiche Gemeinschaftsverpflegung und Merchandising bieten großes Potenzial, Fairtrade-Produkte und nachhaltige Lösungen verstärkt zu nutzen und zu priorisieren. Dies würde nicht nur zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung der Ohm beitragen, sondern auch als Vorbild für Studierende, die Gesellschaft und andere Organisationen wirken. Aus didaktischer Sicht hat das Projekt gezeigt, wie erfolgreich forschendes Lernen als Lehrkonzept in praxisorientierten Studiengängen wie dem Bachelor „Management in der Ökobranche“ angewendet werden kann. Die Studierenden bewerteten die aktive Einbindung in alle Projektphasen positiv, da sie wertvolle Kompetenzen in Analyse, Teamarbeit und der Entwicklung praktischer Lösungen erwerben konnten. Besonders die interdisziplinäre Zusammenarbeit und der Austausch mit Akteurinnen und Akteuren wie dem Studierendenwerk und externen Partnerinnen und Partnern stärkten das Verständnis für komplexe Herausforderungen und Nachhaltigkeitsfragen. Aufbauend auf den Ergebnissen und einer daraus erfolgenden Anerkennung der Ohm als Fairtrade-University können zukünftige Forschungsprojekte die entwickelten Ansätze weiter vertiefen und sich mit den Auswirkungen von Fairtrade-Zertifizierungen auf die Hochschulkommunikation und -wahrnehmung befassen. Die Einbindung der gesamten Hochschulgemeinschaft sowie die stärkere Vernetzung mit externen Partnerinnen und Partnern wird dabei entscheidend sein, um langfristige Verankerungen nachhaltiger Beschaffung zu erreichen und die Ohm als Fairtrade-University zu etablieren.

7. Literatur

EMN Europäische Metropolregion Nürnberg e. V. Entwicklungsagentur Faire Metropolregion (ohne Jahr). Abgerufen am 31.09.2023 <https://faire-metropolregionnuernberg.de/>

Fairtrade Deutschland e. V. (Herausgeber). (Ohne Jahr). Fairtrade Universities. Forschung und Lehre. Abgerufen am 31.09.2023 <https://www.fairtrade-universities.de/ideenpool/forschung-und-lehre>

Fairtrade Deutschland e. V. (Herausgeber). (Ohne Jahr). Fairtrade Universities. Mitmachen. Abgerufen am 31.09.2023 <https://www.fairtrade-universities.de/mitmachen>

Gröne, K.; Braun, B.; Kloß, S.; Schüller, M.; Bollig, M. (Hrsg.) (2020): Fairer Handel. Chancen, Grenzen, Herausforderungen. München, Oekom.

Rothermel, M. (2022): LkSG Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz Kommentar. München, Deutscher Fachverlag.

Einführung des Wahlfachs „Grundlagen der Produktformulierung“

Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer
Fakultät Angewandte Chemie

Zusammenfassung:

Das Forschungsprojekt „Einführung des Wahlfachs ‚Grundlagen der Produktformulierung‘“ verfolgt das Ziel, ein interdisziplinäres Wahlmodul im Bachelorstudiengang „Angewandte Chemie“ zu etablieren. Angesichts der essenziellen Bedeutung dieses Themenfelds in Industrie und Wissenschaft verbindet der Lehransatz theoriegeleitete Modellbildung mit experimentellen Validierungsstrategien sowie eigenständigen wissenschaftlichen Untersuchungen. Studierende befassen sich mit der detaillierten Analyse komplexer Wechselwirkungen zwischen Rohstoffkomponenten, Prozessparametern und finalen Produkteigenschaften, um strukturierte Erkenntnisse zur Formulierungsoptimierung zu gewinnen. Das didaktische Konzept beruht auf einer forschungsorientierten Wissensvermittlung, die es ermöglicht, innovative Formulierungen zu entwerfen und experimentell zu evaluieren. Die Implementierung didaktischer Ansätze fördert ein vertieftes analytisches und methodisches Kompetenzprofil.

1. Projektdaten

Fördersumme	9.940 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Angewandte Chemie
Projektleitung	Prof. Dr. Dirk Sachsenheimer
Kontaktdaten Projektleitung	dirk.sachsenheimer@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Etablierung des Wahlfachs „Grundlagen der Produktformulierung“ erfolgt vor dem Hintergrund eines zunehmenden Bedarfs an interdisziplinärem Fachwissen innerhalb der angewandten Chemie. Die Produktformulierung nimmt eine essentielle Funktion in einer Vielzahl industrieller Sektoren ein, darunter die chemische Industrie, die Lebensmitteltechnologie, die Kosmetikbranche sowie die Produktion von Farben, Lacken und Schmierstoffen. Trotz dieser Relevanz sind die theoretischen und methodischen Grundlagen der Produktformulierung bislang unzureichend in den curricularen Strukturen des Bachelorstudiengangs „Angewandte Chemie“ integriert. Empirische Untersuchungen der von Studierenden angefertigten Abschlussarbeiten belegen, dass 85 Prozent der durch den Antragsteller betreuten Arbeiten einen direkten Bezug zur Produktformulierung aufweisen. Dies unterstreicht nicht nur die wissenschaftliche Tragweite des Themas, sondern ebenso seine Bedeutung für die berufliche Praxis. Die aktuelle Lehrlandschaft erweist sich jedoch als defizitär hinsichtlich einer systematischen Vermittlung der notwendigen Kompetenzen. Insbesondere fehlt ein kohärentes Verständnis für die komplexen Wechselwirkungen zwischen Rohstoffen, Produktionsverfahren und den physikochemischen Eigenschaften und der Qualitätsmerkmale der resultierenden Produkte. Vor diesem Hintergrund wurde das vorliegende Forschungsprojekt initiiert.

Das zentrale Ziel dieses Forschungsvorhabens besteht in der Entwicklung und Implementierung eines interdisziplinären, praxisorientierten Wahlfachs, das Studierenden vertiefte Kenntnisse im Bereich der Produktformulierung vermittelt. Die Konzeption als Lehrforschungsprojekt beruht auf der Prämisse, dass didaktische Methoden optimal mit praxisnahen Forschungsfragen verknüpft werden können. Neben der Vermittlung theoretischer Grundlagen sollen Studierende die Möglichkeit erhalten, eigene wissenschaftliche Fragestellungen zu formulieren und experimentell zu bearbeiten. Diese Vorgehensweise fördert nicht nur die aktive Wissenskonstruktion, sondern erlaubt es auch, neue didaktische Ansätze innerhalb der Produktformulierung zu erproben und weiterzuentwickeln. Durch die konsequente Integration in das Konzept des forschenden Lernens soll das Projekt langfristig als Modell für praxisnahe, interdisziplinäre Lehrformate dienen und einen nachhaltigen Beitrag zur akademischen Ausbildung im Bereich der Produktformulierung im Rahmen des Bachelorstudiengangs Angewandte Chemie leisten.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das bewilligte Projekt hatte die Zielsetzung, eine wissenschaftlich fundierte und praxisnahe Lehrveranstaltung zur Produktformulierung konzeptionell auszuarbeiten und zu implementieren. Der Schwerpunkt lag auf der systematischen Strukturierung der Lehrinhalte, der Akquisition spezialisierter Labor- und Küchenausstattung und der Entwicklung didaktischer Strategien, die einen wissenschaftlich reflektierten Wissenstransfer gewährleisten.

Die Projektumsetzung erfolgte sequenziell im Verlauf des Jahres 2024. Im ersten Quartal wurden die inhaltliche und die methodische Planung unter Einbezug der Lehr- und Kompetenzentwicklung der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) vertieft, wobei die curricularen Schwerpunkte spezifiziert und didaktische Modelle konzipiert wurden. Parallel dazu wurde die Entwicklung der Lehrmaterialien initiiert, einschließlich der Erstellung der Vorlesungsunterlagen und des Modulhandbuchs. Diese Phase erstreckte sich bis in das zweite Quartal und beinhaltete zudem die sukzessive Dokumentation der didaktischen Inhalte. Im zweiten und dritten Quartal fokussierte sich das Projekt auf die Beschaffung und Implementierung der erforderlichen technologischen Infrastruktur, insbesondere des Laborequipments und der Demonstrationsmaterialien. Nach der Inbetriebnahme erfolgte eine umfassende Validierung der Funktionsfähigkeit der Apparaturen. Im dritten Quartal wurden zudem exemplarische Messreihen durchgeführt, um experimentelle Methoden zu optimieren und praxisnahe Fallstudien in das Lehrkonzept zu integrieren. Mit dem vierten Quartal begann schließlich die pilotierte Durchführung der Lehrveranstaltung, die sich bis ins erste Quartal 2025 erstreckte. In dieser finalen Phase wurden die entwickelten Inhalte unter praxisbezogenen Bedingungen vermittelt und durch die Studierenden eigenständig erprobt.

Die Veranstaltung „Grundlagen der Produktformulierung“ basiert auf einem forschungsorientierten didaktischen Konzept, das die aktive wissenschaftliche Auseinandersetzung der Studierenden mit den Fachinhalten in den Vordergrund stellt. Die methodische Gestaltung fördert sowohl die eigenständige Wissensgenerierung als auch die praktische Anwendung naturwissenschaftlicher Prinzipien. Durch eine differenzierte Kombination aus kooperativen Arbeitsformen, diskursiven Reflexionsphasen und wissenschaftlich fundierten Präsentationen werden die Teilnehmenden befähigt, theoretische Konzepte kritisch zu hinterfragen und in einen argumentativ stringent strukturierten Diskurs einzubringen.

Ein zentrales didaktisches Element bildet das begleitende Praktikum, das 50 Prozent der Gesamtveranstaltungszeit umfasst und den Studierenden weitgehende Freiheit in der eigenständigen Formulierung von Produktrezepturen einräumt. Ohne restriktive Vorgaben, jedoch unter wissenschaftlicher Anleitung, entwickeln sie eigenverantwortlich Formulierungen, evaluieren alternative methodische Ansätze und erlangen ein tiefgehendes Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen Rohstoffauswahl, Prozessführung und Produkteigenschaften. Diese praxisbasierte Erfahrung ermöglicht es den Studierenden, theoretisch erlernte Konzepte nicht nur zu verinnerlichen, sondern unmittelbar in innovative und anwendungsrelevante Lösungen zu überführen.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

4.1. Auswahl der Lehrinhalte

Die initiale Phase des Projekts mündete in eine selektive Zusammenstellung zentraler thematischer Schwerpunkte, die für die Vorlesung als relevant erachtet wurden. Der Fokus geht über die Vermittlung domänenspezifischer Expertise hinaus und inkludiert insbesondere die Kultivierung transversaler Kompetenzen sowie methodischer Expertise. Die Fähigkeit zur strukturierten Problemanalyse, interdisziplinären Kollaboration und präzisen wissenschaftlichen Kommunikation stellt eine fundamentale Voraussetzung für eine nachhaltige und innovative Produktformulierung dar. Dabei sind nicht nur analytische Strenge, kreative Lösungsansätze und eine systematische Herangehensweise an komplexe Problemstellungen von Bedeutung, sondern ebenso ein fundiertes physikochemisches Verständnis. Durch gezielte Schwerpunktsetzung werden die für eine erfolgreiche und zukunftsorientierte Produktformulierung essenziellen Kompetenzen auf akademischem Niveau geschärft. Aus diesen Überlegungen resultierte eine selektive Zusammenstellung von Vorlesungsinhalten, die primär durch diskursive Auseinandersetzung und instruktive Übungen innerhalb der Vorlesung gemeinschaftlich erarbeitet wurden. Im Folgenden wurden die relevanten Inhalte der Vorlesung spezifiziert:

- Einführung.
- Kommunikation im Team.
- Sinne und Wahrnehmung.
- Produktanalyse.
- Grundlagen der konzeptuelle Produktformulierung.
- Systematische Problemlösung.
- Statistische Versuchsplanung.
- Vertiefung Produktformulierung (Fokus: Wechselwirkungen).
- Innovation und Innovationsmanagement.
- Messen von Produkteigenschaften.
- Grenzflächen, Benetzung, Tenside.
- Grundlagen fester Formulierungen.
- Grundlagen fluider Formulierungen.

4.2. Rumpf-Modell für die konzeptuelle Produktformulierung

Das zentrale Element der Lehrveranstaltung ist das Rumpf-Modell (nach Hans Rumpf 1911 – 1976), ein theoretischer Ansatz für die konzeptuelle Produktformulierung. Es beschäftigt sich mit der systematischen Entwicklung von Produkten, ursprünglich im Bereich der Partikeltechnologie und Pulververarbeitung. Es beschreibt den funktionalen Zusammenhang zwischen Herstellungsprozessen, physikochemischen Eigenschaften und Qualitätsmerkmalen eines Produkts (siehe Abbildung 1). Es ermöglicht eine gezielte Steuerung der physikochemischen Eigenschaften durch den Herstellungsprozess, wodurch spezifische Qualitätsmerkmale beeinflusst werden können.

Ein zentraler Bestandteil des Modells ist die Prozessfunktion, die den funktionalen Zusammenhang zwischen einem Prozessparameter, wie beispielsweise der Mahldauer, und eine physikochemische Messgröße, wie der resultierenden Partikelgröße, beschreibt. Durch die gezielte Anpassung des Prozesses lassen sich somit bestimmte physikochemische Eigenschaften einstellen. Darüber hinaus beschreibt die Eigenschaftsfunktion den funktionalen Zusammenhang zwischen den physikochemischen Messgrößen und den finalen Qualitätsmerkmalen des Produkts. So kann beispielsweise die Partikelgröße eines Pulvers direkten Einfluss auf dessen Geschmack oder Mundgefühl haben.

Physikochemische Eigenschaften eines Produkts sind quantifizierbar, messbar und lassen sich präzise beschreiben, da sie auf physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten basieren. Dazu gehören beispielsweise Partikelgröße, Dichte, Löslichkeit oder Viskosität. Im Gegensatz dazu können Qualitätsmerkmale neben objektiv messbaren Faktoren auch subjektive Aspekte umfassen, die von der individuellen Wahrnehmung abhängen. So beeinflussen physikochemische Eigenschaften zwar direkt die Qualitätsmerkmale eines Produkts, doch sensorische Eigenschaften wie Geschmack, Textur oder ästhetische Wahrnehmung unterliegen zusätzlich subjektiven Bewertungen. Das Rumpf-Modell trägt diesem Zusammenhang Rechnung, indem es sowohl die objektiven physikochemischen Eigenschaften als auch deren Einfluss auf die subjektiv wahrnehmbaren Qualitätsmerkmale systematisch beschreibt (Rumpf, 1967; Bohnet, 2012).

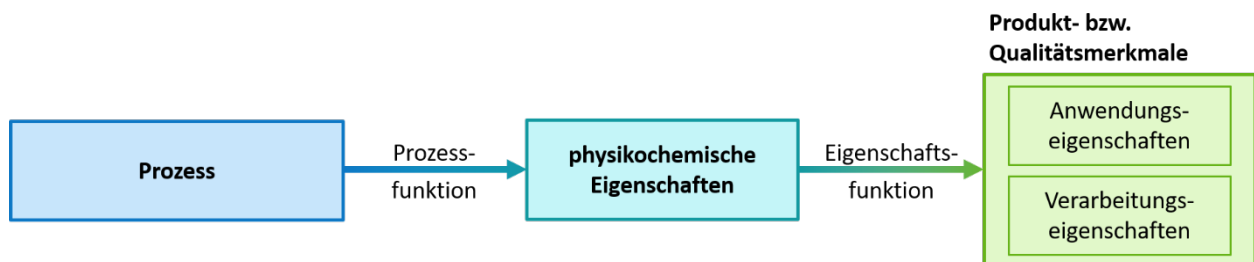


Abbildung 1: Rumpf-Modell für die konzeptuelle Produktformulierung (Bild: Dirk Sachsenheimer).

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das Rumpf-Modell erweitert (siehe Abbildung 2), um der zunehmenden Komplexität industrieller Prozesse gerecht zu werden. Während das ursprüngliche Modell primär den Zusammenhang zwischen Prozess, physikochemischen Eigenschaften und Produkt- beziehungsweise Qualitätsmerkmalen beschreibt, wurde nun eine differenziertere Betrachtung des Prozesses eingeführt. Der Prozess wird nicht mehr als ein einheitlicher Vorgang betrachtet, sondern in die drei wesentlichen Einflussfaktoren Verfahren, Rezeptur und Rohstoff unterteilt. Diese Komponenten stehen in einem komplexen Wechselspiel, das maßgeblich die physikochemischen Eigenschaften des Endprodukts beeinflusst. Besonders im industriellen Umfeld spielen Rohstoffvariationen, wie Feuchtegehalt, Partikelgrößenverteilung oder Verunreinigungen, eine entscheidende Rolle. Um eine gleichbleibende Produktqualität sicherzustellen, müssen daher nicht nur die Verfahren optimiert, sondern auch die Rezepturen und die Rohstoffauswahl entsprechend angepasst werden, um einen möglichst robusten Herstellungsprozess sicherzustellen. Durch diese Erweiterung lassen sich nun nicht nur die Herausbildung physikochemischer Eigenschaften gezielter verstehen, sondern auch die daraus resultierenden Anwendungs- und Verarbeitungseigenschaften des Endprodukts besser prognostizieren. Das angepasste Modell bildet damit eine verlässlichere Grundlage für die Produkt- und Prozessentwicklung in anspruchsvollen industriellen Anwendungen.

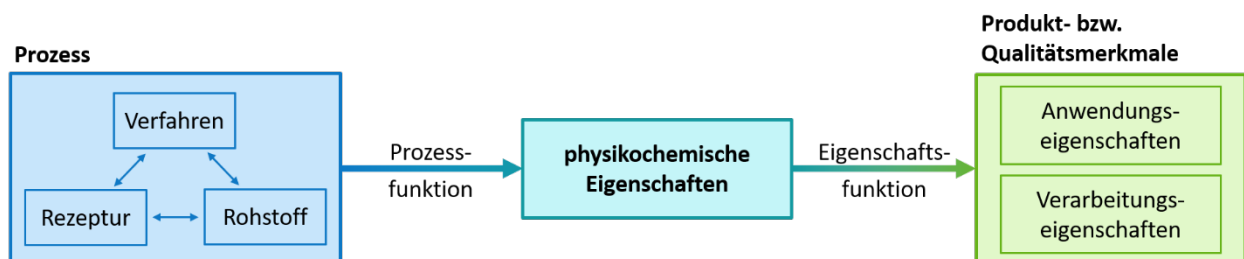


Abbildung 2: Erweitertes Rumpf-Modell für die konzeptuelle Produktformulierung (Bild: Dirk Sachsenheimer).

4.3. Exemplarische Einblicke in die Vorlesung

Abbildung 3 illustriert beispielhaft zentrale Aspekte der Lehrveranstaltung, die eine interaktive, praxisorientierte und forschungsbasierte Wissensvermittlung ermöglichen.

Abbildung 3A zeigt das didaktische Setting der Lehrveranstaltung, das auf interaktive und partizipative Lernprozesse abzielt. Das klassische Rednerpult fungiert als zentraler Knotenpunkt für die Wissensvermittlung, während didaktisch aufbereitete Präsentationsfolien komplexe theoretische Inhalte strukturiert visualisieren. Ergänzend ermöglichen modulare Pinnwandssysteme mit farbcodierten Moderationskarten eine differenzierte Analyse und systematische Diskussion curricularer Inhalte, wodurch eine interaktive Auseinandersetzung mit dem Lehrstoff begünstigt wird. Die räumliche Anordnung des Lehrraums folgt einem offenen, adaptiven Konzept: Die U-förmige Tischkonstellation mit flexibel konfigurierbaren Sitzmodulen maximiert den interaktiven Austausch zwischen Lehrenden und Studierenden sowie die kooperative Wissensgenerierung im Plenum. Die didaktische Synergie aus analogen und digitalen Lehrformaten resultiert in einer multimodalen Methodenintegration, die traditionelle Instruktionsansätze mit mediendidaktischen Elementen verbindet und somit eine nachhaltige akademische Kompetenzentwicklung ermöglicht.

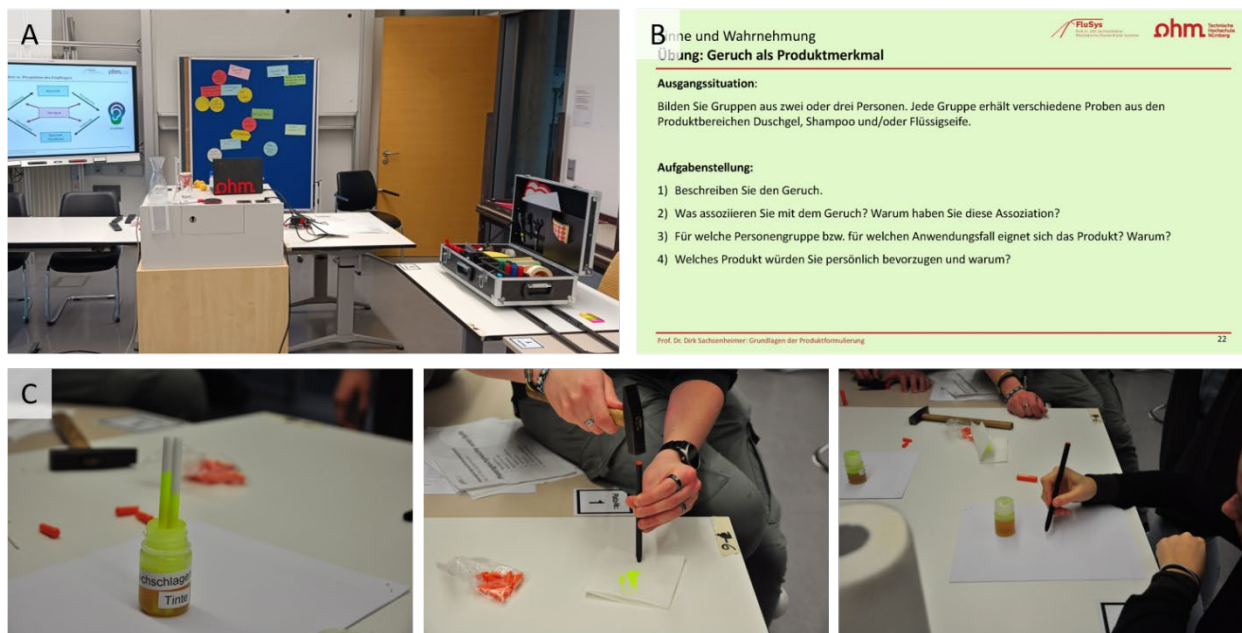


Abbildung 3: A: Didaktisches Setting der Lehrveranstaltung, B: Aufbau einer Anweisung für eine Praxiseinheit, C: Untersuchungen bezüglich der Wechselwirkungen innerhalb eines Schreibsystems (Bild: Dirk Sachsenheimer).

Abbildung 3B illustriert exemplarisch die methodische Struktur einer Praxiseinheit, die auf eine eigenständige, explorative und experimentelle Erarbeitung von Inhalten durch die Studierenden abzielt. Die didaktische Gestaltung dieser Einheit folgt einem forschungsorientierten Ansatz, bei dem die relevanten Anweisungen stets grün hinterlegt sind, um eine klare Abgrenzung zu konventionellen theoretischen Elementen zu gewährleisten. Im konkreten Beispiel erhalten die Teilnehmenden Proben aus verschiedenen Produktkategorien – darunter Duschgel, Shampoo und Flüssigseife – und führen zunächst eine detaillierte olfaktorische Analyse durch. Dabei dokumentieren sie die wahrgenommenen Eigenschaften jeder Probe in Bezug auf Intensität, Komplexität und Persistenz des Duftes. Anschließend erfolgt eine analytische Reflexion über individuelle und soziokulturelle Assoziationen, die durch die jeweiligen Gerüche ausgelöst werden. Ein weiterer zentraler Bestandteil der Einheit ist die kritische Evaluation der Zielgruppen- und Anwendungskontexte der analysierten Produkte. Die Studierenden identifizieren spezifische Konsumentengruppen –

beispielsweise Kinder, Sportlerinnen und Sportler oder Personen mit empfindlicher Haut – und analysieren, inwiefern die olfaktorischen Merkmale der Produkte mit den Bedürfnissen und Erwartungen dieser Gruppen korrelieren. Der finale Output dieser Einheit umfasst eine systematische Charakterisierung der olfaktorischen Eigenschaften, die Identifikation kulturell geprägter Duftassoziationen sowie eine fundierte Einschätzung der zielgruppenspezifischen Eignung der untersuchten Produkte. Ergänzend entwickeln die Teilnehmenden eine kritische Argumentation zur Relevanz von Duftprofilen in der Produktgestaltung und formulieren eine begründete Präferenzentscheidung unter Berücksichtigung subjektiver und funktionaler Kriterien. Durch diesen praxisnahen, experimentellen Ansatz wird nicht nur die selbstständige Erarbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen gefördert, sondern auch die Fähigkeit zur analytischen Reflexion vertieft. Die Integration experimenteller Methoden in die Lehre trägt wesentlich zur Weiterentwicklung des fachspezifischen Verständnisses bei und stärkt die Transferleistung in interdisziplinäre sowie praxisrelevante Kontexte.

Abbildung 3C zeigt Impressionen einer Praxiseinheit im Rahmen des Vorlesungsteils „Vertiefung Produktformulierung“, in der die Studierenden eine detaillierte experimentelle Analyse zu den multiplen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Produktkomponenten eines Faserspeicherstifts durchführen. Ziel dieser Untersuchung ist es, die funktionellen und physikochemischen Korrelationen zwischen Materialeigenschaften und der Gesamtperformance des Schreibsystems zu bewerten, um eine tiefere Einsicht in die Qualitätssicherung und die Optimierung von Produktdesignstrategien zu gewinnen. Im ersten Schritt erfolgt die systematische Untersuchung verschiedener Tintenformulierungen mit variierenden rheologischen und oberflächenchemischen Eigenschaften. Hierbei wird analysiert, wie sich Parameter wie Viskosität, Fließverhalten, Benetzbarkeit und Absorption innerhalb des Faserspeichers manifestieren. Diese Faktoren determinieren die Effizienz der Tintenaufnahme und die kontrollierte Freisetzung an die Schreibspitze, sowie auf das Substrat, was wiederum die Homogenität des Farbauftrags und die Schreibleistung signifikant beeinflusst. Neben den chemisch-physikalischen Wechselwirkungen innerhalb des Tintenleitsystems wird die mechanische Belastbarkeit und Präzision der Gehäusekonstruktion untersucht. Dabei werden Aspekte wie Passgenauigkeit der Komponenten, Fertigungstoleranzen und die Widerstandsfähigkeit gegen Austrocknen oder Leckage evaluiert. Die strukturelle Integrität des Gehäuses spielt eine zentrale Rolle für die langfristige Gebrauchstauglichkeit und die Anwenderfreundlichkeit des Produkts. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern essenzielle Einblicke in die komplexen interdependenten Mechanismen eines Faserspeicherstifts und ermöglichen eine gezielte Optimierung der Formulierung sowie des strukturellen Designs. Die Studienergebnisse unterstreichen, dass die Performance eines Schreibgeräts nicht isoliert durch die Tintenrezeptur definiert wird, sondern durch das Zusammenspiel sämtlicher Systemkomponenten. Die für diese Untersuchung verwendeten Bauteile wurden von einem führenden deutschen Stifthersteller bereitgestellt, wobei die Tintenformulierungen für experimentelle Zwecke spezifisch modifiziert wurden, um gezielt Einflüsse einzelner Variablen analysieren zu können.

4.4. Exemplarische Einblicke in das Praktikum

Der zweite Teil der Veranstaltung besteht aus einem ausschließlich praktischen Modul, das den Studierenden eine industrienaher Möglichkeit bietet, komplexe Zusammenhänge der Produktformulierung experimentell nachzuvollziehen. Dabei steht ein hoher Grad an Eigenverantwortung im Mittelpunkt: Es gibt keine detaillierten Vorgaben, sodass die Teilnehmenden sämtliche Prozesse – von der Organisation über die Planung bis zur Durchführung – selbstständig abstimmen und koordinieren müssen. Dieser methodische Ansatz fördert nicht nur die wissenschaftliche Reflexion, sondern auch die Entwicklung von Problemlösungsstrategien in realitätsnahen Szenarien. Die Studierenden müssen sich intensiv mit den theoretischen Grundlagen auseinandersetzen und diese unmittelbar in experimentelle Arbeitsabläufe überführen. Dies

erfordert eine präzise Versuchsplanung, ein systematisches Vorgehen sowie die kritische Auswertung der erzielten Ergebnisse. Besonders hervorzuheben ist der iterative Charakter des Praktikums, bei dem Studierende durch gezielte Anpassungen der Rezeptur und der Prozessführung eigenständig Optimierungsstrategien erarbeiten, um eine präzise Abstimmung zwischen theoretischer Modellierung und praktischer Anwendung zu erreichen. Die Herausforderung liegt dabei nicht nur in der technischen Umsetzung, sondern auch in der analytischen Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich der Qualitätsmerkmale des Produktes. Darüber hinaus ermöglicht das Praktikum einen Einblick in gängige Methoden der Produktentwicklung, die auch in industriellen Forschungs-und-Entwicklungs-(F&E-)Abteilungen Anwendung finden. Neben chemisch-physikalischen Analysen stehen, abhängig vom Produkt, sensorische Prüfverfahren im Fokus, um die Gesamtqualität der entwickelten Formulierungen zu bewerten. Hierbei müssen die Studierenden eigenständig Parameter identifizieren, die Einfluss auf Textur, Stabilität und Gebrauchseigenschaften haben. Die wissenschaftlich fundierte Herangehensweise und die praxisnahe Durchführung bilden eine wesentliche Schnittstelle zwischen akademischer Ausbildung und späteren beruflichen Anforderungen. Abbildung 4 illustriert exemplarische Praktikumsarbeiten zu unterschiedlichen Produktformulierungen. Insgesamt wurden im Wintersemester 2024/2025 vier verschiedene Produkte formuliert:

1. Alternative Sahneformulierungen:
Die Herstellung einer pflanzenbasierten Sahnealternative wird durch gezielte Modifikationen der Emulgator- und Verdickerzusammensetzung analysiert. Dabei erfolgten eine Untersuchung der Mikro- und Makrostruktur sowie sensorische Tests (Abbildung 4A).
2. Alternative Verdickersysteme für Pudding:
Studierende untersuchen die molekularen Wechselwirkungen zwischen Stärkederivaten und alternativen Verdickungsmitteln unter Variation der Prozessparameter. Die Evaluierung erfolgt über Viskositätsprofile, Gelbildungsmechanismen und sensorische Evaluierungen (Abbildungen 4B und 4D).
3. Herstellung und Additivierung von Schmierstoffen:
Studierende analysieren die Produktformulierung von Schmierfetten und untersuchen deren Herstellung und Additivierung unter Variation der Prozessparameter sowie der Rezeptur. Die Charakterisierung erfolgt über Scherratentests, Amplitudensweeps, Spateltests sowie dynamische Differenzkalorimetrie zur Bestimmung der Oxidationsstabilität (Abbildung 4C).
4. Optimierung von Emulsionssystemen:
Im Fokus stehen die Stabilisierung und Performance von Öl-in-Wasser-(O/W-)Emulsionen für kosmetische Anwendungen. Die Formulierungen werden hinsichtlich Tropfengrößenverteilung, Fließverhalten und sensorischer Wahrnehmung untersucht (Abbildung 4E).

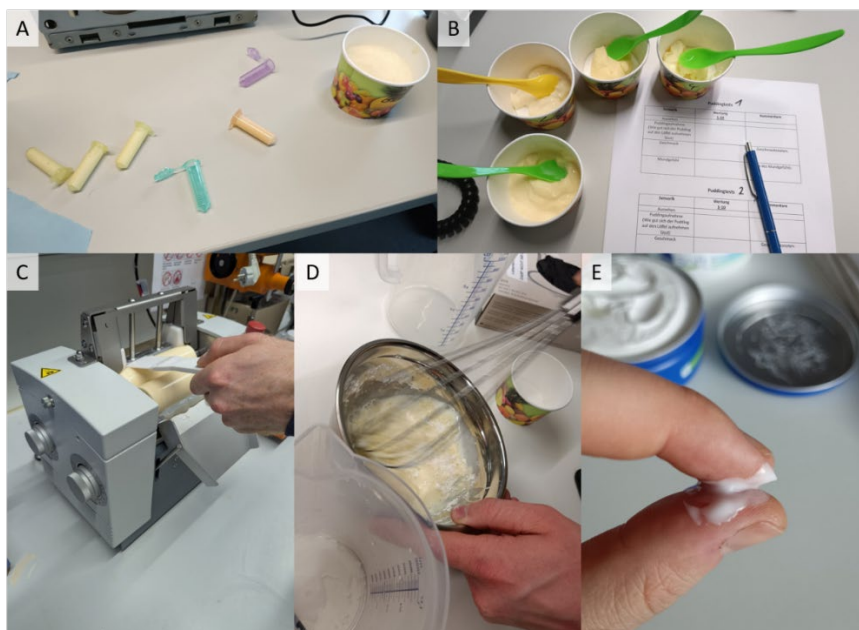


Abbildung 4: Experimentelle Herstellung und Untersuchung verschiedener Produktformulierungen im Praktikum (Bild: Dirk Sachsenheimer).

4.5. Nachhaltigkeit/Verwertung

Das Wahlfach „Grundlagen der Produktformulierung“ wurde von den Studierenden außerordentlich positiv aufgenommen und hat sich als großer Erfolg erwiesen. Die interdisziplinäre und praxisorientierte Gestaltung der Lehrveranstaltung hat nicht nur das wissenschaftliche Interesse an der Thematik signifikant intensiviert, sondern zugleich essenzielle methodische und analytische Kompetenzen auf einem hohen akademischen Niveau vermittelt. Besonders die synergetische Verbindung theoretischer Modellierung mit empirischer Validierung wurde als wissenschaftlich besonders wertvoll herausgestellt.

Angesichts der durchweg positiven Resonanz und der starken Nachfrage wird die Lehrveranstaltung weiter differenziert und im Wintersemester 2025/2026 in optimierter Form erneut angeboten. Die aus der ersten Implementierungsphase gewonnenen Erkenntnisse fließen in eine gezielte konzeptionelle Weiterentwicklung ein, um das didaktische Design weiter zu verfeinern und die praxisbezogenen Aspekte gezielt zu akzentuieren.

5. Vernetzung und Transfer

Die gezielte Förderung der Vernetzung und des Transfers in die industrielle Praxis zeigt sich besonders in der engen Kooperation mit Unternehmen. Das ausgeprägte Interesse der Industrie manifestiert sich in konkreten materiellen Beiträgen. So haben ein führender deutscher Stiftehersteller, eine bedeutende Drogeriemarktkette sowie mehrere international agierende Chemiekonzerne aktiv an der Lehrveranstaltung mitgewirkt, indem sie Materialien bereitstellten und fachlichen Input lieferten. Diese enge Verzahnung zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ermöglicht nicht nur eine praxisnahe Ausbildung, sondern auch wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung von Methoden zur Produktformulierung und -optimierung. Die langfristigen Effekte dieser Lehrveranstaltung werden insbesondere in den kommenden Bachelorarbeiten sichtbar werden, die eine verstärkte Systematisierung und wissenschaftliche Fundierung der entsprechenden Prozesse erwarten lassen.

6. Fazit und Ausblick

Die Implementierung des Wahlfachs „Grundlagen der Produktformulierung“ hat eindrucksvoll demonstriert, dass forschendes Lernen als methodischer Rahmen eine herausragende Effektivität hinsichtlich der nachhaltigen Wissensvermittlung aufweist. Die Studierenden profitieren nicht nur von einer fundierten theoretischen Basis, sondern insbesondere von der Möglichkeit, eigene Forschungsfragen zu generieren, experimentell zu bearbeiten und kritische Reflexionskompetenzen weiterzuentwickeln.

Die durchweg positiven Evaluationsergebnisse belegen die didaktische Effizienz des forschenden Lernens, insbesondere im Bereich der angewandten Chemie. Die strukturierte Verknüpfung theoretischer Modellierung mit experimentellen Validierungsprozessen hat sich als besonders förderlich für die akademische und berufliche Qualifikation der Teilnehmenden erwiesen. Die Möglichkeit, Hypothesen eigenständig zu entwickeln, Versuchsanordnungen zu konzipieren und die Ergebnisse analytisch einzuordnen, stellt eine essenzielle Vorbereitung auf wissenschaftliche wie industrielle Forschungs- und Entwicklungsaufgaben dar.

Die kontinuierliche Optimierung der Veranstaltung ist ein zentrales Anliegen. Zukünftig wird eine noch intensivere Praxisorientierung angestrebt, indem der Anteil an instruktionalen Lehrformaten weiter reduziert und durch interaktive, projektbasierte Arbeitsformen ersetzt wird. Die Einbindung von Industriepartnerinnen und -partnern wird weiter ausgebaut, um durch Gastvorträge und anwendungsnahe Fallstudien eine noch engere Verzahnung mit aktuellen Herausforderungen der industriellen Produktentwicklung zu erreichen. Bereits ein führendes Unternehmen der chemischen Industrie hat signalisiert, künftig einen Fachvortrag zur Produktformulierung zu übernehmen, was die enge Kooperation zwischen Wissenschaft und Industrie vertieft. Durch eine kontinuierliche empirische Evaluation und eine flexible Adaption an aktuelle wissenschaftliche und technologische Entwicklungen wird sichergestellt, dass die Veranstaltung eine nachhaltige Rolle in der akademischen Ausbildung spielt. Die bisherigen Erfahrungen verdeutlichen, dass forschendes Lernen in der Hochschuldidaktik einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung analytischer, methodischer und praxisbezogener Kompetenzen leistet. Die strategische Weiterentwicklung dieses Lehrkonzepts wird mit hoher Priorität vorangetrieben, um sowohl die wissenschaftliche Exzellenz als auch die Anwendungsrelevanz der vermittelten Inhalte weiter zu steigern.

7. Literatur

Bohnet (2012): Mechanische Verfahrenstechnik, Deutschland, Wiley.

Rumpf (1967): Über Eigenschaften von Nutztäuben, Staub – Reinhaltung der Luft, 27(1), 3-13.

Railway Challenge – Team EAGLE

Prof. Dr.-Ing. Roman Schaal

Fakultät für Maschinenbau und Versorgungstechnik / Institut für Fahrzeugtechnik

Zusammenfassung:

Die Railway Challenge ist ein internationaler Wettbewerb, bei dem Teams aus aller Welt innovative Lokomotiven in Parkbahnspurweite (260 mm) entwickeln und bauen. Diese Challenge vereint verschiedenste Fertigkeiten, da die Teams in diversen Disziplinen wie beispielsweise der Beschleunigungs-Challenge oder der Business-Case-Challenge gegeneinander antreten. Die Challenge findet sowohl als europäischer Wettbewerb in Bad Schussenried als auch in England statt. Neben der Konstruktion und Mechanik von Lokomotiven sowie der Elektronik stehen auch Softwareentwicklung, Marketing und das Projektmanagement im Fokus. Für die nächste Saison plant das Team EAGLE (Etablierte Arbeitsgruppe LokomotivEntwicklung) die Entwicklung eines neuartigen Fahrwerks sowie die Erneuerung des Elektroniksystems der Lokomotive „Automated Driving Locomotive for Efficient Railway (ADLER)“. Die Railway Challenge fördert nicht nur technisches Know-how, sondern auch Teamarbeit und den interdisziplinären Austausch.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Maschinenbau und Versorgungstechnik / Institut für Fahrzeugtechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Roman Schaal
Projektteam	Alexandra Arzberger, Konrad Bauer, Maximilian Centmeyer, Robert Dietze, Felix Ober, Erich Schönknecht
Kontakt Projektleitung	railway-challenge@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Das Forschungsprojekt entstand auf Basis der von der Institution of Mechanical Engineers (IMechE) ausgetragenen Railway Challenge [1]. Das Ziel der teilnehmenden Teams ist hierbei die Entwicklung einer kleinen Lokomotive. Abbildung 1 zeigt die Lokomotive ADLER der Saison 2024. Während des Entwicklungsprozesses erlernen die Teilnehmenden Aspekte der Produktentwicklung, des Projektmanagements, der Anwendung mechanischer Konstruktionsstrategien und Berechnungsmethoden und üben den Umgang mit elektronischen Steuersystemen sowie deren Programmierung. Aufgrund der Vereinigung verschiedener Fachbereiche bietet das Projekt zahlreiche Möglichkeiten für Schnittstellen mit der Lehre. So etwa ist die Verknüpfung mit dem Praktikum der Vorlesung Schienenfahrzeugtechnik an der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik derzeit bereits in Umsetzung. Außerdem können Projektarbeiten im Rahmen der Railway Challenge durchgeführt werden; aktuell beschäftigt sich eine Projektgruppe der Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik (efi) mit der Überarbeitung und Neukonzeption des Elektroniksystems.

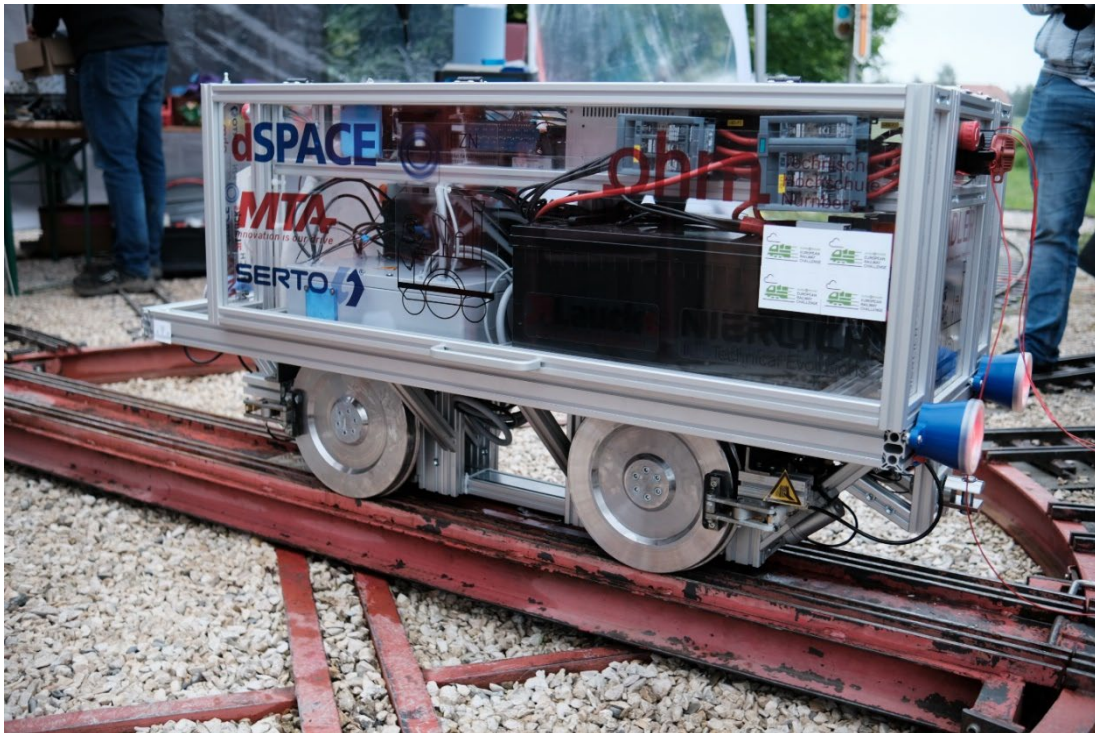


Abbildung 1: Lokomotive ADLER (Stand 2024). Bild: Robert Dietze

Das Team hat mit der Lok ADLER bereits zweimal erfolgreich an der European Railway Challenge [2] in Bad Schussenried teilgenommen. Um zum einen die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Konkurrenz zu erhöhen und zum anderen Raum für zukünftige Projekte zu schaffen, sollen im Jahr 2025 die folgenden Anpassungen an der Lok umgesetzt werden:

- Aufgaben des Railway-Challenge-Teams werden in das Praktikum zur Vorlesung der Schienenfahrzeugtechnik seit dem Semester Wintersemester 2024/2025 implementiert. Dies erhöht einerseits den Praxisbezug der Lehrveranstaltung, da eine Verknüpfung zu einem realen Projekt geschaffen wird. Andererseits profitiert das Team EAGLE hiervon, da das Praktikum neue Teammitglieder anwirbt und darüber hinaus Aufgaben in der Weiterentwicklung der Lok einschließt. Im Wintersemester 2024/2025 werden zwei Themen parallel bearbeitet: Die erste Gruppe befasst sich mit einem Konzept für einen unangetriebenen Radsatz und die zweite mit der Festlegung der Fahrwerksabmessungen anhand der Streckeneigenschaften.
- Zur Verbesserung der Bogenläufigkeit und des Fahrkomforts der derzeit mit starrem Fahrwerk ausgestatteten Lokomotive wird ein neues und ausdrehbares Drehgestell entwickelt und konstruiert. Zusätzlich wird das bisherige einfache Gummipuffersystem durch eine komfortorientierte Federung ersetzt. Ebenfalls kann durch die Verwendung des Drehgestells die Baulänge der Lokomotive erhöht werden, was eine optimierte Anordnung der Komponenten ermöglicht und zusätzlichen Platz für weitere elektronische Systeme bietet.
- Die derzeitige mechanische Bremse wurde 2022 mit relativ kleinem Budget und wenigen bekannten Variablen konstruiert. Die Auslegung mit hydraulischen Aktuatoren ist im Schienenfahrzeugbau weit verbreitet und bietet mehrere Vorteile, wie etwa eine gute Regelbarkeit und den geringen Strombedarf. Jedoch ergaben sich bei der praktischen Umsetzung erhebliche Probleme, darunter fehlerhafte Datenblätter, Probleme mit dem Kraftaufbau bei der Hydraulik und zu schwache mechanische Verbindungen. Eine neue Hydraulikanlage ist zwar in einem

fortgeschrittenen Zustand, kann jedoch aufgrund zeitlicher Kapazitäten und Bedenken hinsichtlich der Zuverlässigkeit der benutzten Komponenten voraussichtlich nicht umgesetzt werden. Daher soll ein Teil der Bremsanlage ersetzt werden. Die Bedienung soll ausschließlich mechanisch über Federn und Gelenke erfolgen. Des Weiteren werden neue Bremsbeläge angeschafft, die über bekannte und höhere Reibwerte verfügen. Ein großer Teil der gefertigten Komponenten kann wiederverwendet werden. Für die dritte Achse und die neuen Gelenke ist die Fertigung neuer Komponenten erforderlich. Hierbei handelt es sich um einfach zu fertigende Teile, die hoffentlich von einer Kooperationspartnerin beziehungsweise einem Kooperationspartner aus der Industrie kostengünstig gefertigt werden können.

- Die Lokomotive wird im Jahr 2025 mit einem überarbeiteten Elektroniksystem ausgestattet, um eine verbesserte Zuverlässigkeit, Regelkonformität und Sicherheit zu gewährleisten. Dabei werden alle Systeme grundlegend überarbeitet. Im Jahr 2024 wurde ein systemorientierter Ansatz verfolgt, bei dem in Kooperation mit Unternehmen Subsysteme spezifiziert, prokurirt, teilweise selbst entwickelt und vor allem integriert wurden, um ein möglichst zuverlässiges System zu erhalten. Methoden des Systems Engineering wie die Modellierung mit SysML, einer standardisierten Modellierungssprache, wurden genutzt, um die Anforderungen an die Lokomotive ganzheitlich abzudecken und Aufgaben, wie beispielsweise die elektromechanische Verbindung der Einzelsysteme, frühzeitig, effizient und elektrisch performant zu planen. Die Steuerung der Lokomotive ist auf einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) umgesetzt. Dadurch erhält das Team die Möglichkeit, Funktionen nach Industrie-Norm umzusetzen und einen professionellen Ansatz für die Software-Entwicklung zu verfolgen. Es wird dabei auf die Programmierumgebung CODESYS [3] zurückgegriffen, welche die Einbindung unterschiedlicher Baugruppen und Protokolle deutlich vereinfacht. Batterien und Motoren samt Controller sind mit standardisierten, offenen Schnittstellen vorgesehen, um unkompliziert auf die geforderten Daten wie etwa die Motordrehzahl oder Ladezustand der Batterie zuzugreifen. Zudem entwickelt das Team ein System für die Ansage und Anzeige von markanten Orten entlang der Fahrstrecke. Das Team verfolgt dafür einen innovativen Ansatz basierend auf der Technologie Radio Frequency Identification (RFID), der es mittels modulierter, elektromagnetischer Wellen erlaubt, im Gleisbett angebrachte, elektronisch codierte Etiketten auszulesen. Der Betrieb bei Geschwindigkeiten von 15 km/h in Kombination mit der eingesetzten Funkfrequenz von 13,56 MHz des Systems zeigt den forschenden Ansatz des Projektes, der in den Folgejahren weiter ausgebaut werden kann.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Die Lokomotive der Saison 2024 wird bezüglich der oben beschriebenen Aspekte weiterentwickelt. Im Jahr 2025 ist erstmalig die Teilnahme an der Railway Challenge in England geplant. Das Regelwerk der englischen Railway Challenge ist umfangreicher als das der europäischen Version in Bad Schussenried. Deshalb und aufgrund der zuvor beschriebenen umfassenden Neuerungen erfolgte noch im Jahr 2024 die Spezifikation der Lokomotive, welche die Definition von Anforderungen basierend auf dem Regelwerk sowie die Festlegung von Teamzielen umfasst, sowie die Entwicklung mechanischer und elektronischer Lösungskonzepte. Obwohl erste Komponenten bereits im Jahr 2024 beschafft werden, erfordert die Umsetzung der erarbeiteten Konzepte im Jahr 2025 finanzielle Mittel, unter anderem für den Transport des Fahrzeugs nach England inklusive notwendiger Zollkosten. Für die Fertigung der mechanischen Bauteile ist das Team bereits im Austausch mit dem Ausbildungszentrum von Siemens Mobility in Nürnberg. Mit der weiterentwickelten Lokomotive nimmt das Team EAGLE sowohl bei der europäischen als auch bei der englischen Railway Challenge im Sommer 2025 teil. Das Team EAGLE wird von Mitarbeitenden des Instituts

für Fahrzeugtechnik (IFZN) und der Fakultät Maschinenbau unterstützt, organisiert sich jedoch selbstständig. Hierdurch erlernen die Studierenden nicht nur technische Kompetenzen, sondern darüber hinaus auch wichtige Softskills, wie etwa organisatorische Aspekte oder die Anfertigung von Projektberichten. Des Weiteren können im Rahmen der Railway Challenge Projektarbeiten sowie Abschlussarbeiten durchgeführt werden. So etwa basiert das aktuelle Fahrgestell auf einer Bachelorarbeit.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die im Rahmen der Railway Challenge entwickelte Lokomotive kann stetig weiterentwickelt werden. Durch den Miniaturmaßstab bietet die Lokomotive außerdem eine Möglichkeit, innovative Konzepte in einem kleinen Maßstab zu erproben. Insbesondere das autonome Fahren ist derzeit ein zentrales Forschungsgebiet. Ein Beispiel ist das Forschungsprojekt des IFZN „RangierTerminal 4.0“ [4], das sich damit beschäftigt, wie eine automatisierte Lokomotive selbstständig Rangieraufgaben im Containerterminal des JadeWeserPorts in Wilhelmshaven ausführen kann. Durch die Expertise des Instituts für Fahrzeugtechnik können Konzepte für das autonome Fahren auf die Lokomotive ADLER übertragen und dort untersucht werden. Aus diesen Gründen bietet die Lokomotive eine ideale Plattform für Projekt- sowie Abschlussarbeiten.

5. Vernetzung und Transfer

Das Team der Railway-Challenge besteht aus Studierenden verschiedenster technischer Fachbereiche, unter anderem Maschinenbau, Versorgungstechnik Elektrotechnik Feinwerktechnik und Informationstechnik sowie Informatik. So kann das in den spezifischen Studiengängen erlernte Wissen interdisziplinär ausgetauscht werden. Aufgrund der zum Bau der Lokomotive benötigten Komponenten besteht eine Verbindung und damit ein Wissenstransfer mit den Unternehmen, welche diese Komponenten herstellen. Insbesondere mit dem Ausbildungszentrum von Siemens Mobility wird derzeit ein engerer Kontakt aufgebaut. Ziel hierbei ist, Dualstudierende in das Projekt der Railway Challenge einzugliedern und die Produktionskapazitäten des Ausbildungszentrums für die Fertigung mechanischer Bauteile zu nutzen. Des Weiteren bestehen durch die Teilnahme am Wettbewerb in Deutschland und in England Verbindungen mit den Veranstaltenden, zu den anderen teilnehmenden Teams sowie Sponsoren wie beispielsweise Alphatrain.

6. Fazit und Ausblick

Die Railway Challenge ermöglicht Studierenden verschiedener Fachrichtungen aus verschiedenen Fakultäten die interdisziplinäre Zusammenarbeit an einem Projekt. Die Zusammenarbeit an der Lokomotive ADLER fördert nicht nur die technische Kompetenz der Teammitglieder, sondern auch Softskills wie Projektmanagement. Außerdem bietet die Railway Challenge eine Plattform für studentische Arbeiten. Darüber hinaus können mit der Lokomotive ADLER innovative Entwicklungen, wie etwa autonomes Fahren, im kleinen Rahmen erprobt werden.

7. Literatur

- [1] IMechE, *Railway Challenge*, 2024, [online] verfügbar unter: <https://www.imeche.org/events/challenges/railway-challenge>
letzter Zugriff am 27.11.2024, 19:54 Uhr.
- [2] Alpha Trains, *European Railway Challenge*, 2024, [online] verfügbar unter: <https://railwaychallenge.eu/>
letzter Zugriff am 27.11.2024, 19:56 Uhr.
- [3] 3S-Smart Software Solutions GmbH, *CODESYS*, 2024, [online] verfügbar unter: <https://www.codesys.com/>
letzter Zugriff am 27.11.2024, 19:42 Uhr.
- [4] RangierTerminal4.0: Automatisiertes Rangieren im JadeWeserPort, EI – Der Eisenbahningenieur, Dezember 2021.

DriveOhm

Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen mit Systems Engineering Methoden

Prof. Dr.-Ing. Christina Singer

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik

Zusammenfassung:

Die Automobilindustrie steht unter einem enormen Transformationsdruck. Autonomes Fahren, Elektromobilität und Digitalisierung stellen große technische Herausforderungen dar. Diese innovativen Themen werden im Bachelor Maschinenbau in der neuen Lehrveranstaltung „Fahrzeugelektronik und -software“ aufgegriffen. Um die Lerninhalte für die Studierenden praktisch erlebbar zu machen, wurden im Rahmen des Lehrforschungsprojekts „DriveOhm“ mehrere Modelldfahrzeuge inklusive moderner Umfeldsensorik und Recheneinheiten angeschafft, mit denen die Studierenden mechatronische Fahrzeugsysteme im Modellmaßstab entwickeln. Im Jahr 2024 haben die Studierenden damit im Praktikum eigenständig automatisierte Fahrfunktionen umgesetzt und dabei Methoden des Systems Engineering erfolgreich angewendet.

1. Projektdaten

Fördersumme	6.000 Euro
Laufzeit	Januar bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Maschinenbau und Versorgungstechnik
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Christina Singer
Projektteam	Ralf Falgenhauer, Dipl.-Ing. (FH) Barbara Hagel, M. Eng., Dipl.-Ing. (FH)
Kontakt Daten Projektleitung	christina.singer@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Die Fahrzeugindustrie steht vor tiefgreifenden Veränderungen, die durch Elektromobilität, autonomes Fahren sowie Digitalisierung und Vernetzung vorangetrieben werden [1]. Diese Entwicklungen stellen nicht nur technische Herausforderungen dar, sondern erfordern auch neue Ansätze in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Traditionell stark theoretisch geprägte Lehrkonzepte stoßen hier an ihre Grenzen, da sie oft nicht ausreichend auf die praktischen Anforderungen der Industrie vorbereiten. Vor diesem Hintergrund wurde das Projekt „DriveOhm“ ins Leben gerufen, das als Lehrforschungsprojekt Studierenden praxisnahe Einblicke in moderne Fahrzeugtechnologien und Entwicklungsmethoden ermöglicht.

Ausgangspunkt für das Projekt ist die Lehrveranstaltung „Fahrzeugelektronik und -software“, die von der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik neu in den Bachelorstudiengang Maschinenbau integriert wurde (erstmalige Durchführung im Wintersemester 2024/2025). Inhaltlich werden dort die Grundlagen für die Entwicklung mechatronischer Systeme im Kraftfahrzeug gelegt. Beispielhafte Themen sind: Architekturen von mechatronischen Systemen, Bordnetze, Kommunikationssysteme sowie Fahrzeugsensorik und -aktuatorik. In der Lehrveranstaltung wird aber auch thematisiert, wie komplexe mechatronische Fahrzeugsysteme methodisch entwickelt werden, zum Beispiel Anforderungsmanagement, Systemarchitekturentwurf sowie Verifikation und Validierung.

Basierend auf der Erkenntnis, dass theoretische Lerninhalte durch praxisnahe Anwendung effektiver verinnerlicht werden (vergleiche [2]), wird im Rahmen der Veranstaltung ein Praktikum angeboten, das auf den Prinzipien des problembasierten Lernens (vergleiche [3] und [4]) und der forschungsorientierten Lehre (vergleiche [5] und [6]) basiert. Im Rahmen des Lehrforschungsprojektes wurden für dieses Praktikum mehrere speziell ausgestattete Modellfahrzeuge angeschafft, die als experimentelle Plattform dienen, auf der Studierende in Teams praxisnahe Entwicklungs- und Forschungsaufgaben bearbeiten.

Zentrales Ziel des Projekts ist es, die Brücke zwischen theoretischem Wissen und praktischer Anwendung zu schlagen. Konkret sollen die Studierenden:

- innovative Fahrzeugfunktionen selbst entwickeln und testen,
- Methoden des Systems Engineering praktisch anwenden,
- überfachliche Kompetenzen wie Selbstorganisation, Kommunikationsfähigkeit und Projektmanagement erwerben.

Die Lehrforschungskonzeption ermöglicht zudem eine enge Verknüpfung von praxisorientierter Ingenieurausbildung und wissenschaftlicher Arbeit (vergleiche [7]). Die Studierenden profitieren dabei nicht nur von der praktischen Anwendung ihres Wissens, sondern lernen auch, wissenschaftliche Fragestellungen zu identifizieren, Lösungsansätze zu entwickeln und Ergebnisse kritisch zu reflektieren. Darüber hinaus werden das wissenschaftliche Schreiben und die Präsentation der Ergebnisse geübt.

Durch „DriveOhm“ erhalten Studierende die Möglichkeit, sich spielerisch mit den Herausforderungen der modernen Fahrzeugtechnik auseinanderzusetzen. Dabei werden Hemmschwellen im Umgang mit Elektronik, Softwareentwicklung und wissenschaftlichem Arbeiten abgebaut, während gleichzeitig das Interesse und die Begeisterung für innovative Mobilitätslösungen gefördert werden. Das Projekt leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung der nächsten Generation von Ingenieurinnen und Ingenieuren, die die Zukunft der Mobilität aktiv mitgestalten werden.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Projekt „DriveOhm“ gliedert sich in drei Phasen: Vorbereitung, Implementierung und Abschluss.



Abbildung 1: Impressionen aus dem Projekt „DriveOhm“. Bilder: Sandra Eichenseher

In der Vorbereitungsphase erwerben die Studierenden im seminaristischen Unterricht die notwendigen Soft- und Hardwarekenntnisse. Darüber hinaus erarbeiten sie gemeinsam mit der Dozentin anhand kleinerer Beispiele und Übungen die methodischen Grundlagen für die Entwicklungsarbeit. Außerdem lernen die Studierenden die Entwicklungsumgebung (MATLAB/Simulink und ROS2) und das Fahrzeug anhand von kleinen Übungen und Online-Tutorials kennen.

Anschließend bearbeiten die Studierenden in der Implementierungsphase in Teams von zwei bis fünf Personen praxisnahe Forschungsthemen, wie die Umfelderkennung mit Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) (zum Beispiel Erkennung von Fahrstreifen, Verkehrszeichen und Hindernissen), die Entwicklung autonomer Fahrfunktionen (zum Beispiel Notbremsung) oder das autonome Befahren einer Rennstrecke. Die Teams treten dabei im Wettbewerb gegeneinander an.

Das Vorgehen während der Projektbearbeitung orientiert sich an der Methodik des V-Modells nach VDI/VDE 2206 „Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme“ [10]. Zunächst definieren die Studierenden die Ziele ihres Projektes und leiten daraus konkrete Anforderungen an das zu entwerfende System ab. Darauf aufbauend erfolgt die systematische Entwicklung von Lösungskonzepten, wobei die Studierenden ihre Realisierung zunächst anhand von Systemarchitektursichten in SysML entwerfen. Anschließend wird die eigentliche Programmierung der Funktion in MATLAB/Simulink durchgeführt. Zuletzt findet die Integration der Funktion in das Modellfahrzeug sowie der Test und die Optimierung des Systems statt. Hier wird anhand von selbst definierten Testfällen überprüft, ob die zu Beginn des Projekts definierten Anforderungen vom entwickelten System auch tatsächlich erfüllt werden. Zur Projektarbeit gehört auch die Durchführung einer Risikoanalyse, um mögliche Gefahren und Schwachstellen im System frühzeitig zu identifizieren, zu bewerten und entsprechende Vermeidungsmaßnahmen einzuleiten.

In der Implementierungsphase erwerben die Studierenden so sowohl fachliche als auch methodische Kompetenzen, die sie optimal auf eine spätere Tätigkeit in Forschung und Entwicklung vorbereiten. Die Entwicklungsarbeit erfolgt weitgehend selbständig. Unterstützend finden regelmäßige Treffen (circa alle zwei Wochen) statt, bei denen die Teams den aktuellen Stand ihrer Entwicklungen diskutieren. Dies schult die Kommunikationsfähigkeit der Studierenden und fördert das Gemeinschaftsgefühl.

Am Ende des Semesters, in der Abschlussphase, präsentieren die Studierenden ihre Ergebnisse anhand eines wissenschaftlichen Posters und demonstrieren in einer Vorführung den anderen Gruppen die Funktionsweise ihrer entwickelten Funktion. Diese Abschlussveranstaltung stärkt nicht nur die Präsentationsfähigkeiten der Studierenden, sondern fördert auch den wissenschaftlichen Austausch. Zusätzlich wird von jedem Team eine strukturierte Dokumentation in Form eines wissenschaftlichen Berichtes erstellt, der als Studienarbeit bewertet wird. Dies dient dazu, das wissenschaftliche Schreiben in Vorbereitung auf die Bachelorarbeit zu üben. Die Ergebnisse sollen darüber hinaus den nachfolgenden Projektteams in den kommenden Semestern als Wissensbasis zur Verfügung gestellt werden. Die Konzepte der Studierenden werden anschließend nach festgelegten Kriterien bewertet, unter anderem methodische Vorgehensweise, Zusammenarbeit im Team, technische Umsetzung, Innovationsgrad, Qualität der Dokumentation sowie Präsentation der Ergebnisse.

Die Evaluation des Lehrforschungsprojektes findet in zweierlei Form statt. Zum einen reflektieren die Teilnehmer in der Studienarbeit ihren Lernprozess anhand einzelner Fragen schriftlich. Zusätzlich findet ein Abschlussgespräch statt, bei dem die Studierenden die Vorgehensweise und Umsetzung des Projektes ausführlich mit den beteiligten Mitarbeitenden und der Dozentin diskutieren. Dies dient dazu, Verbesserungsvorschläge für die Durchführung des Projekts in den folgenden Semestern zu sammeln.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Im Rahmen des Projekts „DriveOhm“ wurden drei baugleiche Fahrzeugsets angeschafft. Jedes Set besteht aus einem Modellfahrzeug (Maßstab 1:10), welches mit zusätzlicher Sensorik (unter anderem Lidar- und Kamera-Sensorik) sowie einer Recheneinheit (zum Beispiel Raspberry Pi) ausgestattet ist (siehe Abbildung 1). Für den initialen Aufbau und die Konfiguration der Fahrzeuge wurden zwei Projektarbeiten ausgeschrieben, die im Sommersemester 2024 von Studierenden der Fakultäten Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik sowie Maschinenbau und Versorgungstechnik durchgeführt wurden [8, 9].

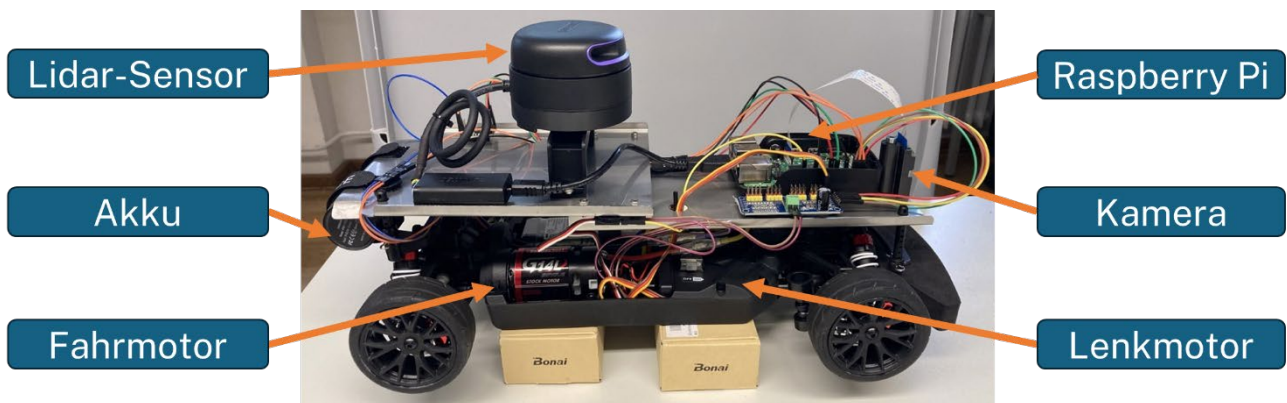


Abbildung 2: Aufbau des Modellfahrzeugs [8].

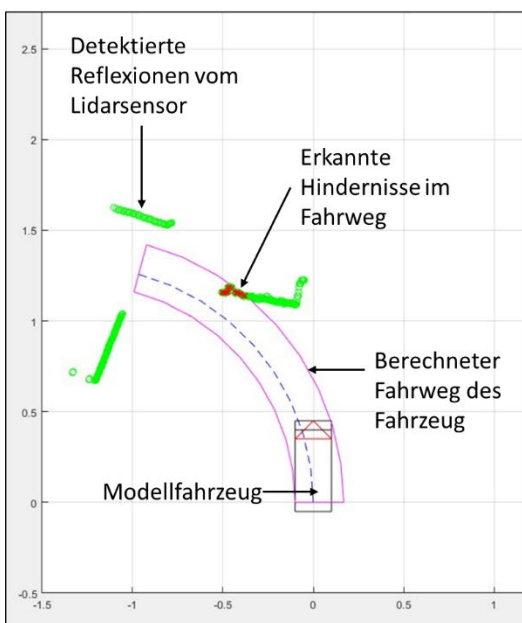
Im Wintersemester 2024/2025 fand der erste Einsatz der Modellfahrzeuge im Wahlpflichtfach „Fahrzeugelektronik und -software“ statt. 26 Studierende in 9 Teams bearbeiteten dabei im Rahmen des Praktikums Aufgaben aus dem Bereich moderner Fahrerassistenzsysteme auf Basis von Lidar-Sensorik. Bei dieser Sensortechnologie wird ein stark gebündelter Lichtstrahl hoher Intensität im Wellenbereich des nicht sichtbaren Lichts ausgesandt und die Zeit gemessen, bis der am Objekt reflektierte Lichtstrahl wieder auf den Sensor trifft. Aus der Signallaufzeit kann die Entfernung zum Objekt berechnet werden [11]. Die Entfernungsmessung mit Lidar ist im Vergleich zu anderen Sensoren, wie zum Beispiel Kameras, sehr genau. Zudem kann aus den ermittelten Reflexionspunkten in Sensorhöhe eine zweidimensionale Umgebungsdarstellung generiert werden.

Moderne Straßenfahrzeuge verfügen über eine Vielzahl von Fahrerwarnsystemen wie Abstandswarner, Rückfahrasistent oder Spurhaltewarner. Diese Sicherheitssysteme machen die Fahrerin oder den Fahrer auf potenzielle Gefahren aufmerksam. Durch die frühzeitige visuelle, akustische oder haptische Warnung bleiben der Fahrerin oder dem Fahrer Zeit, angemessen auf die Gefahrensituation zu reagieren, so dass kritische Verkehrssituationen vermieden werden können [11].

Im Projekt „DriveOhm“ entwickelten drei studentische Teams Warnkonzepte für das Modellfahrzeug, die den Bedienenden auf mögliche Kollisionshindernisse im Fahrzeugumfeld hinweisen. Dazu scannt der eingesetzte Lidar-Sensor die Fahrzeugumgebung im gesamten Umkreis um das Fahrzeug (360° , maximale Reichweite circa 10 m). Anhand der erfassten Reflexionen können dann Objekte im Fahrzeugumfeld detektiert werden (siehe Abbildung 3). Zusätzlich prognostizieren die Software-Algorithmen auf Basis der Fahrzeugparameter Geschwindigkeit und Lenkwinkel die zukünftige Trajektorie des Fahrzeugs. Liegen

einzelne Reflexionspunkte des Lidar-Sensors innerhalb der berechneten Trajektorie, kann ein Objekt als Hindernis deklariert und eine entsprechende Aktion eingeleitet werden. Durch die Definition verschiedener Warnzonen kann eine abgestufte Warnung an den Bedienenden erfolgen.

Eine Gruppe hat eine Warnfunktion in Form einer Ampel entwickelt, die den Bereich vor dem Fahrzeug, also den direkten Fahrweg, überwacht. Abhängig vom Abstand des Fahrzeugs zu einem erkannten Objekt werden dann die Farben Grün (kein Hindernis im Fahrweg), Gelb (Hindernis im Fahrweg, aber noch weit entfernt) und rot (Hindernis nah am Fahrzeug) an den PC des Bedienenden zurückgemeldet. Ein anderes Team implementierte einen Totwinkel-Assistenten. Dieser überwacht den seitlichen Bereich des Fahrzeugumfelds, den die Fahrerin und der Fahrer bei einem Pkw trotz korrekt eingestellter Spiegel oft nicht direkt einsehen können.



Szenario: Das Modellfahrzeug fährt auf drei Objekte zu. Der Lidarsensor erfasst die Umrisse der Objekte (grüne Punkte). Hindernisse im voraussichtlichen Fahrweg (pinke Markierung) werden detektiert (rote Punkte).

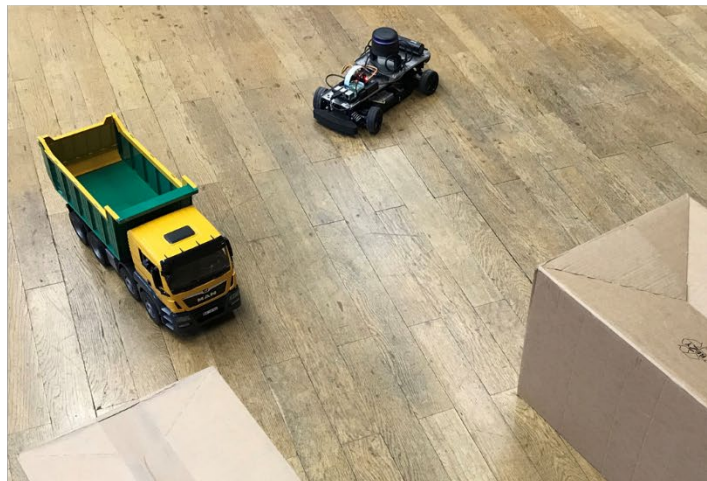


Abbildung 3: Funktionsweise der Fahrwegüberwachung mit einem Lidar-Sensor. Bild: Christina Singer

Drei weitere Teams entwickelten im Projekt „DriveOhm“ eine automatische Notbremsfunktion für das Modellfahrzeug. Dieses Sicherheitssystem kommt bei Straßenfahrzeugen zum Einsatz, wenn die Fahrerin oder der Fahrer bei einer drohenden Kollision mit einem Hindernis nicht rechtzeitig reagieren oder die Gefahr nicht erkennen. In diesem Fall leitet das System automatisch eine Bremsung ein, die den Zusammenstoß verhindert oder zumindest die Folgen abmildert [11]. Bei den Modellfahrzeugen wurde für die Überwachung des Fahrzeugumfeldes ebenfalls der Lidar-Sensor verwendet. Befinden sich Hindernisse im zukünftigen Fahrweg des Fahrzeugs, deren Abstand einen einstellbaren Schwellwert (zum Beispiel 1,5 m) unterschreitet, wird automatisch eine Notbremsung eingeleitet (siehe Abbildung 4). Dabei können verschiedene Bremsstrategien zum Einsatz kommen. Zum einen ist es möglich, das Fahrzeug nur so weit abzubremsen, dass es genau vor dem Hindernis zum Stehen kommt (sogenannte Zielbremsung). Eine andere Strategie bremst das Fahrzeug bei Hindernissen sofort mit maximaler Verzögerung ab (Maximalbremsung). Es konnten aber auch abgestufte Regelstrategien erprobt werden, bei denen die Bremswirkung stufenweise eingestellt wird.

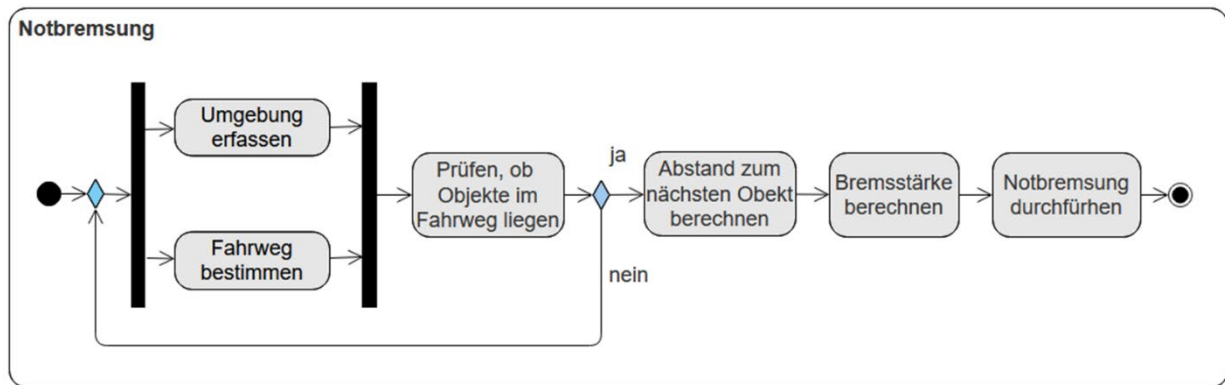


Abbildung 4: Aktivitätsdiagramm der Notbremsfunktion. Bild: Christina Singer

Ein ebenfalls fortschrittliches Fahrerassistenzsystem ist die automatische Ausweichfunktion, die von drei weiteren Teams umgesetzt wurde. Sie ergänzt die Notbremsfunktion und kommt zum Einsatz, wenn eine Bremsung allein nicht ausreicht, um einen Unfall zu verhindern. In diesem Fall wird die Kollision vermieden, indem das Fahrzeug automatisch um das Hindernis herumgelenkt wird [12]. Auch hier nutzen die Teams den Lidar-Sensor, um Objekte im Fahrweg zu erkennen. Ihre Algorithmen berechnen, ob eine Kollision mit einem Hindernis droht und ob und in welche Richtung ein Ausweichmanöver möglich ist. Die Recheneinheit steuert dann direkt die Lenkung des Fahrzeugs und führt selbständig ein autonomes Ausweichmanöver durch. Dabei wird das Fahrzeug kontrolliert um das Hindernis herumgelenkt, so dass ein Unfall vermieden wird.

Die im Projekt „DriveOhm“ entwickelten Assistenzsysteme sind zentraler Bestandteil moderner Fahrzeugsicherheit und tragen dazu bei, Unfälle zu vermeiden und die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden zu erhöhen [13].

Im Rahmen des Lehrforschungsprojektes konnten die Studierenden vielfältige Erfahrungen sammeln, insbesondere in der praktischen Anwendung theoretischen Wissens. Laut ihrem schriftlichen Lernfeedback bot das Projekt eine effektive Plattform, um ihre Kenntnisse im Bereich innovativer Fahrerassistenztechnologien zu erweitern. Die Teilnehmenden hoben hervor, dass sie wertvolle Kompetenzen in der modellbasierten Softwareentwicklung mit MATLAB/Simulink, der Programmierung von Einplatinencomputern (Raspberry Pi) und der Nutzung der Middleware ROS für die Fahrzeugkommunikation erworben haben. Zudem entwickelten sie Fähigkeiten in der systematischen Entwicklung mechatronischer Systeme, einschließlich Anforderungsdefinition, Systemarchitekturentwurf in SysML, Testfallentwicklung und Risikoanalyse. Auch die Stärkung sozialer Kompetenzen wie Teamarbeit, Zeitmanagement sowie Koordinations- und Konfliktfähigkeit wurde von den Studierenden als wichtiger Lernaspekt zurückgemeldet.

Das Feedback der Studierenden zeigt die großen Stärken des Projekts: Die Studierenden schätzten vor allem den hohen Praxisbezug und die Möglichkeit eigenverantwortlich zu arbeiten. Außerdem wurden die effektive Teamarbeit sowie die gute Kommunikation innerhalb des Teams sowie mit den Betreuenden als Erfolgsfaktor hervorgehoben. Es gab aber auch einige Herausforderungen zu bewältigen. Zu Beginn traten Anlaufschwierigkeiten auf, die vor allem auf unterschiedliche Vorkenntnisse innerhalb der Teams sowie auf Verständnisprobleme hinsichtlich des technischen Aufbaus und der zugrundeliegenden Softwarestruktur zurückzuführen waren. Darüber hinaus ergaben sich im Projektverlauf unvorhergesehene Schwierigkeiten mit der Hard- und Software, die zu zeitlichen Verzögerungen und erhöhtem Arbeitsaufwand führten.

Trotz dieser Herausforderungen ermöglichte das Projekt den Studierenden, wertvolle Erfahrungen zu sammeln und ihre Kompetenzen in den Bereichen Technik, Methodik und Sozialkompetenz zu erweitern. Die Studierenden betonten, dass sie durch die gewonnenen Erkenntnisse besser auf zukünftige Herausforderungen in ihrem Studium und Beruf vorbereitet sind.

Die angeschafften Fahrzeuge werden ab dem Sommersemester 2025 auch noch in anderen Lehrveranstaltungen an der Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik eingesetzt, unter anderem im Wahlpflichtfach „Fahrerassistenzsysteme und autonomes Fahren“ im Master Maschinenbau. Zudem sind mehrere Projekt- und Abschlussarbeiten ausgeschrieben, in denen innovative Fragestellungen aus der Fahrzeugtechnik mithilfe der Fahrzeuge bearbeitet werden können (zum Beispiel die Entwicklung einer virtuellen Testumgebung für die RC-Fahrzeuge oder die Entwicklung einer Lokalisierungsfunktion). Damit ist eine nachhaltige Verwendung der Projektmittel sichergestellt.

Darüber hinaus werden die Ergebnisse des Projekts in Form eines Beitrags zum Thema „Systems Engineering in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre: Herausforderungen und Good Practices“ auf dem sechsten MINT-Symposium (17. bis 19. September 2025) vorgestellt und diskutiert.

5. Vernetzung und Transfer

Im Projektverlauf standen den studentischen Teams die wissenschaftlichen Mitarbeitenden des Instituts für Fahrzeugtechnik (IFZN) als Diskussionspartnerinnen und -partner zur Verfügung. Das IFZN hat seine Forschungsschwerpunkte in den Themenfeldern „Alternative Antriebe“ (zum Beispiel Projekt V2-DoRR) und „Automatisiertes Fahren“ (zum Beispiel Projekte „Rangierterminal4.0“ und „TrackVision“) und ist als fester Bestandteil der angewandten Forschung an der Hochschule etabliert. Aktuelle Forschungsarbeiten des IFZN konnten als direkter Input für die Studierenden genutzt werden. Durch die Vernetzung mit den wissenschaftlichen Mitarbeitenden wurden die Studierenden zudem bereits während des Bachelorstudiums auf eine mögliche Karriere in der Forschung aufmerksam gemacht.

Darüber hinaus fand während des Projektes ein Austausch mit Studierenden des Masterstudiengangs Maschinenbau statt. Die Teams erhielten von Studierenden des Wahlpflichtfachs „Systems Engineering“ Feedback zu ihren Entwicklungsergebnissen (zum Beispiel Anforderungen, Systemarchitektur, Testkonzept) und reflektierten so auch ihr wissenschaftliches Vorgehen. Ein Austausch mit Studierenden des Wahlpflichtfachs „Fahrerassistenzsysteme und autonomes Fahren“ diente dazu, die entwickelten Konzepte zu diskutieren und fachlichen Input für die Umsetzung der Lösung zu erhalten. Das Projekt stärkte damit auch den Austausch über Studiengangs-Grenzen hinweg.

6. Fazit und Ausblick

Das Projekt „DriveOhm“ macht die Lerninhalte der Veranstaltung „Fahrzeugelektronik und -software“ im Bachelor Maschinenbau für die Studierenden praktisch erlebbar. Anhand von Modellfahrzeugen können die Studierenden eigenständig mechatronische Fahrzeugsysteme entwickeln und dabei Methoden des Systems Engineering anwenden. Im Wintersemester 2024/2025 lag der Schwerpunkt des Projektes auf der Entwicklung moderner Fahrerassistenzsysteme auf Basis von Lidar-Sensorik. So entwickelten die Studierendenteams Notbrems- und Ausweichfunktionen und setzten Warnkonzepte für die Umfeldüberwachung um. Die Rückmeldungen der Studierenden in ihren Projektberichten bestätigen die Wirksamkeit des Projektes. Die Faszination für Zukunftstechnologien wie autonome Mobilität wurde geweckt und die Studierenden fühlen sich somit für den Einsatz in der Berufspraxis besser gewappnet.

Das von den Studierenden sehr positiv bewertete Projekt „DriveOhm“ wird 2025 im Rahmen einer weiteren Förderung durch die Lehrforschung der Ohm fortgesetzt. Geplant ist, die Fahrumgebung für die Modellfahrzeuge, die derzeit nur aus Straßenmatten besteht, zu erweitern. Dazu wird gemeinsam mit den Studierenden eine kleine Modellstadt aufgebaut. Damit können komplexere Fahrsituationen abgebildet und die autonomen Funktionen der Fahrzeuge (zum Beispiel im Bereich der Bildverarbeitung mit KI-Algorithmen) deutlich erweitert werden.

Um die Entwicklungsergebnisse einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen, ist eine Präsentation des Projektes „DriveOhm“ im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften 2025 geplant. Die Ausstellung der Fahrzeuge und die Präsentation der entwickelten Fahrzeugsysteme dienen dazu, die Attraktivität der Ohm nach außen zu tragen und können so Ausgangspunkt für Kontakte zu möglichen Forschungspartnerinnen und -partnern sein.

7. Literatur

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): „Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft“. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/expertenkreis-transformation-der-automobilwirtschaft.html>, aufgerufen am 25.02.25.
- [2] Kolb, D. A.: “Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development“. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984.
- [3] Barrows, H. S.: “Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview“. In L. Wilkerson & W. H. Gijselaers (Eds.): “Bringing problem-based learning to higher education: Theory and practice“. 3–12, Jossey-Bass, 1996.
- [4] Hmelo-Silver, C. E.: “Problem-based learning: What and how do students learn? Educational Psychology Review, 16(3), 235–266, 2004.
- [5] Healey, M., & Jenkins, A.: “Developing undergraduate research and inquiry“. Higher Education Academy, 2009.
- [6] Brew, A.: “Understanding the scope of undergraduate research: A framework for curricular and pedagogical decision-making“. Higher Education, 66(5), 603–618, 2013.
- [7] Biggs, J., & Tang, C.: “Teaching for Quality Learning at University“. 4. Auflage. McGraw-Hill/Society for Research into Higher Education & Open University Press, 2011.
- [8] Crimmann, R., Nagl, C., Schleier, D.: „Entwicklung von autonomen Fahrfunktionen am Beispiel eines RC-Fahrzeugs“. Projektarbeit im Studiengang Mechatronik/Feinwerktechnik (B. Eng.), Technische Hochschule Nürnberg, 2024.
- [9] Lockl, N., Mütsch, S., Sagdic, M., Schönknecht, E.: „Entwicklung von autonomen Fahrfunktionen auf Basis eines RC-Fahrzeugs“. Studienarbeit im Studiengang Maschinenbau (M. Sc.), Technische Hochschule Nürnberg, 2024.
- [10] VDI/VDE 2206:2021-11: „Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme“. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2021.
- [11] Winner, H.; Hakuli, S.; Lotz, F.; Singer, C. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. ATZ/MTZ-Fachbuch, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2015.
- [12] Seewald, A. et al.: „Notausweichassistent zur Vermeidung von Kollisionen“. In: ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift. Ausgabe 117, S. 26-31, 2015.
- [13] Kühn, M. et al.: Fahrerassistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen – Unfallgeschehen und Sicherheitspotenziale. In: Winner et al.: Handbuch Assistiertes und Automatisiertes Fahren. ATZ/MTZ-Fachbuch. Springer, Wiesbaden, 2024.

Quantenmagnetfeldsensor

Prof. Dr. Andreas Stute

Fakultät für Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik und Fakultät für angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Wagner

Fakultät für Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Lucas Kirchbach, M. Sc.

Fakultät für Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Zusammenfassung:

Um den Sprung der Quantentechnologien von der Grundlagenforschung in die industrielle Anwendung zu bewerkstelligen [1], ist die Awareness von Quantentechnologien in Ingenieur-Studiengängen grundlegend [2]. In diesem Projekt wurde von Studierenden der Elektro- und Informationstechnik und der angewandten Mathematik und Physik eine Testumgebung implementiert, mit dessen Hilfe das Funktionsprinzip eines Quantenmagnetfeldsensors demonstriert werden konnte. Im Laufe von studienbegleitenden Projektarbeiten in einem Forschungslabor konnten die Studierenden neben einem Einblick in andere Fachdisziplinen durch den Austausch mit Doktorandinnen und Doktoranden und Masterandinnen und Masteranden einen Einblick in die angewandte Forschung auf dem Gebiet der Quantentechnologien gewinnen.

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	Februar 2024 bis Februar 2025
Fakultät/Einrichtung	Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Andreas Stute
Projektteam	Prof. Dr.(-Ing.) Bernhard Wagner Lucas Kirchbach, M. Sc.
Kontakt Daten Projektleitung	andreas.stute@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Der technologische Fortschritt im Bereich der Quantenmesstechnik eröffnet neue Möglichkeiten für hochpräzise Sensoren. Quantenmagnetfeldsensoren basieren auf den quantenmechanischen Eigenschaften von Atomen und ermöglichen präzise Magnetfeldmessungen, die unter anderem in der Medizintechnik, Geophysik und Navigation Anwendung finden. Ein Praktikumsversuch zur Laserspektroskopie im Labor „Optische Quantentechnologien“ könnte das fundamentale Funktionsprinzip dieser Technologie demonstrieren, wenn eine zuverlässige Testumgebung für solche Sensoren vorhanden wäre, die ein hochstabiles und präzise einstellbares Magnetfeld erzeugen kann.

Das Ziel des Lehrforschungsprojektes „Quantenmagnetfeldsensor“ war daher die Entwicklung einer stabilen Magnetfeld-Testumgebung zur Demonstration dieser Technologie mit Hilfe der Laserspektroskopie.

Das Projekt wurde als Lehrforschung konzipiert, da es sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse generieren als auch Studierenden praxisnahe Erfahrungen im Forschungsprozess vermitteln sollte. Das übergeordnete Ziel war die Konstruktion, Implementierung und Charakterisierung eines Helmholtz-Spulenpaares mit zugehöriger Stromregelung für die Erzeugung einer homogenen Magnetfeld-Testumgebung. Die Ziele waren im Einzelnen:

- die theoretische Berechnung der Magnetfeldverteilung,
- die Auslegung von Geometrie der Helmholtz-Spulenpaare sowie einer präzisen Stromregelung,
- den Bau und die Inbetriebnahme der Spulen,
- die experimentelle Verifikation der Magnetfeldhomogenität und -stabilität,
- den Einsatz der Magnetfeld-Testumgebung in der Laserspektroskopie.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Das Projekt wurde in mehreren studienbegleitenden Projektarbeiten umgesetzt. Die einzelnen Projektarbeiten dienten als praxisnahe, interdisziplinäre Forschungsmodule, die verschiedene Fachbereiche wie Elektrotechnik, Physik und Regelungstechnik vereinten. Studierende übernahmen eigenverantwortlich verschiedene Aufgaben, von der Konzeptentwicklung über die praktische Umsetzung bis hin zur wissenschaftlichen Dokumentation. Dabei arbeiteten sie eng mit den Forschenden im Labor zusammen, um praxisnahe Lösungen zu entwickeln. Die einzelnen Projekte wurden jeweils in verschiedene Phasen eingeteilt:

1. **Theoretische Grundlagenarbeit:** Studierende erarbeiteten sich die theoretischen Grundlagen zur Auslegung von Helmholtz-Magnetfeldspulen, Stromregelung und Laserspektroskopie.
2. **Konstruktion und Simulation:** Design und Simulation des Helmholtz-Spulenpaares sowie der Regelung wurden mit modernen Simulationswerkzeugen umgesetzt.
3. **Praktische Umsetzung:** Fertigung der Spulen, Aufbau der Stromversorgung und Implementierung der Regelung.
4. **Experimentelle Charakterisierung:** Vermessung der Magnetfeldhomogenität und -stabilität mit einem Hall-Sensor und Demonstration des Quantenmagnetfeldsensors mit Hilfe der Laserspektroskopie.
5. **Auswertung und Dokumentation:** Ergebnisse wurden zusammengefasst und in Form wissenschaftlicher Berichte aufbereitet.

Einblick in andere Fachgebiete sowie wissenschaftliche Arbeitsmethoden konnten die Studierenden zum Beispiel bei der digitalen Ansteuerung eines Lasersystems, der Programmierung eines dreiachsigen Verfahrtes, dem automatisierten Auslesen eines Hall-Sensors auf einem Raspberry Pi und der wissenschaftlichen Datenauswertung in der Programmiersprache Python gewinnen. Diese technischen sowie methodischen Fähigkeiten ermöglichten es den Studierenden, über ihr primäres Fachgebiet hinaus praxisrelevante Kenntnisse in Hard- und Softwareentwicklung zu erlangen.

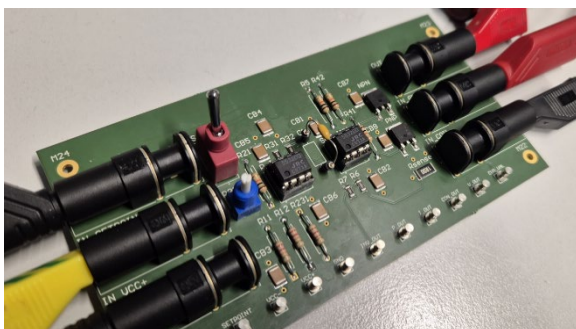


Abbildung 1: Analog-Leiterplatte zur Stromregelung. Bild: Bernhard Wagner

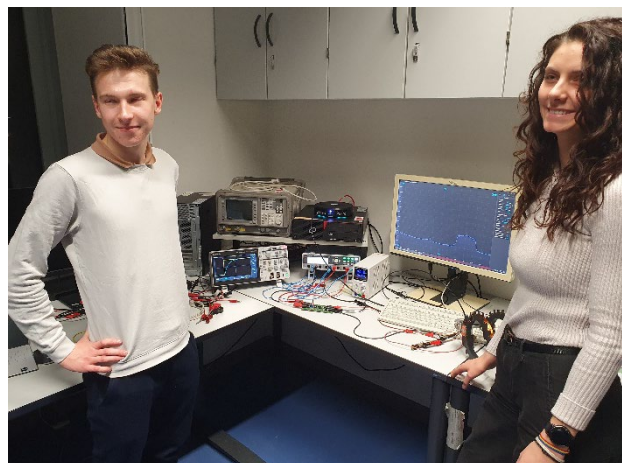


Abbildung 2: Eva-Maria Felis und Albrecht Pilz beim Test der von ihnen entworfenen Schaltung zur Stromstabilisierung. Bild: Bernhard Wagner

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Testumgebung für den Quantenmagnetfeldsensor wurde erfolgreich aufgebaut. Die Studierenden druckten mit einem 3D-Drucker Halterungen für die Helmholtz-Spulenpaare, auf welche sie Kupferleitungen wickelten. Messungen mit einem dreidimensionalen Hall-Sensor bestätigten die Homogenität, Richtung und Stärke des Magnetfeldes.

Die analoge Stromregelung und der elektronische Leistungsverstärker wurden zunächst dimensioniert und zur Bestätigung der korrekten Funktion simuliert. Die Umsetzung in Hardware in Form einer selbst entworfenen Leiterplatte (Abbildung 1) erfolgte mit aktuellen, in der Industrie üblichen Design-Tools. Die Projektgruppe testete die Funktion erfolgreich mit verschiedenen analogen und digitalen Spannungsquellen. Zudem fand ein Vergleich der erzielten Bestromung mit Standard-Netzteilen sowie mit einem kommerziellen präzisen Stromquellen-DAC (Digital-to-Analog-Converter LTC2672) statt.

Die experimentellen Ergebnisse zeigen, dass die Stromregelung grundsätzlich funktioniert, das Rauschen bei den Taktfrequenzen digitaler Labornetzteile jedoch nicht vollständig ausregeln kann. Zukünftige Arbeiten sollen die Regelung hierzu weiter optimieren. Mit Hilfe der Helmholtz-Spulenpaare und der Stromregelung ließ sich das Magnetfeld als Testumgebung für den Quantenmagnetfeldsensor erfolgreich in der benötigten Genauigkeit einstellen. Somit kann mit dem in diesem Lehrforschungsprojekt entstandenen Aufbau das Funktionsprinzip eines Quantenmagnetfeldsensors mit Hilfe der Laserspektroskopie erfolgreich nachgewiesen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für weitere Forschungsprojekte und können auch in industriellen Anwendungen genutzt werden. Die erarbeitete Testumgebung wird zukünftig im Praktikum an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) weiterverwendet.

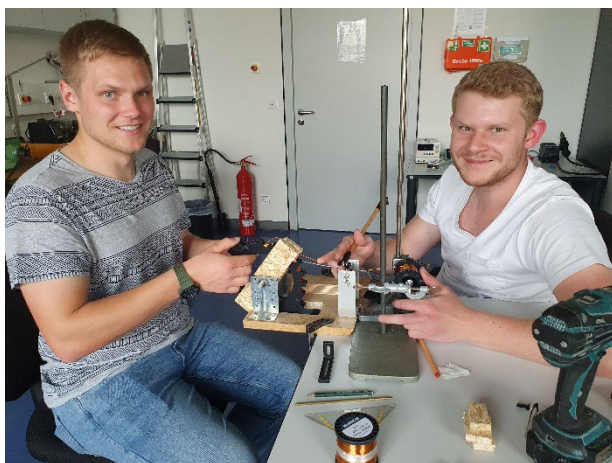


Abbildung 3: Dominik Lorz und Tobias Pickel bei der Fertigung der Helmholtz-Spulen. Bild: Andreas Stute

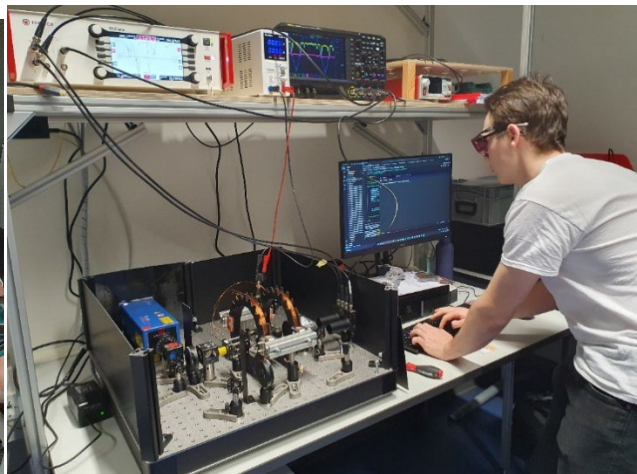


Abbildung 4: Robert Bruss beim Test des Quantenmagnetfeldsensors mit Hilfe der Rubidium-Laserspektroskopie. Bild: Andreas Stute

5. Vernetzung und Transfer

Das Projekt hat die Verbindung zwischen Lehre und Forschung nachhaltig gestärkt, indem eine Reihe von Studierenden während ihrer studienbegleitenden Projektarbeiten ein modernes Forschungsgebiet mit stark interdisziplinären Forschungsmethoden kennenlernen konnten. Dank der Durchführung der Projektarbeiten im Labor „Optische Quantentechnologien“ an der Ohm hatten sie die Möglichkeit, direkt mit Forschenden in Kontakt zu kommen. Darüber hinaus traten die Studierenden über ihre Fachgrenzen hinaus mit Forschungsfragen anderer Disziplinen in Kontakt. Dies förderte nicht nur das Verständnis für interdisziplinäre Zusammenarbeit, sondern auch die Fähigkeit, unterschiedliche wissenschaftliche Perspektiven in die eigene Arbeit zu integrieren. Der Austausch mit Studierenden und Forschenden aus Physik, Elektro- und Informationstechnik trug zur Erweiterung ihres wissenschaftlichen Horizonts bei und bot neue Impulse für zukünftige Forschungsprojekte.

6. Fazit und Ausblick

Das Projekt „Quantenmagnetfeldsensor“ hat gezeigt, dass forschendes Lernen eine effektive Methode ist, um Studierende aktiv in wissenschaftliche Fragestellungen einzubinden. Die Studierenden konnten nicht nur ihre technischen und methodischen Fähigkeiten erweitern, sondern auch wichtige Kompetenzen im wissenschaftlichen Arbeiten und in der interdisziplinären Zusammenarbeit erwerben.

Für die Zukunft sind Anschlussprojekte geplant, um die Genauigkeit des Magnetfeldsensors weiter zu verbessern und neue Anwendungen im industriellen Umfeld zu erforschen. Zudem sollen die gewonnenen Erfahrungen genutzt werden, um das Konzept des forschenden Lernens in weiteren Lehrveranstaltungen zu verankern.

7. Literatur

- [1] BMBF, „Agenda Quantensysteme 2030“, [Online]. Verfügbar unter: https://www.quantentechnologien.de/fileadmin/public/Redaktion/Dokumente/PDF/Publikationen/Agenda_Quantensysteme_2030_web_C1.pdf
- [2] Bayern StD, StMWK, StWLE, „QuantenTech Vision Bayern“.

KI und Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrsimulator

Prof. Dr. Sven Winkelmann

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Ohm User Experience Center

Philipp Renner, M. Sc.

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Ohm User Experience Center

Zusammenfassung:

Am Ohm User Experience Center (Ohm-UX) wird ein vielseitig nutzbarer Fahrsimulator für die Forschung zur Mensch-Fahrzeug-Interaktion entwickelt. Studierende arbeiten in interdisziplinären Teams aus den Bereichen Elektrotechnik, Medizintechnik und Mechatronik/Feinwerktechnik zusammen. Das Projekt ermöglicht die kontinuierliche Weiterentwicklung von Hard- und Softwarelösungen für zukünftige Fahrzeuge über mehrere Semester hinweg. Bisherige Ergebnisse umfassen eine gemeinsame Veröffentlichung mit der Hochschule für angewandte Wissenschaften München sowie Präsentationen auf der Mensch-und-Computer-Konferenz 2024. Der Simulator dient der Erforschung und Integration von Vitalparametersensoren, Kameras und Radarsensoren sowie der Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche im Fahrzeug-Infotainment-System für zukünftige Nutzerstudien.

Wir danken dem Team der Lehrforschung für die Unterstützung!

1. Projektdaten

Fördersumme	15.000 Euro
Laufzeit	März 2023 bis Dezember 2024
Fakultät/Einrichtung	Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik / Ohm User Experience Center
Projektleitung	Prof. Dr. Sven Winkelmann
Projektteam	Philipp Renner, M.Sc. Sommersemester 2023: neun Studierende, Wintersemester 2023/2024: zehn Studierende, Wintersemester 2024/2025: neun Studierende
Kontakt Daten Projektleitung	sven.winkelmann@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts 2023

Die Fortschritte und Erfolge der Digitalisierung, Vernetzung und künstlichen Intelligenz (KI) schreiten voran und führen zu neuen Mobilitätskonzepten und Fahrzeugen mit intelligenten Fahrerassistenzsystemen. Das manuelle Fahren gerät immer mehr in den Hintergrund, zugunsten von Infotainment und automatisierten Fahrfunktionen. Gerade im Hinblick auf die kommenden Neuerungen, die das teilweise autonome Fahren mit sich bringt, wird dieser Trend fortgesetzt. Technische Fortschritte in Modalitäten wie Sprach-, Gesten- und Intentionserkennung ermöglichen, den Informationsaustausch zwischen Menschen und Fahrzeugen zu erweitern und somit den Verkehr sicherer und die Bedienung komfortabler zu gestalten. Wie diese Modalitäten innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs verwendet werden können, um einen Vorteil für die Sicherheit im täglichen Straßenverkehr zu generieren, ist ein vielschichtiges Problem, welches hinsichtlich der Güte, Fahrerablenkung und User Experience analysiert werden muss. Hierfür werden in der Regel verschiedene Konzepte entwickelt und mittels Nutzerstudien validiert.

Die Validierung dieser Entwicklungen im öffentlichen Straßenverkehr ist jedoch nur schwer umsetzbar, da Fremd- oder Eigengefährdung ausgeschlossen werden muss. Aufgrund dessen sind Fahrsimulatoren eine etablierte Möglichkeit Neuentwicklungen zu testen und Nutzerstudien gefahrlos durchzuführen. Im vom LEONARDO-Zentrum finanzierten und von Prof. Dr. Alexander von Hoffmann geleiteten Projekt „Das Auto als Kommunikationsplattform der Zukunft“ (AUTOKOMM) ist eine Fahrzeugkabine mit virtueller Simulationsumgebung für die Erforschung von Licht- und Audioeffekten erschaffen und für Studierendenarbeiten erfolgreich eingesetzt worden.

Im Rahmen des Lehrforschungsprojekts wurde und wird der bestehende Fahrsimulator gezielt um KI-gestützte Interaktionsmodalitäten wie Sprache, Gestik, Head- und Eye-Tracking sowie haptische Rückmeldesysteme erweitert. Ziel ist es, innovative Interaktionskonzepte zu entwickeln und deren Wirksamkeit durch Nutzerstudien zu evaluieren. Die Erweiterung des Projekts AUTOKOMM umfasst sowohl die technische Integration neuer Hardware-Komponenten, darunter Mikrofone, Lautsprecher und Gestenkameras, als auch die Entwicklung und Implementierung entsprechender Softwarelösungen, beispielsweise für ein Sprachdialogsystem oder Modelle zur Erfassung der Körperhaltung. Darüber hinaus hat sich im Verlauf des Projekts die Notwendigkeit ergeben, die virtuelle Fahrsimulation weiter zu

optimieren. In diesem Zusammenhang wurden die Open-Source-Fahrsimulationsplattformen CARLA [3] im Förderzeitraum 2023 evaluiert und als sehr gewinnbringend für das Projekt bewertet. Ein zentraler Punkt ist nun, diese Software an unsere Forschung anzupassen.

Die aktuellen Forschungsimpulse aus dem Transformations-Netzwerk TRANSFORM_EMN [4] sowie aus dem Medical Valley e. V. haben das Lehrforschungsprojekt in den vergangenen Semestern zunehmend auf das Themenfeld *Automotive Health* ausgerichtet. In diesem Kontext wurden Algorithmen und Machine-Learning-Modelle zur Detektion von Vitalparametern wie Herzschlag und Atemfrequenz getestet. Ergänzend wurde innerhalb des vergangenen Semesters eine Bewegungsplattform angeschafft, um das Fahrgefühl für die Teilnehmenden noch realistischer zu gestalten. Ziel war eigentlich der Umzug in das neue Forschungsgebäude Ohm Innovation Center (OIC) und damit genügend Platz, endlich die Ergebnisse des Projekts AUTOKOMM und zwei Jahre Lehrforschung zusammenzuführen - leider verzögert sich die Fertigstellung des OIC weiterhin.

Unabhängig des Anwendungskontextes sind die zentralen Elemente des Lehrforschungsprojektes:

- **Modularer Aufbau:** ähnlich einem Baukastenprinzip sollen die Abhängigkeiten verschiedener Umsetzungen minimiert sein. Hierzu wird auf eine netzwerkbasierte Kommunikation gesetzt, so dass flexibel neue Funktionalitäten integriert werden können – ein zentraler Bestandteil für schnelle Prototypentwicklung und Voraussetzung für studentische Arbeiten mit begrenztem Zeit- und Einarbeitungsumfang.
- **Einfache Bedienbarkeit:** Unter dem Motto „von Studierenden für Studierende“ ist es wichtig, die Bedien- und Umsetzbarkeit neuer Ideen für Bachelorstudierende zu ermöglichen. Hierfür wird eine Low-Code-Lösung zur Definition von Interaktionskonzepten entwickelt [1], womit auch Studierende in niedrigen Semestern komplexe Logiken mit mehreren KI-basierten Modulen umsetzen können.

Der Fahrsimulator soll in Zukunft im neuen Forschungsgebäude OIC für Arbeiten im Ohm-UX zur Verfügung stehen. Neben Forschungsprojekten sollen durchgängig studentische Projekt- und Bachelorarbeiten durchgeführt werden. Von der Konzeption als Lehrforschungsprojekt erhoffen wir uns, einerseits Bachelorstudierende frühzeitig in die Forschung am Ohm-UX zu integrieren und andererseits Erkenntnisse, wie ein Fahrsimulator aufgebaut sein muss, sodass Studierende diesen für ihre eigenen Ideen möglichst unabhängig einsetzen können.

3. Herangehensweise und Lehrkontext

Ursprünglich war das Lehrforschungsprojekt für Bachelor-Studiengänge der Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik (efi) ausgelegt, um interdisziplinäre Projektgruppen zwischen Elektrotechnik, Media Engineering und Medizintechnik zu schaffen. Durch die Förderperiode mit Beginn zum Sommersemester und unterschiedlichen Laufzeiten für Projekte der Studiengänge konnten Media Engineers jedoch leider nicht teilnehmen. Dennoch ließen sich bereits in der ersten Förderperiode 2023 zwei interdisziplinäre Teams von vier beziehungsweise fünf Studierenden bilden, durch Beteiligung von International-Business-and-Technology-Studierenden aus der Fakultät Betriebswirtschaft und Elektrotechnik-Studierenden von der efi. In der Förderperiode 2024 wurde das Projekt im Sommersemester auf Grund der Elternzeit von Prof. Dr. Sven Winkelmann pausiert. Im Wintersemester 2024/2025 beschränkte sich das Projekt leider auf die efi, wobei mit neun Studierenden aus Elektrotechnik, Medizintechnik und Feinwerktechnik, unterstützt durch zwei Masterstudierende der Elektrotechnik, studiengangübergreifend geforscht wurde. Alle drei Studiengänge haben ein ein-semesteriges Projekt mit

acht European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS) zum Winter- und Sommersemester kurz vor der Bachelorarbeit, eine zwingende Voraussetzung, damit ein gemeinsames interdisziplinäres Projekt stattfinden kann. Für die kommende Förderperiode 2025 ist eine enge Zusammenarbeit mit der Fakultät Informatik unter Beteiligung von Prof. Dr. Timo Götzelmann geplant. Dadurch kann der interdisziplinäre Ansatz nochmals verstärkt und ausgebaut werden.

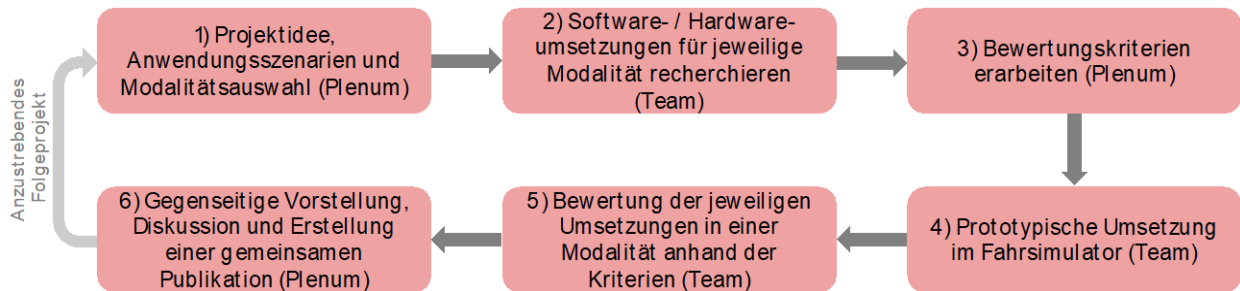


Abbildung 1: Arbeitsphasen des Projektes, orientiert am Prozess eines Forschungsvorhabens. Bild: Eigene Darstellung

Die verschiedenen Projekt-Teams finden sich zu regelmäßigen Meetings ein, um Fortschrittsberichte zu teilen. Dadurch gewinnen die Studierenden wichtige Praxiserfahrung zur Kommunikation in interdisziplinären Teams. Die Arbeitsphasen im Projekt orientieren sich am Prozess eines Forschungsvorhabens, welches auf die Gewinnung von Erkenntnissen – auch für Dritte – ausgerichtet ist. Abbildung 1 zeigt die konkreten Phasen von Entwicklung der Problemstellung (1), Recherche (2), Methodik (3), Umsetzung (4), Bewertung (5) und abschließender Publikation (6). Fokus hierbei liegt auf einer korrekten wissenschaftlichen Bearbeitung des Themas mit wiederverwendbaren Umsetzungen und gut verständlicher Dokumentation für zukünftige Projektgruppen oder Bachelorarbeiten.

In allen Phasen erfolgt eine enge Betreuung durch Professoren und wissenschaftliche Mitarbeitende, welche an den Regelterminen aktiv teilnehmen und gegebenenfalls moderieren. Zu Beginn des Projekts wurde mit kurzen Impulsvorträgen die Themen Interaktion zwischen FahrerIn und Fahrer und Fahrzeug und Nutzerstudien mit Fahrsimulatoren eingeführt. Eine Teameinteilung und Auswahl der Anwendungsszenarien erfolgten eigenständig durch die Studierenden, nach Interesse. Die Durchführung der wöchentlichen Regeltermine sind methodisch an der Arbeitsweise in der agilen Softwareentwicklung angelehnt. Von Anfang an erfolgt die Arbeitsweise der Teams in Eigenregie, wobei in jedem Termin der aktuelle Stand, die nächsten geplanten Schritte priorisiert (nach Kano-Modell) und ein Ziel für die nächste Periode gesetzt werden. Während des Semesters stellten sich immer wieder Wissenslücken, speziell aus der Informatik und dem KI-Umfeld, heraus, worauf spontan mit Teaching-on-Demand-Sessions durch die Betreuenden oder aber auch durch die Studierenden untereinander reagiert wurde.

4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit/Verwertung

Die Projektgruppen bearbeiten gezielt ein Thema über ein Semester. Bisher konnten im Lehrforschungsprojekt folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Team **Sprachbedienung** (vier Studierende, Sommersemester 2023): Nach einer Recherche-Phase formulierte das Projektteam die Forschungsfrage, welche Vor- und Nachteile ein Sprachassistent mittels Eigenimplementierung unter Nutzung verschiedener bestehender Bibliotheken (Python SpeechRecognition¹ und OpenAI Whisper²) und einer fertigen OpenSource Implementierung (Kalliope³) bestehen. Sie wägen die Implementierungsaufwände gegen die Konfigurationsaufwände ab und kamen zu dem Schluss, dass beide Lösungen sinnvoll von Bachelorstudierenden einzusetzen sind. Als Ergebnis formulierte das Team eine ausführliche Dokumentation mit Beispielimplementierungen für zukünftige Projekte.
- Team **Gestenbedienung** (fünf Studierende, Sommersemester 2023): Das Team entschied sich, zwei unterschiedliche Hardwarelösungen zu vergleichen: eine kamerabasierte mit der Software Google Mediapipe⁴ und eine radarbasierte mit einem IWR6843ISK-Sensor und Software von Texas Instruments. Die kamerabasierte eignet sich eher für größere und die radarbasierte für kürzere Distanzen. An der Langen Nacht der Wissenschaften (LNDW) wurde von den Studierenden die Kamera als Malwerkzeug mit Gesten und Radar, in Kombination mit der Fahrsimulation, zum Öffnen und Schließen von Autotüren gezeigt.
- Team **Radarsensorik** (drei Studierende, Wintersemester 2023/2024): Den Studierenden wurde eine Einführung in die Ansteuerung der Radarsensorik gegeben. Das Team konzipierte daraufhin, angelehnt an eine wissenschaftliche Veröffentlichung, eine eigene Signalverarbeitungsalgorithmik, mit welcher die Atemfrequenz einer Fahrerin und eines Fahrers gemessen werden kann. Sowohl der Algorithmus als auch die Datensicherung wurden anschließend in einen bereitgestellten Python-Struktur implementiert und getestet. Die Software wurde anschließend so fertiggestellt, um sie bei einer möglichen zukünftigen Nutzerstudie direkt verwenden zu können.
- Team **Kamerasensorik** (drei Studierende, Wintersemester 2023/2024): Den Studierenden wurde eine wissenschaftliche Veröffentlichung vorgelegt, welche einen Algorithmus vorstellt, um durch Bildverarbeitung den Puls aus der Gesichtsoberfläche einer Person zu lesen (Eulerian Video Magnification). Der fertige Algorithmus wurde aus einer Internetquelle bezogen. Die Studierenden haben anschließend in durchgeführten Tests die Parametrik des Algorithmus optimiert, um die idealen Einstellungen zu erreichen. Zusätzlich wurde eine Benutzeroberfläche implementiert, durch welche sich die Bildverarbeitung und die Bildaufnahme durch die Kamera starten lässt.
- Team **Nutzerstudie / Fahrsimulation CARLA** (vier Studierende, Wintersemester 2023/2024): Das Team war für die Entwicklung einer Nutzerstudie verantwortlich und befasste sich zunächst innerhalb einer Recherchephase mit dem allgemeinen theoretischen Aufbau einer Studie. Daraufhin wurden die abhängigen und unabhängigen Variablen definiert. Außerdem wurde durch das Team eine Teststrecke in CARLA implementiert und der theoretische Aufbau für eine mögliche Nutzerstudie konzipiert. In einer Zusammenführung aller Gruppen war an einem Abschlusstermin die Nutzerstudiengruppe ebenfalls für die Durchführung des abschließenden Tests verantwortlich.
- Sommersemester 2024: Kein Projekt, wegen der Elternzeit von Prof. Dr. Winkelmann.

¹ <https://pypi.org/project/SpeechRecognition/>

² <https://openai.com/research/whisper>

³ <https://kalliope-project.github.io/>

⁴ <https://developers.google.com/mediapipe>

- Team **GUI Vitalparameter** (fünf Studierende, ein Masterand, Wintersemester 2024/2025): Die Studierenden entwickelten eine grafische Benutzerschnittstelle für ein Infotainmentsystem im Fahrzeug, um die Vitalparameter Puls, Atmung und Temperatur darzustellen. Durch diese Integration werden die zuvor entwickelten Ansätze nutzbar gemacht, um ihren tatsächlichen Mehrwert während der Fahrt zu evaluieren und verschiedene Use Cases zu testen. Das Team entwickelte hierfür eine modular erweiterbare Schnittstelle, die die Ergebnisse der bereits implementierten Algorithmen aufnimmt und eine Interaktion mit der Fahrerin und dem Fahrer ermöglicht. Zu diesem Zweck wurde die bestehende Bewegungsplattform um einen Touchscreen ergänzt, der in seiner Bedienung modernen Infotainmentsystemen ähnelt.
- Team **Gesamtaufbau / CARLA** (zwei Studierende, ein Masterand, Wintersemester 2024/2025): Wir zeigen den Fahrsimulator regelmäßig auf öffentlichen Veranstaltungen, wie zum Beispiel der Consumenta, Langen Nacht der Wissenschaften und Schülerführungen. Um eine attraktivere Demonstration zu ermöglichen, kümmerten sich die Studierenden um einen flexiblen Aufbau, die Integration in die Sitzkiste von AUTOKOMM und die Belegung der Fahrsimulation CARLA mit weiteren Autos und Fußgängerinnen und Fußgängern.

Die durchgeführten Arbeiten zählen auf das Gesamtziel, einen Fahrsimulator für Studierendenarbeiten und Forschungsprojekte am Ohm-UX zu etablieren, ein. Aus den Projektergebnissen konnte bereits ein Low-Code-Ansatz zur Definition von Interaktionskonzepten mit unterschiedlichen Modulen erarbeitet und evaluiert werden, welcher auf der Internationalen Automotive-UI-Konferenz 2023 vorgestellt wurde [1]. Dies ist eine kooperative Arbeit, in welcher die Hochschule für angewandte Wissenschaften München eine Fußgängererkennung umsetzte und Studierende der beiden Projektteams des Sommersemesters 2023 ihre Arbeiten angebunden haben. Aus den Arbeiten der Projektteams des Wintersemesters 2023/2024 ist direkt die Veröffentlichung im September 2023 auf der Mensch-und-Computer-Konferenz in Karlsruhe hervorgegangen [2]. Derzeit findet sich eine weitere Veröffentlichung in Vorbereitung.



Abbildung 2: Präsentation des Fahrsimulators auf der Consumenta im November 2024 (links, Bild: Oskar Heger). Abbildung 3: Reges Arbeiten im Labor für Mechatronische Mensch-Maschine-Schnittstellen der Projektgruppen Wintersemester 2024/2025 (rechts, Bild: Sven Winkelmann).

5. Vernetzung und Transfer

Die direkte Mitarbeit an Forschungsprojekten eröffnet den Studierenden einen Austausch mit Kooperationspartnerinnen und -partnern des Antragsstellers. 2023 erfolgte zum Beispiel eine Exkursion zu dem Startup PCB Arts GmbH nach Fürth, das einen Einblick über die Arbeit in einem Startup gab und die Fertigung ihres Produktes Edge-Kit, welches die Studierenden im Projekt einsetzen, vorstellte. Wegen der Elternzeit konnte in der Förderperiode 2024 leider keine Exkursion organisiert werden. Auf der Consumenta 2024 präsentierten die Studierenden ihre Arbeiten einem sehr breiten Publikum: von Fachinteressierten, der Bevölkerung, bis hin zu Kindern und potenziell neuen Studierenden. Die Fähigkeit, eine Forschungsarbeit zielgruppengerecht aufzubereiten und für die Ohm-Studiengänge zu werben, meisterten die Studierenden erfolgreich. Die Kooperationen mit dem Projekt transform_EMN der Metropolregion Nürnberg [4] und dem in Erlangen ansässigen Medical Valley e. V. profitieren vom Lehrforschungsprojekt, zum Beispiel soll im November 2025 ein Fokustrack zu AutomotiveHealth im Rahmen des DigitalHealth-Hackathons in Erlangen stattfinden, in welchem der Fahrsimulator zentraler Bestandteil sein wird.

6. Fazit und Ausblick Q1/2025

Inhaltlich gesehen eröffnet das Lehrforschungsprojekt im Bereich der Vitalparametererfassung und Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeug vielversprechende Perspektiven für zukünftige Forschungsthemen und Studierendenarbeiten. Die Weiterführung des Lehrforschungsprojekts im Kontext des Umzugs in das neue Forschungsgebäude OIC, welches einen größeren Platz und die Integration eines Fahrsimulators mit Fahrgastzelle ermöglicht, stellt einen wichtigen Schritt dar.

Im didaktischen Bereich zeigen sich sowohl Vorteile als auch Herausforderungen. Studierende der Ingenieur-Studiengänge überzeugen durch ihre Fachkenntnisse, gute Kommunikationsfähigkeiten und eine fokussierte Arbeitsweise. Allerdings wird bei der eigenständigen Planung und Umsetzung komplexer Projekte deutlich, dass praktische Erfahrung im Umgang mit realen Aufgabenstellungen oft fehlt. Besonders die eigenständige Problemlösung und Realisierung stellt für viele eine Herausforderung dar. Ohne konkrete Lösungsvorgaben sind die Studierenden gefordert, innerhalb des Projekts eigenverantwortlich Lösungen für die gestellten Aufgaben zu entwickeln.

Die Perspektive der Studierenden ist durchweg positiv. Sie schätzen die Teaching-on-Demand-Sessions als sehr hilfreich ein, um ihre Kenntnisse in verschiedenen Bereichen zu erweitern. Die Zusammenarbeit auf Augenhöhe wird als besonders wertvoll empfunden, ebenso wie die Möglichkeit, ihre Arbeit auf Veranstaltungen wie der Consumenta zu präsentieren. Trotzdem bleibt die Herausforderung, gemeinsame Termine zu finden, aufgrund unterschiedlicher Schwerpunktfächer und Studiengänge, sowie die unterschiedlichen Anforderungen an Projekte in Studienplänen, bestehen. Die Bewältigung dieser Herausforderungen wird ein wichtiger Schritt sein, um die interdisziplinäre Zusammenarbeit über verschiedene Studiengänge und Fakultäten hinweg zu ermöglichen und zu verbessern.

7. Literatur

- [1] Winkelmann, S., M. Büttner, D. Deivasihamani, A. von Hoffmann, F. Flohr (2023): "Using Node-RED as a Low-Code Approach to Model Interaction Logic of Machine-Learning-Based eHMI for the Virtual Driving Simulator CARLA", AutomotiveUI '23 Adjunct Proceedings, ACM, <https://doi.org/10.1145/3581961.3609844>
- [2] Renner, P., J. Gleichauf, S. Winkelmann (2024): „Non-Contact In-Car Monitoring of Heart Rate: Evaluating the Eulerian Video Magnification Algorithm in a Driving Simulator Study”, IN: Mensch und Computer 2024, <https://doi.org/10.1145/3670653.3677493>
- [3] Dosovitskiy A., G. Ros, F. Codevilla, A. Lopez, V. Koltun (2017): "CARLA: An Open Urban Driving Simulator", IN: Proceedings of the 1st Annual Conference on Robot Learning.
- [4] TRANSFORM_EMN: Transformationsnetzwerk Metropolregion Nürnberg <https://www.transform-emn.de/>

Impressum

Lernen durch Forschen 2023/2024

Herausgeber:

Der Präsident der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Keßlerplatz 12

90489 Nürnberg

Redaktion und Layout:

Mario Krauß, Nina Hafner

Hochschulkommunikation und -marketing

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Stand: Dezember 2025

