

Kreativitätsförderung von Studierenden in ingenieurwissenschaftlichen Laboren

MONIKA RADTKE, CLAUDIUS TERKOWSKY, TOBIAS HAERTEL, TOBIAS R. ORTELT, DOMINIK MAY

Auf einen Blick

- ❖ Kreativität gilt als eine der wichtigsten Schlüsselqualifikationen für das Lernen und Arbeiten 4.0. Dabei erlauben ingenieurwissenschaftliche Labore grundsätzlich ein vielgestaltiges Spektrum an neuartigen Möglichkeiten zur Kreativitätsförderung.
- ❖ In der hier vorgestellten explorativen Fallstudie werden zunächst die Lernziele im untersuchten Labor der Fertigungstechnik auf ihren Bezug zur Kreativität hin untersucht. Unterstützend wird dann auf Remote-Labore und virtuelle Labore eingegangen, die vielfältige Möglichkeiten zur Kreativitätsförderung bieten können, wenn sie didaktisch fundiert implementiert werden – z. B. mittels des eingeführten Sechs-Facetten-Modells zur Kreativitätsförderung in der Hochschulehre.
- ❖ Eine Neuausrichtung ingenieurwissenschaftlicher Labore entlang kreativer Lernziele in Verbindung mit dem ergänzenden Einsatz von Remote-Laboren und virtuellen Laboren kann den Grundstein für eine Überarbeitung der Curricula hin zu einer zielgerichteten Förderung von Ingenieurkreativität legen.

1 Einführung

“The toughest problems facing our society ... are not likely to be solved by easy or conventional methods. If they could be, they would have been now. To tackle these problems successfully, STEM professionals will need the creativity to improve or replace existing processes and products.”[1] (Die Abkürzung STEM steht hier für „Science, Technology, Engineering and Mathematics“ und ist analog der deutschen Bezeichnung MINT zu verstehen.)

Da Kreativität als eine der wichtigsten angestrebten Schlüsselqualifikationen im Kontext von Lernen und Arbeiten 4.0 gilt (vgl. [2], [3], [4], [5]), wird in diesem Beitrag das Potential von Experimentierlaboren zur Kreativitätsförderung von Studierenden im Rahmen des ingenieurwissenschaftlichen Studiums untersucht.

Belski versteht unter Ingenieurkreativität in erster Linie die Fähigkeit, neuartige Ideen generieren zu können oder Methoden zur Lösung offener Problemstellungen zu entwickeln [6]. Solche Ansätze erscheinen Expert*innen von ingenieurwissen-

schaftlichen Disziplinen nicht unbedingt als gängig, können aber von ihnen als potentiell nützlich angesehen werden. Goldberg und Somerville weisen darauf hin, dass Ingenieurwissenschaften ein von Natur aus kreatives Feld darstellen [7]. Während Naturwissenschaftler*innen in der Lage sein müssen, die Frage nach dem „Warum?“ zu stellen (und zu beantworten), sollten Ingenieur*innen eher fragen: „Warum nicht?“ Denn: Sie sind in erster Linie dafür zuständig, Neuartiges zu entwickeln – und dann alles Notwendige zu tun, um es zu realisieren.

Kazerounian und Foley machten in ihren Studien zur Auffassung von Kreativität unter Lehrenden und Studierenden allerdings gegensätzliche Beobachtungen, die sie zu folgender pointierender Frage führen: „If creativity is so central to engineering, why is it not an obvious part of the engineering curriculum at every university?“ [8]. Aus der Perspektive des „constructive alignment“ [9], einer in der Hochschulbildung weitverbreiteten Methode zur didaktischen Analyse, stellt sich darüber hinaus die Frage, warum Kreativität als angestrebtes Lernziel in ingenieurwissenschaftlichen Curricula so weitgehend vernachlässigt wird [10].

1.1 Potentiale des ingenieurwissenschaftlichen Labors im Hinblick auf Kreativität

Zunächst einmal ist anzumerken, dass der Begriff Labor durchaus unterschiedlich verwendet wird: Erstens kann unter ihm die Räumlichkeit verstanden werden, in der spezielle Maschinen vorhanden sind, mit denen Experimente durchgeführt werden, zweitens kann darunter das eigentliche experimentelle Vorgehen verstanden werden, und drittens wird mit Labor auch eine bestimmte Lehrveranstaltung an Hochschulen bezeichnet. Der hier verwendete Begriff Fachlabor zur Materialcharakterisierung bezieht sich auf Lehrveranstaltungsformate, in denen Studierende dazu angeleitet werden, eigenständig ingenieurwissenschaftliche Experimente durchzuführen und auszuwerten.

Moderne, technisch erweiterte Experimentierlabore sind fester Bestandteil des ingenieurwissenschaftlichen Studiums; sie dienen dazu, praktische Erfahrungen zu ermöglichen und nehmen auf vielfache Weise Einfluss auf das Lernen. Das Labor birgt für Studierende das Potential, theoretisch Erlerntes mit der Praxis zu verknüpfen. Des Weiteren lassen sich dort während des Studiums oft erstmals unabhängig erlernte mathematische Verfahren zielgerichtet zur Problemlösung anwenden. Erfahrungen im Labor können sowohl zum Theorieverständnis der Studierenden beitragen als auch zu kreativem und kritischem Denken anregen. Das Labor ermöglicht es Studierenden, Tätigkeiten kennenzulernen und zu erproben, die die Basis für die Entwicklung und Konstruktion technischer Lösungen unterschiedlichster Art bilden [11].

Dieses Potential scheint jedoch oft nicht ausgeschöpft zu werden, da der Fokus bei gängigen Lernmaterialien und Übungen immer wieder auf dem korrekten Abarbeiten von Routinen zum Erreichen eigentlich schon bekannter Lösungen liegt, statt offene Fragestellungen in den Vordergrund zu rücken, für die es eben noch keine Standardlösungen gibt ([12]; [13], [14]). Nach Keys kommen Lernende in solchen „traditionellen“ Laboren so schnell zu dem Schluss, dass es das Ziel sei, den von den

Lehrenden erwarteten Lösungsweg und die dazu passende Lösung zu finden, statt eigene, möglicherweise innovative Lösungswege zu suchen und zu testen. “They must somehow generate, copy, or paraphrase the knowledge claim that is desired by the teacher and thus laboratory report writing can easily become a rote activity” [12].

Eine aktuelle empirische Studie zum Laborlernen in der Umformtechnik bestätigt, dass der althergebrachte theorieverifizierende Ansatz, dessen Grundzüge oben beschrieben werden, nach wie vor der häufigste ist [15]. Obwohl das Ingenieurwesen per definitionem ein durch und durch kreativer Bereich ist, scheinen kreative Prozesse eher im beruflichen Umfeld eine Rolle zu spielen, weniger in studentischen Laboren – und vor allem nicht in „Grundlagenlaboren“ im Bachelorstudium.

Obwohl inzwischen eine eigene Taxonomie aus 13 Lernzielen für die Laborlehre in den Ingenieurwissenschaften ausformuliert wurde [16] und weite Verbreitung findet, wird Ingenieurkreativität weiterhin nur am Rande adressiert. In einer der dreizehn Lernzieldefinitionen heißt es, Studierende sollten in der Lage sein, unabhängiges Denken, Kreativität und Problemlösefähigkeit in angemessenem Umfang zu demonstrieren [16]. Dies wirft drei Fragen auf:

- ❖ Wie müssen Laboraufgaben gestaltet werden, um die Kreativität der Studierenden stärker zu adressieren?
- ❖ Wie können die Tätigkeiten Studierender im Labor im Sinne des „Constructive Alignment“ bzgl. von Kreativität analysiert und evaluiert werden?
- ❖ Welche Rolle können Online-Labore bei der Förderung von Kreativität in den Ingenieurwissenschaften spielen?

1.2 Ziele des untersuchten Labors

Materialcharakterisierung ist ein wichtiger Bestandteil der Umformtechnik, denn experimentell ermittelte charakteristische Größen bilden die Grundlage sämtlicher Umformprozesse. Um theoretische Konzepte, empirische Methoden und praktische Relevanz miteinander zu verknüpfen, absolvieren Studierende im Laufe ihres Studiums eine Reihe unterschiedlicher Labore. Das hier untersuchte Fachlabor in der Umformtechnik befasst sich mit dem Zugversuch, einem grundlegenden Versuch zur Bestimmung von Materialparametern. Die im Versuch ermittelten Kenngrößen beschreiben das Verhalten von Materialien und sind zur Durchführung von Simulationen notwendig [17].

Vor allem im Leichtbau, einem Teilbereich der Umformtechnik, ist die Bestimmung exakter Materialparameter wichtig, um neue, innovative Produkte und Prozesse zu planen und zu erzeugen. So beschreibt das Young Modul (Elastizitätsmodul) die Elastizität von Stoffen, also ihre Eigenschaft, nach einem Umformprozess in ihre Ursprungsform zurückzukehren. Wird beispielsweise ein Material mit der Kraft F bis zu einem bestimmten Winkel α_1 gebogen, „springt es“ nach Beendigung der Kraftzufuhr zurück zu einem neuen, kleineren Winkel α_2 . Dieses Materialverhalten kann unter Verwendung des Elastizitätsmoduls mittels des Hookschen Gesetzes bestimmt werden. Dabei besitzen alle Stoffe eigene, für sie charakteristische Elastizitätsmodule. So beträgt das Elastizitätsmodul von Stahl 210.000 N/mm^2 , während das von Aluminium bei 70.000 N/mm^2 liegt. Daraus lässt sich für Aluminium ein deut-

lich stärkeres „Zurückspringen“ ableiten als für Eisen. Die Kenntnis solcher Zusammenhänge und die Fähigkeit, diese zu nutzen, sind angestrebte Lernziele im untersuchten Labor.

Das Fachlabor zur Materialcharakterisierung zielt also ab auf ein Tiefenverständnis von Materialparametern und die Fähigkeit, diese zu beschreiben. Darüber hinaus sollte das Durchlaufen des Labors die Sozialkompetenz, Präsentationstechniken sowie technische Fertigkeiten der Studierenden fördern. Dazu wird am Ende des Labors ein mündliches Abschlusskolloquium absolviert. Dabei haben die Studierenden gruppenweise die Aufgabe, eine kurze wissenschaftliche Präsentation anzufertigen und vorzustellen, gefolgt von einer kurzen Diskussion der Ergebnisse mit den zuständigen Lehrenden [17].

Üblicherweise testen die Studierenden in Dreier- oder Vierergruppen zwei verschiedene Materialien, etwa Stahl und Aluminium. Dabei durchlaufen sie fünf verschiedene Phasen:

- **Vorbereitung der theoretischen Grundlagen zum Zugversuch:** Hierzu gibt es ein kurzes Laborskript (ca. 20 Seiten) mit dem relevanten theoretischen Hintergrund, einer Beschreibung und allen Richtlinien zum Experiment. Zusätzlich wurde der theoretische Hintergrund bereits in vorangegangenen Vorlesungen behandelt.
- **Bedienung der Testmaschine:** Um zu prüfen, ob die Studierenden angemessen vorbereitet sind, müssen sie zunächst dem/der zuständigen Laborbegleiter*in ihre anstehenden Aufgaben beschreiben. Im Folgenden beschreibt er oder sie ihnen dann detailliert die Bedienung der Testmaschine.
- **Messung der Proben:** Bevor die eigentlichen Experimente durchgeführt werden, müssen die Studierenden die Maße der zu untersuchenden Proben unter Verwendung eines Messschiebers bestimmen.
- **Durchführung der Experimente:** Nach dem Einlegen der Proben in die Testmaschine können die Studierenden das Experiment starten und die ermittelten Daten am Computer empfangen und betrachten.
- **Berechnung der Kenngrößen aus den ermittelten Daten:** Zuletzt können die Studierenden die von ihnen ermittelten Daten in ein Excel-Dokument exportieren und daraus die fragten Kenngrößen ermitteln.

Die Durchführung von Lehrveranstaltungen im Labor ist in der Regel zeit- und kostenintensiv. Die Versuche müssen fachmännisch begleitet werden, um die Sicherheit der Studierenden zu gewährleisten und sicherzustellen, dass keine Gerätschaften beschädigt werden. Aus diesem Grunde kann jeder Studierende üblicherweise nur einen bis drei Versuche durchführen. Dies ist insofern kritisch, als eine Variation der Parameter und der Vergleich mehrerer Versuche die Studierenden zu neuen Erkenntnissen führen könnten. Daher wurde ergänzend ein Remote-Labor entwickelt. Es bietet einen flexibleren Zugang zu zusätzlichen Versuchen, unabhängig vom Zeitpunkt und Aufenthaltsort [17].

2 Theorie

2.1 Constructive Alignment zur Formulierung und Evaluation von Lernzielen

In den vergangenen Jahren hat sich „Constructive Alignment“ in der Hochschuldidaktik als Ansatz zur Planung und Evaluation von Lehre etabliert [18]. Gemäß Constructive Alignment muss vorab klar formuliert werden, was Studierende nach einer Lehr-Lernaktivität in der Lage sein sollen, zu tun und wie sie das Gelernte zum Ausdruck bringen können. Die Lehre muss dann so organisiert werden, dass Studierende zu genau den Lernaktivitäten angeregt werden, die ihnen helfen, die angestrebten Ziele zu erreichen. Dabei sollten Aufgaben aufeinander aufbauen, um mittels Lehr-Lernerfolgskontrolle klar beurteilen zu können, bis zu welchem Grad diese Ziele erreicht werden [19].

Im hier exemplarisch untersuchten umformtechnischen Fachlabor wurde der Ansatz des Constructive Alignment genutzt, um zu beurteilen, bis zu welchem Grad Ingenieur Kreativität adressiert wird. Hierzu wurde das an der TU Dortmund empirisch entwickelte Sechs-Facetten-Modell zur Förderung von Kreativität in der Hochschullehre [20] zur Formulierung, Adressierung und Analyse kreativer Lernziele und darauf bezogener Lehr-Lernaktivitäten genutzt.

2.2 Entwicklung kreativer Lernziele

Das BMBF-Projekt Da Vinci (2009–2011) befasste sich mit der empirischen Analyse kreativitätsförderlicher Potentiale und der Entwicklung von Lehr-/Lernszenarien zur Einführung von Kreativitätsförderung in der universitären Lehre. In einer qualitativen Studie wurden 20 Interviews mit Expertinnen und Experten durchgeführt und analysiert [21]. Daraus resultierte ein Modell zur Kreativitätsförderung in der universitären Lehre für alle Fachdisziplinen, das sechs verschiedene Facetten von Kreativität aufzeigt (s. Abbildung 1).

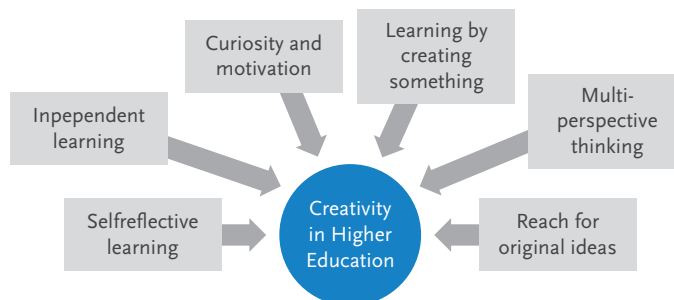


Abbildung 1: 6 Facetten der Kreativitätsförderung in der Lehre

Dieses Modell wurde im Folgenden durch eine Onlinebefragung von rund 300 Lehrenden aus drei Universitäten validiert und erweitert [20].

Aus Sicht der Lehrenden kann die Kreativität von Studierenden in die nachfolgend beschriebenen sechs Facetten unterteilt werden. Sie beschreiben das kreative Verhalten der Studierenden und ermöglichen es Lehrenden, die neugewonnenen Erkenntnisse zur Um- oder Neugestaltung von Lehrveranstaltungen zu nutzen. Formuliert als ergebnisbasierte Ziele lauten die sechs Facetten nach [5] und [20]:

Facette 1: Förderung des reflektierenden Denkens

Lernende handeln nicht nur repetitiv, sondern können Informationen von Lehrenden kritisch hinterfragen. Es findet ein innerer Dialog statt und Wissen wird erarbeitet.

Facette 2: Förderung selbstständigen Lernens

Lehrende geben nicht mehr detailliert den Weg vor, wie Studierende lernen. Stattdessen sind Lernende z. B. in der Lage, relevante Literatur selbstständig zu finden und ihren Lernprozess eigenständig und eigenverantwortlich zu steuern – von der Strukturierung eines Textes über das Entwickeln eigener Fragestellungen bis hin zum Finden geeigneter Methoden, um diese zu beantworten.

Facette 3: Neugier und Begeisterung fördern, Lernmotivation steigern

Hier sind alle Aspekte beinhaltet, die zur Steigerung der Motivation beitragen. Lehrende können z. B. eine theoretische Fragestellung mit einem praktischen Beispiel verknüpfen, Lernende können Strategien zur Förderung der eigenen Motivation (Zeit- und Selbststeuerung) anwenden.

Facette 4: Förderung kreativen Lernens

Studierende lernen, indem sie etwas zum Thema „erschaffen“. Je nach Fachdisziplin kann das eine Präsentation, ein Interview, ein Fragebogen, eine Maschine, eine Website, ein Computerprogramm oder vieles mehr sein. Studierende werden so an die Rolle echter Wissenschaftler*innen herangeführt, die ihre Arbeiten diskursiv verteidigen.

Facette 5: Förderung einer neuen Denkkultur

Studierende betrachten ein Thema aus mehreren Perspektiven und stellen Bezüge zu anderen Disziplinen her. Sie reflektieren die eigene Denkstruktur und finden sinnvolle Abweichungen zu eingeübten Routinen.

Facette 6: Entwicklung origineller, völlig neuer Ideen

Studierende bereiten sich so gut wie möglich darauf vor, vollkommen neue Ideen zu entwickeln und zu kommunizieren. Die Entwicklung origineller Ideen kann nicht erzwungen werden; dennoch können die Anwendung von Kreativitätstechniken sowie eine geeignete Lernumgebung dazu beitragen: Fehler werden zugelassen, und ungewöhnliche Gedanken können ausgesprochen werden, ohne ausgelacht oder zurückgewiesen zu werden.

2.3 Inhaltsanalyse auf Basis des Sechs-Facetten-Modells zur Kreativitätsförderung

Das beschriebene Sechs-Facetten-Modell der Kreativitätsförderung in der universitären Lehre wurde bereits in zahlreichen hochschuldidaktischen Workshops von Lehrenden erfolgreich zur Analyse und Entwicklung kreativitätsförderlicher Aufgabenstellungen genutzt. So wurde etwa in einer Pilotstudie auf Ebene der Modulbeschreibungen untersucht, inwieweit in den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik an den Universitäten in Aachen, Bochum und Dortmund kreative Lernziele angestrebt oder eben nicht angestrebt werden (Abbildung 2). Es zeigte sich, dass die

Facetten 1 (reflektierendes Denken), 3 (Neugier und Motivation) und 4 (learning by doing) in beiden Fachdisziplinen und an allen drei Standorten stark gefördert werden, während die Facetten 2 (selbstständiges Lernen) und insbesondere 5 (Vielperspektivität) und 6 (Streben nach originellen Ideen) weniger (in den Facetten 5 und 6 mit unter 10 Prozent) angesprochen werden [5], [22], [23].

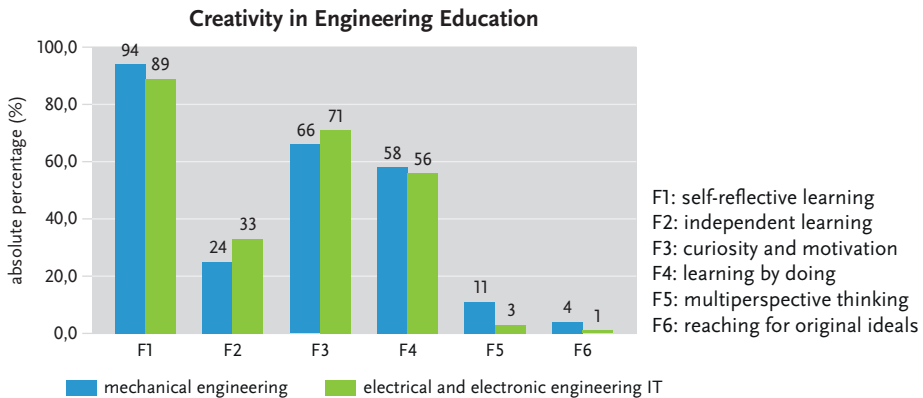


Abbildung 2: Beispielhafte Analyse ingenieurwissenschaftlicher Curricula entlang des Sechs-Facetten-Modells zur Kreativitätsförderung

Das Modell hat sich zur Identifikation und Beschreibung einiger Best-practice-Labore für jede der sechs Facetten bewährt [24], [25] und wurde für die hier beschriebene Studie herangezogen.

3 Methodenmix aus teilnehmender Beobachtung und Inhaltsanalyse

Die hier beschriebene Studie wurde im Wintersemester 2015/16 durchgeführt. Das Fachlabor zur Materialcharakterisierung setzte sich aus zwei Teilen zusammen, die an zwei unterschiedlichen Orten stattfanden. Der Versuchsteil mit dem Hands-on-Experiment wurde im Labor selbst an der Zugmaschine durchgeführt. Nachfolgend präsentierten die Studierenden in einem Seminarraum während eines Kolloquiums ihre Versuchsergebnisse und diskutierten ihren Laborbericht.

Von 30 Gruppen mit je drei bis vier Studierenden wurden zehn Gruppen sowohl im Labor als auch beim Abschlusskolloquium von einer Gruppe von insgesamt fünf Wissenschaftler*innen beobachtet, die sich vorab über die Standards ihres gemeinsamen methodischen Vorgehens verständigt hatten [26]. Jede*r Wissenschaftler*in beobachtete in der Folge zwei Gruppen. Hierzu stellte er oder sie sich den Studierenden vor der Laborsession zunächst vor und fragte sie nach ihrem Einverständnis. Alle untersuchten Studierendengruppen waren einverstanden. Anschließend, während der eigentlichen Session, setzten sich die Beobachtenden so in den

Raum, dass sie das Experimentiersetting einerseits gut überblicken konnten und andererseits die Studierenden so wenig wie möglich durch ihre Anwesenheit ablenkten oder störten. Die Ergebnisse der teilnehmenden Beobachtungen wurden auf Beobachtungsbögen notiert. Als Beobachtungsleitfaden wurden folgende Kategorien entwickelt: Zeit (Phase, Intervall), Personen (Studierende, Lehrende, Laborbetreuende, andere), Gegenstände (Versuchsstand, Werkzeuge, Messinstrumente, Anzeigen, Computer, andere), Handlungen, Ergebnisse beruhend auf Handlungen bzw. Übungen.

Im Anschluss an die Beobachtungen wurden alle Protokolle digitalisiert und die Daten mit einem Mixed-Methods-Ansatz, bestehend aus quantitativen und qualitativen inhaltsanalytischen Vorgehensweisen, analysiert. Auf diese Weise konnte das Labor auf kreativitätsförderliche Potentiale entlang des Sechs-Facetten-Modells zur Kreativitätsförderung untersucht werden. Dazu wurden die Daten aller zehn Laborbeobachtungen mit der Software MAXQDA so kodiert, dass die Beobachtungen, die sich dem Modell zuordnen ließen, identifiziert und analysiert werden konnten. Im Nachgang wurden die Ergebnisse gemäß der Forschendentriangulation nach Denzin gemeinsam kritisch diskutiert und so weit als möglich kommunikativ validiert [27].

4 Ergebnisse der kategorienbasierten Inhaltsanalyse

Für die kategorienbasierte Inhaltsanalyse wurden alle Daten entlang des Sechs-Facetten-Modells kodiert, um die Beobachtungen den jeweiligen Facetten zuzuordnen. Die Säulendiagramme in den folgenden Abbildungen zeigen, welche Facetten im Labor (blaue, linke Säulen) und im Kolloquium (grüne, rechte Säulen) in welchem Ausmaß adressiert bzw. gefördert wurden. Für die zehn jeweils zweistündigen Laboreinheiten konnten insgesamt 298 Codes dem Sechs-Facetten-Modell zugeordnet werden; für die zehn einstündigen Kolloquien ließen sich 212 Codes dem Modell zuordnen (Abbildung 3).

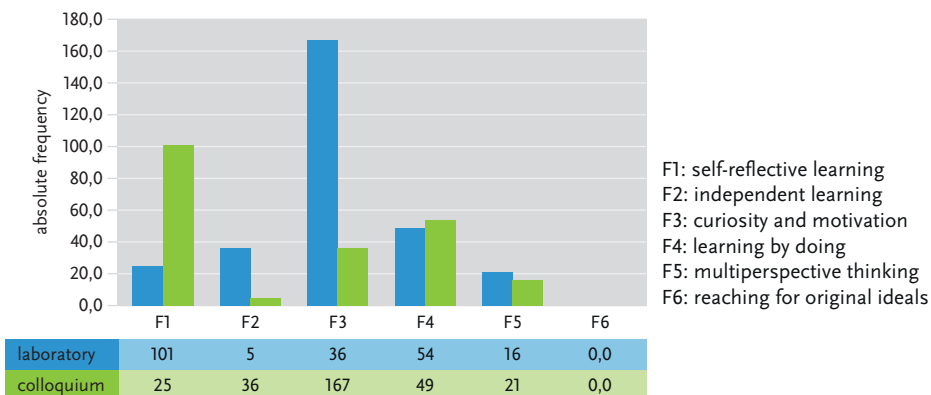


Abbildung 3: Anzahl der dem Sechs-Facetten-Modell der Kreativitätsförderung zugeordneten Codes aus der Laborbeobachtung (10 beobachtete Gruppen, $n = 298$) und den Kolloquia (dieselben 10 Gruppen, $n = 212$)

Während das Säulendiagramm in Abbildung 3 einen Überblick über die Gesamtheit der identifizierten Interaktionen für jede der sechs Facetten liefert, zeigt Abbildung 4 die relative Häufigkeit für das Auftreten der einzelnen Facetten. Wäre das Labor darauf ausgelegt, alle Facetten in gleichem Ausmaß zu adressieren, läge jede der sechs Facetten bei einem Wert von etwa 16,6 %. Tatsächlich wird im Versuchsteil des Labors aber vor allem die Facette F3 (Neugier und Motivation) stark angesprochen, über 55 %. Während die Facetten F2 (selbstständiges Lernen) und F4 (learning by doing) etwa im Durchschnittsbereich von 16,6 % liegen, werden F1 (reflektierendes Denken) und F5 (Vielperspektivität) im Labor mit nur unter 10 % adressiert. Die Facette F6 (Streben nach originellen Ideen) ließ sich nicht beobachten.

Im Kolloquium wird vor allem Facette F1 (reflektierendes Lernen) mit über 45 % adressiert. Der Facette F4 (learning by doing) konnten 25 % der kodierten Interaktionen zugeordnet werden. F3 (Neugier und Motivation) wird von etwa 18 % der Codes repräsentiert. Während F 5 (Vielperspektivität) mit etwa 8 % unterrepräsentiert ist, werden F2 (selbstständiges Lernen) und F6 (Streben nach originellen Ideen), wenn überhaupt, nur marginal adressiert. Zusammengefasst werden im Versuchsteil des Labors Neugier und Motivation (F3) stark gefördert, während selbstreflektierendes Lernen (F1) und das Finden neuer Denkstrukturen (F5) keine besondere Rolle spielen und ein Streben nach originellen Ideen (F6) nicht beobachtet werden kann. Kreierendes Lernen (F4) und selbstständiges Lernen (F2) werden in etwa durchschnittlich stark gefördert. Im Gegensatz dazu liegt der Schwerpunkt im Kolloquium beim selbstreflektierenden Lernen (F1, Studierende können in mündlichen Überprüfungen wie den Kolloquia sehr gut zu Aktivitäten wie „lautem Denken“ angeregt werden). Neugier und Motivation (F3) sowie kreierendes Lernen (F4) werden durchschnittlich gefördert, während neue Denkstrukturen (F5) kaum angestrebt werden. Selbstständiges Lernen (F2) und ein Streben nach originellen Ideen (F6) spielten hier keine beobachtbare Rolle.

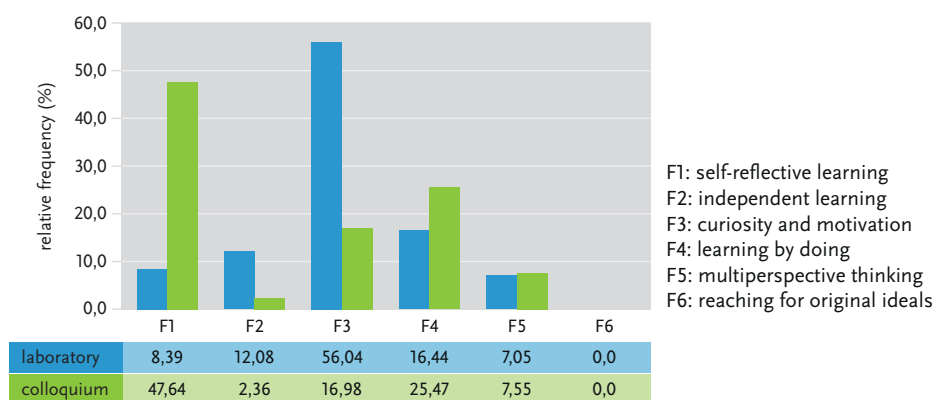


Abbildung 4: Prozentuale Verteilung der zugeordneten Interaktionen im Labor und Kolloquium

Betrachtet man die Kombination der beiden Phasen des Labors Versuchsdurchführung und Kolloquium, werden dort vor allem die Facetten Neugier und Motivation (F3), selbstreflektierendes Lernen (F1) und kreierendes Lernen (F4) gefördert. Dagegen scheinen die Facetten selbstständiges Lernen (F2), Vielperspektivität (F5) und das Streben nach originellen Ideen (F6) bislang nicht im Fokus des Labors zu liegen (vgl. Abbildung 5).

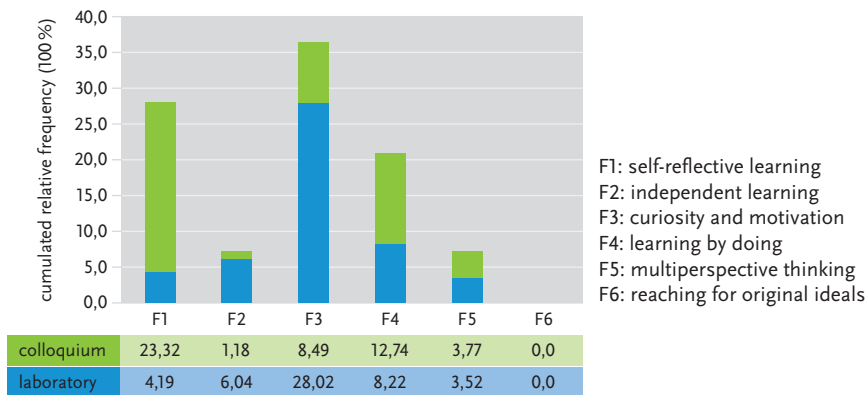


Abbildung 5: Relative Häufigkeit der zugeordneten Interaktionen für Labor und Kolloquium in Kombination

Verglichen mit der Analyse der ingenieurwissenschaftlichen Curricula (vgl. 2.3) zeigt sich ein übereinstimmendes Bild: Die Förderung von Unabhängigkeit, Vielperspektivität und originellen Ideen sind bislang keine vorrangigen Ziele des ingenieurwissenschaftlichen Studiums, weder formell (im Rahmen der Modulbeschreibungen) noch in der Praxis (im Laborkontext).

Als vorläufiges Ergebnis lässt sich demnach festhalten, dass

- das Erschaffen von etwas vollkommen Neuem, Andersartigem [28],
- eine Ermutigung zum Bruch mit traditionellen Normen und eine Art intellektuelle Rebellion [29]
- oder sogar eine Auseinandersetzung mit den Herausforderungen der gesellschaftlichen Einbettung der Ingenieurwissenschaften (Bestandteil vielperspektivischen Denkens)

keine angestrebten Lernziele des untersuchten Labors darstellen.

5 Interaktive Online-Labore zur Kreativitätsförderung

Da der Zeitaufwand im Labor und die Kosten für angemessene Laborausstattung zumeist hoch sind, bergen interaktive Online-Labore das Potential für neuartige technische und didaktische Entwicklungsmöglichkeiten in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre [30–36]. Sogar Experimente, die bei direkter Interaktion zwischen Studierenden und Geräten/Maschinen zu gefährlich sein könnten sowie Experi-

mente mit teurem, aufwendigem Equipment können in Remoteversuchen oder komplett virtuell durchgeführt werden [37]. Virtuelle Labore sind skalierbar und ermöglichen vielen Nutzern gleichzeitigen Zugang, erzeugen allerdings üblicherweise nur durch Software simulierte Ergebnisse. Dagegen haben Remote-Labore den Vorteil, reale Ergebnisse zu liefern.

Abbildung 6 zeigt die vollautomatische teleoperative Testzelle des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) an der TU Dortmund zur Materialcharakterisierung mit Hilfe des Zug- und Tiefungsversuchs. Der Roboter in der Mitte ist in der Lage, verschiedene Proben automatisch in beide Testmaschinen einzulegen und zu entfernen. Die Remotesteuerung ermöglicht einen zeit- und ortsunabhängigen Zugang zum Labor [15]. Die Versuche können am Computer gesteuert und verfolgt werden, und die Messwerte werden aufgezeichnet. Abbildung 7 zeigt das verwendete I-Lab-Interface [38].

Obwohl der Großteil der Labore nach dem traditionellen Verifikationsansatz entwickelt wurde, wurden bereits auch einige Online-Labore unter kreativitätsförderlichen Lernaspekten neu konzeptualisiert [22], [38], [5].

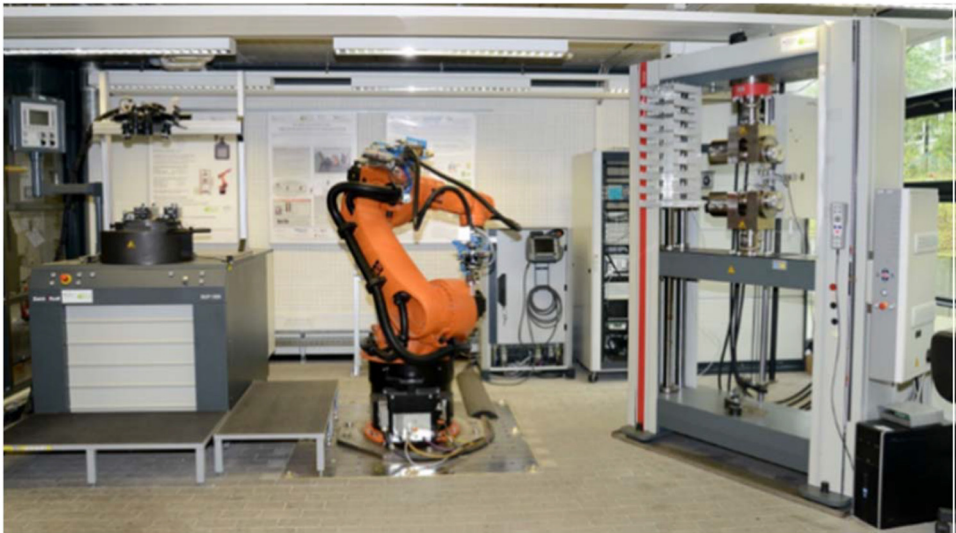


Abbildung 6: Vollautomatische teleoperative Testzelle zur Materialcharakterisierung mit Zugversuch (rechts) und Tiefungsversuch (links).

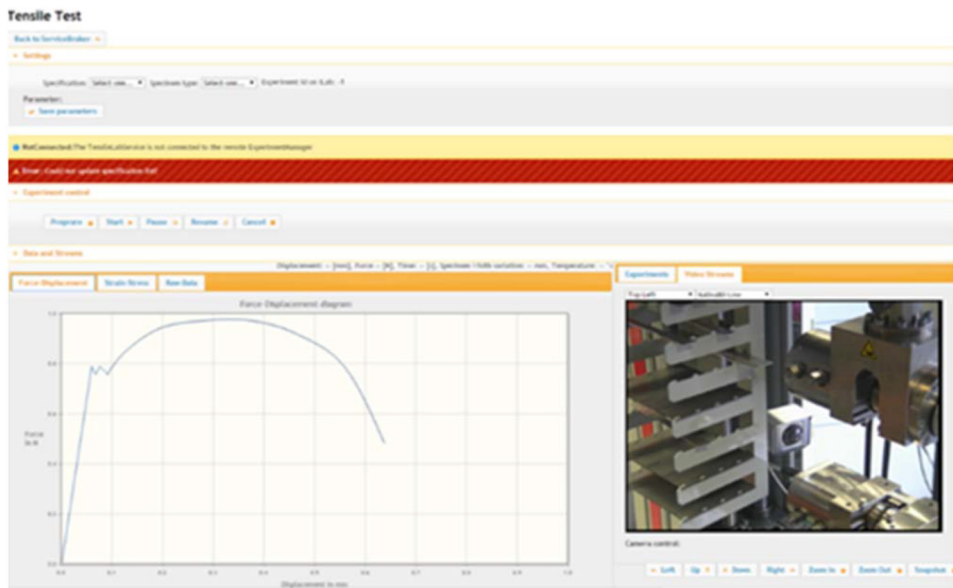


Abbildung 7: I-Lab-Interface für die Materialcharakterisierung mittels Remoteversuch

6 Gestaltungsempfehlungen für die Kreativitätsförderung im Labor

Um kreativitätsförderliche Lernaktivitäten im Labor unter Berücksichtigung des Sechs-Facetten-Modells zu planen, zu reflektieren und zu analysieren, können sie je nach Komplexität in unterschiedliche Lernzielstufen kategorisiert werden (Tabelle 1). In der ersten Stufe können die Studierenden beispielsweise einem aufgezeigten Lernpfad (Skript) folgen, um ein vorgeplantes Experiment auf der Basis eines Interpolations-Problems durchzuführen. Die Laborlehrenden strukturieren und unterstützen den Prozess aktiv.

Tabelle 1: Drei aufeinander aufbauende Lernzielstufen zur Kreativitätsförderung im Labor

Learning Level	Facilitator's control	Didactic approach	Problem type	Creativity facet
1. level: beginner	structured inquiry	scripted learning paths	interpolation problems	F1: self-reflective learning F2: independent learning skills
2. level: intermediate	guided inquiry	real world scenarios	synthesis problems	F3: curiosity and motivation F4: learning by creating something
3. level: advanced	open inquiry	research-based learning	dialectic problems	F5: multi-perspective thinking F6: reach for original ideas

Um Studierende mit zum Teil potentiell gefährlicher oder empfindlicher Laborausstattung und arbeits- und sicherheitsrelevanten Aspekten vertraut zu machen, ist ein solcher Ansatz in Kombination mit erfahrenem Personal zur Gefahrenintervention dringend ratsam. Er korrespondiert mit dem zuvor beschriebenen, auf Verifikation basierenden Labortyp, liefert aber Möglichkeiten zur Erweiterung. Eine Option könnte es sein, Studierende zunächst mit dem realen Laborequipment und der Situation im Labor vertraut zu machen, um in darauf aufbauenden Remoteversuchen höhere Lernzielstufen anzustreben. In der zweiten Stufe besitzen die Studierenden flexiblere Spielräume zur Lösung realweltlicher Probleme aus der Ingenieurpraxis, wobei das Vorgehen begleitet wird, aber weniger angeleitet erfolgt. In der dritten Stufe ist es möglich, dass Lernende ihre eigenen Forschungsfragen formulieren und Experimente zur Lösung der selbst identifizierten Problemstellung planen und durchführen (vgl. [5], [25], [38], [39]).

Um diese Konzepte in die Praxis zu übertragen ist es denkbar,

- Studierende mit jeder Facette der Kreativitätsförderung auf allen Lernzielstufen zu konfrontieren,
- die Facetten F1 und F2 in der ersten Stufe, F3 und F4 in der zweiten Stufe und F5 und F6 in der dritten Stufe zu adressieren
- oder individuell zu entscheiden, welche Facetten in welcher Stufe adressiert werden sollten.

Die dritte Variante ermöglicht die meisten Freiheiten bei der Planung der Laborlehre. Ein Überschreiten der ersten Stufe kann allerdings zu Problemen bezüglich des Workloads der Studierenden und Lehrenden führen und bedarf eventuell einer Neuanpassung der Lehrpläne. Dennoch kann dieser konzeptuelle Rahmen zur Kreativitätsförderung in ingenieurwissenschaftlichen Laboren beitragen. Er ist von Nutzen bei der Entwicklung kreativer Aufgabenstellungen. Für eine Sammlung von Beispielen, wie sich die einzelnen Facetten gezielt adressieren lassen, siehe [24]. Darüber hinaus entwickelten Haertel und Terkowsky mit „Kreativität im Labor“ eine hochschuldidaktische Weiterbildung, die sich in ganz Deutschland großer Nachfrage erfreut und in der die Teilnehmenden speziell dazu angeleitet werden, die Facetten zur Gestaltung und Überarbeitung ihrer Laborpraxis anzuwenden.

7 Zusammenfassung und Diskussion

Die zu Beginn durchgeführte Literaturanalyse kommt zu dem Schluss, dass die didaktische Gestaltung von Laboraufgaben im ingenieurwissenschaftlichen Studium in der Regel selten bis gar nicht unter besonderer Berücksichtigung kreativitätsförderlicher Aspekte durchgeführt wird. Stattdessen orientieren sich die verwendeten Laborübungsmaterialien oft an bewährten theorieverifizierenden Ansätzen [13].

Für den empirischen Teil dieses Beitrags wurden zunächst mittels einer explorativen Feldstudie Beobachtungsdaten erhoben, die dann mittels einer katego-

riebasierten Inhaltsanalyse ausgewertet wurden [40]. Dieser Ansatz zielte auf eine Charakterisierung klassischer ingenieurwissenschaftlicher Labore hinsichtlich ihrer kreativitätsförderlichen Aspekte sowie das Auffinden von Potentialen zur Kreativitätsförderung von Studierenden im Rahmen der Laborlehre ab. Beide Ansätze orientierten sich am Sechs-Facetten-Modell zur Kreativitätsförderung in der Hochschullehre.

Als ein Hauptergebnis der kategorienbasierten Untersuchung lässt sich festhalten, dass das untersuchte Labor vor allem die Facetten Neugier und Motivation (F3), selbstreflektierendes Lernen (F1) sowie kreierendes Lernen (F4) unterstützt. Die Facetten eigenständiges Lernen (F2), Vielperspektivität (F5) und Streben nach originellen Ideen (F6) stehen nicht im Fokus des beobachteten Labors. Eine Förderung der Studierenden hin zu

- Unabhängigkeit, dem Brechen bewährter Regeln und intellektueller Rebellion,
- einem Einbezug gesellschaftlicher Einflüsse auf ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen sowie zuletzt
- Originalität und die Fähigkeit, Neuartiges, Innovatives zu erschaffen

lassen sich nicht als Lernziele ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung und der damit verbundenen Labore feststellen. Dies lässt sich sowohl auf der formalen Ebene der Modulbeschreibungen beobachten als auch auf der Interaktionsebene auf dem Shop-Floor.

Aus diesem Grund wurde ein hochschuldidaktisches Workshopkonzept für Laborlehrende entwickelt, um Laborkonzepte speziell entlang des Sechs-Facetten-Modells zur Kreativitätsförderung zu reflektieren und zu überarbeiten.

Darüber hinaus können Remote-Labore und virtuelle Labore ein großes Spektrum neuartiger Möglichkeiten zur Kreativitätsförderung liefern – zumindest, sofern sie auch unter didaktischen Aspekten sinnvoll implementiert werden.

Diese Studie hat bei der Laborbeobachtung jene Arbeitsphasen nicht berücksichtigen können, in denen sich die Studierenden individuell oder kooperativ innerhalb der Gruppen auf die Versuchsdurchführung und die abschließenden Kolloquien vorbereiteten. Eine Beobachtung dieser Phasen könnte Einfluss auf die Ergebnisse haben und wäre eine sinnvolle Erweiterung dieser Studie. Weiterhin wäre es erstrebenswert, den zur Untersuchung der Laborlehre verwendeten Methodenmix zu erweitern und zusätzliche Laborbeobachtungen zu ergänzen, um die Ergebnisse zu festigen und weiterzuentwickeln. Die hier vorgestellten Forschungsergebnisse könnten eine Grundlage für die weitere Entwicklung einer quantitativen Studie zu Kreativität im ingenieurwissenschaftlichen Studium im Allgemeinen sowie in ingenieurwissenschaftlichen Laboren sein.

8 Fazit

Moderne, technisch erweiterte ingenieurwissenschaftliche Labore bieten ein weites Spektrum an neuartigen Möglichkeiten zur Kreativitätsförderung. Dennoch nutzen herkömmliche Labore dieses Potential kaum, sondern fokussieren zumeist auf traditionell verankerte Lernziele, Lehr-Lernaktivitäten und Ergebnisse. Die vorgestellte Studie deckt einen Mangel an Lernzielen mit Bezug zu Kreativität im untersuchten Labor der Fertigungstechnik auf. Remote-Labore und virtuelle Labore bieten vielfältige Möglichkeiten zur Kreativitätsförderung, sofern sie didaktisch fundiert implementiert werden. Hier bietet sich die Möglichkeit, aus verschiedenen Gründen nicht genutzte Potentiale aus realen Laboren ergänzend zu diesen umzusetzen. Eine Neuausrichtung ingenieurwissenschaftlicher Labore entlang kreativer Lernziele kann den Grundstein für eine Überarbeitung der Curricula hin zu einer zielgerichteten Förderung von Ingenieurkreativität legen.

Literatur

- [1] R. M. Felder, R. Brent, *Teaching and learning STEM: A practical guide*. San Francisco, CA: Jossey-Bass [TM], a Wiley brand, 2016.
- [2] C. Terkowsky, S. Frye, D. May, D., „Labordidaktik: Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0“, in *Hochschullehre & Industrie 4.0: Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven*, T. Haertel, C. Terkowsky, S. Dany, and S. Heix, Eds. 1st ed., Bielefeld: wbv Media, pp. 89–103, 2019.
- [3] C. Terkowsky, S. Frye, D. May, “Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for ‘Working 4.0?’”, *Eur J Educ*, vol. 54, no. 4, pp. 577–590, 2019. doi: 10.1111/ejed.12368.
- [4] C. Terkowsky, S. Frye, D. May, “Is a Remote Laboratory a Means to Develop Competences for the ‘Working World 4.0’? A Brief Tentative Reality Check of Learning Objectives”, in *2019 5th Experiment International Conference (exp.at'19)*, Funchal (Madeira Island), Portugal, pp. 118–122, 2019.
- [5] T. Haertel, C. Terkowsky, I. Jahnke, “Where have all the inventors gone? Is there a lack of spirit of research in engineering education curricula?”, in *2012 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, Villach, Austria, pp. 1–8, 2012.
- [6] I. Belski, “Engineering Creativity – How To Measure It?”, in *Proceedings of the 28th Annual Conference of the Australasian Association for Engineering Education (AAEE 2017)*, Manly, Sydney, Australia, pp. 321–328, 2017. Accessed: Dec. 6 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/321873988_Engineering_Creativity_-_How_To_Measure_It.
- [7] D. E. Goldberg, M. Somerville, *A Whole New Engineer: The coming revolution in engineering education*, 1st ed. Douglas, Mich.: ThreeJoy Associates, 2014.

- [8] K. Kazerounian, S. Foley, "Barriers to Creativity in Engineering Education: A Study of Instructors and Students Perceptions", *J. Mech. Des.*, vol. 129, no. 7, p. 761, 2007, doi: 10.1115/1.2739569.
- [9] J. Biggs, "Constructive alignment in university teaching", *HERDSA Review of Higher Education*, Vol. I, pp. 5–22, 2014. [Online]. Available: www.herdsa.org.au.
- [10] C. Terkowsky, T. Haertel, T., "Where have all the inventors gone? Fostering creativity in engineering education with remote lab learning environments", in *2013 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Berlin, 2013, pp. 345–351, 2013.
- [11] S. D. Sheppard, S. D., *Educating engineers: Designing for the future of the field*. San Francisco, Calif.: Jossey-Bass, 2009.
- [12] C. W. Keys, "Revitalizing instruction in scientific genres: Connecting knowledge production with writing to learn in science", *Sci. Ed.*, vol. 83, no. 2, pp. 115–130, 1999. doi: 10.1002/(SICI)1098-237X(199903)83:2 < 115::AID-SCE2 > 3.0.CO;2-Q.
- [13] D. W. Sunal, C. S. Sunal, C. Sundberg, E. L. Wright, "The Importance of Laboratory Work and Technology in Science Teaching", in *Research in science education, The impact of the laboratory and technology on learning and teaching science* K-16, C. Sundberg, D. W. Sunal, E. Wright, Eds. Charlotte, N. C: IAP/Information Age Pub, pp. 1–28, 2008.
- [14] P. Tamir, "How are the laboratories used?", *J. Res. Sci. Teach.*, vol. 14, no. 4, pp. 311–316, 1977. doi: 10.1002/tea.3660140408.
- [15] A. E. Tekkaya, U. Wilkesmann, C. Terkowsky, C. Pleul, M. Radtke, F. Maevus, *Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung: Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab*. München: Herbert Utz Verlag, 2016.
- [16] L. D. Feisel, A. J. Rosa, "The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education", *Journal of Engineering Education*, vol. 94, no. 1, 2005, pp. 121–130, 2005. doi: 10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x.
- [17] C. Terkowsky, T. Haertel, T. R. Ortelt, M. Radtke, A. E. Tekkaya. (2016). "Creating a place to bore or a place to explore? Detecting possibilities to establish students' creativity in the manufacturing engineering lab", *International Journal of Creativity & Problem Solving*, vol. 26, no. 2, pp. 23–45, 2016.
- [18] J. B. Biggs, C. S.-K. Tang, *Teaching for quality learning at university: What the student does*, 4th ed. Maidenhead u. a.: McGraw-Hill, 2011.
- [19] J. Biggs, C. Tang, C. (2019). "Applying constructive alignment to outcome-based teaching and learning". [Online]. Available: <https://drjj.uitm.edu.my%2FDJRJ%2F2FMQAGGPAS-Apr2011%2FWhat-is-CA-biggs-tang.pdf&usg=AOvVaw3s66c9pN-gyaUtZLGZDnU1##>.
- [20] I. Jahnke, T. Haertel, J. Wildt, "Teachers' conceptions of student creativity in higher education", *Innovations in Education and Teaching International*, pp. 1–9, 2015. doi: 10.1080/14703297.2015.1088396.
- [21] A. L. Strauss, *Grundlagen qualitativer Sozialforschung: Datenanalyse und Theoriebildung in der empirischen soziologischen Forschung*. München: Fink, 1991.

- [22] C. Terkowsky, T. Haertel, “Fostering the Creative Attitude with Remote Lab Learning Environments: An Essay on the Spirit of Research in Engineering Education”, *Int. J. Onl. Eng.*, vol. 9, S5, 2013, p. 13, doi: 10.3991/ijoe.v9iS5.2750.
- [23] C. Terkowsky, T. Haertel, “Where have all the inventors gone? The neglected spirit of research in engineering education curricula”, in *Proceedings of the 2012 Conference on Actual Problems of Development of Light Industry in Uzbekistan on the Basis of Innovations*, Tashkent, Uzbekistan, pp. 5–8, 2012.
- [24] C. Terkowsky, T. Haertel, “On learning objectives and learning activities to foster creativity in the engineering lab”, in *2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, Dubai, United Arab Emirates, pp. 745–750, 2014.
- [25] C. Terkowsky, T. Haertel, E. Bielski, D. May, “Creativity@School: Mobile Learning Environments Involving Remote Labs and E-Portfolios. A Conceptual Framework to Foster the Inquiring Mind in Secondary STEM Education”, in *IT Innovative Practices in Secondary Schools: Remote Experiments*, J. García-Zubía, O. Dziabenko, Eds. Bilbao, Spain: University of Deusto Bilbao, pp. 255–280, 2013.
- [26] N. K. Denzin, *The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods*. Chicago, London: Aldine, 1970.
- [27] N. K. Denzin, *Handbook of Qualitative Research*, 2nd edn (Eds. with Yvonna S. Lincoln). Thousand Oaks: Sage, 2000.
- [28] J. C. Kaufman, R. J. Sternberg, “Preface,” in *Cambridge handbooks in psychology, The Cambridge handbook of creativity*, J. C. Kaufman, R. J. Sternberg, Eds. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2010, pp. xiii–xv.
- [29] R. C. Schank, P. G. Childers, *The creative attitude: Learning to ask and answer the right questions*. New York: Macmillan, 1988.
- [30] L. Gomes, J. García Zubía, Eds. (2007), *Advances on remote laboratories and e-learning experiences*. Bilbao: University of Deusto. [Online]. Available: <http://www.digitaliapublishing.com/a/19230/>.
- [31] J. García Zubía, G. R. Alves, Eds. (2012), *Using remote labs in education: Two little ducks in remote experimentation*. [Place of publication not identified]: Publicaciones De La Unive.
- [32] J. García-Zubía, O. Dziabenko, Eds. (2013), *IT Innovative Practices in Secondary Schools: Remote Experiments*. Bilbao, Spain: University of Deusto Bilbao. [Online]. Available: www.deusto-publicaciones.es/deusto/pdfs/otraspub/otraspub04.pdf.
- [33] M. Savin-Baden, M., *A practical guide to problem-based learning online*. London, New York, NY: Routledge, 2008.
- [34] M. Savin-Baden, M., *Rethinking learning in an age of digital fluency: Is being digitally tethered a new learning nexus?* London, New York, NY: Routledge, 2015.
- [35] M. E. Auer, A. K. M. Azad, M. Edwards, T. d. Jong, Eds. (2018). *Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. [Online]. Available: <https://books.google.de/books?id=6JpYDwAAQBAJ>.

- [36] P. Orduña, L. Rodriguez-Gil, I. Angulo, U. Hernandez, A. Villar, J. Garcia-Zubia, “WebLabLib: New Approach for Creating Remote Laboratories”, in *Lecture Notes in Networks and Systems, volume 80, Cyber-physical Systems and Digital Twins: Proceedings of the 16th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*, M. E. Auer, K. R. B., Eds. Cham, Switzerland: Springer Nature; Springer, pp. 477–488, 2019.
- [37] C. Terkowsky, C., Pleul, I. Jahnke, A. E. Tekkaya, “Platform for e-Learning and Telemetric Experimentation (PeTEX). Tele-operated laboratories for production engineering education”, in *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Amman, Jordan, pp. 491–497, 2011.
- [38] C. Terkowsky, T. Haertel, E. Bielski, D. May, “Bringing the inquiring mind back into the labs a conceptual framework to foster the creative attitude in higher engineering education”, in *2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Istanbul, pp. 930–935, 2014.
- [39] C. Terkowsky, I. Jahnke, C. Pleul, D. May, T. Jungmann, A. E. Tekkaya, “PeTEX @Work. Designing CSCL@Work for Online Engineering Education”, in *Computer-supported collaborative learning series, vol. 14, Computer-supported collaborative learning at the workplace: CSCL@Work*, S. P. Goggins, I. Jahnke, and V. Wulf, Eds. New York: Springer, pp. 269–292, 2013.
- [40] P. Mayring, *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (7. Auflage, erste Auflage 1983). Weinheim: Deutscher Studien Verlag, 2000.