

# Promoting technical and methodological competencies in medical-oriented engineering degree courses by building digital transmitted-light and holographic microscopes: A pilot project

## Abstract

This work presents a structured cross-course teaching concept designed for biomedical engineering students, focusing on acquiring technical skills through the construction and application of 3D-printed robotic and holographic microscopes, spanning over different lectures. The project is embedded within the lectures of Medical Engineering, Medical Imaging and Anatomy and Physiology, aiming to bridge theoretical knowledge and hands-on applications.

The concept includes theoretical lectures, interactive seminars, and practical laboratory sessions as well as self-study phases and project implementation phases. Students are guided through the technical implementation such as 3D printing, wiring, programming and assembly as well as the use of the microscopes. Key learning objectives include physics, mastering manufacturing processes, and applying open-source resources and finally using their own built microscope within the practical part of a medical lecture. Besides that, the project-based approach should foster methodological competence and problem-solving skills as well as social competences and teamwork.

The first run shows increased student engagement and improved exam performance among participants, while qualitative feedback highlights the project's motivational impact. Although designed for biomedical engineering students, the concept offers transferable elements for a wide range of usage within medical education. Besides the didactic aspects the use of DIY approaches based on open-source and 3D printing offer cost-effective, sustainable alternatives to cost-intensive, traditional lab equipment.

**Keywords:** biomedical engineering, digital microscopy, microscopic anatomy, 3D printing, project-based learning, competency-based learning and assessment, open source

Christian Hanshans<sup>1</sup>  
Friederike Burkhardt<sup>1</sup>

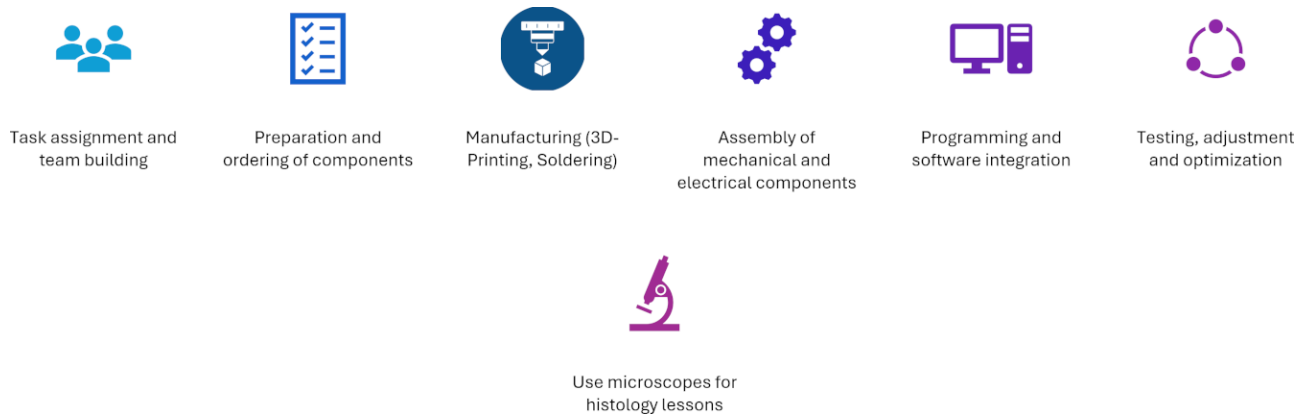
<sup>1</sup> Hochschule München,  
Fakultät VI, angewandte  
Naturwissenschaften und  
Mechatronik, Munich,  
Germany

## Introduction

Biomedical engineering education faces persistent challenges in providing accessible, hands-on learning experiences that connect theoretical concepts with practical applications. Traditional lab equipment, especially high-end devices like robotic and holographic microscopes, is often prohibitively expensive, limiting its use in standard curricula. To address this gap, this project introduces an educational framework that enables students to design, construct, and apply DIY (do it yourself) microscopes using open-source technologies and affordable components. The project is tailored specifically for engineering students in the field of biomedical engineering and is embedded in the courses “medical engineering 1” and “medical imaging” and “anatomy and physiology 1”. By integrating technical, methodological, and problem-solving skills, the

project promotes a holistic learning approach aligned with socio-constructivist and situated learning principles. This hands-on initiative not only enhances technical competence in physics, engineering and rapid prototyping or programming but also strengthens soft skills like teamwork and project management.

This report focuses on the implementation and outcomes of this project, highlighting its potential as a transferable model for other cross-course and interdisciplinary educational settings within, biomedical engineering or medical education. While the primary aim was to advance technical learning objectives, the project also demonstrates how practical, project-based methods can foster motivation and engagement in anatomy and physiology courses, paving the way for interprofessional collaboration in clinical and biomedical contexts. Research supports the value of additive manufacturing in educational settings,



**Figure 1: The project followed a structured timeline.**

These phases were supported by regular project meetings where progress and challenges were reviewed

demonstrating its potential to enhance student engagement and deepen understanding of complex concepts. In medical engineering as well in medicine, 3D printing has proven especially useful, enabling the creation of anatomical models, prosthetics, and other biomedical devices that facilitate experiential learning. Studies highlight the benefits of using 3D printing in fostering interdisciplinary collaboration and practical problem-solving skills among students [1]. Building on this foundation, this project implemented a DIY approach allowing students to construct and operate robotic or holographic microscopes. The curriculum of the studied cohort emphasizes active learning and skill building through hands-on experience [2], [3]. Moreover, the course design makes use of socio-constructivist principles, emphasizing collaborative problem-solving through group projects. This is intended to promote student involvement and knowledge exchange, thereby enhancing motivation and engagement in the learning process [4]. Research shows that situated learning enables learners to gain not only factual knowledge but also the tacit skills necessary for effective problem-solving and the development of professional competencies [5]. Blooms Taxonomy emphasizes the development of critical thinking and problem-solving skills, as students are required to perform higher-order thinking tasks that are directly linked to the learning objectives [6], [7], [8]. By ensuring that assessments are directly aligned with learning outcomes, educators can more accurately measure student understanding and competencies.

## Project description

In this project-based education model, students design and build digital robotic and 3D holographic microscopes using open-source assets, which they then use to learn about histology. In the process, they develop essential design, prototyping and application skills (see figure 1). The build microscopes are based on open-source designs [3], [9]. Students were tasked with selecting appropriate materials based on mechanical or optical properties. They 3D-printed necessary parts and assembled the micro-

scopes, incorporating electronic components and software (see figure 2). The assembly and testing process involved iterative refinement, with students adjusting optics, optimizing mechanical fits, and testing overall functionality or adapting the software.

Building a robotic microscope is intended to improve mechatronic skills, as it focuses on mechanical construction and the integration of hardware and software systems. Students engage with topics such as actuation, sensors, and control systems. In contrast, the holographic microscope involves a relatively simple physical setup (see figure 3) but presents more complex challenges in the areas of algorithmic image reconstruction, digital signal processing, and programming. These two options offer self-directed and individualized learning paths within the project.

A total of 19 Biomedical Engineering students (5<sup>th</sup> semester) participated, working in teams over the whole semester. The project was continuously supported by a peer-teacher and technical staff with weekly sessions spanning theoretical lectures, interactive seminars, and practical lab sessions held by the professor. In the lectures, students were introduced to the fundamentals of physics, optical sensors, rapid prototyping techniques within the two technical classes as well as microscopic anatomy and microscopic applications within the medical class. Seminars allowed students to engage in discussions with peers and instructors, reinforcing the theoretical content and encouraging critical thinking. These sessions were structured to accommodate students with varying levels of prior knowledge, ensuring that all participants could effectively engage with the course material and collaboratively address challenges encountered during the practical sessions.

Challenges and troubleshooting were integral to the learning experience. This initiative aims not only to strengthen technical and methodological skills but also to promote active problem solving and teamwork.

Following Bloom's Taxonomy of learning, students are intended to acquire skills and competencies to foster both foundational knowledge and higher-order thinking. For example, on the "remember and understand" level, students were expected to recall microscopic structures

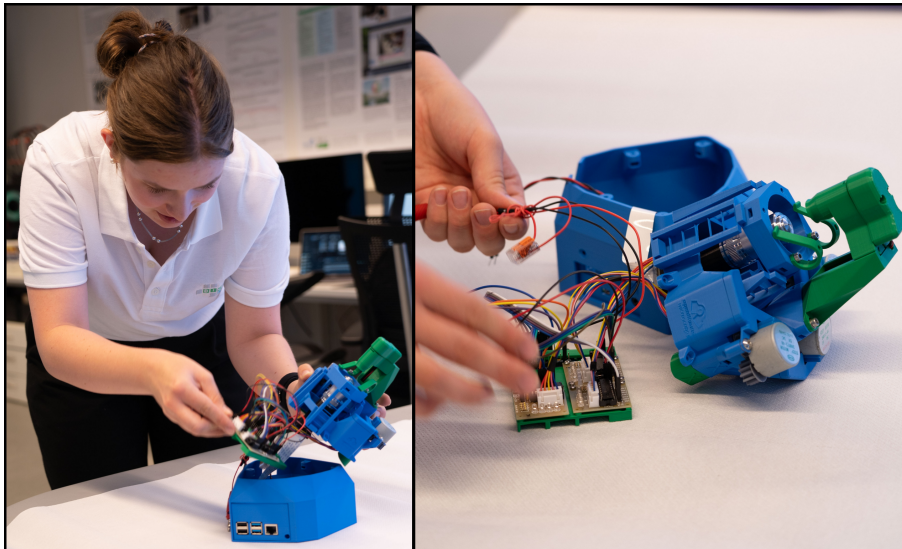


Figure 2: A student assembling the microscope (left) and organizing the hardware inside (right)

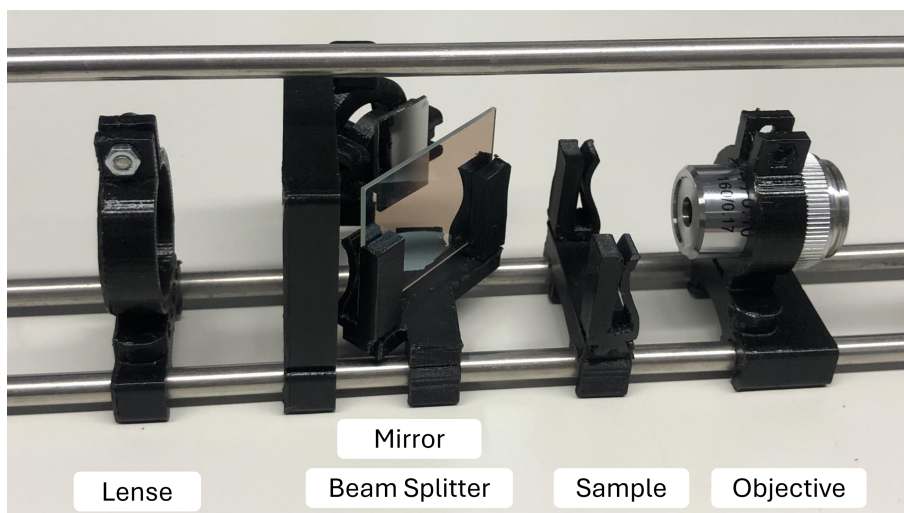


Figure 3: The holographic microscope is a highly specialized and complex device, allowing the observation of living cells without the need for staining

of tissues, understand basic principles of rapid prototyping, as well as functions of microscopic techniques. Students “applied” this knowledge by 3D-printing components and programming microscope control units. They independently evaluated (“analyze”) optical quality and component compatibility. To “evaluate”, students critically assessed the performance of their devices against commercial microscopes. Finally, the “create” level was reached when teams designed and constructed functional microscopes for specific applications.

A blended assessment approach, combining traditional exams with project-based assessments, was used for this pilot project to determine students’ theoretical knowledge and practical skills [10]. Performance was rated by peer feedback, instructor assessment and the quality of the completed microscopes.

## Results

### Participation and engagement

Participation in the project was strong, with 69% of the students enrolled in the course (compared to the typical 40%). 95% (typically 50% within the study program) of the students who regularly attended the lecture, joined the voluntary semester project.

Qualitative feedback from students highlighted the project’s motivational effect, with many expressing a sense of ownership over their work and an appreciation for the opportunity to work independently. One student voiced: “Building a microscope from scratch allowed me to understand the critical properties of each component and their contributions to the overall device functionality.”

Students reported that building their own microscopes helped them understand the critical components and their functional interdependencies. Feedback emphasized that the project fostered problem-solving skills, collabor-

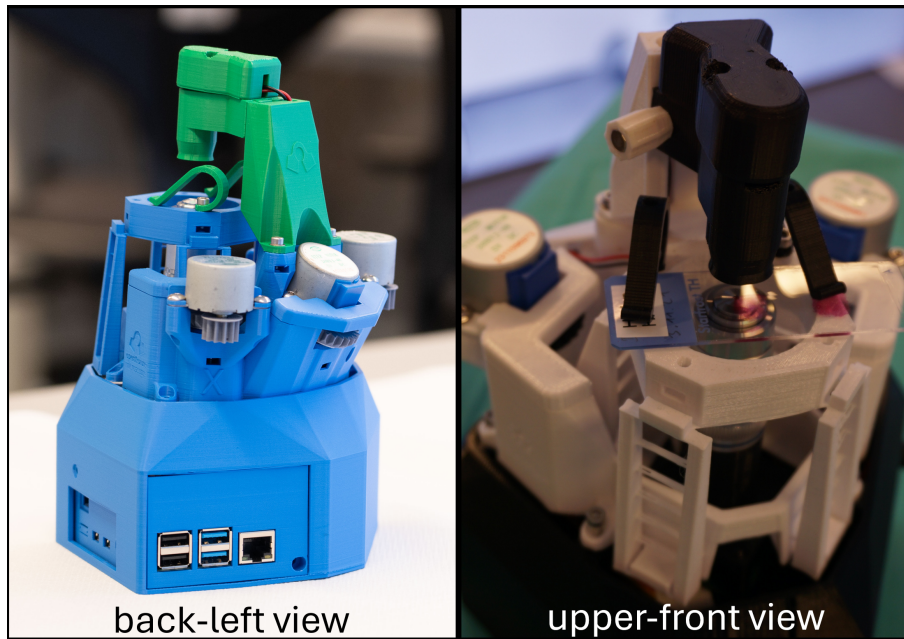


Figure 4: Student build 3-axis motorized brightfield microscopes

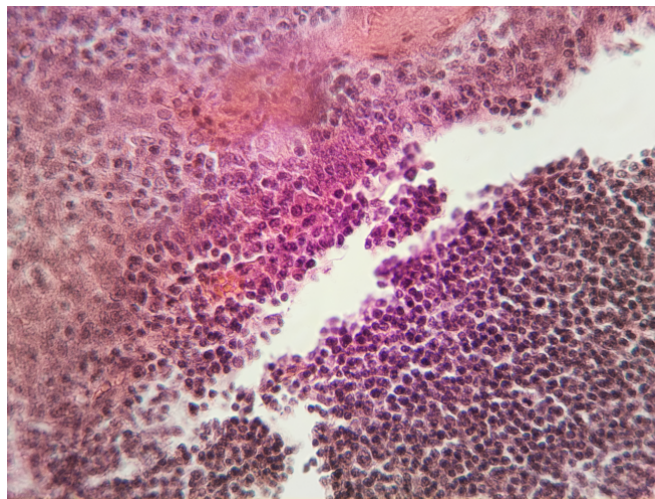


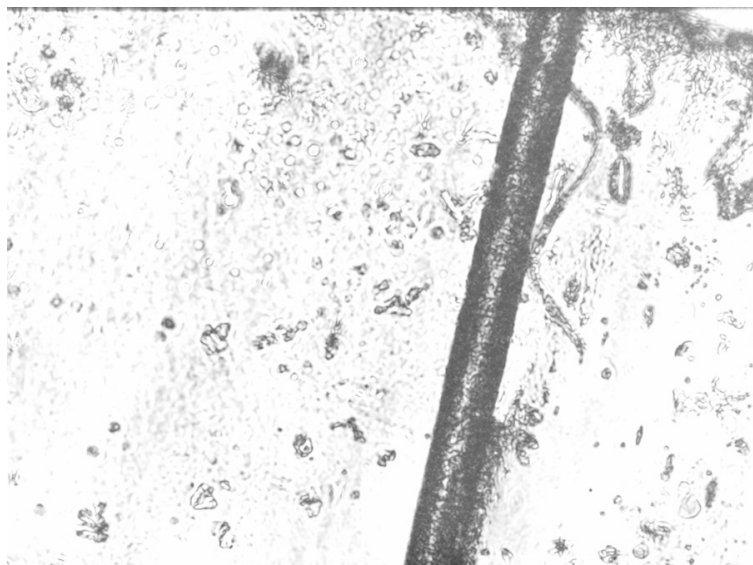
Figure 5: Example image of a human tonsil (HE stain) at 400x magnification taken with a student-built robotic microscope

ative teamwork, and confidence in technical tasks such as rapid prototyping, soldering, and programming. In the parallel anatomy and physiology class, it was found that the students who had built the microscope performed 22% better in the lab courses about microscopic anatomy. The self-constructed robotic (see figure 4) and holographic microscopes were found to be comparable in quality to commercial devices, such as the Zeiss Axiolab 5 available in the lab (at 400x magnification). Additionally, the robotic microscopes enabled automated scanning of samples, offering a cost-effective and sustainable alternative to traditional lab equipment.

Because the microscopes operate without an eyepiece objective, the image can be projected on a screen in real time. This allows all participants of each team of the course (each team typically consists of 3 students) to observe a sample simultaneously while the instructor explains. This also led to vivid discussions within the team, that now was able to point at certain structures on

the screen, whereas in former semesters (using traditional microscopes) discussions were less frequent and substantial. An example image of a student-built robotic microscope at 400x magnification showing lymphatic tissue can be seen in figure 5.

The image in figure 6 shows a human hair captured with the student-built microscope. Holographic microscopy provides topographical information of the sample that cannot be attained using conventional transmission microscopy. The system records interference patterns of a scattered laser beam, from which both amplitude and phase information of the sample are computationally reconstructed using digital holography techniques. As the used cost-effective single-board computer (a Raspberry Pi 4B with 4 gigabytes of RAM) does not provide the necessary computing power, the capturing process was separated from the visualization and display process. The captured file needed complex image reconstruction (with a runtime of about 2 minutes to compute the image),



**Figure 6: Example image of a human hair captured by the holographic microscope following manual image reconstruction**  
The prickly background is caused by the sample preparation with a transparent adhesive tape (background noise of the image)

that have to be run separately, leading to an high-resolution pseudo-3D image, despite of the minimal material cost (under 200 €).

## Discussion

Participation in the project was notably higher compared to other non-mandatory classes within the course, which typically have an average attendance rate of 30-40%. This high level of engagement reflects the project's perceived relevance to the students' educational goals. Throughout the project, students encountered challenges, including the availability of specific hardware components and issues related to group dynamics. These challenges align with prior research on interdisciplinary collaboration and practical problem-solving skills [1]. In cases where electronic components were unavailable, students adapted by selecting alternative parts, requiring them to learn additional skills such as soldering and electronic integration. This supported the development of higher-order thinking and problem-solving skills, as intended by Bloom's Taxonomy [7]. These adaptations highlighted the importance of flexibility and problem-solving in engineering projects. Organizational challenges also arose as students navigated teamwork dynamics, which highlighted the need for targeted support in managing communication and group coordination. These experiences provided significant learning opportunities, connecting to situated learning theory by exposing students to real-world technical and organizational obstacles commonly encountered in professional settings [5]. The educational outcome aligns with socio-constructivist principles, emphasizing active and collaborative learning. Students took ownership of their projects, a factor that likely contributed to the observed improvements in motivation and exam performance. The use of open-source designs motivated students to contribute back to the academic community

by sharing improvements and modifications, fostering an appreciation for scientific knowledge-sharing. Despite its success, the project faced some challenges. The non-mandatory nature of the course introduced self-selection bias, which may have influenced the results. Additionally, logistical issues, such as delays in component delivery and varying levels of team collaboration, required flexibility and problem-solving. These limitations underscore the importance of structured guidance and ongoing support in project-based learning. Future iterations of the project will focus on refining the curriculum to better support teamwork and exploring additional applications of rapid prototyping and cross-disciplinarity in biomedical education. Expanding the use of open-source designs and improving the integration of evaluation metrics, such as detailed statistical analyses and peer-reviewed assessments, will further enhance the program's effectiveness. Additionally, collaborations with medical faculties could provide a pathway for broader implementation of this educational model. Furthermore, the project provides a foundation for interprofessional education, where medical and engineering students could collaborate on solving real-world problems, fostering early teamwork skills akin to clinical scientist programs.

## Conclusion

The project highlights the importance of cross-course and interdisciplinary learning, as students applied their technical knowledge in medical contexts, bridging the gap between engineering and healthcare and demonstrated the value of cross-disciplinary project based learning in combination with rapid prototyping and open-source technology in medical education. By engaging students in building their own microscopes, this project promoted scientific collaboration and technical expertise, equipping future biomedical engineers with the skills necessary for

their professional roles. While the project was designed for biomedical engineering students, its core principles are transferable to medical education. The integration of open-source tools and hands-on methods enhanced anatomy and physiology courses, making complex concepts more accessible and engaging. This could also be applicable for medical or nursing students. The combination of theoretical lectures, interactive seminars, and hands-on labs provided a comprehensive learning experience, preparing students for real-world biomedical challenges. The project also demonstrated that DIY and open-source approaches can offer sustainable, cost-effective alternatives to traditional lab equipment.

## Authors' ORCIDs

- Christian Hanshans: [0000-0002-1923-7791]
- Friederike Burkhardt: [0009-0000-4306-7051]

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## References

1. Ford S, Minshall T. Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Add Manufact.* 2019;25:131–150. DOI: 10.1016/j.addma.2018.10.028
2. Tsoumpri D. Polargraph, the Project: Education through DIY. In: *Proceedings of the FabLearn Europe 2019 Conference*. Oulu (Finland): ACM; 2019. p.1-3. DOI: 10.1145/3335055.3335076
3. Collins JT, Knapper J, Stirling J, Mduda J, Mkindi C, Mayagaya V, Mwakajinga GA, Nyakyi PT, Sanga VL, Carbery D, White L, Dale S, Lim ZJ, Baumberg JJ, Cicuta P, McDermott S, Vodenicharski B, Bowman R. Robotic microscopy for everyone: the OpenFlexure microscope. *Biomed Opt Express.* 2020;11(5):2447-2460. DOI: 10.1364/BOE.385729
4. Saleem A, Kausar H, Deeba F. Social Constructivism: A New Paradigm in Teaching and Learning Environment. *Perennial J Hist.* 2021;2(2):403-421. DOI: 10.52700/pjh.v2i2.86
5. Dimitriadis PA, Iyer S, Evgeniou E. Learning in the Surgical Community of Practice. *Med Sci Educ.* 2014;24(2):211-214. DOI: 10.1007/s40670-014-0042-1
6. Romero M, Kalmpourtzis G. Constructive Alignment in Game Design for Learning Activities in Higher Education. *Informn.* 2020;11(3):126. DOI: 10.3390/info11030126
7. Adams NE. Bloom's taxonomy of cognitive learning objectives. *J Med Libr Assoc.* 2015;103(3):152-153. DOI: 10.3163/1536-5050.103.3.010
8. Croy SR. Development of a group work assessment pedagogy using constructive alignment theory. *Nurse Educ Today.* 2018;61:49-53. DOI: 10.1016/j.nedt.2017.11.006
9. Beckmann T, Fratz M, Schiller A, Bertz A, Carl D. Digital Holographic Microscopy for 200 € Using Open-Source Hard- and Software. Freiburg/Brsg.: Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM. Zugänglich unter/available from: <https://public-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/10cab6c5-baf6-4e0e-8ac5-be7b953d76fa/content>
10. Hanshans C, Zauner J, Rammler M. Freiwillige. Knochen. Arbeit. Studierende zur Teilnahme an praktischen Lehrveranstaltungen motivieren. In: *Conference: Lehrlabor<sup>3</sup> Ein Netzwerk zur teambasierten Lehrentwicklung*. 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.24560.33283
11. Abejuela HJ, Castillon HT, Sigod MJ. Constructive Alignment of Higher Education Curricula. *Asia Pacific J Soc Behav Sci.* 2022;20.
12. Hanshans C, Rammler M. Integration of 3D printing and gamified didactics in medical imaging education. *Trans Add Manufact Meets Med.* 2023;5(S1):ID1127. DOI: 10.18416/AMMM.2023.23091127
13. Marquet P, Rappaz B, Magistretti PJ, Cuche E, Emery Y, Colomb T, Depeursinge C. Digital holographic microscopy: a noninvasive contrast imaging technique allowing quantitative visualization of living cells with subwavelength axial accuracy. *Opt Lett.* 2005;30(5):468-470. DOI: 10.1364/ol.30.000468

### Corresponding author:

Prof. Dr. med. Dipl. Ing. Christian Hanshans  
Hochschule München, Fakultät VI, angewandte  
Naturwissenschaften und Mechatronik, Lothstr. 34,  
D-80335 Munich, Germany, Phone: +49  
(0)89/1265-1636, Fax: +49 (0)89/1265-1603  
[christian.hanshans@hm.edu](mailto:christian.hanshans@hm.edu)

### Please cite as

*Hanshans C, Burkhardt F. Promoting technical and methodological competencies in medical-oriented engineering degree courses by building digital transmitted-light and holographic microscopes: A pilot project. GMS J Med Educ.* 2025;42(5):Doc58.  
DOI: 10.3205/zma001782, URN: urn:nbn:de:0183-zma0017824

### This article is freely available from

<https://doi.org/10.3205/zma001782>

**Received:** 2024-11-10

**Revised:** 2025-06-16

**Accepted:** 2025-07-28

**Published:** 2025-11-17

### Copyright

©2025 Hanshans et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

# Fach- und Methodenkompetenz in medizinnahen (technischen) Studiengängen durch den Bau digitaler Durchlicht- und holografischer Mikroskope vermitteln: Ein Pilotprojekt

## Zusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt ein fachübergreifendes Lehrkonzept für medizinnahen Studiengänge. Die Studierenden bauen, testen und optimieren hierbei über ein Semester zwei Typen von Mikroskopen – kostengünstige, digitale, automatisierte Durchlichtmikroskope und 3D-holografische Mikroskope. Das Projekt ist in die Vorlesungen Medizintechnik, Medizinische Bildgebung sowie Anatomie und Physiologie eingebettet und zielt darauf ab, theoretisches Wissen mit praktischer Anwendung zu verknüpfen.

Das Konzept umfasst Vorlesungen, interaktive Seminare, Laborübungen und selbstständige Projektarbeit. Die Studierenden erlernen praktisch die technischen Schritte: 3D-Druck, Verkabelung, Programmierung, Zusammenbau und Anwendung der Mikroskope. Zu den wesentlichen Lernzielen zählen das physikalische Grundlagenwissen, die Anwendung von Fertigungsverfahren, die gezielte Nutzung von Open-Source-Ressourcen und schließlich der Einsatz des selbst konstruierten Mikroskops im praktischen Teil einer medizinischen Vorlesung. Darüber hinaus fördert der projektbasierte Ansatz methodische Kompetenzen, Problemlösefähigkeiten sowie soziale Kompetenzen und Teamfähigkeit.

Der erste Durchlauf zeigte eine gesteigerte Beteiligung der Studierenden und verbesserte Prüfungsergebnisse bei den teilnehmenden Studierenden. Qualitative Rückmeldungen hoben die motivationale Wirkung des Projekts hervor. Obwohl das Konzept für Studierende der Medizintechnik entwickelt wurde, enthält es gut übertragbare Elemente, die sich in vielen Bereichen der medizinischen Ausbildung nutzen lassen. Neben didaktischen Aspekten bieten Ansätze auf Basis von Open-Source und 3D-Druck kostengünstige und nachhaltige Alternativen zu teuren traditionellen Laborgeräten.

**Schlüsselwörter:** Medizintechnik, Mikroskopie, mikroskopische Anatomie, 3D Druck, projektbasiertes Lernen, kompetenzorientiertes Lernen und Prüfen, Open-Source, DIY

## Einleitung

In der Medizintechnik-Ausbildung ist es eine zentrale Herausforderung, theoretisches Wissen mit praktischen Erfahrungen zu verknüpfen. Hochwertige Laborgeräte wie digitale, automatisierte Durchlicht- oder gar holografische Mikroskope sind oft zu teuer für den regulären Lehrbetrieb. Um diese Lücke zu schließen, entwickelt dieses Projekt ein pädagogisches Konzept, das Studierenden das Bauen, Verbessern und Anwenden von DIY-Mikroskopen (do-it-yourself) auf Basis von Open-Source und kostengünstigen Komponenten ermöglicht.

Das Projekt ist in der Studienrichtung Medizintechnik verankert und fachübergreifend in die Lehrveranstaltungen „Medizintechnik 1“, „Medizinische Bildgebung“ und „Anatomie und Physiologie 1“ eingebunden. Es verbindet technische und methodische Fertigkeiten mit Problemlösungskompetenz und basiert auf sozial-konstruktivistischen und situierten Lernprinzipien. Diese praxisorientierte Initiative stärkt nicht nur die technischen Kompetenzen in Physik, Ingenieurwesen, Rapid Prototyping und Programmierung, sondern auch überfachliche Fähigkeiten wie Teamarbeit und Projektmanagement.

Dieser Bericht beschreibt Umsetzung und Ergebnisse des Projekts sowie dessen Potenzial als übertragbares Modell für andere fachübergreifende und interdisziplinäre Lehr- und Lernkontexte im Bereich medizinnaher Studiengänge

**Christian Hanshans<sup>1</sup>**  
**Friederike Burkhardt<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Hochschule München,  
Fakultät VI, angewandte  
Naturwissenschaften und  
Mechatronik, München,  
Deutschland



**Abbildung 1: Das Projekt folgt einem strukturierten Zeitplan**

Diese Phasen werden durch regelmäßige Projektbesprechungen begleitet, in denen Fortschritte und Herausforderungen erörtert werden

oder in der medizinischen Ausbildung. Während das primäre Ziel die Förderung technischer Lernziele war, zeigt das Projekt auch, wie praxisnahe, projektbasierte Methoden Motivation und Engagement in Anatomie- und Physiologieveranstaltungen steigern können und damit den Weg für interprofessionelle Zusammenarbeit in klinischen und biomedizinischen Kontexten ebnen. Studien bestätigen den Wert der additiven Fertigung in Bildungskontexten und zeigen ihr Potenzial, das Studierendenengagement zu erhöhen und das Verständnis komplexer Konzepte zu vertiefen. In der Medizintechnik wie auch in der Medizin hat sich der 3D-Druck besonders bewährt, indem er die Herstellung von anatomischen Modellen, Prothesen und anderen biomedizinischen Geräten ermöglicht. Studien heben die Vorteile des 3D-Drucks für die Förderung interdisziplinärer Zusammenarbeit und praktischer Problemlösungsfähigkeiten bei Studierenden hervor [1]. Auf dieser Grundlage implementierte dieses Projekt einen DIY-Ansatz, der es Studierenden ermöglicht, digitale, automatisierte oder 3D-holografische Mikroskope zu konstruieren, zu programmieren und im medizinisch-praktischen Kontext zu verwenden. Das Curriculum der untersuchten Kohorte legt Wert auf aktives Lernen und Kompetenzaufbau durch praktische Erfahrungen [2], [3]. Darüber hinaus nutzt das Kursdesign sozial-konstruktivistische Prinzipien und kollaboratives Problemlösen in Gruppenprojekten. Dies soll die Beteiligung der Studierenden und den Wissensaustausch fördern und so Motivation und Engagement im Lernprozess steigern [4]. Forschungsergebnisse zeigen, dass situiertes Lernen nicht nur faktenbasiertes Wissen vermittelt, sondern auch die impliziten Fertigkeiten, die für effektives Problemlösen und die Entwicklung beruflicher Kompetenzen notwendig sind [5]. Die Bloom'sche Taxonomie betont die Entwicklung kritischen Denkens und Problemlösefähigkeiten, da von den Studierenden höhere kognitive Leistungen verlangt werden, die direkt mit den Lernzielen verknüpft sind [6], [7], [8]. Dadurch, dass die Benotung ebenfalls direkt an diese Lernziele gekoppelt ist, können Lehrende das Verständnis und die Kompetenzen der Studierenden genauer messen.

## Projektbeschreibung

In diesem projektbasierten Lehrmodell entwerfen und bauen Studierende zwei unterschiedliche Arten digitaler Mikroskope, basierend auf Open-Science Ansätzen und Open-Source Komponenten, die sie anschließend zur Erarbeitung histologischer Inhalte nutzen. Dabei entwickeln sie grundlegende iterative Fähigkeiten in Konstruktion, Rapid-Prototyping, Programmierung und medizinischer Anwendung (siehe Abbildung 1).

Die gebauten Mikroskope basieren auf Vorarbeiten von Open-Science-Initiativen und Open-Source-Elementen [3], [9]. Im Pilotprojekt wählen die Studierenden geeignete Materialien basierend auf mechanischen und optischen Eigenschaften aus. Sie drucken die notwendigen Bauteile im 3D-Druck und montieren die Mikroskope, wobei elektronische Komponenten und Software integriert werden (siehe Abbildung 2). Der Montage- und Testprozess verläuft iterativ: Studierende justieren Optiken, optimieren mechanische Passungen, prüfen die Gesamtfunktionalität und passen die Software an.

Der Bau eines motorgesteuerten Digitalmikroskops fördert primär mechatronische Kompetenzen, da er den mechanischen Aufbau sowie die Integration von Hard- und Softwaresystemen in den Mittelpunkt stellt. Hierbei beschäftigen sich Studierende mit Themen wie Konstruktion und Fertigungstechnik, Steuerung von Aktoren und hardwarenahe Programmierung. Im Gegensatz dazu erfordert das 3D-holografische Mikroskop einen physikalisch vergleichsweise einfachen Aufbau (siehe Abbildung 3), stellt jedoch komplexere Anforderungen in algorithmischer Bildrekonstruktion und Programmierung. Diese Optionen bieten innerhalb des Projekts selbstbestimmte und individualisierte Lernwege.

19 Medizintechnik-Studierende (5. Semester) nahmen teil und arbeiteten das Semester über in Teams (Gruppengröße 2-3) zusammen. Das Projekt wurde kontinuierlich von studentischen Hilfskräften und technischem Personal unterstützt. Das Projekt wurde von Vorlesungen, interaktiven Seminaren und praktischen Laborterminen flankiert. In den technischen Vorlesungen lernten die Studierenden physikalische Grundlagen, optische Senso-



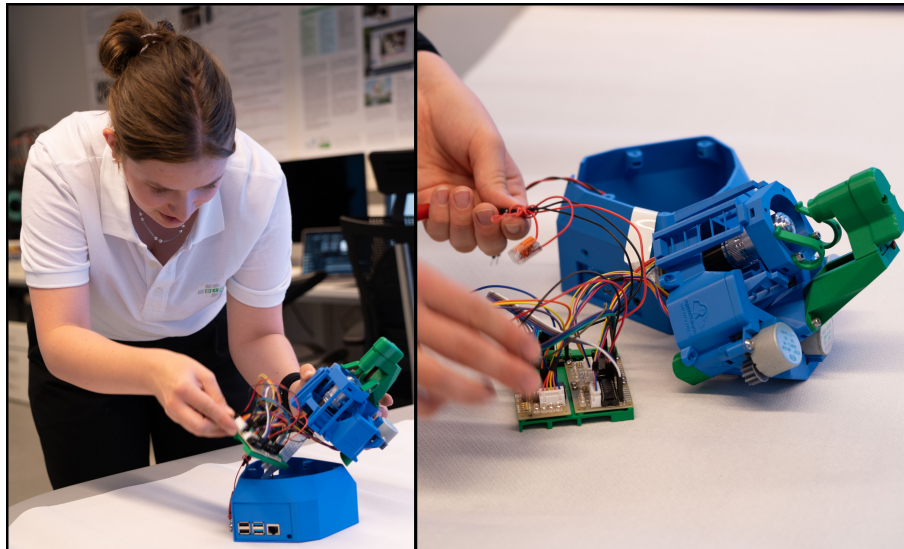


Abbildung 2: Eine Studentin beim Zusammenbau des Mikroskops (links) und bei der Anordnung der Hardware bestehend aus Spannungsversorgung, Schrittmotoren und Motorsteuerung (rechts)

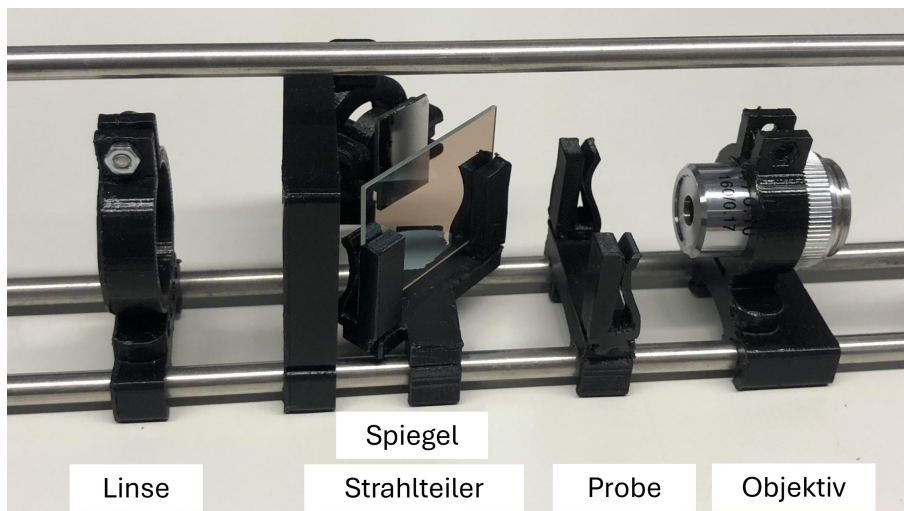


Abbildung 3: Das 3D-holografische Mikroskop ist ein hochspezialisiertes und komplexes Gerät, das die Beobachtung lebender Zellen ohne Färbung in räumlicher Darstellung ermöglicht

ren und Rapid-Prototyping-Verfahren und mikroskopische Anatomie und Anwendungen im medizinischen Fach. Die Seminare ermöglichten Diskussionen zwischen Studierenden und Lehrenden und förderten kritisches Denken. Die Sitzungen berücksichtigten unterschiedliche Vorkenntnisse der Teilnehmer.

Herausforderungen und Fehlersuche waren fester Bestandteil des Lernkonzepts. Dadurch stärkt das Projekt nicht nur technische und methodische Kompetenzen, sondern auch aktives Problemlösen und Teamarbeit. Entsprechend der Bloom'schen Taxonomie sollten die Studierenden Fertigkeiten und Kompetenzen erwerben, die sowohl Grundlagenwissen als auch höherstufiges Denken fördern. Auf der Ebene „Wissen und Verstehen“ sollten die Studierenden mikroskopische Gewebestrukturen wiedergeben, die Grundprinzipien des Rapid Prototyping sowie Funktionen mikroskopischer Verfahren verstehen. Dieses Wissen wandten die Studierenden an, indem sie Bauteile im 3D-Druck herstellten und Steuerungsein-

heiten der Mikroskope programmierten. Sie bewerteten selbstständig („Analysieren“) optische Qualität und Komponentenkompatibilität. Um zu „Evaluieren“, beurteilten die Studierenden kritisch die Leistung ihrer Geräte im Vergleich zu kommerziellen Mikroskopen. Die Stufe „Erzeugen/Schaffen“ wurde erreicht, als Teams funktionsfähige Mikroskope für spezifische Anwendungen bauten und verbesserten.

Für dieses Pilotprojekt wurde ein hybrides Prüfungsformat verwendet, das traditionelle Prüfungen mit projektbasierten Beurteilungen kombiniert, um das theoretische Wissen und die praktischen Fertigkeiten der Studierenden zu erfassen [10]. Die Leistung wurde anhand von Peer-Feedback, Beurteilungen durch Lehrende und der Qualität der fertiggestellten Mikroskope bewertet.



Abbildung 4: Von Studierenden gebaute, 3-achsige motorisierte Durchlichtmikroskope

## Ergebnisse

### Teilnahme und Engagement

Die Projektteilnahme war mit 69% der in das Modul eingeschriebenen Studierenden deutlich höher als die üblichen 40% bei freiwilligen Veranstaltungen. Von den regelmäßigen Vorlesungsteilnehmern nahmen 95% am Projekt teil (normalerweise nur 50% in diesem Studiengang).

Die Studierenden berichteten in qualitativen Rückmeldungen von höherer Motivation durch das Projekt. Viele schätzten die selbstständige Arbeitsweise und fühlten sich stark mit ihrer Arbeit verbunden. Ein Studierender äußerte: „Ein Mikroskop von Grund auf zu bauen, ermöglichte mir, die Eigenschaften jeder Komponente und ihren Beitrag zur Gesamtfunktionalität des Geräts zu verstehen.“

Die Studierenden berichteten, dass der Bau eigener Mikroskope ihnen half, die Komponenten und deren Zusammenspiel zu verstehen. Rückmeldungen betonten, dass das Projekt Problemlösefähigkeiten, Teamarbeit und Selbstsicherheit bei technischen Aufgaben wie Rapid Prototyping, Löten und Programmieren förderte. In der parallel laufenden Lehrveranstaltung Anatomie und Physiologie zeigten die Studierenden, die das Mikroskop gebaut hatten, eine um 22% bessere Leistung in den Laborveranstaltungen zur mikroskopischen Anatomie.

Die selbstgebauten Durchlichtmikroskope (siehe Abbildung 4) erreichen eine vergleichbare Qualität wie kommerzielle Geräte, beispielsweise das im Labor verfügbare Zeiss Axiolab 5 (bei 400-facher Vergrößerung). Die Motorisierung in X/Y-Richtung ermöglicht zusätzlich automatisierte Probenscans und bietet eine kostengünstige und nachhaltige Alternative zu herkömmlicher Laborausstattung. Die Z-Achse erlaubt das (automatisierte) Fokussieren.

Die Mikroskope besitzen kein Okular. Das Bild wird in Echtzeit auf einen Bildschirm projiziert. So können alle Teammitglieder (typischerweise 3 Studierende) gleichzeitig die Probe sehen, während der Dozent erklärt. Dies führte zu lebhafteren Diskussionen im Team, da nun alle auf bestimmte Strukturen auf dem Bildschirm zeigen konnten. In früheren Semestern mit herkömmlichen Durchlichtmikroskopen waren Diskussionen seltener und oberflächlicher. Ein Beispielbild einer studentisch gebauten Mikroskopaufnahme bei 400× Vergrößerung von lymphatischem Gewebe ist in Abbildung 5 zu sehen.

Abbildung 6 zeigt ein menschliches Haar, aufgenommen mit einem 3D-holografischen Mikroskop. Dieses liefert topografische Informationen der Probe, die mit konventioneller Mikroskopie nicht erreichbar sind. Das System zeichnet Interferenzmuster eines gestreuten Laserstrahls auf, aus denen sowohl Amplituden- als auch Phaseninformationen der Probe mittels digitaler Holographietechniken berechnet werden. Da der kostengünstige Einplatinencomputer (Raspberry Pi 4B mit 4 GB RAM) nicht die nötige Rechenleistung bietet, wurden Aufnahme- und Darstellungsprozess getrennt. Eine Echtzeitfähigkeit wäre jedoch mit einem stärkeren Rechner möglich.

Die aufgezeichneten Dateien erfordern eine komplexe Bildrekonstruktion (mit einer Rechenzeit von etwa 2 Minuten pro Bild), die zu einem hochauflösenden Pseudo-3D-Bild führt. Die Materialkosten liegen ebenso wie die der digitalen Durchlichtmikroskope unter 200 €.

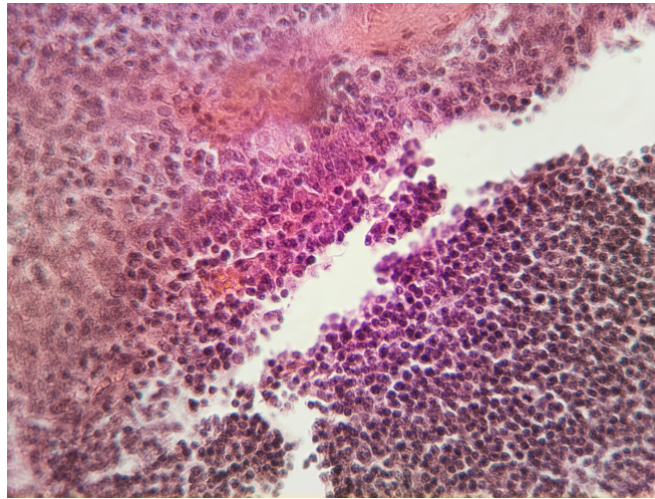


Abbildung 5: Beispielbild einer menschlichen Gaumenmandel (HE-Färbung) bei 400× Vergrößerung, aufgenommen mit einem studentisch gebauten robotischen Mikroskop

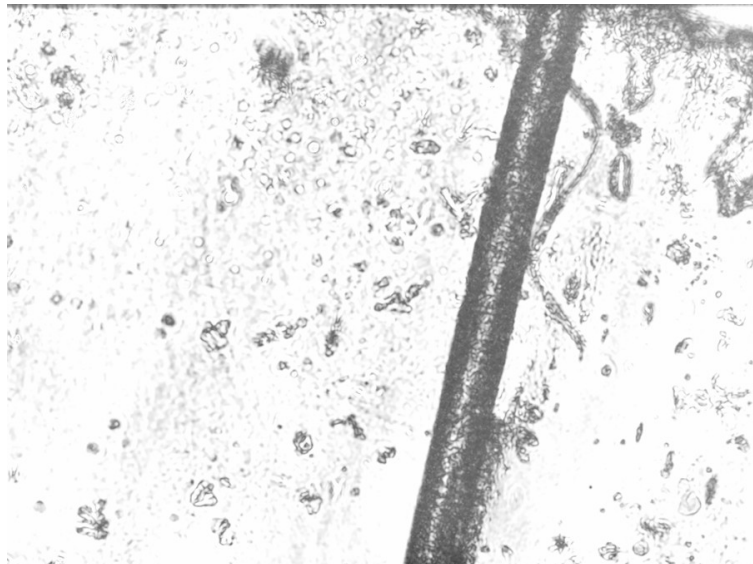


Abbildung 6: Beispielbild eines menschlichen Haares, aufgenommen mit dem holografischen Mikroskop nach manueller Bildrekonstruktion

Der körnige Hintergrund entsteht durch die Probenpräparation mittels transparentem Klebeband (Hintergrundrauschen des Bildes)

## Diskussion

Die Projektteilnahme lag mit 69% deutlich über der üblichen Teilnahmequote von 30-40% bei freiwilligen Veranstaltungen. Das hohe Engagement zeigt, dass die Studierenden das Projekt als sehr relevant für ihre Ausbildung empfanden. Während des Projekts entstanden Herausforderungen durch fehlende Hardwarekomponenten und die Gruppendynamik. Diese Schwierigkeiten sind typisch für interdisziplinäre, praxisnahe, technische Projekte [1]. Bei fehlenden elektronischen Komponenten wählten die Studierenden alternative Bauteile und lernten zusätzlich Löten und elektronische Integration. Dies förderte komplexere Denkprozesse und Problemlösefähigkeiten im Sinne der Bloom'schen Taxonomie [7]. Diese Anpassungen zeigten, wie wichtig Flexibilität und Problemlösefähigkeiten in ingenieurwissenschaftlichen Projekten

sind. Organisatorische Probleme beim Arbeiten in Teams verdeutlichten den Bedarf an gezielter Unterstützung bei Kommunikation und Teamkoordination. Diese Erfahrungen waren wichtige Lerngelegenheiten und entsprechen der Theorie des situierten Lernens, da die Studierenden realen technischen und organisatorischen Problemen begegneten, wie sie im Beruf häufig auftreten [5]. Die pädagogischen Ergebnisse entsprechen sozial-konstruktivistischen Prinzipien und zeigen die Wirksamkeit aktiven und kollaborativen Lernens. Die Studierenden übernahmen Eigenverantwortung für ihre Projekte, was vermutlich zur höheren Motivation und besseren Prüfungsleistung beitrug. Die Nutzung von Open-Source Ressourcen motivierte die Studierenden, Verbesserungen und Modifikationen mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu teilen und förderte die Wertschätzung für Wissensaustausch. Trotz des Erfolgs gab es einige Herausforderungen. Da die Veranstaltung freiwillig war, entstand ein Selektions-

bias, der bei der Betrachtung der Ergebnisse ebenso wie die geringe Anzahl der Studierenden und kleine Vergleichsgruppe zu berücksichtigen ist. Zusätzlich erforderten logistische Probleme wie Lieferverzögerungen und unterschiedlich gut funktionierende Teams Flexibilität und Problemlösungsfähigkeiten. Dies zeigt, wie wichtig strukturierte Anleitung und kontinuierliche Unterstützung in projektbasierten Lernformaten sind. In künftigen Lehrveranstaltungen wird daher vermehrt die Möglichkeit zur Teamarbeit angeboten und weitere Anwendungsfelder für das Konzept verschränkter Lehrveranstaltungen mit semesterbegleitenden Projekten erschlossen. Eine detaillierte und systematische wissenschaftliche Begleitung ist notwendig, um die Wirksamkeit der Maßnahme zu objektivieren und mit klassischer Lehre vergleichen zu können. Kooperationen mit medizinischen Fakultäten könnten die Grundlage für interprofessionelle Ausbildung legen, indem Mediziner und Ingenieure gemeinsam reale Probleme lösen und Teamfähigkeiten entwickeln.

## Fazit

Das Projekt zeigt den Wert fachübergreifenden und interdisziplinären Lernens: Die Studierenden wenden ihr technisches Wissen in medizinischen Kontexten an und verknüpfen so Technik und Medizin. Der Bau der Mikroskope fördert Zusammenarbeit und technische Expertise gleichermaßen und vermittelt für medizinnahen, technische Berufe wichtige praktische Fähigkeiten.

Obwohl das Projekt für Medizintechnik-Studierende konzipiert wurde, lassen sich die Kernprinzipien auf die medizinische (oder pflegewissenschaftliche) Ausbildung übertragen. Die Integration von Open-Science bzw. Open-Source Quellen und praktischen Methoden bereichert auch medizinische Grundlagenfächer wie die der mikroskopischen Anatomie und macht komplexe Konzepte (wie das Thema Mikroskopie) zugänglicher und ansprechender. Dies könnte auch für Medizin- oder Pflegestudierende relevant sein. Die Kombination aus Vorlesungen, interaktiven Seminaren und praktischen Laborübungen bietet eine umfassende Lernerfahrung und bereitet die Studierenden auf reale biomedizinische Herausforderungen vor. Das Projekt zeigt außerdem, dass budgetbewusste Alternativen zu herkömmlicher Laborausstattung mit Hilfe von günstiger Elektronik und 3D-Druck durchaus selbst hergestellt und sinnvoll im Lehrbetrieb eingesetzt werden können.

## ORCIDs der Autor\*innen

- Christian Hanshans: [0000-0002-1923-7791]
- Friederike Burkhardt: [0009-0000-4306-7051]

## Interessenkonflikt

Die Autor\*innen erklären, dass sie keinen Interessenkonflikt im Zusammenhang mit diesem Artikel haben.

## Literatur

1. Ford S, Minshall T. Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Add Manufact.* 2019;25:131–150. DOI: 10.1016/j.addma.2018.10.028
2. Tsoumpri D. Polargraph, the Project: Education through DIY. In: *Proceedings of the FabLearn Europe 2019 Conference.* Oulu (Finland): ACM; 2019. p.1-3. DOI: 10.1145/3335055.3335076
3. Collins JT, Knapper J, Stirling J, Mduda J, Mkindi C, Mayagaya V, Mwakajinga GA, Nyakyi PT, Sanga VL, Carbery D, White L, Dale S, Lim ZJ, Baumberg JJ, Cicuta P, McDermott S, Vodenicharski B, Bowman R. Robotic microscopy for everyone: the OpenFlexure microscope. *Biomed Opt Express.* 2020;11(5):2447-2460. DOI: 10.1364/BOE.385729
4. Saleem A, Kausar H, Deeba F. Social Constructivism: A New Paradigm in Teaching and Learning Environment. *Perennial J Hist.* 2021;2(2):403-421. DOI: 10.52700/pjh.v2i2.86
5. Dimitriadis PA, Iyer S, Evgeniou E. Learning in the Surgical Community of Practice. *Med Sci Educ.* 2014;24(2):211-214. DOI: 10.1007/s40670-014-0042-1
6. Romero M, Kalmpourtzis G. Constructive Alignment in Game Design for Learning Activities in Higher Education. *Informn.* 2020;11(3):126. DOI: 10.3390/info11030126
7. Adams NE. Bloom's taxonomy of cognitive learning objectives. *J Med Libr Assoc.* 2015;103(3):152-153. DOI: 10.3163/1536-5050.103.3.010
8. Croy SR. Development of a group work assessment pedagogy using constructive alignment theory. *Nurse Educ Today.* 2018;61:49-53. DOI: 10.1016/j.nedt.2017.11.006
9. Beckmann T, Fratz M, Schiller A, Bertz A, Carl D. Digital Holographic Microscopy for 200 € Using Open-Source Hard- and Software. Freiburg/Brsq.: Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM. Zugänglich unter/available from: <https://public-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/10cab6c5-baf6-4e0e-8ac5-be7b953d76fa/content>
10. Hanshans C, Zauner J, Rammler M. Freiwillige. Knochen. Arbeit. Studierende zur Teilnahme an praktischen Lehrveranstaltungen motivieren. In: *Conference: Lehrlabor³ Ein Netzwerk zur teambasierten Lehrentwicklung.* 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.24560.33283
11. Abejuela HJ, Castillon HT, Sigod MJ. Constructive Alignment of Higher Education Curricula. *Asia Pacific J Soc Behav Sci.* 2022;20.
12. Hanshans C, Rammler M. Integration of 3D printing and gamified didactics in medical imaging education. *Trans Add Manufact Meets Med.* 2023;5(S1):ID1127. DOI: 10.18416/AMMM.2023.23091127
13. Marquet P, Rappaz B, Magistretti PJ, Cuche E, Emery Y, Colomb T, Depeursinge C. Digital holographic microscopy: a noninvasive contrast imaging technique allowing quantitative visualization of living cells with subwavelength axial accuracy. *Opt Lett.* 2005;30(5):468-470. DOI: 10.1364/ol.30.000468

**Korrespondenzadresse:**

Prof. Dr. med. Dipl. Ing. Christian Hanshans  
Hochschule München, Fakultät VI, angewandte  
Naturwissenschaften und Mechatronik, Lothstr. 34,  
80335 München, Deutschland, Tel.: +49  
(0)89/1265-1636, Fax: +49 (0)89/1265-1603  
christian.hanshans@hm.edu

**Bitte zitieren als**

Hanshans C, Burkhardt F. Promoting technical and methodological competencies in medical-oriented engineering degree courses by building digital transmitted-light and holographic microscopes: A pilot project. *GMS J Med Educ.* 2025;42(5):Doc58.  
DOI: 10.3205/zma001782, URN: urn:nbn:de:0183-zma0017824

**Artikel online frei zugänglich unter**  
<https://doi.org/10.3205/zma001782>

**Eingereicht:** 10.11.2024  
**Überarbeitet:** 16.06.2025  
**Angenommen:** 28.07.2025  
**Veröffentlicht:** 17.11.2025

**Copyright**

©2025 Hanshans et al. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel und steht unter den Lizenzbedingungen der Creative Commons Attribution 4.0 License (Namensnennung). Lizenz-Angaben siehe <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.