

„Virtual Reality“-Lehre komplexer Mikrotechnologien (VR-Micro)

Technische Universität Ilmenau

Fakultät für Maschinenbau/Fachgebiet Mikrosystemtechnik

Institut für Mikro- und Nanotechnologien MacroNano®

1. Motivation der geplanten Lehrinnovation

1.1. Vorstellung des Themenfelds

Die Miniaturisierung von elektronischen Komponenten, Maschinenelementen, Sensoren und Aktuatoren in den Mikro- und Nanometerbereich stellt seit nunmehr einem halben Jahrhundert einen elementaren Treiber der Innovation in zahlreichen Bereichen dar. Ohne miniaturisierte Komponenten, wie Mikrochips, Lautsprecher, Antennen, Mikrophone, Kameras und Lagesensoren, wäre allein ein Smartphone undenkbar (Abb. 1). Miniaturisierte Systeme ermöglichen allerdings auch Fahrerassistenz und autonomes Fahren, sie kontrollieren den Airbag, überwachen Umweltparameter, erlauben „smarte“-Robotik und sind Basis der Mikroelektronik, der Industrie 4.0 sowie Herz der Heimelektronik sowie der Digitalisierung. Auch in medizinischen Bereichen werden bereits heute miniaturisierte Systeme als Plattformen für die biochemische Analyse eingesetzt und haben das Potential, die medizinische Versorgung als auch die medizinische Forschung zu revolutionieren. Neben neuen Mikrosensoren und Werkzeugen für minimalinvasive Chirurgie, Krebs-Früherkennung und „point-of-care“-Diagnostik könnten insbesondere miniaturisierte 3D-Zellkultursysteme zu einem besseren Verständnis von Krankheiten beitragen und Tierversuche in Zukunft überflüssig machen. Auch in makroskopischen Anwendungen werden mikrotechnologische Verfahren eingesetzt. Hierbei sei insbesondere auf die zentrale Rolle bei der Herstellung und Entwicklung von Solarzellen, Batterien und Brennstoffzellen verwiesen.

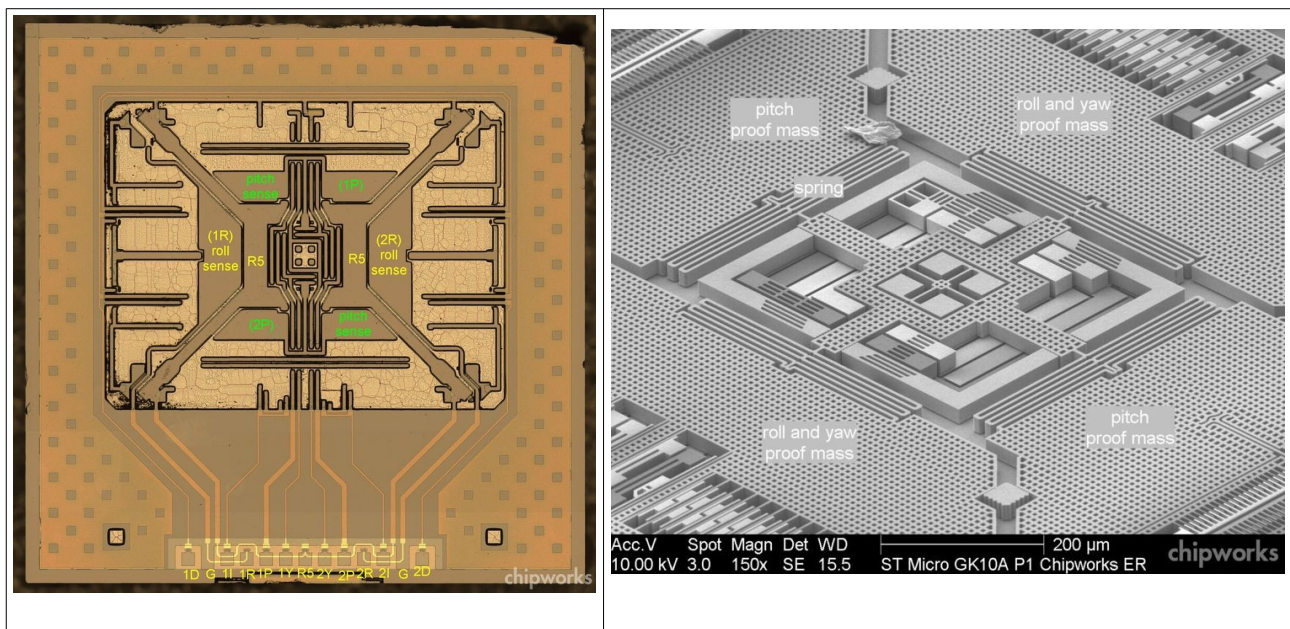


Abb. 1: Miniaturisiertes 3-Achsen Gyroskop (Bewegungssensor), wie es z.B. für die Umsetzung des elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) in Kraftfahrzeugen erforderlich ist aber auch im iPhone 4 zum Einsatz kommt. *Links:* Übersicht Chipebene; *Rechts:* vergrößerte Elektronenmikroskopische Aufnahme. *Quelle:* <https://www.memsjournal.com/2011/01/motion-sensing-in-the-iphone-4-mems-gyroscope.html>

Der Aufbau miniaturisierter Systeme erfordert geeignete Hochtechnologien, welche eine präzise und reproduzierbare Fertigung von funktionellen Elementen vom Mikro- bis in den Nanometerbereich gestatten. Zum Vergleich bedeutet dies, dass für zahlreiche Anwendungen eine Präzision von einem Zehntel bis zu einem Tausendstel des Durchmessers eines Haares reproduzierbar erreicht werden muss.

Obwohl wir inzwischen quasi permanent von Mikrosystemen umgeben sind, entziehen sich die zu Grunde liegenden Mikro- und Nanotechnologien als auch der Aufbau miniaturisierter Systeme unserem täglichen Erleben. Darüber hinaus sind die Verfahren, die Herstellungsprozesse und nicht zuletzt auch die Mikrosysteme selbst durch einen hohen Komplexitätsgrad geprägt, der oft nur schwer an Außenstehende und Studierende vermittelt werden kann.

1.2. Relevanz der Lehre im Bereich Mikrosystemtechnik

Die Mikrosystemtechnik kann, wie o.a., mit ihren zugehörigen Technologien ein breites Spektrum an Anwendungen adressieren und ist damit zu einem unverzichtbaren Element für die Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen und Erfordernisse geworden. Fachleute der Marktanalyse-Firma „IC Insights“¹ prognostizieren z.B. auf Basis der steigenden Relevanz einen Umsatzanstieg für den globalen Markt einzig im Bereich Mikro-Sensoren und -Aktuatoren um über 30% innerhalb der kommenden vier Jahre mit einem Gesamtvolumen von über 21 Mrd. USD.

Initiale Ursache dieses Booms sind neben Smartphones u.a. Automobilhersteller, die ihre Fahrzeuge mit immer komplexerer Mikrosensorik, primär für die Fahrerassistenz, ausstatten (z.B. Druck-, Abstands, Bewegungs-, Bild- und Lage-Sensoren). Darüber hinaus befeuern nach wie vor mobile Trendprodukte wie Smartphones, VR²-Technologie und Spielekonsolen, aber auch zunehmend Wearables, IoT³-Anwendungen, Anlagen und Systeme der Industrie und selbst die Landwirtschaft den Bereich. Auch in diesen Segmenten werden zunehmend mehr Mikrosensoren und Mikroregler implementiert. Allgemein werden Mikrosensoren und -aktuatoren auch nicht mehr separat gesteuert, sondern in einem einzigen miniaturisierten System mit modernen integrierten Schaltkreisen gekoppelt, was die Komplexität der Mikrosysteme weiter erhöht (sog. MEMS: mikroelektromechanische Systeme).

MEMS-Hochtechnologien sind in Europa, Deutschland und auch regional in Thüringen sehr gut etabliert. Ohne hervorragend ausgebildete und innovative Fachkräfte wird allerdings eine Teilhabe an dem o.a. Boom kaum möglich sein. In diesem Zusammenhang sei auf den Artikel von Werner Schulz in den VDI Nachrichten vom 14. November 2014 (Ausgabe 46) verwiesen: „MEMS, die Hoffnungsträger der europäischen Chipindustrie“.

Am Erfordernis von Industrie und Forschung auch in Zukunft hervorragend ausgebildete und innovative Fachkräfte zu haben setzt das Vorhaben an. Mit dem Lehr-Vorhaben soll die universitäre Ausbildung an der TU Ilmenau im Bereich der Mikro- und Nanotechnologien durch Einsatz virtueller Realitäten digital bereichert und maßgeblich effektiviert werden.

1 <http://www.icinsights.com/>

2 VR: Virtuelle Realität

3 IoT: Internet of Things

1.3. Persönliche Motivation und Standort TU Ilmenau

Die Entwicklung und Herstellung von MEMS stellt nicht nur, wie zuvor ausgeführt, einen zentralen Aspekt der gesellschaftlichen Innovation und Wirtschaftsentwicklung dar, sondern ist auch ein zentraler Forschungsschwerpunkt mehrerer Professuren der TU Ilmenau. Hinzu kommt eine enge Verzahnung mit regionalen Firmen wie z.B. X-Fab (Erfurt), MicroHybrid (Ilmenau), Carl Zeiss Jena oder auch dem Start-up 5microns (Ilmenau) sowie den umliegenden Forschungseinrichtungen wie dem CIS (Erfurt) oder dem Fraunhofer IDMT (Ilmenau). Zur Stärkung des Standorts und zum Erhalt der Expertise ist eine qualitativ hochwertige und effiziente Ausbildung unumgänglich, welche in der Lage ist, komplexe technologische Zusammenhänge und miniaturisierte Systeme geeignet darzustellen.

Im Bereich der Lehre muss derzeit in den meisten Fällen auf reines Bildmaterial bzw. auf fremdes und nur bedingt passendes Videomaterial zurückgegriffen werden. Mit dem bestehenden 2D-Material können jedoch die zentralen Zusammenhänge und Technologien aber nur bedingt visualisiert werden. Noch kritischer gestaltet sich die Situation im Bereich der praktischen Ausbildung. Die Durchführung von Reinraumführungen, Praktika, bzw. die eigene Herstellung eines Mikrosystems (z.B. Drucksensor) sind im Rahmen der studentischen Ausbildung, insbesondere auf Bachelorniveau, derzeit kaum möglich. Dies ist neben Sicherheitsaspekten primär im hohen personellen und finanziellen Aufwand sowie in der Komplexität der Prozesse begründet. Durch die Nutzung virtueller Lernwelten bzw. virtueller Labore wäre es möglich, Praktika, Vorlesungen und ganze Technologieketten jedem interessierten Studierenden zugänglich zu machen. Auch Gerätetrainings, z.B. für die Durchführung von Bachelor, Master- und Doktorarbeiten könnten so, bei gleichzeitiger Steigerung des Lern- und Forschungsergebnisses, deutlich effizienter gestaltet werden. Dies gilt auf Grund der angestrebten Onlineverfügbarkeit des zu erstellenden VR-Materials grundsätzlich auch über die Landesgrenzen hinweg, was zu einer Stärkung des Standorts Thüringen im Bereich der Mikrotechnologien beitragen würde.

2. Geplante Maßnahmen und Umsetzung

2.1. Ziele der geplanten Lehrinnovation

Das Ziel der geplanten Lehrinnovation ist es, virtuelle Lehrumgebungen im Bereich der Mikrotechnologie zu schaffen, welche nicht nur zu einer deutlichen Verbesserung des Lehrangebots beitragen, sondern auch nachhaltige Wirkung auf den Standort und andere Lehrbereiche entfalten. Die virtuelle Realität erscheint für die Lehre derzeit in mehrerer Hinsicht vorteilhaft. Als angenommene Vorteile können u.a. die erlebbare 3D-Darstellung komplexer technologischer und systemischer Zusammenhänge, die Möglichkeiten zur Interaktivität, ein vermindertes Ablenkungspotential im Vergleich mit 2D-Videos, einer Verbesserung der Online-Lehre, als auch eine langfristige Verminderung des Lehraufwands angeführt werden. Diese und weitere Aspekte sollen im Rahmen dieses Vorhabens erprobt werden. Die Inhalte sind hierbei in deutsch und englisch zu erstellen, um die Inhalte auch über die Landesgrenzen hinweg sowie in internationalen Studiengängen anbieten und nutzen zu können.

2.2. Virtuelle Praktikumsversuche/virtuelle Labore

Trotz der Omnipräsenz von Mikrosystemen in unserem Alltag sind, wie bereits ausgeführt, die zugrundeliegenden Designs und Prinzipien als auch die zur Fertigung erforderlichen Mikro- und Nanotechnologien im Alltag quasi unbekannt. Dies erschwert das effiziente Lehren und Lernen. Die Durchführung von Praktika im Bereich der Mikro- und Nanotechnologien ist daher eine essentielle Komponente zur Förderung des Verständnisses von Hochtechnologien und modernen Mikrosystemen. Bereits die Durchführung von wenigen Versuchen im Bereich der Prozesstechnologie ist jedoch an eine signifikante Investition von finanziellen Mitteln, z.B. für Chemikalien, Materialien und Anlagentechnik, und vor allem an einen unverhältnismäßig hohen personellen Einsatz gebunden. Aus diesem Grund können Praktika nur in sehr begrenztem Umfang angeboten werden. Erschwerend kommen Sicherheitsaspekte, das Erfordernis kleiner Praktikumsgruppen (max. 4-5 Personen) als auch die Tatsache hinzu, dass Versuche oft nicht selbst, sondern durch erfahrende Anlagenbetreuer maßgeblich durchgeführt werden müssen.

Im Rahmen des Vorhabens sollen Praktikumsversuche/Gerätetrainings in einer virtuellen Realität erfahrbar werden, wodurch mehr Studierende in diesem Bereich effizient ausgebildet werden können. Initial sollen hierbei Lehreinheiten vorerst in drei grundlegenden Basistechnologien erstellt werden: optische Lithographie (Mikrostrukturierung), Erzeugung von mikroskaligen Leiterbahnen durch Metallabscheidung sowie Mikrostrukturätzung durch reaktive Gase. Im Erfolgsfalle ist vorgesehen das Portfolio umfassend durch weitere Technologien und analytische Methoden zu ergänzen, um schlussendlich auch die vollständige Fertigung von Mikrosystemen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen komplett erfahrbar zu machen. Möglichkeiten zur Beantwortung von auftretenden Fragen sind zu entwickeln und zu implementieren (z.B. "flipped classroom"-Ansatz, personelle Begleitung in der VR-Welt). Die virtuellen Realitäten sollen vorerst in drei Versionen erstellt werden, um unterschiedlichen Einsatzbereichen Genüge zu tun.

- (1) Kurze Einführungseinheit in das Thema von ideal einer bis maximal fünf Minuten mit Darstellung der wesentlichen Aspekte. Diese Einheiten können auch simultan als 2D-Material z.B. im Rahmen von Vorlesungen direkt eingesetzt werden.
- (2) Vollständig begleiteter, virtueller Praktikumsversuch mit umfassenden Erklärungen (Dauer ca. 30 bis 60 min).
- (3) Virtuelle Praktikumsversuche ohne Erklärungen, sondern mit Interaktion und Entscheidungselementen zur Wiederholung, Festigung und Prüfung des erlernten Wissens.

2.3. Reinraumführungen

Ein wichtiges Element beim Erlernen von Mikro- und Nanotechnologien sind Reinraumführungen. Diese werden derzeit nicht im Bachelorstudium und nur in geringem Umfang im Masterstudium angeboten. Darüber hinaus sind Reinraumführungen auch ein Schlüsselement im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit zur Stärkung des Standorts Ilmenau und Thüringen. Auf Grund der Sicherheit, der Erhaltung der Reinraumqualität aber auch auf Grund des hohen Zeit- und Personalinvestments können zumeist Reinraumführungen nur im Außenbereich und in sehr begrenztem Umfang angeboten werden. Hier soll das Vorhaben neue Möglichkeiten, vergleichbar zu den Praktika (s.o.), schaffen und es erlauben, direkt eine Reinraumumgebung 3D zu erfahren. Auch in diesem Falle sind mehrere virtuelle Einheiten vorgesehen:

- (1) Kurze Einführungseinheiten in das Thema „Reinraum und Reinraumtechnik“ (ideal je drei bis fünf Minuten) mit der Möglichkeit diese Einheiten auch als 2D-Material im Rahmen von Lehrveranstaltungen einsetzen zu können.
- (2) Vollständig geführter, virtueller Rundgang im Reinraum und in den Technikbereichen mit umfassenden Erklärungen (Dauer von ca. 15 bis 45 min).
- (3) Vollständig geführter, virtueller Rundgang im Reinraum und in den Technikbereichen mit Interaktion und Entscheidungselementen zur Festigung und Prüfung des erlernten Wissens.
- (4) Freier Rundgang mit interaktiven Informationselementen im Reinraum und in den Technikbereichen.

2.4. Vorlesungen/Tutorials

Auch im Bereich der Vorlesungen (z.B. „flipped classroom“-Prinzip), für die Vermittlung zusätzlicher Lerneinheiten und zur Darstellung von Tutorials (ca. 15 min Dauer) soll die virtuelle Realität im Bereich der Mikrosystemtechnik erprobt werden. Durch Aufenthalt in der virtuellen Realität wird erwartet, dass sich die Studierenden besser auf die Lehrinhalte fokussieren können. Lernen erfolgt hierdurch quasi in einem Einzelunterricht in einer „natürlichen“ Umgebung. Darüber hinaus können interaktive 3D-Elemente direkt mit eingebunden werden, um z.B. komplexe 3D-strukturierte Mikrosysteme (vgl. Abb. 1) effizient visualisieren zu können. Neben der Vermittlung von komplexen Strukturen und Technologien (z.B. Einblick in technische Anlagen) sollen diese Lehrformen auch zur Unterstützung von Quereinsteigern dienen. Insbesondere im Masterbereich und hier in internationalen Studiengängen ist ein hoher Grad an Divergenz im Eingangswissen zu verzeichnen. Durch zusätzliche effiziente Lehrangebote könnten Wissenslücken effizient geschlossen, Seminargruppen in Ihrem Kenntnisstand ausgeglichen und so insgesamt die Studienleistungen potentiell verbessert werden.

2.5. Umsetzung der Lehrinnovation

Neben der technischen Grundausstattung besteht die Herausforderung zur Umsetzung der geplanten Innovationen insbesondere in der Verfügbarkeit von hinreichenden personellen Mitteln. In erster Linie sollen die Arbeiten daher durch eine kontinuierliche Unterstützung durch wissenschaftliche und studentische Assistenten durchgeführt werden. Diese sollen bzgl. der mikrotechnologischen Aspekte den Bereichen Maschinenbau, Elektrotechnik, Physik und Mechatronik sowie bzgl. der virtuellen Realität bevorzugt dem Institut für Medien und Kommunikationswissenschaft der TU Ilmenau bzw. den Fachgebieten „Virtuelle Welten/Digitale Spiele“ als auch „Public Relations und Technikkommunikation“ entstammen. Unterstützung im Bereich der Aufnahmetechnik sowie der Software zur Bearbeitung und Erstellung von virtuellen Realitäten wird neben dem Fachgebiet „Virtuelle Welten/Digitale Spiele“ auch vom Institut für Medientechnik zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wird das Vorhaben durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter des Fachgebiets Mikrosystemtechnik als auch durch Mitarbeiter des Zentrums für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN) umfassend unterstützt.

Sowohl im Bereich der Ingenieurausbildung als auch im Bereich der Medien und Kommunikationswissenschaft existieren studentische Projektarbeiten. Hierbei ist vorgesehen, dass auch diese Projektarbeiten bilateral und interdisziplinär genutzt werden sollen, um Lehrinhalte „von Studierenden für Studierende“ zu erstellen. Neben praxisrelevanten, interdisziplinären und spannenden, hochtechnologischen Themenstellungen soll durch diese Maßnahme vor allem erreicht werden, dass die Inhalte bzgl. der Zielgruppe „Studierende“ besonders geeignet und ansprechend sind. Eines der Ziele im Bachelor-Studiengang „Angewandte Medien- und Kommunikationswissenschaft“ ist u.a. die Befähigung zur Technikkommunikation. Die hierdurch bereits vorhandene Expertise zum Einsatz von 3D-Videos sowie von 360°-Panoramabild/-video für Lehr- und Schulungszwecke soll in dieses Vorhaben mit einfließen. Zusätzlich soll in die Umsetzung auch die „Forschungsgemeinschaft elektronische Medien e.V.“ (FEM) eingebunden werden, um sowohl die technische Unterstützung als auch die Verstetigung/Bereitstellung der Inhalte mit zu organisieren. Die FEM ist mit ca. 2000 Mitgliedern der größte studentische Verein der TU Ilmenau und verfolgt das Ziel, neue Medien für Studierende erlebbar zu machen.

Die Zugänglichkeit des Materials des gesamten Vorhabens wird auch dadurch garantiert, dass neben professionellen VR-Brillen für kleine Gruppengrößen (5-8) auch das eigene Smartphone zusammen mit einer einfachen Halterung (z.B. aus Pappe; je nach Ausführung 3 bis 15 EUR) für das VR-Erlebnis genutzt werden können soll. Smartphone-basierte VR gilt es im Vergleich mit professionellen VR-Brillen für die anvisierten Lehrzwecke zu erproben. Smartphone-basierte VR würde es im Erfolgsfalle gestatten, das erstellte 3D-Material und auch „augmented reality“ für Vorlesungen mit zu meist mehr als 8 Teilnehmern (z.B. Bachelorvorlesung ca. 80 Studierende) einzusetzen. Auch daheim könnten so Studierende von den Inhalten des Vorhabens profitieren.

3. Bewertung des Konzepts aus Sicht der Lern-/Lehrforschung

Der Einsatz von virtuellen Realitäten in der Lehre ist bereits für einige Szenarien erfolgreich demonstriert und intensiver Gegenstand der Forschung. VR-Techniken werden derzeit als eine Schlüsselkomponente für innovative Lehre diskutiert.^{4,5} Das Erleben von Inhalten in einer virtuellen Realität kommt hierbei dem realen Erleben durchaus nahe, was u.a. auch in der Psychotherapie, z.B. bei der Überwindung von Phobien, bereits vereinzelt genutzt wird.⁶ Auch im Bereich der Online-Lehre (z.B. Massive Open Online Courses, Vorreiter Harvard University: „Virtual Reality-Lehre: Harvard startet öffentliche 3D-Vorlesung“⁷) kann diese Technologie und grundlegend auch der Inhalt dieses Vorhabens eingesetzt werden. Generell wird der VR-Technik ein sehr hohes Potential in der Lehre prognostiziert, was mit diesem Vorhaben für den Bereich der Mikrotechnologien, wie beschrieben, erprobt werden soll.

4 Bower, M., et al. (2014) Augmented Reality in education – cases, places and potentials. In Educational Media International, Vol. 51, No. 1, 1-15

5 HFD (2016a) [Digitale Lernszenarien im Hochschulbereich](#). Arbeitspapier Nr. 15. Berlin: Hochschulforum Digitalisierung.

6 <https://www.zeit.de/2018/27/virtual-reality-angststoerung-psychotherapie-technik>

7 <https://www.edukatico.org/de/news/virtual-reality-lehre-harvard-startet-oeffentliche-3d-vorlesung>

4. Einbindung der Lehrinnovation in das Studium an der TU Ilmenau

Wie o.a. existieren derzeit an der TU Ilmenau keine geeigneten, eigenen Inhalte zur Vermittlung von Mikro- und Nanotechnologien sowie komplexen Mikrosystemen. Auch andere Quellen sind bislang nicht bekannt. Dieser Umstand soll durch das Vorhaben innovativ geändert werden. Die im Rahmen dieses Vorhabens zu schaffenden Inhalte sollen allen interessierten Dozenten zur Verfügung stehen und werden natürlich konsequent in die Lehre des Fachgebiets „Mikrosystemtechnik“ der TU Ilmenau eingebunden werden. Diese setzt sich derzeit wie folgt zusammen:

Lehrangebot FG Mikrosystemtechnik	Anmerkung
Grundlagen der Mikrosystemtechnik (Mikrotechnologie, Mikrotechnologie 1)	Bachelor (Pflicht): Maschinenbau, Mechatronik Bachelor (Wahl): Technische Physik, Biomedizintechnik
Mikrotechnologie 2	Bachelor (Wahl): Maschinenbau, Mechatronik
Microtechnologies and Microsystems (Microtechnology 2)	Master (Pflicht, Englisch): Micro- and Nanotechnology
Mikrosensorik und Mikroaktorik	Master (Wahl): z.B. Mechatronik, Maschinenbau
Mikrotechnologien und Mikrosysteme (MEMS)	Master (Pflicht): z.B. Mechatronik, oder in anderen Studiengängen als Wahlfach

Als ein „Nebenprodukt“ der Erstellung von Lehreinheiten im Bereich der virtuellen Realität entstehen simultan auch 2D-Videos und Bildmaterial zur umfassenden Illustration von Vorlesungsfolien, Skripten, Büchern u.s.w., was die Lehrqualität insgesamt auch weiter verbessert. Es ist allgemein zu erwarten, dass die Inhalte auch in andere Fachgebiete und in einen breiteren Kontext einfließen. Hierbei ist das fachgebietsübergreifend genutzte Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN) eine Schlüsseleinrichtung. Darüber hinaus soll auch eine unmittelbare Nutzung über die bestehenden Austausch- und Doppelmasterprogramme mit der Universität Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima sowie der École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques de Bascos (ENSMM, Frankreich) erfolgen und diese Kooperation stärken bzw. neue initiieren.

5. Evaluation der Lehrinnovation

Die Evaluation der im Vorhaben durchgeführten Maßnahmen erfolgt sowohl formativ, als auch summativ. Durch die direkte und kontinuierliche Einbindung der Studierenden in die Erstellung der virtuellen Realitäten ist eine interne studentische Evaluation und Qualitätskontrolle als formative Komponente direkt implementiert: „Inhalte von Studierenden für Studierende - in konsequenter Begleitung durch erfahrene Wissenschaftler und Dozenten“. Lernerfolgskontrollen dienen ergänzend als summative Komponente, wobei auf entsprechende Erfahrungen aus der „Basic Engineering School“⁸ der TU Ilmenau zurückgegriffen werden kann.

8 BMBF gefördertes Projekt an der TU Ilmenau für neue Lehr- und Lernformen in der Ingenieurausbildung

6. Organisatorische Einbindung in die TU Ilmenau

Der Antragsteller ist Leiter des Fachgebiets Mikrosystemtechnik in der Fakultät Maschinenbau und Mitglied im Institut für Mikro- und Nanotechnologien MacroNano® (IMN). Das Fachgebiet wird maßgeblich die Umsetzung des Vorhabens koordinieren bzw. realisieren. Die für den Antrag relevanten Anlagen und Geräte⁹ stehen in den Reinräumen des Zentrums für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN). Das Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien ist eine zentrale Betriebseinheit der TU Ilmenau und verfügt über zwei Reinräume und 15 weitere Labore mit einer Gesamtfläche von 2.000 m² für die mehr als 200 prozesstechnischen und analytischen Anlagen und Geräte im Wert von ca. 30 Millionen Euro. Als technologische Plattform des IMN dient das ZMN als fakultätsübergreifender Ort für Forschung und Lehre auf den Gebieten der Mikro- und Nanotechnologien und steht allen MitarbeiterInnen und Studierenden der TU Ilmenau für Arbeiten in den Laboren und Reinräumen offen. Durch die Einbindung in das ZMN hat das Fachgebiet Mikrosystemtechnik vollen Zugang zu den gesamten Ressourcen des Zentrums. Darüber hinaus sind Mitarbeiter des Fachgebietes für große Teile der Silizium-basierten Infrastruktur des ZMN unmittelbar verantwortlich.

Neben den im ZMN zentral angestellten 15 Mitarbeiter*Innen übernehmen auch andere Mitarbeiter*Innen der 39 zum IMN gehörenden Fachgebiete dauerhaft Aufgaben in der Betreuung von technologischen Prozessen und Anlagen des ZMN. Diese räumliche und strukturelle Bündelung der technologischen aber auch personellen Ressourcen ergibt ein außergewöhnliches Synergiepotential für die Förderung des studentischen und wissenschaftlichen Nachwuchses. Als interdisziplinäres Zentrum fungiert das ZMN als Lehr- und Lernort für Studierende der unterschiedlichsten Studiengänge. Für die erfolgreiche Bearbeitung von Praktika sowie Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten ist ein hohes Maß an theoretischem Wissen der Mikrotechnologie/Mikrosystemtechnik in Verbindung mit der praktischen Arbeit an immer komplexer werdenden Anlagen erforderlich. Die betreuenden Mitarbeiter*Innen im ZMN sind dementsprechend auf die Qualität der Lehre der sich im Vorfeld der praktischen Phase befindlichen Vorlesungen angewiesen. Die im klassischen Lehrmodus einer „analogen“ Vorlesung vermittelten Ansätze zum Umgang mit den Anlagen sind stark durch eine Vereinfachung von Komplexität geprägt. Die Schaffung einer virtuellen Realität zum besseren Verständnis würde daher einen direkten Beitrag zur Leistungsfähigkeit der Studierenden in den Reinräumen des ZMN leisten. Das Direktorium des Zentrums für Mikro- und Nanotechnologien unterstützt den vorliegenden Projektantrag vollumfänglich.¹⁰ Einer der ehemaligen technischen Mitarbeiter des Fachgebiets Mikrosystemtechnik mit Schwerpunkt „Lithografie“ steht für die Umsetzung der Filmaufnahmen im Reinraum unmittelbar zur Verfügung.

9 Eine umfassende Übersicht aller Anlagen und Geräte ist unter <https://www.tu-ilmenau.de/imn/technologiezentrum-zmn/prozesstechnologien/> zu finden.

10 Persönliche Mitteilung: Prof. S. Sinzinger (Direktor IMN), M. Illing (Innovationsreferentin, ZMN), zzgl. Zuarbeit.

7. Verstetigung, Übertragbarkeit und Reichweite der Lehrinnovation

Die im Rahmen des Vorhabens erstellten Inhalte sollen sukzessiv ausgebaut und anderen Dozenten bzw. z.T. online-zugänglich gemacht werden. Die Zugänglichkeit kann hierbei auf mehreren Ebenen: intern, online mit Einschreibeschlüssel (z.B. über E-Learning-Plattform Moodle) sowie frei über universitäre oder externe Streamingdienste erfolgen. Im Erfolgsfalle ist zu erwarten, dass weitere Studiengänge, Zentren und Fachgebiete vergleichbares Material und Angebote auf Basis der zu erarbeitenden Systematik sowie der gemachten Erfahrungen erstellen. Virtuelle Lehrangebote sollen auch die Grundlage zur Ausgestaltung neuer Online-Kursangebote an der TU Ilmenau sein.

Als ein Beispiel zur Verstetigung sei hier nochmals auf das Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien verwiesen. Seit 2013 ist das ZMN als Gerätezentrum der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert und verzeichnet seit dem einen kontinuierlichen Ausbau. Dies trug zu einer steten Professionalisierung des Schulungs-, Nutzungs- und Managementkonzeptes bei. So verfügt das ZMN neben einer umfassenden Nutzungsplanung und -erfassung über eine bewährte praktische Nutzerschulung. Eine Ergänzung dieser durch digitale Lehrmethoden, wie sie in diesem Antrag geplant sind, soll durch das Personal des ZMN übernommen und aktiv für Lehre und Training genutzt werden.

Das Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien hat dementsprechend auch ein hohes Interesse an der Verstetigung und Weiterführung solch digitaler Lehrformen. Als erstes technologisches Zentrum der TU Ilmenau war und ist das ZMN stets die Blaupause für die Managementstruktur und den Betrieb der anderen Zentren.¹¹ Nach erfolgreichem Abschluss des Projektes ist neben der Überführung des Konzeptes auch auf andere Prozesslinien eine Überführung in die Lehre in die Fakultäten und anderen Zentren der TU Ilmenau geplant. Das kooperative Nutzungskonzept des ZMN sowie die direkte Zusammenarbeit mit anderen Betriebseinheiten zum Beispiel mit dem Zentralinstitut für Bildung und dem Universitätsrechenzentrum werden dabei einen entscheidenden Anteil haben. Auch die Kooperation und Anbindung an regionale An-Institute und Forschungseinrichtungen (z.B. Forschungsinstitut für Mikrosensorik (Erfurt), Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie (IDMT, Ilmenau)) soll auf Basis eines virtuellen Lehr-, Visualisierungs- und Trainingsangebots weiter ausgebaut werden. Mit dem IDMT besteht bereits auf einem anderen Gebiet eine erste Zusammenarbeit. Das IDMT forschte auch bereits gemeinsam mit der FU Berlin an virtuellen Lern- und Laborumgebungen im Bereich der Physik¹². Die hier gesammelten Erfahrungen sollten auch dieses Vorhaben bereichern können.

8. Austausch mit anderen „Fellows“ des Programms

Im Austausch mit anderen Teilnehmern des Programms wird insbesondere ein intensiver Erfahrungsaustausch zur optimalen Gestaltung und Erstellung von Lehrinhalten als auch das Entstehen neuer Impulse erwartet. Neue Impulse sollten insbesondere aus der Vernetzung, der Interdisziplinarität sowie den verschiedenen Projektansätzen entstehen. Darüber kann der Austausch auch eine Keimzelle für neue Forschungsvorhaben in Thüringen darstellen.

11 Zuarbeit: M. Illing (Innovationsreferentin, ZMN)

12 z.B. Projekt „Elixier“ <https://www.idmt.fraunhofer.de/de/institute/projects-products/projects/elixier.html>