

Technische Universität Dortmund  
Fakultät Erziehungswissenschaft, Psychologie und  
Bildungsforschung

## **Labordidaktik *in the making***

Erforschung eines Desiderats der  
ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre

Kumulative Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Philosophie (Dr. phil.)

vorgelegt von Claudius Terkowsky  
geboren am 16.02.1961 in Königstein im Taunus

Erstgutachter: Prof. Dr. Uwe Wilkesmann  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Dominik May

Tag der Einreichung: 23. Dezember 2021  
Tag der Disputation: 04. Mai 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung: zur Motivation dieser Arbeit .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Ein kursorischer Forschungsüberblick über die einbezogenen Studien.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Labordidaktik <i>in the making</i> .....</b>	<b>9</b>
3.1	Multiple Triangulation .....	12
3.2	Triangulierte Erhebungs-, Auswertungs- und Gestaltungsverfahren.....	16
3.2.1	Literatur- und Dokumentenanalyse .....	16
3.2.2	Teilnehmende Beobachtung .....	19
3.2.3	Expert*inneninterviews .....	23
3.2.4	Inhaltsanalyse .....	27
3.2.4.1	Qualitativ orientierte kategoriengeleitete Textanalyse nach Mayring .....	31
3.2.4.2	Werkzeugkasten-Modell der qualitativen Inhaltsanalyse nach Schreier .....	33
3.2.5	Constructive Alignment.....	34
3.3	Gütekriterien und Qualitätssicherung durch Triangulation .....	37
<b>4</b>	<b>Gegenwärtige und künftige Anforderungen an die hochschulische Ingenieurausbildung.....</b>	<b>41</b>
4.1	Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse .....	41
4.1.1	Technikdidaktik und Ingenieurdidaktik in der Hochschule (TDID).....	42
4.1.2	Deutsche Ingenieurausbildung und Globalisierung .....	44
4.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	46
4.2	TDID revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte .....	47
<b>5</b>	<b>Labordidaktische Forschungen im Fachlabor .....</b>	<b>48</b>
5.1	Das Fachlabor in der Ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung (IngLab).....	48
5.1.1	Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse .....	49
5.1.1.1	Entwicklung eines Kriterienkatalogs zur Analyse der Laborausbildung.....	51
5.1.1.2	Durchführung der Literatur- und Dokumentenanalyse.....	51
5.1.1.3	Ergebnis der Literatur- und Dokumentenanalyse .....	53
5.1.1.4	Erhebung und Auswahl bestehender Angebote in der Produktionstechnik .....	54
5.1.1.5	Teilnehmende Beobachtung der Best-Practice-Beispiele .....	56
5.1.1.6	Kritische Einordnung der Ergebnisse .....	57
5.1.1.7	Expert*innen-Interviews.....	61
5.1.1.8	Special Session auf einer internationalen Engineering Education Konferenz .....	63
5.1.1.9	Gestaltungsempfehlungen für die zukünftige Laborausbildung .....	65
5.1.1.10	Labordidaktisches Weiterbildungsangebot .....	65
5.1.1.11	IngLab-Wiki: Labordidaktisches Informationssystem für Lehrende .....	66
5.1.2	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	66
5.1.3	IngLab revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte .....	69
5.2	Follow-up Studie 1: Kreativitätsförderung im Fachlabor in der Umformtechnik (KreaLab).....	71
5.2.1	Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse .....	73
5.2.1.1	Literaturstudie .....	73

5.2.1.2	Teilnehmende Beobachtung im Fachlabor der Umformtechnik.....	74
5.2.1.3	Deduktive quantitative Inhaltsanalyse: Häufigkeiten der 6F.....	75
5.2.1.4	Deduktive qualitative Inhaltsanalyse: verpasste Gelegenheiten der 6F.....	76
5.2.1.5	Explizierende deduktive Inhaltsanalyse zu neuen Möglichkeiten der Kreativitätsförderung durch Online-Labore .....	76
5.2.2	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	77
5.2.3	KreaLab revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte.....	77
5.3	Follow-up Studie 2: Förderung von Arbeitswelt-4.0-Kompetenzen im Fachlabor der Umformtechnik (I4.0-Lab) .....	79
5.3.1	Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse .....	80
5.3.1.1	Literatur- und Dokumentenanalyse zu Industrie 4.0 Kompetenzen .....	81
5.3.1.2	Recherche und Auswahl von geeigneten Publikationen.....	84
5.3.1.3	Realitätscheck mittels strukturierender induktiver Inhaltsanalyse.....	85
5.3.2	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	86
5.3.3	I4.0-Lab revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte.....	87
<b>6</b>	<b>Labordidaktische Forschungen im Innovationslabor .....</b>	<b>89</b>
6.1	Constructive Alignment im Innovationslabor (STE-Lab) .....	90
6.1.1	Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse .....	93
6.1.1.1	Entwicklung beabsichtigter Lernergebnisse (ILOs) .....	93
6.1.1.2	Modellierung von Lehrlernaktivitäten (TLAs) .....	94
6.1.1.3	Modellierung der Lehrernerfolgskontrolle (ATs).....	96
6.1.1.4	Formative Evaluation des Constructive Alignment.....	97
6.1.1.5	Formulierung eines unternehmerischen Imperativs für Studierende .....	98
6.1.2	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	98
6.2	Follow up Studie: Emotionen im Innovationslabor .....	100
6.2.1	Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse .....	101
6.2.2	Deduktiv-induktive qualitative Inhaltsanalyse .....	102
6.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	103
6.3	STE-Lab revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte .....	104
<b>7</b>	<b>Labordidaktik <i>in the making</i>: Resümee und Ausblick .....</b>	<b>107</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>111</b>
<b>9</b>	<b>Anhänge.....</b>	<b>126</b>
	Anhang 1: Liste aller 42 durch qualitative Inhaltsanalyse beurteilte Laborveranstaltungen .....	126
	Anhang 2: Liste der 18 durch teilnehmende Beobachtung analysierten Best Practice Beispiele .....	128
<b>10</b>	<b>Auflistung der Einzelbeiträge der kumulativen Dissertation .....</b>	<b>130</b>

# 1 Einleitung: zur Motivation dieser Arbeit

In den Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen, die meiner kumulativen Dissertation zugrunde liegen, sind wir folgenden übergeordneten Forschungsfragen nachgegangen: Vor welchen aktuellen und zukünftigen Herausforderungen steht das Lehren und Lernen in ingenieurwissenschaftlichen Fachlaboren? Wie lässt sich das Lehren und Lernen in den Fachlaboren der Ingenieurwissenschaften theoretisch fassen und empirisch untersuchen? Wie lässt sich die Laborlehre anwendungs- und kompetenzorientierter gestalten, um den identifizierten Herausforderungen möglichst wirksam begegnen zu können? Stellvertretend für eine Vielzahl von Veranstaltungsformaten innerhalb der ingenieurwissenschaftlichen Lehre wurde von uns die Laborlehre als didaktisch besonders vernachlässigte Situationen identifiziert, als Desideratum markiert und in der Folge theoretisch und empirisch aus unterschiedlichen Perspektiven untersucht. Der weitaus größte Teil der Arbeit beschäftigt sich deshalb damit, die genannten großen Fragen herunterzubrechen und aus einer im Verlauf der Arbeit an unseren Forschungen sich immer mehr verdichtenden labordidaktischen Perspektive zu betrachten.

Während sich die verschiedenen eingeflossenen Forschungen zum Zustand der Kompetenz- und Anwendungsorientierung in der grundständigen Laborlehre vor allem an den etablierten Fachlaboren der deutschen fertigungs- und produktionstechnischen Community abarbeiten, wurde für die Kreativitäts- und Innovationsförderung ein eigenes Laborformat im Workshopformat entwickelt, in verschiedene Lehrveranstaltungen im Kontext der Ingenieurwissenschaften eingepasst, dabei immer wieder empirisch und theoretisch beforscht und so inkrementell optimiert.

Die Veröffentlichungen der kumulativen Dissertation wurden gespeist aus meiner langjährigen wissenschaftlichen Mitarbeit in einschlägigen Teilprojekten und Arbeitspaketen der folgenden vier von Drittmittelgebern geförderten Verbundprojekte:

- **„ELLI 1 - Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften - Mit Kreativität, Mobilität und Interdisziplinarität zu Bologna 2.0“**, gefördert vom BMBF - Bundesministerium für Bildung und Forschung im Qualitätspakt Lehre (Laufzeit: 01.10.2011 – 30.09.2016);
- **„IngLab - Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung“**, gefördert von acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Laufzeit: 01.12.2011 bis 31.05.2016);
- **„Innov'ing 2020 – Les ingénieurs et l'innovation: nouveaux métiers, nouvelles formations“**, gefördert von der „ANR - Agence Nationale de La Recherche“ de la France (Laufzeit: 01.12.2014 – 31.12.2016);
- **„ELLI 2 - Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften - In Zeiten von steigender Virtualität, Globalisierung und Interdisziplinarität**

zu **Industrie 4.0**“, gefördert vom BMBF - Bundesministerium für Bildung und Forschung im Qualitätspakt Lehre (Laufzeit: 01.10.2016 – 31.12.2020).

Da Drittmittelprojekte und daraus hervorgehende wissenschaftliche Publikationen z.B. in Form von wissenschaftlichen Artikeln in einschlägigen Zeitschriften oder als Buchkapitel in Herausgeberbänden in der Regel einer tiefergehenden Reflexion des Forschungsdesigns und des methodischen Vorgehens nicht unterzogen werden, soll das hier für die in die kumulative Dissertation eingeflossen veröffentlichten Studien nachgeholt werden. Dabei stand ich zunächst vor der Herausforderung, sieben mit unterschiedlichen Forschungsdesigns entstandene Veröffentlichungen nachträglich in ein forschungslogisches Bigger Picture so einzuordnen, dass eben genau dies im Prozess des Ordners entsteht: ein Forschungsprogramm für Labordidaktik als Bigger Picture. Als übergeordnetes Forschungsdesign ist so (nachträglich) etwas quasi von unten nach oben entstanden, was ich in Anlehnung an Denzin (2017) als „Multiple Triangulation“ bezeichnen möchte. Multiple Triangulation deswegen, weil in der Gesamtschau eine größere Anzahl an Perspektiven und Einzelstudien miteinander kombiniert und verwoben wurden, als der Begriff „Mixed-Methods-Research“ (Creswell und Plano Clark 2018) nach meinem Dafürhalten umfasst, auch wenn bis auf Weiteres keine Trennschärfe zwischen diesen beide übergeordneten Forschungsdesigns verabredet wurde:

„*Mixed Methods* richten sich an die Verknüpfungen, die qualitative und quantitative Methoden umfassen, und sind weitgehend auf die Forschungspraxis ausgerichtet. *Triangulation* verweist auf die Pluralität von Perspektiven, zu denen neben z.B. theoretischer Multiperspektivität auch der Einsatz verschiedener Methoden gehören kann. Eine Fokussierung auf Validierung als Ziel ist mittlerweile durch das Ziel des Erkenntnisgewinns mittels unterschiedlicher Perspektiven relativiert bzw. erweitert worden. Eine konsensuelle trennscharfe Abgrenzung beider Begriffe ist in der Literatur nicht zu finden“ (Burzan 2016, S. 26).

Da die multipel triangulierten Forschungen nicht gleichzeitig stattgefunden haben, sondern über einen Zeitraum von insgesamt zehn Jahren durchgeführt wurden und sich inhaltlich teilweise aufeinander aufbauend entwickelten, teilweise zunächst nebeneinander entfalteten, um die Synthese im nächsten Schritt anzugehen, lässt sich daran auch ein Werden rekonstruieren, wofür der gewählte Titel der kumulativen Dissertation „Labordidaktik *in the making*“ steht. Im Folgenden werden diese Etappen einer im Werden befindlichen Labordidaktik der ingenieurwissenschaftlichen Lehre noch einmal rekonstruiert, nachgezeichnet und methodisch grundlegend unterfüttert.

Zunächst wird in Kapitel 2 ein kursorischer Überblick über die einbezogenen sieben Studien gegeben, die aber dafür nicht chronologisch sortiert, sondern inhaltlich organisiert dargestellt werden.

Kapitel 3 zeichnet einerseits noch einmal die Entstehungshintergründe unserer labordidaktischen Forschungen nach, andererseits wird eingebettet in das *in the making*

das methodische Vorgehen detailliert hergeleitet und inhaltlich fundiert. Hierbei steht die Triangulation als übergeordnetes Forschungsdesign zentral und darin eingebettet die triangulierten Erhebungs- und Auswertungsmethoden Literatur und Dokumentenanalyse, teilnehmende Beobachtung, Expert\*inneninterviews, sowie die Inhaltsanalyse als bevorzugte Auswertungsmethode. Eine besondere Rolle kommt dem Constructive Alignment zu, worunter eine in der Hochschuldidaktik weit verbreitete Methode zur Reflexion, Gestaltung und formativen Evaluation des Lehrens und Lernens verstanden wird. Hierdurch wird auch die Brücke zu handlungs- und praxisforscherischen Vorgehensweisen gebaut, denn die Laborlehre in den Ingenieurwissenschaften sollte ja nicht nur analysiert werden, sondern es sollten immer auch Potenziale für eine anwendungs- und kompetenzorientierte Optimierung der Laborlehre herausgearbeitet werden.

Kapitel 4 gibt einen Überblick über gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen an die hochschulische Ingenieurausbildung. Damit wird quasi der organisationale Überbau der Laborausbildung beleuchtet.

Die Kapitel 5 und 6 befassen sich dann mit den eigentlichen labordidaktischen anwendungs- und kompetenzorientierten Forschungen. Hierzu werden jeweils noch einmal die wesentlichen Hintergründe der Projekte und Publikationen, die Forschungsfragen und Zielsetzungen, methodischen Vorgehensweisen, Ergebnisse und Interpretationen in einer Weise rekonstruiert, wie es in den jeweiligen Einzelstudien nicht möglich war. Jedes einbezogene Labor wird dann noch einmal einer nachträglichen Reflexion einiger wesentlicher methodischer Schritte unterzogen, was ich jeweils in der Kapitelüberschrift mit „revisited“ gekennzeichnet habe. Dadurch ergeben sich neue, die ursprünglichen Ergebnisse erweiternde und vertiefende Interpretationen, teilweise werden aber auch Widersprüche in den damaligen Deutungen markiert.

Kapitel 7 schließlich fasst die erzielten Ergebnisse noch einmal kurz zusammen und gibt einen Ausblick darauf, wie „Labordidaktik *in the making*“ sich in einem nächsten Verbundprojekt fortsetzt, welches von der Stiftung Innovation in der Hochschullehre gefördert wird.

Durch die vorliegende Arbeit können die am Standort durchgeführten Forschungen zum Leitungshandeln in der Hochschule (Schmid und Wilkesmann 2019) und zur Lehrendenmotivation (Wilkesmann und Lauer 2021) um handlungs- und praxisforscherische Anstrengungen für eine anwendungs- und kompetenzorientierte Gestaltung des eigentlichen Lehrhandelns erweitert werden.

## 2 Ein kursorischer Forschungsüberblick über die einbezogenen Studien

Hier soll zunächst ein kursorischer Überblick über die in den Kumulus einbezogenen sieben Studien gegeben werden. Auf eine chronologische Sortierung, die auch möglich gewesen wäre, wurde zugunsten einer inhaltlich-thematischen Ordnung verzichtet. Die sieben in den Kumulus einbezogenen Studien wurden deshalb nachträglich von mir zu drei thematischen Blöcken zugeordnet:

1. **Gegenwärtige und künftige Anforderungen an die hochschulische Ingenieurausbildung** (Morace et al. 2017; Terkowsky, Frye et al. 2018);
2. **Labordidaktische Forschung im Fachlabor** (Tekkaya et al. 2016; Terkowsky et al. 2016; Terkowsky, Frye, May 2019);
3. **Labordidaktische Forschung im Innovationslabor** (Rose et al. 2019; Terkowsky, Haertel et al. 2018b).

Ein erster einordnender Themenblock befasst sich zunächst mit der aktuellen Zustandsbeschreibung der Ingenieurdidaktik als fachbezogener Hochschuldidaktik der Ingenieur- und Technikwissenschaften, sowie der Technikdidaktik und der Lehrerbildung für technische Fächer in Deutschland. Dies scheint schon deswegen unabdingbar, da Fachlabore und Laborpraktika nicht unabhängig von fachlichen Kontexten stattfinden, sondern vielmehr integraler Bestandteil von einschlägigen Studiengängen sind. Damit unterliegen sie wiederum vorab definierten Zielsetzungen und Anforderungen, die von unterschiedlichen Akteuren an technisch-naturwissenschaftliche Studienprogramme herangetragen werden, und denen sie entsprechen müssen, um akkreditiert zu werden. In einer ersten Studie wurde von uns mittels einer Literatur- und Dokumentenanalyse die derzeitige Verfasstheit der Ingenieurdidaktik als fachbezogener Hochschuldidaktik der Ingenieur- und Technikwissenschaften ermittelt und in der Folge einige wesentliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu der institutionell anders verorteten und etablierten Technikdidaktik für Lehramtsstudiengänge in der hochschulischen Bildung herausgearbeitet und diskutiert (Terkowsky, Frye et al. 2018). Mit neuen Kompetenzanforderungen an künftige Ingenieur\*innen, die durch die Globalisierung der Wirtschaft zunehmend entstehen, und denen sich das deutsche Modell einer vornehmlich fachlich bzw. fachwissenschaftlich ausgerichteten hochschulischen Ingenieurausbildung vermehrt stellen muss, befasst sich die von Morace et al. (2017) realisierte Studie, die ebenfalls auf verschiedenen Literatur- und Dokumentenanalysen beruht. Beide Studien zusammengenommen beleuchten aus einer übergeordneten Perspektive künftige Kompetenzanforderungen an die Laborausbildung.

Darauf aufbauend bzw. darin integriert wurde der Lehrlernort Labor in unterschiedlichen Ausformungen genaueren Analysen aus verschiedenen Beobachtungsperspektiven unterzogen. Zunächst untersuchte und identifizierte hierzu die IngLab-Studie bisher

ungenutzte laborspezifische hochschuldidaktische Potenziale der ingenieurwissenschaftlichen Laborausbildung mittels eines umfassenden multipel triangulierten Forschungsdesigns und erarbeitete Vorschläge für eine verstärkt anwendungs- und kompetenzorientiert ausgerichtete Qualifizierung des ingenieurwissenschaftlichen Nachwuchses im Fachlabor (Tekkaya et al. 2016). Da wegen des technologischen Wandels Kreativität eine zunehmend wichtiger werdende Kompetenz darstellt, wurde in einer ersten Follow-up Studie exemplarisch der Frage nachgegangen, wie sich ein fertigungstechnisches Fachlabor im Maschinenbaustudium hinsichtlich seiner kreativitätsförderlichen und seiner kreativitätsverhindernden Wirkungen untersuchen lässt. In der Folge wurden konkrete Vorschläge herausgearbeitet, wie sich das Fachlabor künftig kreativitätsförderlicher gestalten ließe (Terkowsky et al. 2016). Und noch einmal zugespitzt auf die Entwicklungen der Industrie 4.0 und deren veränderte Kompetenzanforderungen an die Ingenieurarbeit sind wir in einer zweiten Follow-up-Studie der Frage nachgegangen, welche Kompetenzen insbesondere die Zukunftsentwürfe einer Arbeitswelt 4.0 bzw. Industrie 4.0 erfordern und inwieweit sich diese Kompetenzen durch den gezielten Einsatz von Online-Laboren im ingenieurwissenschaftlichen Studium fördern lassen. Hierzu wurden Vorschläge erarbeitet, welche technischen, didaktischen und organisatorischen Anpassungen notwendig sind, um die in der Arbeitswelt 4.0 bzw. Industrie 4.0 notwendigen Kompetenzen in der ingenieurwissenschaftlichen Laborlehre künftig besser fördern zu können (Terkowsky, Frye, May 2019).

Schließlich wurde das Thema Kreativitätsförderung im Labor noch einmal gesondert aufgegriffen und dabei die Experimentierhallen und ingenieurwissenschaftlichen Versuchs- und Testapparaturen verlassen und konzeptionell in ein Innovationslabor zur Förderung von Ingenieurkreativität als zentraler Zukunftskompetenz transformiert. Dabei wurde ein umfassendes didaktisches Design für die Ingenieurlehre entwickelt und umgesetzt, mit dem die Kreativität der Studierenden, ihr Mut und ihre Risikobereitschaft, ihr unternehmerisches Denken und schließlich ihre Innovationsfähigkeit gezielt gefördert und nicht etwa verhindert werden können (Rose et al. 2019; Terkowsky, Haertel et al. 2018b).

In einer ersten Zusammenfassung lässt sich anmerken, dass sich die sieben Studien aus gleichwohl unterschiedlichen Blickwinkeln immer wieder mit dem Spannungsverhältnis zwischen den Kompetenzen befassen, die Lehrende in den ingenieurwissenschaftlichen Laborveranstaltungen fördern möchten, solchen Kompetenzen, die sie zumindest unseren Forschungsergebnissen nach tatsächlich fördern und jenen, die sie für ein zukunftssicherndes Ingenieurhandeln in deutschen Unternehmen künftig fördern mögen.

### 3 Labordidaktik *in the making*

Ausgangspunkt für unser Forschungsinteresse an labordidaktischen Fragestellungen waren vor allem unsere Vorarbeiten im EU-Projekt „PeTEX – Platform for eLearning an Telemetric Experimentation“, welches zwischen Dezember 2008 und November 2010 gemeinsam mit Partnern des Royal Institute of Technology aus Stockholm (KTH), der University of Palermo (UNIPA), dem Institut für Umformtechnik und Leichtbau an der TU Dortmund sowie dem damaligen hochschuldidaktischen Zentrum der TU Dortmund durchgeführt wurde. Ziel von PeTEX war die gemeinsame technische und hochschuldidaktische Entwicklung einer Lernplattform zur Einbindung von Live-Experimenten – Remote-Labore – in die ingenieurwissenschaftliche Lehre. Das bedeutete

1. die realen Versuchsstände in den Laborhallen der drei Ingenieurstandorte Palermo, Stockholm und Dortmund zur Durchführung der Experimente technisch so umzurüsten, dass diese künftig zeit- und ortsunabhängig über das Internet angesteuert werden konnten;
2. labordidaktische und mediendidaktische Konzepte zu identifizieren, weiterzuentwickeln und miteinander zu einem integrativen Ansatz zu verknüpfen;
3. die soziotechnische und die didaktische Gestaltung der Lernumgebung auf Basis der Lernplattform Moodle zu realisieren; sowie
4. die Entwicklung von interaktiven fachlich-inhaltlichen Lernmodulen auf Basis des E-Learning-Autorentools Lernbar umzusetzen, welche dann als Lernpakete in die Lernplattform technisch eingebunden und schließlich einer Kursstruktur zugeordnet werden konnten.

Das Projekt war interdisziplinär angelegt zwischen den Ingenieurwissenschaften einerseits (genauer: der Fertigungs- bzw. Produktionstechnik als Teildisziplinen des Maschinenbaus) und der Hochschuldidaktik andererseits, was für alle Beteiligten mehr oder weniger absolutes Neuland war. Während die drei ingenieurwissenschaftlichen Institute in erster Linie mit der technischen Realisierung der Remote-Labore und der entsprechenden technischen Schnittstellen befasst waren und das als Prototyp entwickelte Lernsystem in der Lehre testeten, entwickelte das HDZ das soziotechnische, medien- und labordidaktische Design und realisierte die Lernplattform als Mediensystem zur soziotechnischen Organisation aller Lehrlernprozesse.

Die didaktischen Modellierungen wurden mit einem aktionsforscherischen, partizipativen Gestaltungsansatz (Design-Based-Research) realisiert, der die Perspektiven, Interessen und Expertisen aller Mitwirkenden bündeln und integrieren sollte (Terkowsky et al. 2010; Terkowsky et al. 2011; Terkowsky, Jahnke et al. 2013).

Was wir damals noch nicht wussten, war, dass diese kooperativen und kollaborativen und teilweise sehr beteiligungsintensiven Arbeitsformen zwischen Hochschuldidaktik und Ingenieurwissenschaften zur Entwicklung von Lernsystemen nicht die Regel, sondern die

Ausnahme darstellten. Mehr noch, beginnend mit dem Jahr 2010 war uns bei unseren vermehrten Teilnahmen an Konferenzen der globalen Lab-Developer Community für Online-Labore zunehmend aufgefallen, dass das Thema Labordidaktik dort allenfalls randständig Beachtung und Bearbeitung fand. In dieser durch Ingenieur-, Natur- und Computerwissenschaften geprägten Community standen die technischen Problemstellungen zur Realisierung von Online-Laboren deshalb weit im Vordergrund, während die unserer Auffassung nach dazugehörige Bearbeitung des Lehrens und Lernens gewissermaßen aus den in den entwickelten Laboren und Experimenten innewohnenden analytischen Aufgabenstellungen zur Klärungen von technischen und naturwissenschaftlichen Phänomenen, zu deren Zweck sie ja entwickelt wurden, sich quasi von selber ergab.

Tatsächliche hochschuldidaktische bzw. labordidaktische Kompetenzen, die über die jeweils eigene zum Teil langjährige und umfassende Lehrerfahrung hinausgingen, oder diese reflektierten und weiterentwickelten, waren unserer teilnehmenden Beobachtung nach in der Scientific Community nicht vorhanden oder zumindest in der Art der Darstellung und der Diskussion von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen nicht wahrnehmbar. Das war für uns zunehmend verwunderlich, da die Online-Labore ja primär unter dem Label „Higher Engineering Education“ für den Einsatz in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre entwickelt wurden.

Auch die gemeinhin üblichen Formen des wissenschaftlichen Publizierens der Lab-Developer Community bearbeiteten unserer Wahrnehmung nach labordidaktische Fragestellungen nur sehr marginal bis gar nicht. Dieses mündete letztlich in der Formulierung einiger pointierter Thesen zu den unserer Beobachtung nach zweifelsfrei vorhandenen Defiziten in der ingenieurwissenschaftlichen Laborausbildung, die wir 2011 im Forschungsantrag für das IngLab-Projekt folgendermaßen formulierten:

- **Unzureichendes Labordidaktisches Design:** Die didaktische Konzeptionierung und die didaktische Integration von Laboren in die Lehre sind oft unzureichend ausgestaltet.
- **Unzureichendes Constructive Alignment:** Es bestehen teilweise tiefgreifende Abstimmungsprobleme zwischen Lehrziel-Vorgaben einerseits und tatsächlich erzielten Lernergebnissen andererseits.
- **Unzureichende Kompetenzorientierung und fehlende Förderung von Beschäftigungsfähigkeit („Employability“):** Die Förderung von Praxisbezug, Berufsorientierung und professioneller Handlungskompetenz durch das Labor ist oft unzureichend berücksichtigt.
- **Unzureichende Lehr- und Laborgestaltungskompetenz:** Es mangelt den Lehrenden an der systematischen Befähigung zur Laborentwicklung und Laborbetreuung.

- **Unzureichende labordidaktische Forschung:** Es gibt kaum labordidaktische Forschungen und Forschungszusammenhänge, insbesondere in Deutschland.
- **Fehlende Lab-Developer Community:** Es ist keine Community of Practice <sup>1</sup> in Deutschland wahrnehmbar, die sich systematisch mit Laborentwicklung und Labordidaktik befasst (Tekkaya et al. 2016, S. 13–15).

Unser Ziel in den zwischen 2011 und 2020 durchgeführten und oben eingeführten vier einschlägigen Drittmittelprojekten war es deshalb, diese Technikeinseitigkeit bzw. die weitgehende Abwesenheit von Labordidaktik und labordidaktisch fundierter Lehre als Desiderat zu kennzeichnen und wissenschaftliche Arbeit zu investieren, um hier künftig Angebote zur Analyse, Reflexion und Optimierung des Lehrens und Lernens in ingenieurwissenschaftlichen Fach- und Innovationslaboren machen zu können. Hierzu entwickelten wir verschiedene Forschungsdesigns.

Wir sind allerdings bei der Konzeption der insgesamt sieben Forschungsdesigns der sieben Studien, die Grundlage dieses Kumulus<sup>4</sup> darstellen, vor allem „bottom up“ vorgegangen. Es ging also nicht darum, damit zu beginnen, die Arbeit von den großen Entwürfen verschiedener standardisierter Forschungsdesigns her „top down“ zu entwerfen und dann mit methodischen Vorgehensweisen entsprechend auszufüllen wie sie etwa Creswell u.a. als „Mixed Methods Procedures“ im Laufe der Jahre in unterschiedlichen Versionen dargestellt haben (Creswell 2014a, 2014b; Creswell und Miller 2000; Creswell und Plano Clark 2018). Bei den beiden ELLI Projekten entstanden die eigentlichen Forschungsdesigns sogar erst im Projektverlauf, da in den Antragsformularen gar nicht genügend Platz gewesen wäre, um umfassende methodische Anstrengungen darstellen zu können. Vielmehr wurde schon bei der Entwicklung der zugrundeliegenden Forschungsdesigns intensiv von der Forschendentriangulation gebraucht gemacht, bei der wir Forschende aus Hochschuldidaktik und Ingenieurwissenschaften gemeinsam überlegten, welche Forschungsfragen über welchen Forschungsgegenstand wir mit welchen Theorien und Methoden und zu welchem Zweck als nächstes in unserem handlungs- und praxisforscherischen Arbeitszusammenhang angehen sollten:

“Action research is a form of practitioner research. (...) The research design emerges over time, as one engages with the participants, and together researcher and participants decide on next steps in working toward coming up with solutions to the problem” (Merriam und Tisdell 2016, S. 49).

---

<sup>1</sup> So gibt es zwar z.B. die Internetadresse [www.labordidaktik.de](http://www.labordidaktik.de), hinter der sich eine seit fast drei Jahrzehnten existierende Gruppe von kompetenten Laboringenieur\*innen und Laborbetreuenden von Fachhochschulen in Hessen verbirgt, die sich seit über 25 Jahren regelmäßig trifft, um gemeinsam ihre eigene Laborlehre voranzubringen. Aber eine überregionale Verbreitung der jeweils erzielten Ergebnisse durch gängige wissenschaftliche Verbreitungsformate stand nie im Fokus, sodass die URL weder auf weitere Inhalte verweist noch erzielte Ergebnisse anderweitig aus der Community heraus veröffentlicht werden.

Dabei spielten Interessen, Vorerfahrungen, Kompetenzen und die intersubjektive Aushandlung eine große, die entscheidende Rolle. Die gemeinsam geteilte Grundannahme lautete: wenn sich Forschende „triangulieren“, um zur Beantwortung einer sie gemeinsam begeisternden Forschungsfrage ihre ebenfalls im Werden befindlichen Handlungskompetenzen in die Waagschale zu werfen, wenn sie unterschiedliche Theorien mit dem Ziel analysieren, sie anschließend sinnvoll in die Anwendung bringen zu wollen, wenn sie unterschiedliche Methoden auswählen und damit sinnvoll auswertbare Datensätze erzeugen, und wenn sie darüber hinaus felsenfest davon ausgehen, dass es ihnen schon gelingen wird, dieses anarchisch anmutende Vorgehen zu einen erhellenden Gesamtzusammenhang zu verdichten, dann wird in jedem Fall etwas Relevantes dabei herauskommen. Dass wir damit der Empfehlung eines Vertreters der deutschsprachigen sozialwissenschaftlichen Methodenlehre durchaus nachgekommen sind, belegt folgendes Zitat:

„Die Auswahl von Untersuchungsplan und Techniken der Erhebung, Aufbereitung und Auswertung, die Zusammenstellung des konkreten Analyseinstrumentariums also muss auf den Gegenstand und die Fragestellung der Untersuchung bezogen sein. Sie soll nicht durch persönliche Vorlieben oder Schulendenken des Forschers vorwegbestimmt sein. Gerade das aber lässt sich bei neueren qualitativen Ansätzen immer wieder beobachten. Nur eine einzige Methode wird verwendet und nach Gegenständen gesucht, die zu ihr passen. Vielleicht ist dies nur ein Übergangsstadium. Aber kreative, qualitativ orientierte Forschung bedeutet Vielfalt, nicht Einseitigkeit, bedeutet Gegenstandsbezogenheit, nicht Methodenfixiertheit“ (Mayring 2016, S. 133).

Wenn dann noch mehrere dieser für uns alle spannenden wissenschaftlichen Abenteuer miteinander kombiniert werden, so führt der Weg letztlich in eine multiple Triangulation.

### **3.1 Multiple Triangulation**

Seit den 1970er Jahren hat in der empirischen Sozialforschung der Einsatz von mehr als einer Perspektive bzw. Methode zur Untersuchung desselben Phänomens immer wieder Phasen der intensiveren Verwendung erlebt. Verschiedene Wissenschaftler\*innen sehen in dieser Vorgehensweise ein eigenständiges drittes Paradigma neben den rein quantitativen und den rein qualitativen Verfahren (Hussein 2009, S. 2). Für diese Art von Forschung existieren inzwischen verschiedene methodische Ausdifferenzierungen und demzufolge auch verschiedene nicht trennscharfe Bezeichnungen, wie etwa „multi method research“ (Brewer und Hunter 2006), „mixed methods“ oder „mixed methods research“ (Creswell und Plano Clark 2018; Halcomb und Hickman 2015; Schreier und Odağ 2017), „mixed methodology“ (Tashakkori und Creswell 2008), „multi strategy“ (Baran 2010), „multi method social science“ (Seawright 2016), „multi-sited ethnography“ (Marcus 1995), „methodological pluralism“ (Burzan 2016; Norgaard 1989), oder eben „Triangulation“ (Denzin 2007, 2017; Denzin und Lincoln 2018) als das erste und wohl ganzheitlichste bzw. integrativste Konzept. Unter Triangulation wird in

den Sozialwissenschaften allgemein eine multiperspektivische Forschungsstrategie verstanden, die darauf abzielt, ein möglichst vielschichtiges Verständnis eines zu untersuchenden Phänomens zu ermöglichen, um so Stärken und Schwächen von verschiedenen Forschungsperspektiven auszugleichen. Zu diesem Zweck sollen unterschiedliche Datenquellen, theoretische Positionen, Sichtweisen von Forschenden und methodische Vorgehensweisen wie Erhebungs- und Auswertungsmethoden in unterschiedlicher Komplexität miteinander verknüpft bzw. aufeinander bezogen, d.h. „trianguliert“ werden (Burzan 2016; Denzin 2007, 2017; Flick 1999; Hussein 2009; Jick 1979). Im deutschsprachigen Diskurs zur empirischen qualitativen Sozialforschung ist der Begriff der Triangulation vor allem mit Uwe Flick verbunden, der Triangulation folgendermaßen konzeptualisiert:

„Triangulation beinhaltet die Einnahme unterschiedlicher Perspektiven auf einen untersuchten Gegenstand oder allgemeiner: bei der Beantwortung von Forschungsfragen. [...] Diese Perspektiven sollten so weit als möglich gleichberechtigt und gleichermaßen konsequent behandelt und umgesetzt werden. Durch die Triangulation ... sollte ein prinzipieller Erkenntniszuwachs möglich sein, dass also bspw. Erkenntnisse auf unterschiedlichen Ebenen gewonnen werden, die damit weiter reichen, als es mit einem Zugang möglich wäre“ (Flick 2011, S. 12).

Die Verbreitung der Triangulation in den Sozialwissenschaften geht ursprünglich auf den US-amerikanischen Soziologen Norman K. Denzin zurück, der unter Triangulation die „combination of methodologies in the study of the same phenomenon“ (Denzin 2017, S. 297) versteht. Denzin wurde dabei wiederum maßgeblich beeinflusst von Campbell und Fiske (1959) und Webb (1978), die erste Triangulationsstudien publizierten. Campbell selber verfasste zwei Veröffentlichungen zu einer empirischen Studie über Führungsverhalten in U-Boot-Besatzungen der Marine (Campbell 1953, 1956), in denen er ein erstes Konzept zur Triangulation von Forschungsmethoden entwickelte: „The concept of methodological 'triangulation,' in which the relationships among several criteria are explored, is developed“ (Campbell 1956, o.S.). Bereits in früheren Schriften setzte er sich mit den Schwierigkeiten auseinander, die für ihn in Einzelmethoden bzw. Einzeldatensätzen liegen.<sup>2</sup> Campbell und Fiske entwickelten deshalb ein erstes Konzept zur Methodentriangulation in rein quantitativer Forschung, die insbesondere der Erhöhung der Validität im Kontext der quantitativen psychologischen Forschung in den USA dienen sollte (Campbell und Fiske 1959). Webb wiederum interessierte sich für die Bedingungen zur Herstellung von „Zurückhaltung“ bzw. „Nonreaktivität“ im sozialwissenschaftlichen Forschungsprozess durch Minimierung von die soziale Wirklichkeit beeinflussenden und somit verzerrenden Beobachter-, Interviewer- und Ortseffekten auf den Forschungsgegenstand (Webb et al. 1966). Er zählt fünfzehn „Sources of Research Invalidity“ (Webb 1978, S. 323) auf und kommt zu der Erkenntnis,

---

<sup>2</sup> siehe: <http://jsaw.lib.lehigh.edu/campbell/cv.pdf>

dass die „überzeugendsten Beweise und stärksten Schlussfolgerungen sich aus einer Triangulation der eingesetzten Maßnahmen“ ergeben würden (Webb 1978, S. 322) [eigene Übersetzung]. Denzin wiederum überträgt diese Erkenntnisse auf die qualitative Sozialforschung und legt hierzu 1970 unter dem Titel „The Research Act“ (Denzin 2017) eine erste umfassende empirisch-methodische Programmatik vor, um durch den gezielten Einsatz von Triangulation den von ihm identifizierten Güteproblemen qualitativ sozialwissenschaftlicher Forschung möglichst wirksam begegnen zu können:

„Too frequently, sociologists develop measurement strategies that fail to yield empirical observations of high theoretical relevance, and many researchers have placed more emphasis on justifying than on discovering theoretically relevant observations. I advocate a synthesis of these two processes, and to this end measurement strategies will be evaluated by the traditional standards of reliability and validity; in addition, the principles of triangulation and theoretical relevance will be applied, for unless a research instrument permits triangulated observations of theoretical relevance, validity and reliability are of limited interest“ (Denzin 2017, S. 98–99).

Die unterschiedlichen Perspektiven, die durch die Kombination mehrerer Beobachter, Theorien, Methoden und Datenquellen erzeugt werden sollen, zielen nach Denzin darauf ab, die sich aus Einzelmethoden-, Einzelbeobachter- und Einzeltheorie-Studien ergebenden Einseitigkeiten, wie subjektive Vorlieben, Widersprüche und Verzerrungen in der Darstellung, zu überwinden:

„Triangulation, or the use of multiple methods, is a plan of action that will raise sociologists above the personalistic biases that stem from single methodologies. By combining methods and investigators in the same study, observers can partially overcome the deficiencies that flow from one investigator and/ or one method“ (Denzin 2017, S. 300).

Unterschieden werden im Anschluss an Denzin (2017) zumeist vier grundlegende Formen der Triangulation im Forschungsprozess:

1. Bei der **Datentriangulation** werden unterschiedliche Datenquellen in die empirische Erforschung des zu untersuchenden Phänomens einbezogen. Bei jeweils gleichbleibender Erhebungsmethode kann sich das auf die Variation von Zeit, Ort, Personen (oder Gruppen von Personen) und/oder möglichen weiteren in die Untersuchung einbezogenen Datenquellen beziehen (a.a.O., S. 301-302).
2. Bei der **Beobachter\*innen- oder Forschendentriangulation** wird der Forschungsgegenstand von mehr als einer Person beforscht und interpretiert. Durch die Triangulation der möglicherweise voneinander abweichenden Ergebnisse und Interpretationen soll der subjektive Einfluss der Forschenden auf den Forschungsprozess ermittelt, reflektiert und objektiviert werden (a.a.O., S. 303). Dieses Vorgehen mündet idealerweise in einer konsensuellen Validierung der Ergebnisse (Wilkesmann 2019, S. 42).

3. Bei der **Theorietriangulation** erfolgen die Erforschung des Phänomens und die Interpretation der erzielten Ergebnisse unter Einbeziehung unterschiedlicher theoretischer Positionierungen. Dieses Vorgehen zielt insbesondere darauf ab, die Fixierung auf singuläre theoretische Vorannahmen aufzubrechen (Denzin 2017, S. 304).
4. Bei der **Methodentriangulation** schließlich wird derselbe Forschungsgegenstand mit unterschiedlichen Forschungsmethoden untersucht. Innerhalb der Methodentriangulation gibt es nach Denzin noch eine weitere Differenzierung:
  - a. Die **methodeninterne Triangulation** („within-method-triangulation“) erfolgt durch die Kombination, bspw. verschiedener quantitativer Fragebögen oder die Verwendung unterschiedlicher Kommunikationsformen (Erzähl- und Fragenteil) im problemzentrierten Interview, also jeweils innerhalb einer Methode (a.a.O., S. 307).
  - b. Die **methodenexterne Triangulation** („between or across-method-triangulation“), besteht aus der Verknüpfung verschiedener Methoden, z.B. die Kombination von Interview und Beobachtung. Dabei kann die Anwendung der verschiedenen Methoden nacheinander (z. B. erst eine teilnehmende Beobachtung mit anschließendem Interview) oder parallel (z. B. bei ethnografischer Forschung) erfolgen (a.a.O., S. 308).
  - c. **Mixed Methods** als Spezialfall der methodenexternen Triangulation bezieht sich auf die Kombination von quantitativen und qualitativen Methoden. Hierzu wurden im Laufe der Jahre verschieden komplexe Forschungsdesigns entwickelt (Creswell und Plano Clark 2018, S. 101–141).
5. Die **Analysetriangulation** als Erweiterung bzw. Ausdifferenzierung der grundlegenden Definition nach Denzin umfasst entweder die Verwendung von mehr als zwei Methoden zur Analyse desselben Datensatzes zu Validierungszwecken, oder die Verwendung von mehr als zwei Methoden der Datenanalyse in qualitativen und quantitativen Paradigmen innerhalb derselben Studie zu Validierungs- und Vollständigkeitszwecken (Kimchi et al. 1991).

Laut Denzin lassen sich diese grundlegenden Formen der Triangulation noch miteinander zu einer multiplen Triangulation kombinieren:

„Multiple strategies of triangulation are proposed as the preferred line of action. By combining multiple observers, theories, methods, and data sources, sociologists can hope to overcome the intrinsic bias that comes from single-method, single-observer, singletheory studies“ (Denzin 2017, S. 313).

Multiple Triangulation liegt somit vor, wenn mehrere Perspektiven (Methoden, Forschende, Theorien, Auswertungsverfahren, Daten) in einer Untersuchung kombiniert werden. Dadurch würden alle Vorteile, die sich aus der Triangulation einzelner Formen

ergäben, zu einer Forschungsperspektive zusammengefasst, die jeden Einzelmethodenansatz übertreffen könne.

Aufgrund der disziplinenübergreifenden Anlage unserer handlungs- und praxisforscherischen Research Designs und der dadurch nahezu zwangsläufig erzeugten Vielperspektivität stellte die multiple Triangulation das Regelverfahren dar. Auf die Reflexion der Forschendentriangulation werde ich hier allerdings nicht eingehen können, da eine Ethnographie der kooperativ und kollaborativ durchgeführten Handlungs- und Praxisforschungen nicht intendiert war und hierzu keine Daten erhoben wurden. Unterschiedliche Theorien, Konzepte und Modelle wurden auf der Ebene der Einzelstudien verhandelt. Sie werden deshalb vor allem in den Einzelstudien im Anhang des Kumulus diskutiert. Ich konzentrierte mich folglich auf eine Darstellung der triangulierten Erhebungs-, Auswertungs-, und Gestaltungsverfahren, die die Grundlage der kumulierten Studien darstellen.

## 3.2 Triangulierte Erhebungs-, Auswertungs- und Gestaltungsverfahren

Die von uns triangulierten Erhebungs-, Auswertungs- und Gestaltungsmethoden, die Literatur- und Dokumentenanalyse (3.2.1), die teilnehmende Beobachtung (3.2.2), die Expert\*inneninterviews (3.2.3), die Inhaltsanalyse (3.2.4) und das Constructive Alignment (3.2.5), werden in den folgenden Abschnitten ausführlicher vorgestellt.

### 3.2.1 Literatur- und Dokumentenanalyse

Alle in der kumulativen Dissertation durchgeführten Forschungen basierten beinhalten Literatur- und Dokumentenanalysen, weshalb dieses methodische Vorgehen hier genauer erläutert wird. Die wissenschaftliche Literaturanalyse und die Dokumentenanalyse zählen zu den non-reaktiven methodischen Verfahren. Sie sind von ihrem Vorgehen her durchaus vergleichbar. Allerdings unterscheiden sich die zu untersuchenden Materialien in einigen Punkten:

- Die wissenschaftliche **Literaturanalyse** bezieht sich in erster Linie auf die Untersuchung der wissenschaftlichen Literatur zu einem Forschungsthema. Sie mündet in eine schriftliche Zusammenfassung von Artikeln in wissenschaftlichen Zeitschriften, wissenschaftlichen Büchern und anderen Dokumenten, die den vergangenen und aktuellen Forschungsstand zu einem Forschungsthema beschreiben. Sie gliedert die Literatur in Unterthemen und kann sich einerseits nur auf die Veröffentlichungen von Forschungsergebnissen in hochrangigen wissenschaftlichen Zeitschriften beziehen, kann andererseits aber auch Konferenzbeiträge, Bücher und Regierungsdokumente enthalten. Mit ihr lässt

sich z.B. die Notwendigkeit einer vorgeschlagenen Studie dokumentieren (Creswell 2014a, S. 96).

- Eine **Dokumentenanalyse** dagegen untersucht Dokumente, das heißt, sie untersucht z.B. aktuelle und historische Akten und Berichte bzw. allgemeiner gesprochen jegliche Art von medienmaterialen Artefakten, die in irgendeiner Form Belege oder Beweise für gesellschaftliches, kulturelles, politisches, ökonomisches, wissenschaftliches Zeitgeschehen darstellen. Nach Savin-Baden und Major (2013) bezeichnet der sprachliche Ausdruck „Dokument“ jede Art von Informationsträger, seien es nun analog- oder digitalmedienmateriale Aufzeichnungen von Schriftstücken, Photographien, Ton- und Videoaufnahmen oder andere Formen medienmaterialer Speicherung. Die eigentliche Funktion eines Dokuments besteht darin, eine Nachricht oder Information an Einzelpersonen oder Gruppen zu übermitteln. In der Regel handelt es sich bei Dokumenten um schriftliche Informationen, die in bestimmten Kontexten von bestimmten Personen zu bestimmten Zwecken und mit bestimmten beabsichtigten und unbeabsichtigten Folgen erstellt werden. Dabei kann es sich um Primär- und Sekundärquellen handeln, letztere etwa, wenn die Erstellung zeitlich, räumlich, personell oder durch einen anderen Faktor von dem ursprünglichen Kontext getrennt ist. Dokumente können frei oder leicht zugänglich sein, oder der Zugang ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft (Savin-Baden und Major 2013, S. 404–405).

Nach Mayring (2016) können Literatur- und Dokumentenanalysen als Techniken zur Erhebung von Daten angesehen werden, die bereits als Literatur oder in Dokumentenform vorliegen. Sie dienen somit der Erschließung von Material, welches nicht erst vom Forschenden durch Datenerhebung wie z.B. durch Befragung oder Beobachtung und Protokollierung geschaffen werden muss (Mayring 2016, S. 47). In diesem „nicht-reaktiven Charakter“ sieht Schmidt (2016) einerseits den Vorteil eines solchen methodischen Vorgehens, etwa, wenn Beobachtungen und Befragungen aus unterschiedlichen Gründen nicht (mehr) möglich sind und nur Dokumente verfügbar sind. Andererseits besteht hierin auch der Nachteil, da „es keine durch die Interaktion der Erhebung selbst hervorgebrachten Daten“ gibt, sondern der Forschende sich mit den „vorbestimmten Ausschnitten“ begnügen muss (a.a.O., S.23).

In Anlehnung an Creswell (2014a, S. 96) und Mayring (2016, S. 48–49) lässt sich das Vorgehen der Literatur- und/oder Dokumentenanalyse in folgende Stufen unterteilen:

- **Entwicklung der Fragestellung**, unter der das Material analysiert werden soll: In einem ersten Schritt muss zunächst die Frage- oder Zielstellung der Materialanalyse klar formuliert werden.

- **Materialbestimmung und Materialeingrenzung:** danach muss festgelegt werden, welche Arten von Literatur bzw. Dokumenten untersucht werden sollen, welches Material einbezogen und wo es vorgefunden und eingesehen werden kann.
- **Materialsichtung und Relevanzprüfung:** das gesammelte Material wird gesichtet und mittels Relevanzprüfung auf den Wert für die Beantwortung der Fragestellung hin eingeschätzt und ausgewählt.
- **Auswertungen** des ausgewählten Materials erfolgen mit qualitativen und/oder quantitativen Methoden im Sinne der Fragestellungen.
- **Darstellungsform der Ergebnisse:** die Art der Aufbereitung wird gewählt z.B. in Form eines den Stand der Forschung zusammenfassenden Literaturberichts, der in einen Forschungsbericht oder in eine zu veröffentlichende Forschungsagenda aufgenommen werden kann.

Je nach Fragestellung kann Forschungsliteratur auch die Eigenschaft eines Dokuments bekommen – und auch umgekehrt, z.B. wenn es sich um Forschungsliteratur handelt, die nicht im einschlägigen Forschungskontext, sondern von politischen oder ökonomischen Institutionen veröffentlicht wird, etwa um politische Entscheidungen zu begleiten und deswegen anders publiziert wird.

Nach Creswell (2014a, S. 96–97) hat die Literaturanalyse unterschiedliche Funktionen in quantitativen und qualitativen Studien: in beiden Formen wird zwar aus der Darstellung des Forschungsstands die Forschungsfrage abgeleitet und im weiteren Verlauf die Ergebnisdiskussion eingebettet, dies geschehe in quantitativen Studien aber strikter und in größerem Umfang als in qualitativen Studien. Leider gibt Creswell keine Empfehlungen, wie mit Literatur in „Mixed-Methods Designs“ (a.a.O., S. 563-590) umgegangen werden sollte.

In unseren Forschungsdesigns nutzten wir die jeweiligen Literatur- und Dokumentenanalysen einerseits zur Ermittlung der verschiedenen Forschungsstände und zur Ableitung und Untermauerung unserer Forschungsfragen, andererseits dienten die Literaturanalysen aber auch zur Identifikation, Selektion oder Generierung von Kategoriensystemen, mit denen wir wiederum andere Dokumente inhaltsanalytisch auswerteten. Von großem Interesse für uns waren neben der einschlägigen primären und sekundären Forschungsliteratur dabei drei Typen von Dokumenten: zum einen die frei bzw. leicht zugänglichen oder erwerbbaaren „öffentlichen Dokumente“ wie z.B. thematische Veröffentlichungen von Ministerien und Wirtschaftsverbänden; zum zweiten die nicht so ohne weiteres zugänglichen „praktischen Dokumente“ wie Studiengangs- und Modulbeschreibungen, Lehrpläne und Laborskripten; und drittens schließlich „persönliche Dokumente“ wie z.B. Feldnotizen, ausgefüllte Beobachtungsbögen und Flipchart- oder Whiteboard-Notizen (Savin-Baden und Major 2013, S. 405).

Während öffentliche und praktische Dokumente nur recherchiert werden mussten und im Anschluss ausgewertet werden konnten, wurden die persönlichen Dokumente in Form von Protokollen von uns während oder nach den Beobachtungen angefertigt und überarbeitet. Was bei den Beobachtungen übersehen, vergessen, nicht mehr erinnert oder nicht notiert wurde, konnte auch nicht ausgewertet werden, so dass insbesondere die Erhebung mittels Protokollierung Tilgungen und Verzerrungen in den Daten nach sich ziehen konnte. In unterschiedlichen Absätzen im Kumulus werden die methodischen Probleme in unseren teilnehmenden Beobachtungen noch ausführlicher diskutiert.

### **3.2.2 Teilnehmende Beobachtung**

In vier Studien des Kumulus war die teilnehmende Beobachtung der Laborlehre ein der Erhebungsmethoden, weshalb sie im nun folgenden Abschnitt genauer vorgestellt wird. Beobachtung ist eine der grundlegenden sozialwissenschaftlichen Methoden, die soziales Handeln als Gegenstand hat, wie auch immer dieses definiert wird (Lamnek und Krell 2016, S. 515).

Nach Mulhall ist die Beobachtung eine Methode zur systematischen Beschreibung von Ereignissen, Verhaltensweisen und Artefakten in dem für die Untersuchung gewählten sozialen Umfeld, in dem Menschen agieren. Die Beobachtung ist dabei eine fortlaufende dynamische Tätigkeit, die eher als die Befragung Aufschlüsse über die Veränderung und Weiterentwicklung der im sozialen Umfeld stattfindenden Prozesse gibt (Mulhall 2003, S. 308).

Nach Savin-Baden und Major dient die Beobachtung dem Zweck, zu verstehen, wie oder warum etwas in einer natürlichen Umgebung geschieht. Sie ermöglicht es dem Forscher, die Alltagspraktiken der Teilnehmer\*innen zu dokumentieren, um in der Folge ihre Erfahrungen besser verstehen zu können. Es geht bei der Beobachtung jedoch um mehr als nur darum, nach visuellen Hinweisen zu suchen und sich Notizen dazu zu machen. Tatsächlich ist die Beobachtung in der Regel komplexer, als es auf den ersten Blick scheint, da sie Gefühle und Emotionen von Forschenden in Bezug auf sich selbst (1), die Beobachteten (2), das Beobachtete (3), den Beobachtungsort (4) und die Entscheidungen, die von Forschenden während der Beobachtung getroffen werden (5), einbezieht (Savin-Baden und Major 2013, S. 392).

Die Vorteile der Beobachtung bestehen nach Creswell darin, Informationen über tatsächliches Verhalten an den Orten des jeweiligen Geschehens direkt wahrzunehmen, aufzuzeichnen oder synchron in actu bzw. nachträglich asynchron aus der Erinnerung zu protokollieren. Zu den Nachteilen gehört, dass die beteiligten Akteure nur an den Orten des Geschehens beobachtet werden können. Der Beobachtende muss also Zugang zu den Orten des Geschehens haben oder erhalten. Darüber hinaus muss der Beobachtende einen gewissen Rapport zu den Beobachteten aufbauen können, damit diese sich vom

Beobachtenden an den Orten des Geschehens beobachten lassen. Dabei kann die Beobachtung in unterschiedlichen Beobachterrollen ausgeführt werden, die durch eine unterschiedlich stark bzw. schwach ausgeprägte Beteiligung des Beobachtenden am Geschehen innerhalb der sozialen oder soziotechnischen Situation konstituiert wird (Creswell 2014a, S. 235–237).

Nach Flick kann die Beobachtung durch einen Beobachter in natürlichen Umgebungen oder in künstlich geschaffenen Laborsituation erfolgen. Sie kann verdeckt oder offen durchgeführt werden; dabei kann mehr oder weniger strukturiert und mehr oder weniger teilnehmend bzw. beobachtend vorgegangen werden (Flick 2019, S. 282).

In Anlehnung an Lamnek und Krell (2016, S. 540) nimmt der teilnehmende Beobachter eine soziale bzw. eine soziotechnische Rolle im sozialen bzw. soziotechnischen Untersuchungsfeld ein, d.h., er ist direkt anwesend unter ebenfalls direkt Anwesenden und alle direkt Anwesenden sind sich wechselseitig der direkten Anwesenheit der je anderen bewusst, zu denen auch der teilnehmende Beobachter gehört. Darüber hinaus kann die physische Anwesenheit am Ort des Geschehens mittels digitaler, audiovisueller Medien technisch erweitert, überlagert, ersetzt werden, d.h., die Anwesenheit findet in Kopräsenz und/oder in Telepräsenz von verteilten Orten aus statt. Face-to-Interface-Interaktionen ergänzen, überlagern oder ersetzen Face-to-Face-Interaktionen in zunehmend „ortlosen Räumen“ (Terkowsky 2006).

In Anlehnung an die Interaktionsordnung von Goffman (1994) konstituieren alle ko- oder telepräsent Anwesenden gemeinsam einen sozialen bzw. soziotechnischen Anlass, der sich durch weitere darin stattfindende Zusammenkünfte und darin stattfindende nicht-zentrierte und zentrierte Interaktionen zusammensetzt. (Fern-)Anwesenheit verlangt von den (Fern-)Anwesenden jeweils ein gewisses Engagement, also ein gewisses Maß an Aufmerksamkeit und an Interesse während der Teilnahme, sei es nun offen für andere erkennbar, nicht erkennbar, vorgetäuscht oder geheim. Dieses Engagement kann nun unterschiedlich intensiv sein, sich zwischen „Flow“ und maximal möglicher Distanz bewegen und es kann als Hauptengagement von weiteren offenen oder verdeckten Nebenengagements begleitet sein. Nach Goffman dürfe das Engagement ein bestimmtes Maß an Intensität weder unter- noch überschreiten, sofern ein Teilnehmender die Aufrechterhaltung des sozialen bzw. soziotechnischen Anlasses nicht gefährden möchte (Goffman 1977, S. 376–378). Daraus lässt sich nun folgern, dass die teilnehmende Beobachtung durch mindestens zwei Engagements konstituiert wird: erstens durch die Teilnahme an und zweitens durch die Beobachtung von soziotechnischen Anlässen und Zusammenkünften. Beide Engagements können zu unterschiedlichen Zwecken und in unterschiedlicher Ausprägung miteinander kombiniert werden.

So gewendet lassen sich die von Gold (1958) u.a. entwickelten vier Idealtypen der teilnehmenden Beobachtung, bestehend aus der vollständigen Teilnahme im Feld (1), der

teilnehmenden Beobachtung (2), der beobachtenden Teilnahme (3), sowie der vollständigen Beobachtung ohne Interaktion mit dem Feld (4), hinsichtlich der Ausprägungen und der Kombination der Hauptengagements Teilnahme und Beobachtung charakterisieren.

Diese vier idealtypischen Beobachtungsrollen nach Gold (1958) und Lamnek und Krell (2016, S. 540–542) stellen sich folgendermaßen dar:

- Die **vollständige Teilnahme** bedeutet, dass der Forschende vollständig in das Feld eintaucht. Hierzu spielt oder lernt er alle dafür erforderlichen alltäglichen Rollen. Er ist akzeptiertes Mitglied der von ihm untersuchten Gemeinschaft und interagiert mit den Mitgliedern so natürlich wie möglich in den Bereichen ihres Lebens, die ihn interessieren und die ihm zugänglich sind. Den Mitgliedern der Gemeinschaft ist nur das aus der Teilnahme resultierende Engagement des Beobachters ersichtlich, das aus der Beobachtung resultierende hingegen nicht. Der Beobachter wiederum ist sich seines verdeckten Engagements der Beobachtung bewusst, hält es allerdings vor der Gemeinschaft geheim. Obwohl der vollständig Teilnehmende aktiv am Geschehen teilnimmt, versucht er sein Engagement so zu kontrollieren, dass er das Forschungsfeld durch seine Teilnahme nicht beeinflusst und verändert.
- Die **teilnehmende Beobachtung** zeichnet sich ebenfalls durch das Engagement der aktiven Teilnahme an den Aktivitäten im Feld aus. Aber im Gegensatz zur vollständigen Teilnahme ist den Mitgliedern der Gemeinschaft das Engagement der Beobachtung bekannt. Der Beobachtende benötigt für seine Forschung einen entsprechenden Zugang, der ihm sowohl die Teilnahme an der Gemeinschaft als auch deren Beobachtung ermöglicht. Durch das offen mitgeteilte Engagement der Beobachtung hängt dieser Rolle stärker von der Akzeptanz durch die anderen Mitglieder der Gemeinschaft ab, die mitunter erst in einem längeren Prozess erworben werden kann.
- Die **beobachtende Teilnahme** verlagert das Engagement auf die Beobachtung, wobei der beobachteten Gemeinschaft das Engagement der Beobachtung bekannt ist. Das Engagement der Teilnahme wird so passiv wie möglich ausgeführt. Das bedeutet, dass der Forschende das Geschehen vor Ort in erster Linie oder ausschließlich als Zuschauer\*in beobachtet, es vermeidet mit den anderen zu interagieren und deshalb nur minimal am Geschehen beteiligt ist. Von einer außenstehenden Warte beobachtet und protokolliert er auf möglichst unauffällige und unaufdringliche Weise, um eine mögliche Beeinflussung des beobachteten Geschehens durch seine wahrnehmbare Anwesenheit zu minimieren. Diese Form der Beobachtung kann relativ schnell durchgeführt werden, insbesondere im Vergleich zu aktiveren Formen der Beteiligung.

- **Vollständige Beobachtung** bedeutet, dass der Forschende allenfalls peripher teilnimmt und sich dazu auf maximale Distanz zum beobachteten Geschehen begibt. Der Forscher konzentriert sein Engagement nahezu ausschließlich auf das der Beobachtung (z.B. in einem Usability Lab), in dem er sich in der Peripherie aufhält und z.B. mit Hilfe von Ferngläsern, Webkameras oder Zwei-Wege-Spiegeln beobachtet. Er interagiert darüber hinaus nicht mit dem Feld. Der Beobachtete wiederum nimmt den Beobachtenden entweder gar nicht oder nur sehr indirekt wahr, etwa dadurch, dass er darüber informiert wird, dass er beobachtet wird, ohne aber den Beobachtenden wahrnehmen zu können. Diese Rolle soll dem Forscher einen distanzierten Blick auf das Geschehen und die Teilnehmenden bewahren, um so unvoreingenommen wie möglich zu bleiben.

Was diesem Modell allerdings fehlt, ist das Einbeziehen eines dritten Engagements in Form der Selbstbeobachtung z.B. der Selbstbeobachtung und Selbstkontrolle von je eigenen Affekten (vgl. hierzu auch nochmal Savin-Baden und Major (2013, S. 392)), die als verdeckte oder offene Reaktionen auf das Beobachtete entstehen können, wie es etwa Lamnek und Krell aufzeigen:

„Teilnehmende Beobachtung als Forschungsmethode ist also deshalb so interessant und zugleich problematisch, weil der subjektive Betrachter selbst das Wahrnehmungsinstrument ist und weil man deshalb die Frage nach unverzerrter Wahrnehmung der Wirklichkeit nicht an die Instrumente, sondern an den Forscher stellen kann“ (Lamnek und Krell 2016, S. 602).

Für die Beobachtung in Bildungseinrichtungen und -kontexten schlägt Creswell die teilnehmende Beobachtung und die beobachtende Teilnahme vor (2014a, S. 236). Darüber hinaus ist es nach Creswell auch möglich, im Prozess des Beobachtens mit einer der beiden Rollen zu beginnen und zwischen diesen beiden Rollen zu wechseln. Durch die wechselseitige Einnahme beider Rollen kann der Beobachtende sowohl subjektiv an der Situation beteiligt sein, als auch die Situation objektiver betrachten (2014a, S. 237).

- **Ausgewogene Teilnahme** nennen Savin-Baden und Major diese Praxis des fluiden Wechsels zwischen den Engagements der teilnehmenden Beobachtung und der beobachtenden Teilnahme. Der Forschende bemüht sich hier um ein Gleichgewicht zwischen der Rolle des aktiven Insiders und des passiven Außenstehenden zur Wahrung der professionellen Distanz, die eine angemessene Beobachtung und Aufzeichnung von Daten ermöglicht (Savin-Baden und Major 2013, S. 396).

Und um hier noch das vor allem in der Ethnographie beobachtete „Dilemma von Identifikation und Distanz“ (Lamnek und Krell 2016, S. 600–607) zu bemühen: ein handlungs- bzw. praxisforscherischer Ansatz kann vermutlich dann besonders gut gelingen, wenn beide Seiten die beschriebene ausgewogene Teilnahme beherrschen. Das bedeutet, dass sie sich einerseits wechselseitig mit dem Feld des anderen identifizieren,

daran teilnehmen, vollständig einsteigen und zumindest temporär die fachlichen Herkunftsbezüge über Bord werfen können; aber es bedeutet andererseits auch, dass sie wieder in ihre fachlichen Bezüge zurückkehren müssen, um die in der Identifikation gewonnenen Erfahrungen aus der fachlichen Perspektive reflektieren zu können. Wer von dem Feld in seinem Denken, Fühlen und Handeln dauerhaft assimiliert wird, kann diese Rückkehr aus der Identifikation nicht mehr vollziehen. Er identifiziert sich dauerhaft mit der zu untersuchenden Kultur und verliert dabei die Außenperspektive („Going Native“).

Wir agierten zumindest in unseren offen kommunizierten Engagements ausschließlich in den Modi der beobachtenden Teilnahme bzw. der ausgewogenen Teilnahme. Inwieweit zumindest zeitweise auch verdeckte Engagements bei der Teilnahme von Kolleg\*innen bei den gemeinsamen Forschungsaktivitäten stattgefunden haben mögen, lässt sich ohne diesbezügliche Befragungen wohl nicht klären. Für eine umfassende Diskussion der teilnehmenden Beobachtung, siehe Lamnek und Krell 2016, S. 515–607 sowie Savin-Baden und Major 2013, S. 391–402.

### **3.2.3 Expert\*inneninterviews**

Als Anreicherung des aus den teilnehmenden Beobachtungen gewonnenen Materials führten wir in einigen Teilstudien auch Expert\*inneninterviews mit Forschenden, Lehrenden und Studierenden durch. Wir sehen damit auch Studierende als Expert\*innen an, als Expert\*innen für ihre eigene Alltags- oder Lebenswelt als Studierende. Allerdings stellt sich hier die zunächst die Frage, was einen Experten ausmacht und in der Folge, warum man ihn in einem Expert\*inneninterview befragen sollte.

Nach Bogner et al. (2009) bestimmt sich das Expert\*inneninterview „über den Gegenstand seines Interesses: den Experten“ (S. 9). Gläser und Laudel unterscheiden zwei Expert\*innenrollen: die Rolle des „Befragten als Experten“ und die Rolle des „Experten als Befragter“. Beide Rollen sind nicht disjunkt, sondern können sich überlagern (Gläser und Laudel 2009b, S. 118).

In der Rolle des "Befragten als Experten" befinden sich demnach Personen, die über spezielles Wissen über eine soziale Situation, einen sozialen Prozess oder allgemeiner über ein soziales Phänomen verfügen, das Gegenstand der Untersuchung ist und an denen der Interviewende deshalb interessiert ist. So verstanden sind Expert\*inneninterviews eine eigenständige Methode, die bei Untersuchungen eines bestimmten Typs eingesetzt wird, nämlich bei Untersuchungen, die soziale Situationen, Prozesse oder Phänomene rekonstruieren und die die Befragten dazu als Informationsquelle nutzen. Diese Konzeptualisierung des Expert\*inneninterviews basiert auf dem Expert\*innenwissen des Befragten im Interview (Gläser und Laudel 2009b, S. 117). So verfügen Studierende zwar über keine anerkannten Expert\*innenrollen innerhalb der fachwissenschaftlichen Lehre oder der fachbezogenen und fachübergreifenden Hochschuldidaktik, sie haben aber in

ihrer Rolle als Studierende Zugang zu sozialen Situationen, Prozessen und Phänomenen, die sowohl fachwissenschaftlich als auch didaktisch eingebettet sind. Sie verfügen deshalb über ihr eigenes spezielles Wissen, wie Lehrende mit Studierenden in den Situationen und Prozessen der fachwissenschaftlichen Lehre umgehen und wie Lehrlernsituationen aus der Perspektive der Studierenden erfahren und erlebt werden. Sie können deshalb durchaus für diese Perspektive und diese Aspekte als Expert\*innen in der Rolle von Informanten oder Zeugen befragt werden. Allgemeiner formuliert: jeder Mensch ist Experte für die Situationen, Prozesse und Phänomene seines Lebens und kann dazu befragt werden, sofern er/sie/es einverstanden damit ist.

In der Rolle des "Experten als Befragter" befinden sich Personen, die sich durch ihr spezifisches Wissen und ihre Fähigkeiten von anderen Akteuren des untersuchten sozialen Umfelds abheben. Dieses Wissen wird in der Regel durch bestimmte Lern- und Ausbildungsprozesse (z. B. Berufsausbildung) erzeugt. Die Rolle des Experten in einem sozialen Umfeld ist jedoch nicht auf die Beruflichkeit beschränkt (Gläser und Laudel 2009b, S. 17–18). Das Besondere an dieser zweiten Form des Expertenwissens...

„...besteht nicht nur in dessen besonderer Reflexivität, Kohärenz oder Gewissheit, sondern auch insbesondere darin, dass dieses Wissen in besonderer Weise praxiswirksam und damit orientierungs- und handlungsleitend für andere Akteure wird. Dieser Machtaspekt erstreckt sich im Übrigen nicht nur auf den „eigenen Betrieb“ des Experten, also auf seinen engeren Berufskontext (etwa eine Forschungsabteilung, ein Beratungsgremium usw.). Die Macht des Experten kann sich auch als Einflussmöglichkeit in anderen, dem Berufskontext des Experten fremden Bereichen realisieren (z. B. in Form der Beeinflussung der Politik durch Expertise). [...] Genau diese Praxisrelevanz macht die Experten für viele empirische Forschungsprojekte und Forschungsfragen interessant“ (Bogner et al. 2014, S. 13–14).

Für Bogner et al. besteht das Interesse an dieser zweiten Form des Expert\*innenwissens nicht nur darin, dass die Expert\*innen als Befragte über ein bestimmtes Wissen verfügen. Vielmehr ist dieses Wissen insofern von Interesse, als es eine besondere Wirkung auf die Praxis entfalten kann, denn Expert\*innen können durch ihre Handlungsorientierungen, ihr Wissen und ihre Einschätzungen die Handlungsbedingungen anderer Akteure in entscheidender Weise mitgestalten. Expert\*innenwissen erlangt also seine Bedeutung durch seine soziale Wirkmächtigkeit: „Unseres Erachtens motiviert überhaupt erst die implizite oder explizite Annahme, dass Expert\*innen qua ihres in einem Professionskontext relevanten Spezialwissens über Macht verfügen, zur Durchführung von Experteninterviews“ (Bogner et al. 2014, S. 13).

Bogner et al. unterscheiden drei Formen des Expert\*innenwissens: technisches Wissen (1), Prozesswissen (2) und Deutungswissen (3) und definieren diese wie folgt:

- **Technisches Expert\*innenwissen** umfasst Daten, Informationen, Tatsachen über Vorgänge und Ereignisse, die beispielsweise durch fachspezifische Regeln

und Anwendungsroutinen geregelt sind und zu denen die Expert\*innen über privilegierte Zugänge verfügen können, über die die Forscher nicht verfügen.

- **Prozesswissen** bezieht sich auf Handlungsabläufe, Interaktionsroutinen, organisationale Konstellationen, und vergangene oder aktuelle Ereignisse, in die die Befragten involviert waren oder sind. Prozesswissen ist in erster Linie eine Form des Erfahrungswissens. Erfahrungen können nur von Personen gemacht werden. Daher kann dieses Wissen auch nur über die Personen erlangt werden (dies entspricht also mehr dem Wissen des Befragten als Expert\*in).
- **Interpretations- oder Deutungswissen** schließlich umfasst die subjektiven Orientierungen, Sichtweisen, Regeln, und Erklärungsmuster des Experten, die ein heterogenes Bild des Expertenwissens zeichnen, welches weniger aus dem Wissensvorsprung der Expert\*innen hervorgeht, sondern eher aus deren subjektiven Perspektiven (Bogner et al. 2014, S. 17–19).

Was nun die Erhebung dieser drei Arten des Expert\*innenwissens angeht, so eigne sich das Expert\*inneninterview laut Bogner et al. nicht so gut für die Erhebung von technischem Wissen, denn der Befragte könnte doch nicht so gut informiert sein, wichtige Sachverhalte im Interview vergessen usw. Sofern verfügbar, sollten hier deshalb besser Dokumentenanalysen von technischen Informationen durchgeführt werden, sofern diese verfügbar seien (siehe Kapitel 3.2.1). Das Expert\*inneninterview eigne sich aber auch nicht so gut für die Erhebung des Prozesswissens. Prozesse sollten deshalb besser selber teilnehmend beobachtet werden, sofern man Feldzugang erhalten könne (siehe Kapitel 3.2.2). Vielmehr liege die eigentliche Stärke von Expert\*inneninterviews im Bereich des Deutungswissens. Expert\*innenwissen kann jedoch nur dann als interpretatives Wissen identifiziert werden, wenn die Daten erhoben und die Datenanalysen durchgeführt würden (a.a.O.). Daraus lässt sich schließen, dass – im Gegensatz zum technischen Wissen und zum Prozesswissen, wofür andere Datenquellen geeigneter erscheinen – sich das Deutungswissen der Expert\*innen insbesondere in Interviews erheben lässt, also eigentliches Ziel der Interviews sein sollte.

Darüber hinaus hängt nach Gläser und Laudel der Erfolg von Expert\*inneninterviews wesentlich von der Qualität der Befragten ab, d. h. davon, inwieweit sie die Erwartungen der Interviewenden und der Interviewsituation erfüllen. Interviewende erwarten von Befragten, dass sie verstehen, welche Informationen sie benötigen, dass sie diese Informationen in ausführlichen, vollständigen und detaillierten Antworten bereitstellen und dass sie ihre Kommunikation an die Gesprächsführung der Interviewenden anpassen. Außerdem hoffen Interviewende laut Gläser und Laudel darauf, auf Befragte zu treffen, die ihre eigene soziale Situation reflektieren können und die in der Lage sind, Auskunft über ihre Wahrnehmungen, ihre sozialen Beziehungen und ihre Motive zu geben (Gläser und Laudel 2009b).

Für Gläser und Laudel wiederum bindet dieses doppelte Verständnis der Expert\*innenrolle den Begriff Experten\*inneninterview zwar an eine bestimmte Art von Befragten oder Informanten (entweder der Befragte als Experte, oder der Experte als Befragter), schränkt aber die Formen oder Funktionen von Interviews mit ihnen nicht ein. Es lenkt das methodische Interesse auch auf die Besonderheiten eines Interviews, die sich aus dem Expert\*innenstatus des Befragten im untersuchten Bereich ergeben. In diesem Sinne ist das Expert\*inneninterview keine spezifische Methode der Datenerhebung, sondern umfasst alle Formen qualitativer Interviews, die mit Expert\*innen geführt werden (Gläser und Laudel 2009b, S. 118).

Bogner et al. unterscheiden nun drei Arten von Expert\*inneninterviews: das explorative (1), das systematisierende (2) und das theoriegenerierende Expert\*inneninterview (3):

- **Explorative Expert\*inneninterviews** dienen in der Regel einer ersten Orientierung im Feld und zielen auf technisches Wissen und Prozesswissen, etwa, wenn der Forschende noch wenig Wissen über das zu untersuchende Feld weiß.
- **Systematisierende Expert\*inneninterviews** dienen einer möglichst weitgehenden und umfassenden Erhebung des technischen Wissens und des Prozesswissens der Expert\*innen.
- **Theoriegenerierende Expert\*inneninterviews** zielen auf das Deutungs- und Erfahrungswissen der Befragten. Im Mittelpunkt stehen hier „Handlungsorientierungen, implizite Entscheidungsmaximen, handlungsanleitende Wahrnehmungsmuster, Weltbilder, Routinen usw.“ (Bogner et al. 2014, S. 22–25).

Nimmt man jedoch die Einschränkungen des technischen und des Prozesswissens ernst, bedeutet das, dass explorative und systematisierende Expert\*inneninterviews überhaupt nur dann zum Einsatz kommen sollten, wenn die Daten nicht anders, etwa durch Dokumentenanalyse und durch teilnehmende Beobachtung erhoben werden können. Zentral steht somit das theoriegenerierende Expert\*inneninterview mit dem Ziel, die wissenschaftlich begründete Position bzw. Meinung der Expert\*innen zu erheben zu interpretieren.

Allerdings beeinträchtigen Qualitätsunterschiede zwischen Expert\*innen auch die Qualität der Interviews. Die Qualität der Arbeit der Expert\*innen und damit der Interviews werde beeinflusst durch die Unterschiede in der Verfügbarkeit von Drittmitteln, der Arbeitsbelastung, des vertretenen Anspruchsniveaus oder etwa des Status innerhalb der eigenen Organisation. Gläser und Laudel drücken sich hierzu überaus ‚wohltemperiert‘ aus: „Wenn wir etwas über den Inhalt der Arbeit eines Befragten erfahren wollen, liefern Interviews mit ‚guten‘ Experten Informationen über diese Arbeit, die sich von denen unterscheiden, die von ‚schlechten‘ Experten geliefert werden“ (Gläser und Laudel 2009b, S. 121). Daraus lässt sich als Schluss für die Akquise

von Expert\*innen für Interviews ableiten: die Chance qualitativ hochwertige Interviews führen und daraus hochwertige Erkenntnisse generieren zu können, steigt mit der Qualität der angefragten und interviewten Expert\*innen.

Nach Laudel und Gläser muss sich aber auch der Interviewende die jeweiligen Grundlagen des Expert\*innenwissens zumindest kurzfristig und insoweit aneignen, um für die Kommunikation während des Interviews und die Aushandlung eines angemessenen Niveaus an wissenschaftlicher Tiefe zwischen dem Interviewenden und dem Befragten entsprechend gerüstet zu sein. Einerseits sollte also der Interviewende nicht naiv, sondern wissenschaftlich informiert in die Interviewsituation gehen, weil sonst die Gefahr besteht, dass der Interviewee ihm Informationen vorenthält, weil er davon ausgeht, dass er diese ohnehin nicht verstehen würde. Andererseits liegt aber die Gefahr im „wissenschaftlich informierten Interview“ darin, dass der Interviewte dem Interviewer Informationen trotzdem vorenthält, weil er davon ausgeht, dass der Interviewer aufgrund seines kompetent informierten Auftretens über dieses Wissen verfüge, es aber gar nicht tut (Laudel und Gläser 2007).

Letztlich führten wir vor allem theoriegenerierende strukturierte Expert\*inneninterviews durch, weil wir insbesondere am Deutungs- und Erfahrungswissen der Forschenden, Lehrenden und Studierenden interessiert waren. Hierzu führten wir verschiedene Formate von teilstrukturierten Interviews mit unterschiedlichen Interviewleitfäden durch.

Für die acatech-Studie wurden die Forschenden und Lehrenden aus der internationalen Higher Engineering Education Community mit einem Interviewleitfaden befragt, der auf offenen Antworten basierte. Die Interviews wurden in Kopräsenz während vorher vereinbarten Terminen auf Fachkonferenzen oder in Telepräsenz mittels eines Videoconferencing-Systems durchgeführt, akustisch aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. In einem Fall wurden die Fragen schriftlich in einer Email beantwortet. Die Ergebnisse einer Gruppendiskussion wurden ebenfalls protokolliert und in die Auswertung mit einbezogen.

Die Studierenden dagegen wurden entweder während oder nach den untersuchten Lern- und Arbeitsphasen im Labor mit einem Kurzfragebogen in der Lerngruppe interviewt oder es wurden Gruppendiskussionen durchgeführt, deren Ergebnisse von uns Lehrenden in persönlichen Dokumenten protokolliert und dann für die Analyse aufbereitet wurden. Alle so gewonnenen Daten wurden wie die Daten der teilnehmenden Beobachtungen und der Literatur- und Dokumentenanalysen mit inhaltsanalytischen Verfahren ausgewertet und aufbereitet.

### **3.2.4 Inhaltsanalyse**

Allgemein wird unter Inhaltsanalyse die wissenschaftliche Untersuchung des Inhalts von Kommunikation und der darin enthaltenen Bedeutungen, Kontexte und Absichten

verstanden (Zaidman-Zait 2014). Während der letzten 70 Jahre wurden eine Reihe von teilweise unterschiedlichen, teilweise überlappenden Definitionen der Inhaltsanalyse formuliert: nach Berelson, der 1952 mit „Content Analysis in Communication Research“ eine erste umfassende Übersicht über 17 verschiedene Anwendungsszenarien der Inhaltsanalyse aus den Jahren 1935 bis 1950 verfasste, ist die Inhaltsanalyse „eine Forschungsmethode zur objektiven, systematischen und quantitativen Beschreibung des manifesten Inhalts von Kommunikation“ (Berelson 1952, S. 18). Mayring fasst diese erste Entwicklungslinie der Inhaltsanalyse folgendermaßen zusammen:

„Inhaltsanalyse ist eine primär kommunikationswissenschaftliche Technik, die in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts in den USA zur Analyse der sich entfaltenden Massenmedien (Zeitungen, Radio) entwickelt wurde. Diese Massenmedien sollten mit der Inhaltsanalyse systematisch – meist quantitativ – ausgewertet werden, um etwas über ihren gesellschaftlichen Einfluss zu erfahren. Die Häufigkeit bestimmter Motive im Material, das Auszählen, Bewerten und Inbeziehungsetzen von Textelementen stand dabei im Vordergrund“ (Mayring 2016, S. 114).

Ursprünglich zielte die Analyse auf den manifesten, expliziten, sichtbaren, offenkundigen Inhalt von massenmedienmaterialer Kommunikation mittels quantitativer Methoden (Zaidman-Zait 2014). Im Laufe der Zeit wurden auch qualitative Methoden in die Analyse einbezogen, etwa um die Schwachpunkte einer vor allem quantitativ vorgehenden Inhaltsanalyse auszugleichen, wie z.B. fehlende Genauigkeit durch Überbetonung der Quantifizierung (Kracauer 1952), oder auch um latente Sinnstrukturen erschließen, den Kontext von Kommunikation, markante Einzelfälle, oder auch das, was im Text nicht vorkommt, stärker berücksichtigen zu können (Ritsert 1972). Die sich daran anschließende publizistische und soziologische Medieninhalts- und Medienwirkungsforschung stellt die Frage nach der Beziehung zwischen Medieninhalten und der darin wiedergegebenen Realität und nutzt zu deren Beantwortung inhaltsanalytische Vorgehensweisen (Bonfadelli 2002). Dies bezieht sich sowohl auf die Inhalte der analogen Massen- und Individualmedien, als immer mehr auch auf die Inhalte der digitalen, vernetzten und interaktiven Massenindividualmedien wie z.B. Blogs, E-Commerce, Social Media und viele weitere Online-Aktivitäten (Neuendorf 2017).

Aus einer medienkonstruktivistischen Perspektive wiederum betrachtet Krippendorff Daten nicht als Repräsentationen von physischen Ereignissen, sondern als Repräsentationen von Texten, Bildern und Ausdrücken, die geschaffen wurden, um wahrgenommen, gelesen, betrachtet und auf ihre Bedeutung hin interpretiert zu werden und die daher mit Blick auf solche Verwendungen analysiert werden müssen. Die Analyse von Texten in den Kontexten ihrer Verwendung unterscheidet die Inhaltsanalyse von anderen Untersuchungsmethoden. Krippendorff definiert die Inhaltsanalyse deshalb als eine Forschungsmethode, die es ermöglicht, reproduzierbare und gültige Rückschlüsse von Daten auf ihren Kontext zu ziehen (Krippendorff 2004). Für Weber handelt es sich um eine Forschungsmethodik, in der verschiedene Verfahren eingesetzt

werden, um aus Texten gültige Schlüsse zu ziehen. Diese Schlussfolgerungen beziehen sich auf den/die Absender der Nachricht, die Nachricht selbst oder den/die Adressaten der Nachricht (Weber 2008).

Nach Mayring ist die Inhaltsanalyse die systematische regel- und theoriegeleitete Analyse von fixierter Kommunikation mit dem Ziel, Rückschlüsse auf bestimmte Aspekte der Kommunikation zu ziehen (Mayring 2015, S. 13). Lamnek und Krell (2016) schließlich fassen die unterschiedlichen Zielsetzungen der Inhaltsanalyse folgendermaßen zusammen:

„Ziel der Inhaltsanalyse ist – darin besteht Übereinstimmung – die Analyse von Material, das auf irgendeine Weise menschliches Verhalten oder soziales Handeln repräsentiert. Die wissenschaftliche Inhaltsanalyse befasst sich vor allem mit der Analyse von schriftlichen Kommunikationsinhalten, also Texten. Zusätzlich können Videofilme und akustisches Material, z. B. Melodien, ausgewertet werden. In den meisten Fällen stellt das Material für eine Inhaltsanalyse eine Form fixierter und reproduzierbarer Kommunikation dar, deren Inhalte vom Wissenschaftler erfasst werden können. Aber es werden auch andere Repräsentationsformen menschlichen Verhaltens oder sozialen Handelns analysiert: Akten, historische Dokumente, Bilder und Fotografien, Internetdokumente, Gestik, Mimik und Motorik als Inhalte von Filmen und Videos“ (Lamnek und Krell 2016, S. 451).

Dieses im Vergleich zu früheren Auflagen nur im zweiten Teil erweiterte Zitat von „Qualitative Sozialforschung“ von Lamnek lässt sich noch zuspitzen: die Inhaltsanalyse zielt auf die systematische, regel- und theoriegeleitete Untersuchung von jeglicher Art von im weitesten Sinne medienmaterial protokollierten, festgehaltenen, analog oder digital gespeicherten (sprachlichen) Mustern und Formen, die menschlichen, sozialen oder soziotechnischen Ursprungs sind. Die Inhaltsanalyse untersucht manifeste und latente Inhalte von material gebundener, gespeicherter und deshalb wiederholbarer analoger und digitaler Medienkommunikation.

Darüber hinaus ist die Inhaltsanalyse eine Auswertungsmethode, die sowohl auf qualitative als auch auf quantitative Daten angewendet und auf induktive, deduktive oder induktiv-deduktive Weise durchgeführt werden kann. Sie geht dabei kategoriengeleitet vor, d.h. die Untersuchung besteht in der Organisation und Verdichtung des zu untersuchenden Medienmaterials mittels Kategorien und Kategoriensystemen (Mayring 2015, 2019; Mayring und Fenzl 2019).

- Die **quantitative Inhaltsanalyse** zielt dabei in der Tradition der Massenkommunikationsforschung auf die Zählung manifester Inhaltselemente, die mit statistischen Methoden bearbeitet und ausgewertet werden können (Weber 2008). Nach Mayring können die so erzeugten kategorien-basierten Daten auf unterschiedlichen Skalenniveaus dargestellt, statistisch ausgewertet und in der Folge interpretiert werden (Mayring 2015, S. 15–17).

- Die vor allem in der Ethnologie und der qualitativen Sozialforschung entwickelte und eingesetzte **qualitative Inhaltsanalyse** dient der qualitativen Untersuchung des Inhalts von Textdaten mittels eines Kategorie-basierten systematischen Klassifizierungsprozesses (Hsieh und Shannon 2005). Ihr Hauptzweck besteht in diesen fachlichen Kontexten darin, neue Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie Teilnehmende ihre Welt erleben (Zaidman-Zait 2014).
- **Kategorien und Kategoriensysteme** sind zentrale Begriffe der Inhaltsanalyse, wobei eine Kategorie definiert werden kann als „das Ergebnis der Klassifizierung von Einheiten“ (Kuckartz 2016, S. 31). „Kategorien stellen Analyseaspekte als Kurzformulierungen dar, sind in der Formulierung mehr oder weniger eng am Ausgangsmaterial orientiert und können hierarchisch geordnet sein“ (Mayring und Fenzl 2019, S. 634). Nach Berelson stehe und falle die Inhaltsanalyse mit ihren Kategorien; sie könne nicht besser sein, als ihr Kategoriensystem (Berelson 1952, S. 147).
- Die **induktive Kategorienentwicklung** besteht darin, ein aus der Forschungsfrage abgeleitetes und theoretisch begründetes Definitionskriterium aufzustellen, das festlegt, welche Aspekte im Material zu berücksichtigen sind, um in der Folge das Material dann Schritt für Schritt danach abzuarbeiten. Die Kategorien werden zur Beantwortung der Forschungsfrage aus dem Material heraus entwickelt und im weiteren Verlauf in einem iterativ optimierenden Prozess auf das Material angewendet (Mayring 2000, §12). Hierfür haben wir wiederholt den Begriff der Kategorien-entwickelnden Inhaltsanalyse verwendet.
- Bei der **deduktiven Kategorienanwendung** werden zuvor definierte, theoretisch begründete Analyseaspekte auf das Material angewendet. Der Schritt der qualitativen Analyse besteht in der methodischen Zuordnung der deduktiv verwendeten Kategorien zu den Textpassagen. Die deduktiv anzuwendenden Kategorien können dabei aus früherer Forschung oder aus anderen Theorien und Modellen stammen (Mayring 2000). Hierfür haben wir wiederholt den Begriff der Kategorien-basierten Inhaltsanalyse verwendet.
- Die **deduktiv-induktive Vorgehensweise** verbindet nun beide Vorgehensweisen: das Material wird einerseits mit vorab festgelegten Kategorien untersucht, andererseits können aber noch weitere Kategorien induktiv aus dem Material heraus entwickelt werden, um das Untersuchungsraaster zu optimieren, in dem neue Kategorien identifiziert und hinzugefügt werden, die bisher nicht Teil des deduktiven Modells waren (Steinhardt 2019).

Im Lauf der Jahre sind eine Fülle von verschiedenen methodischen Techniken der qualitativen Inhaltsanalyse für unterschiedliche Forschungsdesigns entstanden, die sich aber im Wesentlichen alle auf unterschiedliche Kombinationen der dargestellten Grundkonzepte zurückführen lassen (Hsieh und Shannon 2005; Kuckartz 2016; Mayring

2015; Schreier 2014). Aufgrund dieser vielfältigen kombinatorischen Möglichkeiten ordnen Mayring und Fenzl die qualitative Inhaltsanalyse den aus Denzin's Methodologie der Triangulation hervorgegangenen Mixed-Methods-Ansätzen zu (Mayring und Fenzl 2019, S. 641). Für eine aktuelle und umfassende Bestandsaufnahme der Debatte zur qualitativen Inhaltsanalyse, siehe im „Forum Qualitative Sozialforschung“ insbesondere Janssen et al. (2019) und Stamann et al. (2020).

Wir sind bei der Entwicklung und Umsetzung unserer verschiedenen Forschungsdesigns und der Integration der qualitativen Inhaltsanalyse als Auswertungsmethode allerdings nicht streng, methodisch normativ, top down vorgegangen und haben dementsprechend nicht aus dem breiten Angebot von standardisierten Prozessmodellen der Inhaltsanalyse das passendste ausgewählt. Wir haben vielmehr zwei gegensätzlich scheinende Strategien miteinander verwoben. Teilweise haben wir uns an Mayrings Konzeptualisierungen einer qualitativen Inhaltsanalyse orientiert, die in seinen neueren Veröffentlichungen zunehmend als „qualitativ orientierte kategoriengeleitete Textanalyse“ bezeichnet wird (Mayring und Fenzl 2019, S. 634); teilweise haben wir uns auf das „Werkzeugkasten-Modell der qualitativen Inhaltsanalyse“ (Schreier 2014) als methodischer bottom up Strategie bezogen. Letztlich sind beide Vorgehensweisen (normativ-deduktiv top down und adaptiv-induktiv bottom up) in die unterschiedlichen Forschungsdesigns eingeflossen.

#### 3.2.4.1 Qualitativ orientierte kategoriengeleitete Textanalyse nach Mayring

Die qualitativ orientierte kategoriengeleitete Textanalyse nach Mayring zielt darauf ab, qualitativ-interpretative Techniken mit Techniken der quantitativen Inhaltsanalyse zu kombinieren:

„Mit der qualitativen Inhaltsanalyse steht ein Verfahren qualitativ orientierter Textanalyse zur Verfügung, das mit dem technischen Know-how der quantitativen Inhaltsanalyse (Quantitative Content Analysis) große Materialmengen bewältigen kann, dabei aber im ersten Schritt qualitativ-interpretativ bleibt und so auch latente Sinngehalte erfassen kann. Das Vorgehen ist dabei streng regelgeleitet und damit stark intersubjektiv überprüfbar, wobei die inhaltsanalytischen Regeln auf psychologischer und linguistischer Theorie alltäglichen Textverständnisses basieren“ (Mayring und Fenzl 2019, S. 633).

Darauf aufbauend wurden mit „Zusammenfassung“, „Explikation“ und „Strukturierung“ drei Hauptprozeduren der Textanalyse entwickelt und methodologisch fundiert, in welche auch quantitative Techniken integrieren werden können (Mayring 2015, 2019; Mayring und Fenzl 2019).

- Mittels der **zusammenfassenden Inhaltsanalyse** (I.) soll das zu untersuchende Material soweit reduziert werden, dass nur noch ein überschaubarer Kurztexat überbleibt, der die wesentlichen Inhalte aber trotzdem wiedergibt. Durch

Techniken der Abstraktion soll ein überschaubarer Corpus geschaffen werden, „der immer noch Abbild des Grundmaterials ist“ (Mayring 2015, S. 67). Wenn solche Textreduktionen und -verdichtungen durch vorab definierte Merkmale bestimmt werden, wird aus dem Zusammenfassen eine „Art von induktiver Kategorienbildung“ (Mayring 2015, S. 68). Man denke hier z.B. an die Zusammenfassungen von Artikeln für wissenschaftliche Zeitschriften („abstract“) oder Projektanträgen („extended abstract“), zu deren Erstellung es entsprechende Richtlinien und Techniken gibt. Mit *Abstraktion* (I.1) und *gerichteter induktiver Kategorienbildung* (I.2) entstehen somit zwei Strategien der zusammenfassenden Inhaltsanalyse.

- Das Gegenteil der zusammenfassenden Inhaltsanalyse stellt die **explizierende Inhaltsanalyse** (II.) dar. Ihre Funktion besteht nach Mayring (2015, S. 67) darin, unklare Textbestandteile oder Wissenslücken zu klären, in dem weiteres Material zur tiefergehenden Explikation hinzugezogen wird: „Bei den Explikationen sind Formen denkbar, die zur Erläuterung einer Textstelle auf den Textkontext zurückgreifen (enge Kontextanalyse); die häufigste Art vor allem hermeneutischer Interpretation ist jedoch, noch weiteres Material über den Textkontext hinaus zur Explikation zuzulassen (weite Kontextanalyse)“ (Mayring 2015, S. 68). *Enge Kontextanalyse* (II.1) und *weite Kontextanalyse* (II.2) stellen somit Techniken der explizierenden Inhaltsanalyse dar.
- Die **Strukturierende Inhaltsanalyse** (III.) schließlich verfolgt das Ziel, das Material deduktiv mittels vorher festgelegter Kriterien einzuschätzen. Hierfür wird zunächst ein Kodierleitfaden erstellt, der entweder aus entsprechender Theorieliteratur hergeleitet wird, oder aber aus Kategorien besteht, die in vorheriger Forschung mittels induktiver Inhaltsanalyse generiert wurden: „Ziel der Analyse ist es, bestimmte Aspekte aus dem Material herauszufiltern, unter vorher festgelegten Ordnungskriterien einen Querschnitt durch das Material zu legen oder das Material aufgrund bestimmter Kriterien einzuschätzen“ (Mayring 2015, S. 67). Die strukturierende Inhaltsanalyse lässt sich noch weiter auffächern in die *formale Strukturierung* (III.1), die *inhaltliche Strukturierung* (III.2), die *typisierende Strukturierung* (III.3) und die *skalierende Strukturierung* (III.4) (siehe hierzu insbesondere das Kapitel „Techniken qualitativer Inhaltsanalyse“ in Mayring 2015, S. 50–114). Hier lassen sich bei den deduktiv anzuwendenden Kategorienlisten nominale und ordinale Skalenniveaus unterscheiden: einfache Kategorienlisten messen die Zugehörigkeit zu den einzelnen Kategorien mittels Nominalskala; sofern Kategorien-interne Differenzierungen im Kodierleitfaden festgelegt wurden, um zusätzlich Ausprägungen diskreter Kategorien zu erheben, erfolgt die Messung auf Ordinalskalenniveau (Mayring und Fenzl 2019, S. 638).

Somit besteht die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring aus den Haupttechniken Zusammenfassung, Explikation und Strukturierung, die in insgesamt acht spezifische Techniken funktional ausdifferenziert sind. Für Mayring stehen dabei folgende Grundprinzipien kategoriengleiteter qualitativ orientierter Textanalyse zentral: die Richtung und Zielsetzung der Inhaltsanalyse (1), die Entstehung, Wirkung und der Kontext des zu untersuchenden Materials (2), das regelgeleitete Vorgehen mittels eines systematischen inhaltsanalytischen Prozessmodells (3); die Gegenstandsbezogenheit und Theoriegeleitetheit, (4) die Flexibilität in der Auswahl und Ausgestaltung der Analyseschritte (5), die Entwicklung und Begründung der Analysekatoren (6), sowie die Gewährleistung der Gütekriterien von qualitativer Forschung (7) (Mayring 2015, S. 50–54; Mayring und Fenzl 2019, S. 635–637). Siehe hierzu Abschnitt 3.3.

#### 3.2.4.2 Werkzeugkasten-Modell der qualitativen Inhaltsanalyse nach Schreier

Ausgehend von ihrer Analyse, dass es bisher keinen Konsens darüber gebe, was konstitutiv für die qualitative Inhaltsanalyse sei, zieht Schreier (2014) aus dem Vergleich von elf verschiedenen Varianten der qualitativen Inhaltsanalyse den Schluss, dass das Konzept eines Werkzeugkastens angemessener sei, als die Unterscheidung verschiedener Prozessmodellvarianten. In den Vergleich einbezogen wurden hauptsächlich die drei oben benannten Varianten nach Mayring (2015), drei Varianten nach Kuckartz (2016), drei Varianten nach Hsieh und Shannon (2005), eine Variante nach Steigleder (2008) und eine Variante nach Gläser und Laudel (2009a). Das Ergebnis des Vergleichs dieser elf Varianten sind wiederum acht Varianten, die in der Folge von Schreier auf zwei Cluster aufgeteilt wurden: zum einen das Cluster der Varianten der strukturierenden Inhaltsanalyse, bestehend aus sieben Varianten, und zum anderen das Cluster der Inhaltsanalyse mittels Extraktion, bestehend aus einer Variante. Schreier kommt zu dem Schluss, dass anstelle einer weiteren Ausdifferenzierung verschiedener Prozessmodellvarianten qualitativer Inhaltsanalyse besser eine Ausdifferenzierung auf der Ebene der methodischen Schritte im Ablaufprogramm der beiden Hauptgruppen erfolgen sollte, wobei die strukturierende Inhaltsanalyse die eigentliche Basis darstelle. Hierfür nutzt Schreier die Metapher des Werkzeugkastens (siehe Schreier (2014): Tabelle 3), aus dem je nach zu lösendem Problem die entsprechenden Werkzeuge ausgewählt werden und zur Anwendung kommen:

„An den verschiedenen Stellen bzw. Stufen, die bei der Anwendung des Verfahrens zu durchlaufen sind, stehen jeweils verschiedene Optionen zur Verfügung, unter denen konkret eine Auswahl zu treffen ist. Diese Optionen stellen eine Art Werkzeugkasten dar, aus dem Forschende bei der Durchführung der qualitativen Inhaltsanalyse diejenigen Werkzeuge auswählen können, die zu der jeweiligen Forschungsfrage und dem jeweiligen Material am besten passen. (...) Dieser Auswahlprozess generiert nicht jeweils eine neue Variante der qualitativen Inhaltsanalyse, sondern spezifiziert das Verfahren lediglich in relevanten Hinsichten“ (Schreier 2014).

Hieraus folgt, dass die Systematik bzw. das systematische, regelgeleitete Vorgehen das eigentliche Ordnungs- bzw. Definitionskriterium der qualitativen Inhaltsanalyse darstellt, wobei aber auf der untergeordneten Ebene die methodischen Schritte variabel an Material und Fragestellung angepasst werden sollen und können:

Das Durchlaufen einer festgelegten Abfolge von Schritten gewährleistet die Systematik, während die unterschiedlichen Möglichkeiten, diese Schritte konkret zu realisieren, die Gegenstandsangemessenheit des Verfahrens sichern. Genau diese Kombination von Systematik und Gegenstandsangemessenheit macht das Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse aus“ (Schreier 2014).

Dies entspricht letztlich den verschiedenen Vorgehensweisen, die wir für die unterschiedlichen qualitativ orientierten strukturierten Inhaltsanalysen in den Studien, die dieser kumulativen Dissertation zu Grunde liegen, gewählt haben, also die Systematik der qualitativen Inhaltsanalyse mit einer flexiblen gegenstandsangemessenen Auswahl und Kombination der Analyseschritte („Werkzeuge“) zur Umsetzung der Inhaltsanalysen zu verknüpfen.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass es bisher weder eine einheitliche Definition von Inhaltsanalyse bzw. qualitativer Inhaltsanalyse gibt, noch einen methodologischen Konsens darüber gibt, was Inhaltsanalyse machen kann und was nicht. Vielmehr sind in der jahrzehntelangen Analysepraxis mit den sich weiter ausdifferenzierenden Forschungsfragen und Materiallagen unterschiedliche Schulen und damit Varianten von Prozessmodellen entstanden, die sich wechselseitig Schwächen aufzeigen, die unterschiedliche methodische Schritte in unterschiedlicher Tiefe als notwendig oder überflüssig, als überbetont oder unbetont betrachten. Sie alle haben aber doch gemein, dass sie je nach Forschungsfrage und Materiallage selektiv quantitative und qualitative Methoden und induktive, deduktive und deduktiv-induktive Analyseschritte in Verbindung mit Kategorien und Kategoriensystemen zu unterschiedlichen Mixed-Methods-Varianten triangulieren können.

### **3.2.5 Constructive Alignment**

Constructive Alignment ist ein von John Biggs entwickeltes didaktisches Konzept zur Gestaltung der Hochschullehre, welches weltweit vor allem im Bereich der Hochschuldidaktik rezipiert wird. Als einer von mehreren Ansätzen des Outcome-Based Teaching and Learning (OBTL) konzentriert sich Constructive Alignment auf die Lernergebnisse, die die Lernenden durch das Durchlaufen der Lehrlernaktivitäten erreichen sollen, und nicht auf das Wissen, das die Lehrenden vermitteln wollen (Biggs und Tang 2011, S. 10–12). Constructive Alignment dient somit der Entwicklung von Lehrlernaktivitäten und Lehrernerfolgskontrollen, die die angestrebten Lernergebnisse auf eine Art und Weise ansprechen, die in herkömmlichen Vorlesungen, Tutorien und Prüfungen nicht erreicht werden. Zentral für die didaktische Gestaltung steht die

Formulierung von Lernergebnissen oder Lernzielen. Das sind schriftlich ausformulierte Aussagen, die aus der Sicht der Studierenden den beabsichtigten Lerngewinn angeben, den sie durch die Teilnahme an vordefinierten Lehr- und Lernaktivitäten erreichen sollen und deren Erreichen durch darauf bezogene Bewertungen gemessen oder kontrolliert wird (Biggs und Tang 2011, S. 11). Um allerdings das volle Potenzial des Labors als Lehrlernort zur Generierung von Handlungskompetenzen nutzen zu können, müssen diese intendierten Lernergebnisse auch speziell für das Labor formuliert werden, wie Cunningham bereits 1946 in einer ersten großen Übersichtsarbeit gezeigt hat (Cunningham 1946). Dass diese Forderung in den letzten Jahrzehnten weitestgehend ignoriert wurde, zeigt eine Zusammenschau der diesbezüglichen Debatte in Terkowsky, Frye, May (2020, S. 18).

Die Lehrveranstaltung bzw. Lerneinheit wird mittels Constructive Alignment so gestaltet, dass die Lernenden in Lernaktivitäten eingebunden werden, die ihre Chancen auf das Erreichen der beabsichtigten Lernergebnisse erhöhen. Die Lehrlernerfolgskontrollen werden anschließend so designt, dass sie eine klare Beurteilung des Niveaus ermöglichen, auf dem diese Ergebnisse erreicht wurden (Biggs 2014). Ausgangspunkt für das didaktische Design ist dabei die Beantwortung folgender drei Fragen:

1. Was sollen die Studierenden in der Lehrveranstaltung lernen? Welche Kompetenzen sollen sie entwickeln?
2. Welcher ist der beste Weg, unter den jeweiligen Umständen und mit den verfügbaren Ressourcen, sie dazu zu bringen, das zu lernen bzw. diese Kompetenzen zu entwickeln?
3. Woran kann man erkennen, wann oder wie gut sie es gelernt bzw. sie diese Kompetenzen entwickelt haben (Biggs und Tang 2011, S. 45)?

In einem weiteren Schritt werden die Antworten gemäß Constructive Alignment formalisiert und operationalisiert, um beabsichtigte Lernergebnisse (Intended Learning Outcomes - IOLs), darauf bezogene Lehrlernaktivitäten (Teaching and Learning Activities - TLAs) und Lernerfolgskontrollen (Assessment Tasks - ATs) zu definieren und iterativ aufeinander abzustimmen (Biggs und Tang 2011, S. 211–278). Allerdings ist dieses Vorgehen durchaus anspruchsvoll:

„Das „Constructive Alignment“ schließt sich [erst; CT] zu einer abgestimmten und stimmigen Struktur, wenn den Lernergebnissen und Lehr/Lernkonzepten entsprechenden Prüfungsformaten und Prüfungen zugeordnet werden können. Eine kohärente Stimmigkeit wird aber erst erreicht, wenn in den Prüfungen die intendierten Lernergebnisse auch tatsächlich zum Vorschein gebracht werden. Diese Anforderung ist keineswegs trivial. Zum einen sind situative Anforderungen und Aufgabenstellungen in der Alltagspraxis nicht umstandslos gleichzusetzen mit Lernhandlungen (in Ausbildungskontexten), zum anderen sind Lern- und Prüfungsaufgaben und Handeln nicht identisch“ (Wildt und Wildt 2011, S. 17).

Deshalb vereint das Constructive Alignment drei Funktionen der didaktischen Planung und Umsetzung:

- **Transformative Reflexion** als Erheben eines Ausgangszustands und als Entwerfen eines Zielzustandes, der in der Weiterentwicklung des Ausgangszustands und der Reflexion von Stärken und Schwächen besteht;
- **Didaktisches Design** zur Realisierung der Ergebnisse der transformativen Reflexion in einer konkreten Lehrveranstaltungsplanung;
- **Handlungs- und Praxisforschung zur formativen Evaluation** der durchgeführten Lehrveranstaltung, um das Constructive Alignment optimieren zu können (Biggs und Tang 2011, S. 281–322).

Das Constructive Alignment steht für uns in diesen drei Funktionen als methodisches Instrumentarium zentral, denn es ermöglicht uns, auf Basis von Dokumentenanalysen der eingesetzten Lehrlernmaterialien (1), von Auswertungen von verschriftlichten Expert\*inneninterviews mit Lehrenden und Studierenden (2), sowie von Auswertungen von Beobachtungsprotokollen aus den Lehrlernlaboren (3), induktiv aus dem erhobenen Datenmaterial heraus und/oder deduktiv auf Basis von Lernzieltaxonomien und theoretischen Modellen den jeweiligen aktuellen Zustand der labordidaktischen Praxis in den untersuchten Laboren zu bestimmen. Wir nutzen also die vorgestellten Datenerhebungsverfahren, um mittels inhaltsanalytischer Verfahren den Zustand des Constructive Alignment auf Makro-, Meso- und Mikroebene in den Laboren der jeweiligen Stichprobe zu ermitteln. Hierzu wurden vermehrt deduktive Vorgehen gewählt, d.h. die letztlich auf Verabredung unter Expert\*innen beruhenden Lernzieltaxonomien und theoretischen Modelle dienten als Gradmesser für die Ausprägung bzw. den Grad des Erreichens der Kompetenzorientierung in den untersuchten Lehrlernlaboren.

Innerhalb des deutschsprachigen hochschuldidaktischen Diskurses wird Constructive Alignment vor allem zur je individuellen Lehrkompetenzentwicklung eingesetzt: Lehrende sollen in hochschuldidaktischen Weiterbildungen dazu befähigt werden, Constructive Alignment in einer bottom up Strategie anzuwenden, um die von ihnen mindestens operativ verantwortete Mikro- und Mesoebene ihrer Lehre zu reflektieren und zu optimieren, aber auch um qualitätsmindernde Widersprüche und Brüche mit der übergeordneten Makroebene zu identifizieren und abzumildern. Ziel ist es, die Lehrenden dazu zu befähigen, eine qualitativ möglichst hochwertige Lehre realisieren zu können. CA dient hier also vor allem dem hochschuldidaktischen Empowerment von Lehrenden.

Im internationalen Diskurs wurde und wird Constructive Alignment hingegen als organisationale top down Strategie zur inhaltlichen Steuerung von Lehre und zur Bevormundung der Lehrenden kritisiert, da diese sich an die administrativ vorgegebenen und curricular festgeschriebenen Lernziele zu halten hätten. Darüber hinaus ließe CA zu

wenig Freiraum für die Entfaltung und die Wertschätzung von studentischer Kreativität, erführe eine Überbetonung der Lehrlernerfolgskontrolle als Motivationsinstrument („teaching to the test“) und stelle eine an fragwürdigen Kennzahlen orientierte Evaluationsstrategie dar (Loughlin et al. 2021). Unter dem Titel “reclaim constructive alignment” fordern Loughlin et al. (2021) deshalb eine “Rückgabe” des Constructive Alignment an seine ursprüngliche Intention: die qualitative Verbesserung der Lehre mittels eines studierenden-zentrierten didaktischen Ansatzes, der die Lehre konsequent aus der Perspektive der Studierenden redesigned:

„Much of the ire directed towards CA is a result of this misappropriation. Reclaiming the meaning of CA is crucial if HE is serious about student-centred learning. Alignment should be used to guide students towards effective learning not to steer academics; and, constructivism puts the student at the heart of learning, without it, learning design can have the structure of CA and yet lack its substance. Learning theories are qualitative tools that require thoughtful application. Reclaiming CA and LOs from the miasmatic dominion of accountability metrics and perfunctory journalism are essential in avoiding the frustration of their educational purpose“ (Loughlin et al. 2021, S. 133).

Für eine aktuelle Darstellung der Debatte um Constructive Alignment, siehe Loughlin et al. (2021).

### **3.3 Gütekriterien und Qualitätssicherung durch Triangulation**

Wurde vor dem Hintergrund der Entwicklung von Gütekriterien für die qualitative Sozialforschung Triangulation zu Beginn vor allem als Strategie zur Validierung der ermittelten Ergebnisse (Creswell und Miller 2000; Denzin 2017) und zur Gewährleistung der Reliabilität durch Aufdecken von Komplementarität, Konvergenz oder Dissonanz in den Befunden (Erzberger und Prein 1997; Jick 1979) entworfen und eingesetzt, die mit den einzelnen Methoden gewonnen wurden, so erweiterte bzw. verlagerte sich der Fokus nach Verarbeitung umfassender Kritik (siehe z.B. Kapitel 4 in Lamnek und Krell (2016)) im Laufe der Zeit immer mehr in Richtung auf Erweiterung, Vertiefung, Überschreitung und Vervollständigung der stets begrenzten Erkenntnismöglichkeiten der Einzelmethoden (Creswell und Plano Clark 2018; Flick 1999, S. 250; Hussein 2009; Kelle 2008). Denzin und Lincoln zeigen den Möglichkeitsraum der Triangulation folgendermaßen auf:

„The use of multiple methods, or triangulation, reflects an attempt to secure an in-depth understanding of the phenomenon in question. Objective reality can never be captured. We now a thing only through its representations. Triangulation is not a tool or strategy of validation, but an alternative to validation. The combination of multiple methodological practices, empirical materials, perspectives, and observers in a single study is best understood, then, as strategy that adds rigor, breadth, complexity, richness, and depth to any inquiry“ (Denzin und Lincoln 2005, S. 5).

Für Flick lässt sich deshalb Triangulation als Ansatz zur Geltungsbegründung der Erkenntnisse verwenden, die mit qualitativen Methoden gewonnen wurden, wobei die Geltungsbegründung nicht in der Überprüfung von Resultaten liege, sondern in der systematischen Erweiterung und Vervollständigung von Erkenntnismöglichkeiten. Triangulation wird damit weniger zu einer Strategie der Validierung der Ergebnisse und Vorgehensweisen, sondern zu einer Alternative dazu, welche die Breite und Tiefe im methodischen Vorgehen steigern kann (Flick 2019, S. 520).

Mayring schließlich sieht in seiner Kritik des Einsatzes der klassischen Gütekriterien Validität und Reliabilität im Kontext der qualitativen Sozialforschung in seinem Gegenentwurf von „Sechs allgemeinen Gütekriterien qualitativer Forschung“ eine Möglichkeit, die Qualität der Forschung zu erhöhen (Mayring 2016, S. 140–148). Hierzu zählen:

1. die genaue **Verfahrensdokumentation** zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit des Vorgehens durch Dritte;
2. die **Interpretationsabsicherung** durch argumentative Begründungen;
3. die **Regelgeleitetheit** im methodischen Vorgehen durch Berücksichtigung von Prozessmodellen;
4. die **Nähe zum Untersuchungsgegenstand** durch Nähe zu dessen Alltagswelt;
5. die **kommunikative Validierung** durch Rückspiegelung und Diskussion der Ergebnisse im Feld; sowie
6. die **Triangulation** als Forschungsdesign inklusive einer umfassenden **konsensuellen Validierung** im Team und einer **argumentativen Validierung** durch andere Wissenschaftler\*innen (Wilkesmann 2019, S. 42).

Die Triangulation wird damit selber zu einem Gütekriterium. Oder zugespitzt formuliert: ein ganzheitliches Forschungsdesign, welches als Team realisiert wird und auf kollaborativen, sozial-interaktiven, diskussionsfreudigen, transparenten Prozessen basiert, kann die Qualität der erzielten Ergebnisse steigern, wobei Qualität auf die Erfüllung der gemeinsam getragenen Gütekriterien referenziert.

Allerdings können im Forschungsdesign der Triangulation durch Teamwork erkenntnistheoretische Probleme auftreten, denn eine Besonderheit der (hochschuldidaktischen) Hochschulforschung besteht gerade darin, dass sie von Wissenschaftler\*innen und damit von Mitgliedern der Hochschulen durchgeführt wird (Lauer 2019). Folglich forschen Wissenschaftler\*innen nicht nur über ihre eigene Organisation, sondern auch über ihre eigene Alltagswelt (Wilkesmann 2019). Deshalb können nach Wilkesmann (2017) epistemologische Effekte durch das „Selbstobjektivierungsproblem“ und durch das „Selbstüberschätzungsproblem“ entstehen. Im ersteren Fall verfolgen Forschende eigene Interessen und verletzen dadurch das Gebot der wissenschaftlichen Neutralität; im zweiten Fall sieht sich der beforschte

Wissenschaftler selbst als hochschulforschender Experte für seine Alltagswelt an, etwa, weil er in Anlehnung an Gläser und Laudel (2009b) seine Rolle des Informanten („Experte als Befragter“) mit der des Forschenden („Befragter als Experte“) verwechselt, sich dieser Verwechslung aber nicht bewusst ist. Er verwechselt seinen Expertenstatus für seine Alltagswelt, der durch seine subjektive Erfahrungsverarbeitung gespeist wird, mit der auf die Einhaltung von Gütekriterien basierenden empirischen Forschung über seine Lebenswelt:

„In der Hochschulforschung wird ihr eigener Alltag adressiert, den sie selbst aus eigener Erfahrung bestens kennen. Diese persönliche Erfahrung bezieht sich aber immer auf eine bestimmte Disziplin, mit einer bestimmten Fachkultur, Erlebnisse in der eigenen Fakultät oder spezifische Erfahrungen in der eigenen Hochschule. Dabei können voreilig selektive Erfahrungen unzulässig verallgemeinert werden“ (Wilkesmann 2019, S. 40).

So sagte etwa ein Professor aus den Ingenieurwissenschaften nach ca. zehn Jahren gemeinsamer Arbeit in fachbezogen hochschuldidaktischen Forschungsprojekten während einer Sitzung: „Ich bin auch Hochschuldidaktiker“, was zumindest öffentlich unwidersprochen stehen gelassen wurde. Umgekehrt war von uns Hochschuldidaktiker\*innn in all den Jahren niemand je auf die Idee gekommen zu erklären, dass man auch Ingenieur sei, zumindest sofern man keinen entsprechenden Hochschulabschluss vorweisen konnte. Andererseits hatten wir mehrere Ingenieur\*innen im Team, die das hochschuldidaktische Zertifikatprogramm für Lehrende und eine Weiterbildung zum hochschuldidaktischen Multiplikatoren erfolgreich abgeschlossen hatten, so dass sie neben der Mitarbeit in einer hochschuldidaktischen Einrichtung auch die derzeit verfügbaren Weiterbildungsangebote zur hochschuldidaktischen Professionalisierung genutzt hatten. Der Professor aus den Ingenieurwissenschaften hatte solche Zertifikate nicht erworben.

Gleichwohl kann hier nicht unerwähnt bleiben, dass das Selbstüberschätzungsproblem aufgrund der Identifikation im Feld auch in die andere Richtung ausschlagen kann, nämlich dann, wenn Hochschuldidaktiker\*innen vermeintlich fundierte Aussagen zu ingenieurwissenschaftlichen Themen von sich zu geben glauben. Letztlich können also beide Perspektiven in praxis- und aktionsforscherischen Kontexten aufgrund von wechselseitig auftretenden Identifikationen und Distanzierungen in dem durch die gemeinsame Forschung geteilten Alltag zumindest temporär dem Selbstobjektivierungs- und dem Selbstüberschätzungsproblem unterliegen.

Eine Besonderheit ergibt sich noch aus dem Selbstobjektivierungsproblem in praxis- oder aktionsforscherischen Zusammenhängen, geht es dabei doch nicht nur um die wissenschaftliche Klärung eines Sachverhalts, sondern um subjektive Interessen an dessen gezielter Verbesserung, womit das Gebot der wissenschaftlichen Neutralität verletzt wird (Wilkesmann 2021). Eine Möglichkeit, diese erkenntnistheoretischen

Probleme zu lösen oder zumindest zu entschärfen, besteht in der umfassenden gemeinsamen Reflexion im Forschungsprozess (Lauer 2019, S. 19–21; Wilkesmann 2017). Bei diesen reflektierenden Anstrengungen können die Gütekriterien und insbesondere eine gemeinsam standfindende Reflexion (in) der Triangulation eine zentrale Rolle spielen (Mayring 2016), da hierdurch die Ursachen und Wirkungen von Identifikation und Distanzierung bei der Teilnahme an der gemeinsamen Forschung aufgedeckt werden können – zumindest sofern die wechselseitige Bereitschaft dazu besteht (siehe hierzu auch Wilkesmann 2019, S. 39–50.)

## 4 Gegenwärtige und künftige Anforderungen an die hochschulische Ingenieurausbildung

Der erste Themenblock meiner kumulativen Dissertation befasst sich mit den gegenwärtigen und künftigen Anforderungen an die hochschulische Ingenieurausbildung. Dieser übergeordnete allgemeine Blickwinkel auf die Anforderungen an die technische Bildung erscheint mir angezeigt, weil gerade das Labor als Lehrernformat gesehen werden kann, das sich besonders für Kompetenzentwicklung und Praxisbezug vor dem Hintergrund von neuen Anforderungen eignet (Terkowsky, May, Frye et al. 2020).

Der Ausgangspunkt ist dabei die von vielen Stakeholdern kontrovers geführte Diskussion um eine bessere Förderung der Beschäftigungsfähigkeit von Absolvent\*innen durch stärkere Kompetenzorientierung und mehr Praxisbezug in den technischen Studiengängen an Hochschulen. Im tertiären Bildungsbereich haben diese Forderungen sowohl die Lehramtsausbildung im Fach Technik als auch die grundständige Ingenieurlehre trotz unterschiedlicher Zielgruppen und unterschiedlicher Abnehmer der Absolventen gleichermaßen erreicht (Terkowsky, Frye et al. 2018).

Für eine Standortbestimmung der Zuständigkeiten und der Reichweiten von Ingenieurdidaktik und Technikdidaktik sowie für die Ermittlung der gegenwärtigen und künftigen Anforderungen an die hochschulische Ingenieurausbildung sind wir in zwei Publikationen folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

- Welche inhaltlichen und strukturellen Gemeinsamkeiten und Unterschiede gibt es zwischen Technikdidaktik und Ingenieurdidaktik (Terkowsky, Frye et al. 2018)?
- Inwieweit erfüllt die derzeitige akademische Ingenieurausbildung noch die Kompetenzanforderungen der Wirtschaft und des industriellen Sektors vor dem Hintergrund der zunehmenden Globalisierung (Morace et al. 2017)?
- Welche Defizite lassen sich hinsichtlich neuer Kompetenzanforderungen identifizieren (Morace et al. 2017)?

### 4.1 Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse

Das methodische Vorgehen bestand dabei erstens aus unterschiedlichen Literatur- und Dokumentenanalysen, die darauf abzielten, die jeweiligen Debatten und Diskurse auf die wesentlichen Argumentationslinien zusammenzufassen und gegenüberzustellen, sowie zweitens einer strukturierenden Inhaltsanalyse von ingenieurwissenschaftlichen Curricula, die exemplarisch die (Nicht-)Förderung von Zukunftskompetenzen im Kontext von Globalisierung, Interkulturalität und Transnationalität herausarbeitete.

#### 4.1.1 Technikdidaktik und Ingenieurdidaktik in der Hochschule (TDID)

Die Idee zu dem als Buchkapitel veröffentlichten Aufsatz entstand, als ich Ende April 2016 angefragt wurde, ob wir im Rahmen von ELLI 1 für einen Sammelband mit dem Titel „Technikdidaktik – Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme“ (Zinn et al. 2018), das Unterkapitel „Technikdidaktik in der hochschulischen Bildung“ übernehmen würden.

Auch wenn wir die Einladung sehr gerne angenommen haben, erschien uns die Anfrage aufgrund unserer eigenen ausschließlich mit dem Label Ingenieurdidaktik versehenen Vorarbeiten jedoch thematisch-inhaltlich zu eng. Wir sahen uns im Grunde genommen falsch zugeordnet und wollten uns als Ingenieurdidaktiker\*innen am Zentrum für Hochschulbildung nicht für Technikdidaktik zuständig erklären. Ehrlicherweise konnten wir das von unserer fachlich anders verorteten Expertise her auch nicht tun. Allerdings wollten wir durch das Verfassen eines Artikels unter dem vorgeschlagenen Titel auch nicht stillschweigend in die Eingliederung der Ingenieurdidaktik in die Technikdidaktik des Lehramts Technik einwilligen. Wir wollten aber auch den vorgeschlagenen Titel nicht komplett ignorieren, um etwa die literarische Gastfreundschaft der Technikdidaktik-Community mit einer dem Leitmotiv des Sammelbands widersprechenden Veröffentlichung parasitär auszunutzen. Als Lösung bot sich für uns schließlich an, gemeinsam mit Kolleg\*innen des inzwischen ehemaligen „Lehrstuhls für Technik und ihre Didaktik“<sup>3</sup>, an der TU Dortmund und beheimatet in der Fakultät Maschinenbau, einen Artikel unter dem Titel „Technik- und Ingenieurdidaktik in der hochschulischen Bildung“ zu verfassen. Hierdurch sollten beide Perspektiven berücksichtigt und nach ersten inhaltlichen und strukturellen Gemeinsamkeiten, Unterschieden und Anschlussmöglichkeiten Ausschau gehalten werden, selbstverständlich aufgrund der gebotenen Kürze eines Buchkapitels allenfalls vorläufig und exemplarisch.

Der durch zwei parallele Literatur- und Dokumentenanalysen gespeiste Beitrag erstellt diese Bestandsaufnahme als „Überblick über gegenwärtige Entwicklungen von Technikdidaktik und Ingenieurdidaktik vor dem Hintergrund aktueller Herausforderungen an die technische Hochschulbildung“ (Terkowsky, Frye et al. 2018, S. 87).

Als Ergebnis dieser vergleichenden Anstrengungen wurden folgende Hauptmerkmale der Technikdidaktik ermittelt:

- sie ist als Fachdidaktik der disziplinär organisierten Lehramtsausbildung zuzuordnen;
- sie ist über Jahrzehnte ein etablierter Teil der institutionalisierten Lehramtsausbildung und ist damit Basis für die Ausbildung von Lehrkräften für technische Unterrichtsfächer;

---

<sup>3</sup> Der „Lehrstuhl für Technik und ihre Didaktik“ wurde am 01.04.2017 in „Ingenieurdidaktik“ umbenannt.

- sie richtet sich somit an Studierende als künftige Lehrer\*innen für alle technischen Unterrichtsfächer und -formate;
- sie zielt damit letztlich auf die Integration technischen Wissens in den schulischen Unterricht an allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen mit den Bildungszielen technische Mündigkeit im erstgenannten Fall und Beruflichkeit im zweitgenannten.

Im Gegensatz dazu profiliert sich, der internationalen Entwicklung einer Engineering Education bzw. einer Engineering Education Research folgend, gegenwärtig unter der Bezeichnung Ingenieurdidaktik zunehmend eine fachbezogene Hochschuldidaktik der Ingenieurwissenschaften:

- sie zielt auf die Verbesserung des Lehrens und Lernens in den ingenieur- und technikkwissenschaftlichen Disziplinen;
- sie ist gewachsener Teil der hochschuldidaktischen Hochschulforschung, Beratung und Weiterbildung;
- sie richtet sich mit ihren Ergebnissen und Transfermaßnahmen primär an die Lehrenden unterschiedlicher Statusgruppen in der ingenieur- und technikkwissenschaftlichen Lehre an Hochschulen;
- sie entwickelt aber auch eigene Angebote für Studierende aus diesen Fächern.

Dazu befasst sie sich mit der Analyse, Reflexion und Gestaltung von Lehre und Studium in den Ingenieur- und Technikwissenschaften. Ihre Akteure entstammen jedoch in der Regel nicht den grundständigen Lehramtsstudiengängen mit ihren fachlichen wie gleichermaßen allgemein- und fachdidaktischen Lehrangeboten, sondern den hochschuldidaktischen Einrichtungen, die zu den wissenschaftlich-künstlerischen Einrichtungen an Hochschulen gehören (zur Dritten Sphäre). Sie rekrutieren ihr Personal, ihr Methodenspektrum und ihre Forschungsfragen eher aus pädagogisch-psychologischen, erziehungs-, bildungs-, kultur-, sozial- und geisteswissenschaftlichen Fächern, seltener auch aus den Ingenieurwissenschaften, den Naturwissenschaften und der Informatik.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Technikdidaktik und die Ingenieurdidaktik institutionell unterschiedlich eingebunden sind: zum einen als Bestandteil der Lehrerbildung, zum anderen im Aufgabenbereich der wissenschaftlich-künstlerischen Einrichtungen an Hochschulen. Sie sind damit auch an jeweils andere Zielgruppen und an eine jeweils anders geartete Professionalisierung, Professionalität und Professionalisierungsbedürftigkeit rückgekoppelt. Der Artikel zeigt aber auch, dass neben den disparaten Adressatengruppen beider Didaktiken in deren Schnittmenge eine Vielzahl von Angeboten für Studierende zur Förderung von Schlüsselkompetenzen entwickelt wurden und auch weiterhin entwickelt werden (Terkowsky, Frye et al. 2018).

Der Autor des Editorials des Sammelbands resümierte denn auch ‚wohltemperiert‘ und ausgewogen: „Claudius Terkowsky, Silke Frye, Tobias Haertel, Dominik May, Uwe Wilkesmann und Isa Jahnke stellen Technikdidaktik und Ingenieurdidaktik gegenüber, mit dem Ziel einer aktuellen Bestandsaufnahme und einer Klärung bestehender Desiderata im Hochschulbereich“ (Tenberg 2018, S. 11).

#### 4.1.2 Deutsche Ingenieurausbildung und Globalisierung

Hintergrund dieser Journal Publikation war unsere Mitwirkung als assoziierter Partner in einem internationalen Forschungsprojekt mit dem Titel „Innov’ing 2020 – Les ingénieurs et l’innovation: nouveau métiers, nouvelles formations“<sup>4</sup>. Das übergeordnete strategische Ziel des Projekts Innov’ing 2020 bestand darin, mit Hochschulpartnern aus fünf europäischen Ländern (Frankreich, Belgien, Deutschland, Ungarn, Vereinigtes Königreich) und drei Schwellenländern (Algerien, Mongolei, Vietnam) den aus der fortschreitenden industriellen und ökonomischen Transformation resultierenden Anpassungsbedarf der verschiedenen Ingenieurausbildungsmodelle in den beteiligten Ländern zu ermitteln und zu vergleichen. Die als Anschubfinanzierung gedachte Projektförderung mündete zu einem späteren Zeitpunkt in der Beantragung eines größeren internationalen Forschungsnetzwerks im Rahmen des europäischen Förderprogramms Horizon 2020 mit weiteren Partnern. Die empirischen Befunde des Projekts Innov’ing 2020 dienten dabei als Basis für die Antragstellung. Das inhaltliche Ziel des Projekts Innov’ing 2020 bestand deshalb in der Beantwortung der folgenden übergeordneten Forschungsfragen:

1. Inwieweit entspricht die akademische Ingenieurausbildung in den benannten Ländern noch den zukünftigen Kompetenzanforderungen einer globalisierten Wirtschaft und Industrie?
2. Welche Defizite lassen sich hinsichtlich neuer Kompetenzanforderungen identifizieren?
3. Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede lassen sich in den beteiligten Ländern ausmachen?
4. Mit welchen Maßnahmen kann man den identifizierten Defiziten in den beteiligten Ländern wirksam begegnen?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden mehrere methodische Schritte miteinander trianguliert: zunächst wurde eine multinational angelegte Bestandsaufnahme der Ingenieurausbildungsmodelle mittels verschiedener Literatur- und

---

<sup>4</sup> Innov’ing 2020 – Les ingénieurs et l’innovation: nouveau métiers, nouvelles formations“ wurde zwischen Dezember 2014 und Dezember 2016 von der „ANR -Agence Nationale de La Recherche“ in Frankreich mit knapp 60T € finanziert und wurde unter der Leitung des französischen Konsortialführers „ENSTA - Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées Bretagne“<sup>4</sup> in Brest durchgeführt (<https://anr.fr/Projet-ANR-14-CE30-0018>).

Dokumentenanalysen durchgeführt. Dieser ermittelte Zustand der Ingenieurausbildung diene als Grundlage für einen zweiten methodischen Schritt, bei dem durch Felduntersuchungen („enquêtes de terrain“) in Unternehmen und Bildungseinrichtungen der Veränderungsbedarf der Ingenieurausbildung erhoben wurde (siehe Gardelle 2017 und darin unser Beitrag Morace et al. 2017). In einem dritten methodischen Schritt schließlich wurden dann erste Maßnahmen für eine inhaltliche und strukturelle Anpassung der Ingenieurausbildung vor dem Hintergrund von neuen Kompetenzprofilen vorgeschlagen (siehe Lemaître 2018c und darin unser Beitrag Terkowsky, Haertel et al. 2018b.)

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage führten wir für den Kontext der deutschen Ingenieurausbildung eine Literatur- und Dokumentenanalyse durch. Hierzu wurden sowohl wissenschaftliche Publikationen als auch politische Agenden zu Innovationsinitiativen z.B. des VDI (Technologiestandort Deutschland 2020), des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (Die neue High-Tech Strategie) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Industrie 4.0) herangezogen. Die Literatur- und Dokumentenanalyse verfolgte das Ziel, den in Wissenschaft, Fachverbänden und Wirtschaftspolitik geführten Diskurs über die erfolgreiche Vergangenheit und Gegenwart sowie die Zukunftsfähigkeit des „deutschen Modells“ der Ingenieurausbildung herauszuarbeiten und zusammenzufassen. Als Ergebnis dieser Literatur- und Dokumentenanalyse lässt sich festhalten, dass das deutsche Modell der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung, welches im analysierten Material als Garant des vergangenen und gegenwärtigen Erfolgs der deutschen Industrie auf dem Weltmarkt angesehen wird, immer noch einzig auf der Entwicklung von fachlichen Kompetenzen auf sehr hohem Niveau beruht. Die von uns untersuchten Innovationsinitiativen kommen jedoch auch zu dem Schluss, dass ein breit gefächertes Grundlagenwissen und darauf aufbauende spezialisierte technologische Kenntnisse allein nicht mehr ausreichen werden, um auch weiterhin auf dem Weltmarkt bestehen zu können. Vielmehr müssten die „global kompetenten Ingenieure“ (May 2017) der Zukunft auch über fächerübergreifende Kompetenzen wie Führungs- und Sozial- und vor allem interkulturelle Kompetenzen verfügen, denn insbesondere der sich zunehmend internationalisierende Kontext des deutschen Ingenieurwesens erfordere zusätzliche überfachliche Kompetenzen (Morace et al. 2017).

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurde eine „enquêtes de terrain“ in Form einer strukturierenden Inhaltsanalyse der Curricula von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen an 10 technischen Universitäten in Deutschland auf der Basis von 1287 Bachelor-Modulen und 2432 Master-Modulen bzw. deren Modulbeschreibungen durchgeführt. Erhoben wurde dabei, inwieweit die untersuchten Curricula auch Themen wie Globalisierung, Interkulturalität und Transnationalität adressierten. Das Material wurde dazu in einem deduktiven Vorgehen mit den drei Kategorien Globalisierung,

Interkulturalität und Transnationalität codiert. Danach wurden einfache Häufigkeitszählungen der identifizierten Textstellen durchgeführt. Die deduktive Inhaltsanalyse der Felduntersuchung kommt allerdings zu dem ernüchternden Ergebnis, dass solche Zukunftskompetenzen in den Lehrveranstaltungen der ingenieurwissenschaftlichen Curricula bisher gar nicht oder nur randständig behandelt werden – durchschnittlich weniger als 1% des analysierten Datensatzes (Morace et al. 2017).

#### **4.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit**

Für das Verhältnis von Technikdidaktik zu Ingenieurdidaktik lässt sich feststellen, dass beide institutionell unterschiedlich eingebunden sind, erstens als Bestandteil der Lehrerbildung und zweitens im Aufgabenbereich der wissenschaftlich-künstlerischen Einrichtungen an Hochschulen. Damit richten sie ihre Angebote auch an jeweils andere Zielgruppen und sind rückgekoppelt an eine anders geartete Professionalisierung bzw. Professionalisierungsbedürftigkeit (vgl. hierzu inzwischen Tenberg et al. 2019). Bisher fehlt es der Ingenieurdidaktik jenseits der Sammlungen von potenziell modellierbaren Best-Practice-Beispielen (z.B. Isenhardt et al. 2020) an Programmatik.

Mittlerweile zeigt sich an der TU Dortmund ein verändertes Bild: wurde der von „Lehrstuhl für Technik und ihre Didaktik“ in „Ingenieurdidaktik“ umbenannte eigenständige Arbeitszusammenhang innerhalb der Fakultät Maschinenbau anfänglich von einem Mitarbeiter des Zentrums für Hochschulbildung vertreten, der über einen sozialwissenschaftlichen, allgemein hochschuldidaktischen und durch seine Mitarbeit im Projekt ELLI insbesondere über einen fachbezogen ingenieurdidaktischen Hintergrund verfügt, so ist inzwischen eine außerplanmäßige Professur daraus entstanden. Neben der grundständigen Lehramtsausbildung für das Fach Technik wird unter dem Label Ingenieurdidaktik inzwischen auch eine fachbezogene Hochschuldidaktik für die Fakultät Maschinenbau realisiert. Dadurch entstehen nun neue Fragen an der Schnittstelle von allgemeiner und fachbezogener Hochschuldidaktik, z.B. in wie weit dieser durch das ELLI-Projekt durchaus beabsichtigte funktionale Ausdifferenzierungsprozess letztlich zu einer operativen Schließung und damit zu einer Entkopplung der Ingenieurdidaktik von der Hochschuldidaktik führt.

Darüber hinaus agieren sowohl in Deutschland als auch international unter den Labels Ingenieurpädagogik und Technikpädagogik mindestens zwei weitere Akteure in der technischen Hochschulbildung, deren inhaltliche, didaktische und organisatorische Verortungen in unserer Bestandsaufnahme aus Platzgründen nicht berücksichtigt werden konnten. Auch hier ließe sich hochschulforschersich weiter ansetzen.

Was nun die Zukunftsfähigkeit der deutschen Ingenieurausbildung angeht, so wurde von uns herausgearbeitet, dass nach Maßgabe der verschiedenen Innovationsinitiativen es

eine der künftigen Hauptaufgaben der deutschen Ingenieurausbildung sein wird, zwar einerseits das technisch hohe Niveau zu sichern, andererseits aber mehr fachübergreifende Kompetenzen zur Ausbildung von „globalen Ingenieuren“ in die Standardcurricula zu integrieren, um die Zukunft und die Rolle des Industriestandorts Deutschland zu sichern. Für die Gewährleistung dieser Anforderungen wurde weiterer Forschungsbedarf konstatiert und eine engere Zusammenarbeit zwischen Stakeholdern aus Wirtschaft, Politik und Hochschule vorgeschlagen, um sicherzustellen, dass alle Interessen gleichermaßen vertreten werden (Morace et al. 2017).

Unser damaliger Vorschlag zur Beantwortung der vierten Forschungsfrage des Innov'ing 2020 Projekts zu Maßnahmen der Innovationsförderung in der Ingenieurausbildung ist Teil einer weiteren Publikation im Projektkontext (Lemaître 2018a, 2018c) und ist ebenfalls Teil meiner kumulativen Dissertation (siehe Kapitel 6).

Die Kompetenzanforderungen der Industrie 4.0 an die Lehre und die Möglichkeiten eines stärkeren Praxisbezugs wurden zwischenzeitlich in einem von uns herausgegebenen Sammelband unter dem Titel „Hochschullehre & Industrie 4.0: Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven“ (Haertel, Terkowsky, Dany, Heix 2019) vertiefend dargestellt und diskutiert.

## **4.2 TDID revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte**

Es zeigt sich wie erwartet, dass sich mit den durchgeführten Literatur- und Dokumentenanalysen die unterschiedlichen Perspektiven der Stakeholder auf die technische Hochschulbildung einfangen ließen und hierzu die entsprechenden Texte ausgewertet werden konnten. Letztlich fehlt aber die Position derjenigen, die die Forderungen umsetzen müssten: die Lehrenden. Hierzu wäre eine umfassendere empirische Studie nötig, um herauszufinden, in welchem Bedingungsgefüge Ingenieurlehrende arbeiten und welche Voraussetzungen für die Lehre geschaffen werden müssen, um globale Kompetenzorientierung und Praxisbezug besser realisieren zu können.

Schließlich lässt sich noch festhalten, dass die Inhaltsanalyse von Curricula und Modul- und Veranstaltungsbeschreibungen der einbezogenen ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge zwar das Nichtvorhandensein von didaktischen Zielsetzungen zur Vorbereitung der Studierenden auf Internationalisierung und Globalisierung zeigt, dass das aber nicht bedeutet, dass es in der Lehrpraxis nicht doch stattgefunden haben könnte. Es zeigt nur, dass es auf der übergeordneten Ebene der Curriculum-Entwicklung keine Rolle spielt und damit zum Zeitpunkt der Erhebung kein Kriterium in der Akkreditierung und Reakkreditierung von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen darstellte.

## 5 Labordidaktische Forschungen im Fachlabor

Das folgende Kapitel befasst sich mit der labordidaktischen Erforschung des Fachlabors aus drei verschiedenen anwendungs- und kompetenzorientierten Perspektiven: IngLab untersucht den Stand der Förderung von Anwendungsbezug und beruflicher Handlungskompetenz (5.1), KreaLab widmet sich den Potenzialen der Entfaltung von Ingenieur Kreativität im Labor (5.2) und I4.0-Lab untersucht die Potenziale zur Förderung von Kompetenzen für ein Lernen und Arbeiten 4.0 (5.3).

### 5.1 Das Fachlabor in der Ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung (IngLab)

„IngLab - Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung“<sup>5</sup> war eine von der „acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften“<sup>6</sup> in Auftrag gegebene Forschung zur Labordidaktik in den Ingenieurwissenschaften, welche gemeinsam vom Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) und dem Zentrum für Hochschulbildung (zhb) an der Technischen Universität Dortmund beantragt und nach der Bewilligung durch den Projektträger nach mehreren Laufzeitanpassungen zwischen Juli 2012 und September 2016 durchgeführt wurde.

Übergeordnete „Zielstellung“ des IngLab-Projektes war die Generierung von labordidaktischen Erkenntnissen, die der „Verbesserung des anwendungs- und kompetenzorientierten Einsatzes von Laborveranstaltungen in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung“ dienen sollten. Damit sollte ein Beitrag zur Optimierung der Qualifizierung des ingenieurwissenschaftlichen Nachwuchses geleistet werden (Tekkaya et al. 2016) S.19). Durch die Entwicklung von labordidaktischen Erkenntnissen und Instrumenten zur Weiterentwicklung der je eigenen Laborpraxis sollte eine möglichst optimale Ausschöpfung des technischen und didaktischen Potenzials der ingenieurwissenschaftlichen Laborausbildung vor allem in fertigungstechnischen Studiengängen erzielt werden. In der Studie haben wir das folgendermaßen formuliert:

„Trotz der offensichtlichen Relevanz der Laborausbildung für das Ingenieurstudium ist deren wissenschaftliche Durchdringung, besonders im deutschsprachigen Raum, unzureichend. Aspekte wie beispielsweise Struktur und Aufbau, didaktische Konzeption oder auch die vielschichtigen Möglichkeiten der Integration in andere Lehrformate sowie die Einbindung neuer Technologien sind weitestgehend unerschlossen. Des Weiteren zeigen aktuelle Forschungsarbeiten das enorme Potenzial von technologisch und didaktisch erweiterter Laborausbildung. Bei der wissenschaftlichen Betrachtung des Labors als Lehr- und Lerninstrument ist demzufolge grundlegend zu klären, wie das Labor im Rahmen der technischen Bildung

---

<sup>5</sup> <https://www.acatech.de/Projekt/das-labor-in-der-ingenieurwissenschaftlichen-ausbildung/>

<sup>6</sup> <https://www.acatech.de/>

zur adäquaten Nachwuchsförderung beitragen kann. Dazu sind Empfehlungen abzuleiten und didaktisch fundierte Aus- und Weiterbildungskonzepte zu entwickeln“ (Tekkaya et al. 2016, S. 15–16).

Eine detaillierte Begründung lässt sich in der Einleitung der Studie nachlesen (siehe Tekkaya et al. 2016, S. 13–16). Als finales Projektergebnis bzw. Produkt sollte eine größere Publikation im Format „acatech Studie“ entstehen, in der alle relevanten Projektergebnisse dargestellt werden sollten und die als Sammlung von Vorschlägen zur didaktischen Analyse und zum didaktischen Design von Laborlehre dienen sollte. Darauf aufbauend sollte ein labordidaktisches Weiterbildungsangebot in Form von labordidaktischen Workshops für die hochschuldidaktische Weiterbildung und darüberhinausgehend ein LabDid-Wiki als dynamisches Informationssystem für Laborlehrende entwickelt werden, um die Ergebnisse auch über hochschuldidaktische Workshops hinaus in die Breite zu tragen.

### **5.1.1 Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse**

Zentral stand dabei die Ermittlung und Zusammenstellung von labordidaktischen Merkmalen in Abstimmung mit Best-Practice Beispielen und Expert\*inneninput. Auf diese Weise sollte in mehreren Untersuchungsschleifen sukzessive ein Erhebungsinstrument in Form eines Kriterienkatalogs als Analyseraster abgeleitet, herausdestilliert und im Forschungsprozess optimiert werden, um den Einsatz des Labors in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung didaktisch analysieren und Potentiale zur Verbesserung identifizieren und nutzen zu können. Hierzu wurden verschiedene Literatur- und Dokumentenanalysen, teilnehmende Beobachtungen, Expert\*inneninterviews und inhaltsanalytische Datenauswertungen zu einem übergeordneten Forschungsdesign trianguliert und im Team bearbeitet. Diese multiple Triangulation führte dabei zu folgenden methodischen Hauptarbeitsschritten:

- International ausgerichtete Literatur- und Dokumentenrecherche zur Identifikation, Sichtung und Auswahl relevanter Theorien und Konzepte im Themenfeld Labordidaktik;
- Induktive qualitative Inhaltsanalyse der als relevant ausgewählten Literatur mit dem Ziel der Entwicklung eines Kategoriensystems bzw. Analyserasters (im Projekt Merkmalkatalog oder Kriterienkatalog genannt) zur Untersuchung der ingenieurwissenschaftlichen Laborausbildung;
- Internet-Recherchen zur Ermittlung von hochschulischen Laborangeboten und dazugehörigen, einschlägigen Labormaterialien wie Modulbeschreibungen, Laborskripten, Anleitungen, Aufgabenblätter usw. aus der Laborausbildung der Produktions- bzw. Fertigungstechnik, die mit dem erstellten Kategoriensystem bzw. Analyseraster untersucht werden sollten;

- Vorauswahl der recherchierten und gesichteten Labormaterialien hinsichtlich ihrer Auswertbarkeit mittels des erstellten Kategoriensystems bzw. Analyserasters;
- Strukturierende qualitative Inhaltsanalyse der Labormaterialien von 40 ausgewählten Laboren mittels Analyseraster, deduktive und zusammenfassende inhaltsanalytische Auswertung; Verfassen von dezidierten Labor-Steckbriefen auf Basis der Auswertung;
- Selektives Sampling zur Identifikation von 15 Best-Practice Beispielen auf Basis der in den Labor-Steckbriefen dargestellten Auswertung;
- Teilnehmende Beobachtung in den als Best-Practice Beispiel identifizierten Laborveranstaltungen; deduktive Erhebung mittels eines ebenfalls Kategorie-basierten strukturierenden Beobachtungsbogens auf Basis einer Überarbeitung des Analyserasters;
- Strukturierende Inhaltsanalyse zur Auswertung der Beobachtungsbögen; quantitative Auswertungen der Kategorien-Häufigkeiten und Ausprägungsstufen; Interpretation der Ergebnisse.

Flankierend zur Validierung und Anreicherung des methodischen Vorgehens und der Ergebnisse:

- Leitfadengestützte Expert\*inneninterviews;
- Leitfadengestützte Gruppendiskussionen, einmal als Teil einer Special Session platziert auf einer internationalen Engineering Education Konferenz, einmal als Teil eines Workshops auf einer in Dortmund veranstalteten Tagung von hochschuldidaktischen Praktiker\*innen.

Alle Auswertungen flossen sukzessive in die Kategorien-entwickelnde (induktive) Modellierung von Labordidaktik einerseits und in die Kategorien-basierte (deduktive) Analyse des Lehrens und Lernens in Laboren andererseits ein und bildeten die Basis für alle in der Studie dargestellten theoretischen Modelle, Konzepte, Analysen und Produkte. Hierzu zählten insbesondere folgende Produkte:

- Entwicklung eines **Kriterienkatalogs der Laborausbildung**;
- Formulierung von **Gestaltungsempfehlungen für die ingenieurwissenschaftliche Laborausbildung** unter Einbeziehung zukünftiger Entwicklungen;
- Entwicklung von **Checklisten zur didaktischen Analyse und Gestaltung** der Laborveranstaltungen auf Basis des Constructive Alignment;
- Entwicklung von **labordidaktischen Workshops** für die hochschuldidaktische Weiterbildung;
- Aufsetzen eines **LabDid-Wikis** als weiterführendes Informationssystem für Laborlehrende.

Mit diesen Arbeitsinhalten und Produkten sollte die Verbesserung von bestehenden, sowie die Entwicklung von neuen Laborveranstaltungen, Laborexperimenten und labordidaktischen Vorgehensweisen in der Ingenieurausbildung nachhaltig gefördert werden und in einer Art Weißbuch als Sammlung von Vorschlägen zur theoretischen Fundierung sowie zum labordidaktisch-analytischen und gestalterischen Vorgehen dargestellt werden. Die hierzu geplanten und aufeinander aufbauenden Arbeitsschritte und die damit erzielten Ergebnisse werden im Folgenden noch einmal detaillierter vorgestellt und nachgezeichnet. Detaillierter deshalb, weil in der Rückschau andere methodische Aspekte des „Labordidaktik *in the making*“ aufgezeigt werden können, für die uns während der Durchführung der Studie die Zeit oder auch der Blick fehlte.

#### 5.1.1.1 Entwicklung eines Kriterienkatalogs zur Analyse der Laborausbildung

Ausgangspunkt war zunächst die Frage, wie sich Labore charakterisieren und unterscheiden lassen, um wissenschaftlich begründete Aussagen über ihre Qualität hinsichtlich der Verfolgung von übergeordneten didaktischen Zielsetzungen wie Praxisbezug, Kompetenzerwerb und Beschäftigungsfähigkeit („Employability“) treffen zu können. Hierzu wollten wir Systematiken wie labortypische Lernziele (Learning Objectives) bzw. beabsichtigte Lernergebnisse (Intended Learning Outcomes), Lernzieltaxonomien und Kompetenzraster aufspüren, analysieren und in ein neues übergeordnetes Modell integrieren.

Annahme war hierbei, dass durch das künftig von Lehrenden zu erarbeitende didaktische Design die charakteristischen Merkmale bzw. Kriterien gezielt gefördert werden können, bspw. durch

1. Bestimmen und Ausgestalten der zu verfolgenden kompetenzorientierten Lernziele bzw. beabsichtigten Lernergebnisse;
2. Einbinden angemessener praxisnaher und berufsweltrelevanter Lehrlernszenarien, -methoden und -aktivitäten; und
3. Integrieren von geeignetem Equipment zum Experimentieren.

In einem ersten Schritt erfolgte deshalb eine umfassende international ausgerichtete Literatur- und Dokumentenanalyse zur Ermittlung von Kriterien, mit denen sich Laborveranstaltungen didaktisch differenzieren und beurteilen lassen.

#### 5.1.1.2 Durchführung der Literatur- und Dokumentenanalyse

Zunächst wurde eine Literatur- und Dokumentenrecherche mit der frei verfügbaren Software Publish or Perish<sup>7</sup> durchgeführt, um eine möglichst systematische, weltweite Suche gewährleisten zu können. Publish or Perish ist ein Computerprogramm, welches akademische Zitationen in Datenbanken recherchiert, diese rein quantitativ hinsichtlich

---

<sup>7</sup> Siehe: <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>

einschlägiger bibliometrischer Daten auswertet, insbesondere der Zitierhäufigkeit, und graphisch in Listen darstellt. Es verwendet als Datenquelle hauptsächlich die akademische Suchmaschine Google Scholar<sup>8</sup>, stellt aber weiterführende Möglichkeiten der Datenauswertung zur Verfügung, die Google Scholar selbst nicht anbietet. So lassen sich die mit Publish or Perish gewonnenen Daten in ein Tabellenkalkulationsprogramm exportieren, um dort weitere Berechnungen anstellen zu können, die mit Google Scholar selber nicht so ohne Weiteres oder gar nicht möglich sind.

Publish or Perish zeigt zu einer Suchanfrage bis zu 1000 Treffer an und listet sie in einer Reihenfolge von den meistzitierten bis zu den am wenigstens bis gar nicht zitierten Publikationen zu einer mit Suchoperatoren zu definierenden Abfrage. Danach besteht die Möglichkeit, alle Treffer nacheinander durchzugehen und alle diejenigen, die mehrfach genannt werden, oder die vom angezeigten Publikationstitel her nichts mit dem recherchierten Thema zu tun haben, per Mausklick aus der Abfrage herauszunehmen. In unserem Fall blieben bei der auf diese Weise bereinigten Suchabfrage zunächst 822 Treffer übrig, die wir danach in ein Tabellenkalkulationsprogramm exportierten, um sie dort mit einer „Pareto-Analyse“ (Russell-Walling 2011) hinsichtlich ihres Impacts für das Thema weiter zu priorisieren. Das zugrundeliegende Pareto-Prinzip besagt, dass etwa 80% der Auswirkungen durch etwa 20% der Einflussgrößen bedingt sind. Übertragen auf Publikationshäufigkeiten bedeutet das, dass ca. 80 % aller Zitationen und damit der größte Einfluss auf die Entwicklung eines thematischen Feldes von den ersten 20% der meistzitierten Publikationen erzeugt werden. Lässigler formuliert: 20% der Publikationen erzeugen 80% der Zitationen zu einer thematischen Suchabfrage. Uns interessierte also, die 20% der am häufigsten zitierten Publikationen in unserem Sample zu identifizieren, die ca. 80% des Impacts auf das Themenfeld der Laborlehre ausmachen würden. Hierzu wurden in einem ersten Schritt alle 822 Werke von dem meistzitierten bis zum am wenigsten zitierten in eine Rangfolge gebracht. Danach wurde die Summe aller Zitationen gebildet. In unserem Fall erzeugten die 822 Treffer am Stichtag der Abfrage insgesamt 18107 Zitationen. 80% davon entsprechen 14485,6 Zitationen. In einem weiteren Schritt werden nun die Zitierhäufigkeiten von Rangplatz eins beginnend so lange kumuliert, bis diese 14485,6 Zitationen erreicht sind. Leicht abgerundete und kumulierte 14480 Zitationen wurden mit der Addition der Zitationen der Publikationen von Rangplatz 1 bis zu Rangplatz 165 erreicht. Gemäß des Paretoprinzips erzeugen somit die ersten 165 Rangplätze der Publikationen ca. 80% der Auswirkungen auf das Themenfeld Labordidaktik. Auch die Gegenrechnung bestätigt hier die Grundannahme der 80/20-Regel des Paretoprinzips, denn diese 165 Publikationen entsprechen ungefähr 20% aller eingeflossenen Suchtreffer. 100% würden hiernach mit 830 Publikationen erreicht. Wir hatten 822 Treffer einbezogen.

---

<sup>8</sup> Siehe: <https://scholar.google.de/>

Allerdings war diese rein technische Analyse zu fehlerbehaftet in ihrer Trefferanzeige, denn einige durchaus als einschlägig zu erachtenden englischsprachigen Werke, die uns schon bekannt waren oder mit denen wir schon gearbeitet hatten, wurden gar nicht angezeigt. Andererseits wurden Treffer angezeigt, die vom Titel her thematisch nicht einschlägig waren. Letztlich wurden 43 der 165 Publikationen gemäß Titel und manchmal auch anhand der online verfügbaren Abstracts für die intensivere Sichtung ausgewählt. Darüber hinaus fehlten die deutschsprachigen Publikationen, da sie in Ermangelung einer digitalen Aufbereitung weder mit englischen noch mit deutschen Suchbegriffen gefunden wurden. Schließlich erweiterten wir die mittels Publish or Perish ausgewählten 43 Treffer um weitere 49 deutsch- und englischsprachige Publikationen, sodass wir schließlich 92 Dokumente und wissenschaftliche Publikationen einerseits mit der Pareto-Analyse, aber andererseits auch nach Verfügbarkeit, Relevanz, Einschlägigkeit, Vertrautheit, persönlicher Neugier und Interesse als für unsere Zwecke brauchbar ausgewählt hatten.

Ma und Nickerson haben mittels einer bibliometrischen Suchabfrage in drei einschlägigen elektronischen Datenbanken (ACM, IEEE und ScienceDirect) aus mehr als 1000 Treffern jeweils 20 Publikationen zu Realen Laboren, Remote-Laboren und virtuellen Laboren als für ihre Zwecke auswertbar herausgefiltert und dienten uns durchaus als methodisches Vorbild. Sie reflektieren ihr methodisches Vorgehen in folgender Weise:

„There are many high-quality, relevant articles that we did not find through this process; the articles in our list should be regarded as representative of the work written on the topic, but not in any sense as a ranking” (Ma und Nickerson 2006, S. 3).

Ma und Nickerson haben ihr Sample somit nicht nachträglich angereichert. Es war also zunächst ein sehr systematisches aber gerade dadurch fehlerbehaftetes bibliometrisches Vorgehen, dessen Schwächen durch Intuition und Erfahrung in der herkömmlichen Literaturrecherche und Relevanzprüfung kompensiert werden konnten, so dass wir uns am Ende einigermaßen sicher sein konnten, zwar nicht jede existente relevante Literatur einbezogen zu haben, aber doch einen angemessenen Ausschnitt des Untersuchungsfeldes abdecken konnten, mit dem sich in der Folge sinnvoll weiterarbeiten lassen sollte.

Auf Basis dieser Literatur- und Dokumentenrecherche wurde mittels einer induktiven kategorienentwickelnden qualitativen Inhaltsanalyse ein Merkmal- oder Kriterienkatalog als Analyseraster erarbeitet, welches forschungsmethodisch als labordidaktisches Differenzierungs- und Beurteilungsinstrument sowie für die Modellierung laborspezifischer Kompetenzen dienen sollte.

### 5.1.1.3 Ergebnis der Literatur- und Dokumentenanalyse

Letztlich ist aus der kategorienentwickelnden Literatur- und Dokumentenanalyse ein erstes Modell zur Kriterienanalyse von Laborveranstaltungen mit zehn Dimensionen zur

Analyse der Labormaterialien entstanden. Die zehn Dimensionen stellen sich wie folgt dar:

1. organisatorische Eckdaten gemäß Modul- und Veranstaltungsbeschreibungen;
2. allgemeine Zielsetzungen gemäß Modul- und Veranstaltungsbeschreibungen;
3. technologischer Charakter nach Tekkaya et al. (2016, S. 36–37); mittlerweile überarbeitet von Terkowsky, May, Frye (2020, S. 27–29);
4. Labortyp nach Bruchmüller und Haug (2001) mittlerweile erweitert von Terkowsky, May, Frye (2020, S. 16–17);
5. didaktisches Szenario nach Tekkaya et al. (2016, S. 35);
6. Kompetenzmerkmale nach Wildt (2006), durch uns erweitert um Fremdsprachenkompetenzen (Tekkaya et al. 2016, S. 27);
7. Laborlernziele nach Feisel und Rosa (2005), durch uns erweitert um jeweils drei Ausprägungsstufen für detailliertere Intensitätsanalysen (Tekkaya et al. 2016, S. 54–56);
8. Verstehens- und Erkenntnisebenen; resultierend aus der SOLO-Taxonomie (Biggs und Tang 2011);
9. Offenheit der Aufgabenstellung und Selbstständigkeit der Bearbeitung (Sunal et al. 2008); mittlerweile überarbeitet von Terkowsky, May, Frye (2020, S. 25–27);
10. Typologie von Aufgaben nach deren Problemstellungen (Dörner 1987).

Eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Dimensionen befindet sich in der acatech-Studie (Tekkaya et al. 2016, S. 23–29). Der Kriterienkatalog bildete die Basis für alle weiteren Analysen. Eine erste Version des Kriterienkatalogs diente zur Untersuchung der Labormaterialien und zum Verfassen von Laborsteckbriefen zur weiteren Beurteilung und Auswahl der Labore. Hierzu wurde aus den 10 Dimensionen ein erstes Codier-Schema entwickelt, um damit die Labormaterialien in erster Linie deduktiv mittels strukturierender Inhaltsanalyse (Mayring 2015) hinsichtlich der angesprochenen Merkmale (1), der Merkmalshäufigkeiten (2) und teilweise auch der Merkmalsausprägungen einzuschätzen und charakterisieren zu können (Tekkaya et al. 2016, S. 45–52).

Eine zweite, überarbeitete Version des Kriterienkatalogs diente zum Aufbau des LabWikis und als Grundlage für die teilnehmende Beobachtung in den Laboren mit Best-Practice Charakter.

#### 5.1.1.4 Erhebung und Auswahl bestehender Angebote in der Produktionstechnik

Im nächsten Schritt erfolgte die Ermittlung bestehender Laborangebote aus der Produktionstechnik (Fertigungstechnik, Energietechnik, Verfahrenstechnik) und eng verwandter Gebiete, wie z.B. Maschinenteknik, Automatisierungstechnik, Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik, Werkstofftechnik, Fahrzeugtechnik und Mechatronik,

wobei auch Einrichtungen aus der Schweiz und aus Österreich ergänzend einbezogen wurden. Die zu diesem Zweck durchgeführte erste Akquise-Welle umfasste eine reine Internet-Recherche von verfügbaren Online-Informationen zu einschlägigen Laborveranstaltungen. Diese Art des Feldzugangs zeigte jedoch nur geringen Erfolg, da sich entgegen unserer Ausgangshypothese zeigte, dass längst nicht alle Labormaterialien hochschul-, instituts- bzw. lehrstuhlextern außerhalb der jeweiligen lokalen Netzwerke online frei verfügbar waren. Darüber hinaus waren viele der online frei verfügbaren Materialien für unsere Zwecke nicht umfangreich genug ausgestaltet und damit für eine Kriterien-geleitete Analyse nicht brauchbar, so dass in einer zweiten Akquise-Welle die zuständigen Laborverantwortlichen der entsprechenden Hochschulen direkt per Email angeschrieben oder jeweils telefonisch kontaktiert werden mussten. Hierdurch entstand zwar ein beträchtlicher Mehraufwand, aber durch dieses Kontaktieren der Expert\*innen vor Ort für die jeweiligen Laborveranstaltungsformate, welches teilweise die Form von Expert\*innengesprächen annahm, konnten sowohl detaillierte Laborunterlagen als auch weitere inhaltliche Gesichtspunkte (bspw. die Integration von Laboren/Experimenten in weitere Veranstaltungsformate) in die Untersuchung einfließen. Insgesamt wurden in den zwei Akquise-Wellen 329 Organisationseinheiten wie Lehrstühle, Professuren, Institute, Fachgebiete, Fachbereiche usw. an Universitäten und Hochschulen identifiziert und im Rahmen der Erhebung wegen ihrer Laborunterlagen angefragt, oder deren öffentlich zugängliche Unterlagen mit ihrem Einverständnis in die Laboranalyse einbezogen. Am Ende der Akquise lagen von 88 Beteiligten auswertbare Unterlagen vor, was einer Gesamtrücklaufquote von 26,7% entsprach. Zielsetzung laut Antrag waren 40 Labore, von denen dann 15 als Best-Practice-Beispiele ausgewählt werden sollten, so dass das Ziel durch die zugrundeliegende Stichprobe weit übertroffen werden konnte.

Für die Produktions- bzw. die Fertigungstechnik in der Bundesrepublik Deutschland, auf die der Schwerpunkt des Projekts sukzessive gelegt wurde (hinzu kamen noch jeweils eine Universität aus Österreich und der Schweiz mit insgesamt drei Instituten und vier Laboren), wurden somit die Daten von 62 prinzipiell auswertbaren Laborveranstaltungen einbezogen. Tabelle 1 zeigt die Verteilung auf Universitäten und Hochschulen in der Produktionstechnik, wobei insbesondere die Labore der Mitglieder der „Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik“ (WGP<sup>9</sup>) und der teilweise überlappenden „Arbeitsgemeinschaft Umformtechnik“ (AGU<sup>10</sup>) berücksichtigt wurden, da insbesondere der Projektleiter Mitglied beider Organisationen ist.

Da wir uns innerhalb der Produktionstechnik insbesondere für die Fertigungstechnik interessierten, fokussierten wir uns in der Folge bei der weiteren Vorauswahl

---

<sup>9</sup> Siehe: <https://wgp.de/de/>

<sup>10</sup> Siehe <http://www.umformen.de/index.php/de/>

ausschließlich auf Labore der Fertigungsverfahren Urformen, Umformen, Fügen und Trennen sowie ergänzend auf Labore aus der Fertigungsautomatisierung, um auch neuere Entwicklungen der Digitalisierung und Automatisierung abdecken zu können. Somit wurden aus den 62 prinzipiell auswertbaren Laboren letztlich 42 Labore von 14 Hochschulstandorten ausgewählt, die dann mittels einer ersten Version des Kriterienkatalogs kodiert und jeweils in einem standardisierten Laboreinschätzungsbogen dargestellt wurden.

**Tabelle 1: Laborangebote in der Produktionstechnik**

Produktionstechnik	Einrichtungen	Institute od. FB	Labore
Universitäten (D)	21*	29**	45
Hochschulen (D)	2	5	13
Uni (A und CH)	2	3	4
<b>Gesamt</b>	25	37	62

\* 7 WGP / 6 AGU, \*\* 10 WGP / 6 AGU

Anhang 1 beinhaltet eine Aufstellung aller 42 fertigungstechnischen Laborveranstaltungen, deren Dokumentationen im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse detailliert beurteilt wurden. Zur umfassenden Beschreibung des methodischen Vorgehens vgl. die Ausführungen in der acatech-Studie (Tekkaya et al. 2016, S. 23-29 und S. 73-79).

#### 5.1.1.5 Teilnehmende Beobachtung der Best-Practice-Beispiele

Ausgehend von den 42 Laboreinschätzungen wurden im Sinne der Fragestellung 18 als vielversprechend erachtete Laborveranstaltungen aus dem Bereich der Fertigungstechnik identifiziert (siehe Anhang 2). Es wurden dabei zehn Labore aus dem Bereich Umformen, zwei aus dem Bereich Fügen, eines aus dem Bereich Trennen und fünf Labore aus der Fertigungsautomatisierung ausgewählt und anschließend teilnehmend beobachtet. Hierzu wurde unter Berücksichtigung der vorangegangenen literaturbasierten Kriterienanalyse eine weiterentwickelte Version des Kriterienkatalogs basierend auf acht Hauptkategorien als Beobachtungsleitfaden erstellt (Tekkaya et al. 2016, S. 57–60). Anhand des Bogens können die Eckdaten der besuchten Labore sowie die wichtigsten Beobachtungen in erster Linie deduktiv vorstrukturiert festgehalten und ausgewertet werden. Der Beobachtungsbogen gliedert sich in acht Abschnitte:

1. Eckpunkte zum Labor
  - a. Labortyp (Grundlagenlabor, Entwicklungslabor, Forschungslabor) und
  - b. curriculare Einbettung (alleinstehend, Übung zur Vorlesung);

2. Selbständigkeit und Offenheit der Bearbeitung: der Grad der Lernenden-Zentrierung sowie die Rolle der Lehrenden im Labor werden analysiert;
3. Ressourcen: hier können die zur Verfügung stehenden und für einen Laborversuch verwendeten Ressourcen angegeben werden;
4. Lehrverfahren: hier wird eingetragen, welches Lehrverfahren Anwendung findet (Aufgabenorientierung, Problembasiertes Lernen, Projektorientiertes Lernen oder Forschendes Lernen);
5. Phaseneinteilung, Inhalte, Sozialformen, Lernziele: dieser Abschnitt bildet das Herzstück des Beobachtungsbogens; in einer Tabelle kann das Labor in einzelne Phasen unterteilt werden; die pro Phase aufgewandte Zeit, die jeweiligen Inhalte, die Art der Sozialform sowie weitere Beobachtungen können notiert werden; zuletzt können die adressierten Lernziele in ihren Ausprägungen anhand des zuvor entwickelten Codierleitfadens strukturiert festgehalten werden. Die Tabelle bietet zudem Platz für alle weiteren Beobachtungen innerhalb der einzelnen Phasen des Labors;
6. Erkenntnisebenen: Entlang der SOLO-Taxonomie wird geprüft, welche Erkenntnisebenen im Labor angesprochen werden;
7. Problemtypen: Es wird ermittelt, welche Problemstellungen die Studierenden lösen sollen. In einem Labor können für unterschiedliche Aufgaben auch unterschiedliche Arten von Problemstellungen gegeben werden;
8. Einsatz des Computers: Die Art des Labors sowie die Art der für die Durchführung eingesetzten IKT kann hier festgehalten werden.

Eine detaillierte Darstellung des entwickelten Beobachtungsbogens und eine erste aus Zeitgründen eher deskriptiv angelegte Diskussion der dargestellten Ergebnisse befinden sich in der acatech-Studie im Kapitel 8 auf den Seiten 81-113. Allerdings fehlt eine kritische Interpretation bzw. Einordnung der dargestellten Ergebnisse, die hier deshalb zumindest exemplarisch in einigen von mir als wesentlich erachteten Punkten erfolgen soll.

#### 5.1.1.6 Kritische Einordnung der Ergebnisse

Geht man davon aus, dass Anwendungs- bzw. Praxisbezug, professionelle Handlungskompetenz und Employability (Wolter und Banscheraus 2012) im Zusammenhang stehen mit der Befähigung zum kreativen, selbstorganisierten, verantwortungsvollen Handeln im Kontext der Lösung von fachwissenschaftlichen bzw. berufsweltlichen Problemstellungen (Erpenbeck und Sauter 2016), so ergibt sich aus den

Untersuchungen mit den verschiedenen eingesetzten Taxonomien und Stufenmodellen folgendes Bild:

- Bezogen auf die drei Labortypen nach Bruchmüller und Haug (2001) (siehe Tekkaya et al. 2016, S. 81) und der verwendeten Klassifikation zur Definition der didaktischen Organisation (a.a.O., S. 87-88) lässt sich erkennen, dass in erster Linie Grundlagen- und Entwicklungslabore, aber kaum bzw. keine Forschungslabore und kein projektorientiertes, forschendes Lernen in den untersuchten Curricula bzw. den dazugehörigen Laboren umgesetzt wurden.
- Bezogen auf die zunehmende Studierendenzentrierung mit zunehmender Komplexität der Erfahrung nach Sunal et al. (2008) lässt sich zeigen, dass eben keine höhere Selbstorganisations- und Kreativitätserwartung an die Studierenden herangetragen wird. Stattdessen steht das Abarbeiten von festgelegten Bearbeitungsschritten im Vordergrund. Versuche werden nicht eigentlich von den Studierenden eigenständig geplant, sondern es werden durch die Skripten bereits vorgeschriebene Abläufe nachvollziehend umgesetzt (Tekkaya et al. 2016, S. 88–89). Dabei ist „Planung“ ein explizites Kompetenzziel der „ASIIN“ unter der Kategorie Untersuchen und Bewerten (ASIIN 2011).
- Bezogen auf die SOLO-Taxonomie nach Biggs und Tang (2011) lässt sich zeigen, dass insbesondere die höchste Taxonomiestufe „Extended Abstract“ nicht erreicht wird und damit auch keine theoriebildende Abstraktion, keine Einordnung in das Bigger Picture des Fachs, keine historischen, vergleichenden Einordnungen, kein Transfer der erzielten Ergebnisse in andere Kontexte der akademischen wie industriellen Praxis stattfinden. Dabei eignet sich das Labor wegen seines besonderen Potenzials des handlungsorientierten Lernens dazu, oberflächliches Lernen („Surface Learning“) zu vermeiden (Tekkaya et al. 2016, S. 91–92).
- Bezogen auf die Problemtypen nach Dörner (1987) lässt sich zeigen, dass keine komplexen Problemstellungen zur Lösung gestellt werden, sondern Probleme nur darin bestehen, die erwarteten Ergebnisse (Beweis der Theorie) tatsächlich zu erzielen oder einfache Anwendungsprobleme zu lösen (Tekkaya et al. 2016, S. 90–91).
- Bezogen auf die 13 grundlegenden Lernziele des ingenieurwissenschaftlichen Labors nach Feisel und Rosa (2005), die von uns für jedes der 13 Lernziele um drei Ausprägungsstufen erweitert wurden und erst die dritte Stufe tatsächlich sowas wie Selbstorganisation und letztlich Selbsttätigkeit, Selbstständigkeit in den Lernprozessen definiert, zeigt sich ebenfalls, dass diese dritte Ausprägungsstufe in erster Linie bei der eigentlichen Versuchsdurchführung adressiert wird. Alle anderen Laborphasen (Einleitung, Orientierung, Versuchsvorbereitung und Interpretation/Analyse) fallen wieder mehr oder weniger hinter diese dritte Stufe der Merkmalsausprägung zurück. Allerdings

muss hier einschränkend angemerkt werden, dass sich die analysierten Codes ausschließlich auf die teilnehmende Beobachtung im Labor selber beziehen. Weitere Vor- und Nachbereitungsphasen, die außerhalb der eigentlichen Laborzeit lagen, konnten aus organisatorischen Gründen nicht untersucht werden. Aber es ist aus vergleichbaren Projekten anzunehmen, dass zumindest die Anfertigung des Laborberichts und die Präsentation der Ergebnisse, z.B. in einem angeschlossenen Kolloquium, eine selbständige und selbstorganisierte Bearbeitung im Team erfordert und sich dementsprechend anspruchsvoll gestaltet.

- Die deduktive Auswertung aller erzeugten Codes in Form einer Subsummierung unter die fünf Kategorien des verwendeten Modells für professionelle Handlungskompetenz (Fach-, Methoden-, Sozial-, Selbstkompetenzen, ergänzt um Fremdsprachenkompetenzen) zeigt schließlich, dass in den beobachteten Laboren die Vermittlung von Fachwissen noch vor den methodischen Fertigkeiten höchste Priorität genießt (Tekkaya et al. 2016, S. 92–93).

Es zeigt sich, dass diejenigen Stufen der zur Untersuchung herangezogenen verschiedenen Taxonomien und Stufenmodelle, die einen höheren Grad an sozialer und individueller Selbstorganisation, Kreativität und Problemlösekompetenz erfordern, in der Laborlehre nur unzureichend bzw. marginal oder gar nicht adressiert werden.

Vielmehr stehen insbesondere in den Bachelor-Studiengängen stark bis mittel angeleitete, aufgabenbasierte, theorieverifizierende Grundlagenlabore im Vordergrund. Damit handelt es sich zumindest bei den BA-Laboren im Wesentlichen um „Confirmation-Labs“ (Sunal et al. 2008), die allenfalls die in der Vorlesung gelesene und gehörte Theorie aus der Perspektive der nachvollziehenden praktischen Anwendung vertiefen („Erst die Theorie, dann die Praxis“). Studierende können so zwar die ersten Schritte des wissenschaftlichen Experimentierens erfahren und dessen methodische Grundlagen erleben und möglicherweise auch erlernen, aber das zumindest in der Hochschuldidaktik vielbeschworene forschende Lernen im Projektformat zur Generierung weiterer überfachlicher industrienaher Kompetenzen (May 2017) findet gar nicht oder nur unzureichend statt. Studierende werden allenfalls mit dem ersten Schritt in Form eines Theorie-nachvollziehenden Experimentierens konfrontiert, aber nicht damit, die Wechselbeziehung zwischen Theorie und Empirie zu erfahren (Induktion und Deduktion) und sie in einen beruflichen Kontext zu stellen.

Aus der Perspektive des „Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen (DQR)“ (Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen 2011) stehen die Fachkompetenzen (Wissen und Fertigkeiten) im Vordergrund, von den personalen Kompetenzen (Sozialkompetenz und Selbstständigkeit) werden allenfalls die

Sozialkompetenzen ansatzweise durch die Gruppenarbeitsform adressiert; Selbständigkeit wird hingegen nur randständig bis gar nicht gefördert.

Aus der Perspektive des Europäischen Qualifikationsrahmens EQR (Europäische Kommission 2018) werden gar keine Kompetenzen generiert, sondern nur „Kenntnisse“ und „Fertigkeiten“, da „Verantwortung und Selbständigkeit“ fehlen. Damit handelt es sich gemäß der Definition des EQR aber nicht um Kompetenzen.

Die Frage bleibt somit, ob die in „Unselbstständigkeit“ und „Verantwortungslosigkeit“ verharrenden Fachkompetenzen überhaupt Kompetenzen sind, und nicht einfach nur Fachwissen, Methodenwissen und Fertigkeiten, wenn ihnen die Dimensionen Selbständigkeit und Verantwortungsübernahme bzw. Sozialkompetenzen fehlen. Oder zugespitzt formuliert: professionelle Handlungskompetenz entsteht überhaupt erst durch das gleichberechtigte Zusammenwirken von Fachkompetenzen und Schlüsselkompetenzen (Schaeper und Wolter 2008). Die absichtsvolle und reflektierte Förderung von Selbständigkeit und Teamwork im engeren Sinne, bzw. von professioneller Handlungskompetenz im übergeordneten Sinne, steht somit nicht im Fokus der Laborausbildung. Die Förderung von Beschäftigungsfähigkeit („Employability“) für einen möglichst friktionslosen Übergang von der akademischen (Aus)Bildungswelt in eine konkrete Anforderungssituation aus der Arbeitswelt der Betriebe und Unternehmen bleibt gänzlich aus. Dabei ist die Erlangung von maximaler Autonomie und Interdependenz in Verbindung mit der Übernahme von Verantwortung vor dem Hintergrund der Akzeptanz von allgemein verabredeten gesellschaftstragenden Werten eng mit dem Konzept „Bildung“ verknüpft.

Bereits im Jahr 2004 schlägt der von uns mit seinem Kompetenzmodell zitierte Minks ein integratives Modell der Vermittlung von Fach- und Schlüsselkompetenzen vor:

„Unter „integrativ“ verstehe ich die ... Erkenntnis, dass der Erwerb von Fach- und Schlüsselqualifikationen nur als Ergebnis eines integrierten Lernprozesses effektiv möglich ist. Kompetenzentwicklung, insbesondere in den so vermissten Schlüsselqualifikationen, aber auch in den bereichsspezifischen Fachkompetenzen, erweist sich, wie unsere Analysen zeigen, am besten in integrativen projektorientierten Studienveranstaltungen. Das bedeutet nicht, dass additive Veranstaltungen zum Erwerb von Schlüsselqualifikationen vergeblich wären. Sie sind es aber dann, wenn das Fachstudium in seiner Ausgestaltung nicht an solches extern vermittelte Wissen anknüpft“ (Minks 2004, S. 39).

Warum also dieses Defizit an Fähigkeiten zur integrierten Adressierung von fachbezogenen und fachübergreifenden Kompetenzen nach wie vor besteht, mag in folgenden Ursachen begründet sein:

- Den Lehrenden fehlt es schlicht an Lehrkompetenz, um ihre Lehre gezielt auf die gelingende Förderung von Praxisbezug, professioneller Handlungskompetenz und Employability ausrichten zu können.

- Es fehlt den Lehrenden die Zeit, die Einsicht und die Motivation, um die notwendigen Lehrkompetenzen entwickeln zu können.
- Sie schrecken vor einem von ihnen antizipierten höheren und damit kostenintensiveren Betreuungsaufwand von umgestalteten Laboren zurück.
- Laborlehre wird an der Universität in erster Linie vom Mittelbau erledigt, dessen Verweildauer eng mit der Laufzeit von Drittmittelprojekten und der eigenen darauf bezogenen Weiterqualifikation verknüpft ist, so dass auch hier die Zeit fehlt, sich über das notwendige Mindestmaß hinaus mit Lehre zu beschäftigen.
- Die ermittelten Einschränkungen der Lernendenzentrierung mögen auch darin begründet sein, dass durch eine unsachgemäße Bedienung der verwendeten Maschinen Gefahren für die Unversehrtheit von Leib und u.U. auch Leben entstehen können.
- Die Maschinen könnten durch falsche Bedienung aber auch Schaden nehmen, was zu erhöhten Ausfallzeiten und Reparaturkosten führen würde, die eingeplant werden müssten.

Hier steckt man im Optimierungsdilemma, denn einerseits verwendet man die Geräte der späteren beruflichen Praxis, was ja durchaus als Lernziel in den Expert\*innenbefragungen auftauchte, aber andererseits ist deren Betrieb riskant und/oder verschleißintensiv, so dass Studierende damit besser nicht selbstorganisiert und kreativ arbeiten sollten.

Eine mögliche Lösung, um diesen Defiziten wirksam begegnen zu können, könnte der Einsatz von Remote-Laboren sein, da sie die nötige Arbeitssicherheit gewährleisten können und andererseits so konfiguriert sind, dass ihr Betrieb nicht zur Selbsterstörung führt. Allerdings werden solche technischen Systeme in der Produktions- und Fertigungstechnik bisher wenig eingesetzt, weil die Umrüstung teuer und aufwändig ist und darüber hinaus eine hinreichend gute technische, didaktische und organisatorische Planung erfordert. Als ein gangbarer Weg würde sich ein Betrieb anbieten, bei dem zunächst die Maschinen real unter hoher Anleitung und Betreuung genutzt werden und dann weitere vertiefende höherwertige Aufgabenstellungen selbstorganisiert von den Studierenden im Remote-Labor umgesetzt werden können. Vermutlich würde ein so gestaltetes Fachlabor aber mehr ECTS benötigen, so dass an anderer Stelle im Studium theoretische Anteile reduziert werden müssten.

#### 5.1.1.7 Expert\*innen-Interviews

Mit dem Ziel der Anreicherung und Validierung der bisher erlangten Ergebnisse und Erkenntnisse wurde flankierend eine umfassende Interviewstudie mit Expert\*innen aus dem Bereich der ingenieurwissenschaftlichen Laborausbildung durchgeführt, die insbesondere darauf abzielte, Informationen über Schwierigkeiten und Herausforderungen zu erhalten, aber auch bisher ungenutzte Potenziale der

ingenieurwissenschaftlichen Laborausbildung zu identifizieren, aus denen sich nach Zusammenführung mit den Ergebnissen aus den weiteren Untersuchungsschritten Gestaltungsempfehlungen für eine verbesserte Laborausbildung ableiten lassen sollten.

Die Auswahl der Expert\*innen sollte hierzu ein möglichst vielseitiges, umfangreiches Bild liefern. Dazu wurden Expert\*innen aus der nationalen und internationalen Engineering Education Community ausgewählt, die für die Organisation bzw. Betreuung von ingenieurwissenschaftlichen Laborveranstaltungen verschiedener Formate zuständig sind. Es wurden insgesamt 68 Expert\*innen zum Labor in der Ingenieurausbildung, zu ihrem eigenen persönlichen Bezug zur Laborausbildung und zu der von ihnen ausgeübten eigenen fachspezifischen Laborlehre befragt. Die Befragungen wurden mit einem Leitfaden strukturiert und waren offen, d.h. es gab keine vorgefertigten Antwortmöglichkeiten. Der vollständige Interviewleitfaden ist in der acatech-Studie auf S. 43 abgedruckt.

Für die Befragungen wurden letztlich drei verschiedene Erhebungsmethoden angewendet: das Einzelinterview, die Gruppendiskussion und die schriftliche Befragung. Alle Transkriptionen und Mitschriften aus den geführten Einzelinterviews und Gruppendiskussionen sowie die Dokumente der schriftlichen Befragungen wurden mittels einer Software zur Daten- und Textanalyse ausgewertet.

Die Auswertung der Interviews zeigte, dass das Labor primär im Praxis- und Anwendungsbezug, in der Berufsvorbereitung und im Kennenlernen von Geräten des späteren Berufslebens, der Unterstützung der theoretischen Lehre durch Förderung eines besseren Verständnisses der Theorie, sowie in der Förderung von Teamwork gesehen wird.

Kontrastiert man die in der acatech-Studie ausführlich diskutierten Ergebnisse der Befragungen (Tekkaya et al. 2016, S. 61–72) mit denen der Materialanalysen und der teilnehmenden Beobachtung in den Laboren, so zeigt sich, dass die tatsächliche Ausgestaltung der beobachteten Labore diese Ziele nur teilweise abbildet, sich teilweise aber auch von der (Selbst-)Einschätzung der Befragten unterscheidet. Pointiert formuliert: die Befragten würden durchaus gerne Praxisbezug, Berufsorientierung usw. fördern. Ihnen fehlt es aber als Hochschullehrende trotz teilweise langjähriger Lehrerfahrung schlicht an den entsprechenden lehrbezogenen professionellen Handlungskompetenzen, um die tatsächlichen Lernziele ihrer Laborlehre analysieren, reflektieren und verändern zu können, damit Praxisbezug und professionelle Handlungskompetenz absichtsvoll geplant und vor allem besser bei den Studierenden gefördert werden können.

### 5.1.1.8 Special Session auf einer internationalen Engineering Education Konferenz

Die Special Session<sup>11</sup> wurde während der EDUCON 2014 – IEEE Global Engineering Education Conference in Istanbul vom 3.-5. April 2014 unter dem Titel „The Laboratory in Modern Engineering Education“ abgehalten. Zwischen den neun thematisch einschlägig ausgesuchten Expert\*innen und dem Publikum von ca. 50 Personen entstand eine teilweise lebhaft Diskussions. Als Fazit aus den Vorträgen und den anschließenden Diskussionen lässt sich festhalten, dass die Nachhaltigkeit des Lernens im Labor aufgrund seines ihm innewohnenden Handlungscharakters („learning by doing engineering“) höher eingeschätzt wird als in anderen Veranstaltungsformaten, die adäquate Beurteilung von Lernergebnissen aber eine Herausforderung bleibt. Schließlich führt die fehlende oder nur sporadische Bereitstellung von ausreichenden Ressourcen für den laufenden Betrieb zu einer Nachhaltigkeitsproblematik von Laborangeboten insgesamt – eine Einschätzung, die sich auch mit den Antworten der Einzelinterviews deckt.

Darüber hinaus zeigte sich, dass neben den Laboren zum wissenschaftlichen Experimentieren in den Ingenieurwissenschaften auch Konstruktionslabore existieren und dass theoretische Modelle über die Laborlehre auch die Konstruktionslehre („engineering design“) im Blick haben müssen.

In der Nachbetrachtung bin Ich an dieser Stelle insbesondere Janusz Zalewski<sup>12</sup>, Professor für Computer Science und Software Engineering an der Florida Gulf Coast University in Fort Myers, Florida, USA für seinen kritisch-konstruktiven Einwurf zu meiner Präsentation zur Rolle des Labors in der Ingenieurausbildung sehr dankbar, der mich bis heute beschäftigt. Er wies auf einen wichtigen Unterschied hin, den wir so aufgrund unserer Betriebsblindheit durch unseren Zugang zu Laboren über die Produktionstechnik/Fertigungstechnik/Umformtechnik bisher gar nicht berücksichtigt hatten: „Claudius, your model is about sciences but we are in engineering. However, the aim of engineering is not science but construction“<sup>13</sup>.

---

<sup>11</sup> Die Special Session gehört zu einer ganzen Reihe von Special Sessions und Special Tracks zum Thema Online Experimentation in Engineering Education:

2011 – WEEF / SEFI Conference Lissabon / Portugal (David Boehringer)

2014 – IEEE Educon Conference Istanbul / Türkei (Claudius Terkowsky, Christian Pleul)

2015 – Expat'15 San Miguel Island / Azores / Portugal (Claudius Terkowsky, David Boehringer)

2015 – WEEF / ICL-IGIP Conference / Dubai / VAE (Dominik May, Claudius Terkowsky)

2017 – REV / New York / USA (Dominik May, Tobias Haertel, u.a.)

2018 – ELLI 2 Gesamttreffen / Dortmund / Deutschland (Claudius Terkowsky)

2019 – Expat'19 Funchal / Madeira / Portugal (David Boehringer, Claudius Terkowsky, Diana Urbano)

<sup>12</sup> Zalewski (<http://cs.fgcu.edu/zalewski/>) war Mitglied der IEEE Arbeitsgruppe um Hamadou Saliah-Hassane (<https://www.teluq.ca/siteweb/univ/saliah.html>) von der Université Teluq in Montreal, Kanada, die einen technischen IEEE-Standard entwickelte, der Methoden zum Speichern und Abrufen von Lernobjekten für Remote Labs definiert (siehe: <http://sites.ieee.org/sagroups-edusc/>).

<sup>13</sup> [erinnerte bzw. mindestens sinngemäße Wiedergabe als wörtliches Zitat]

Auch eine bisher unveröffentlichte „Taxonomy of Technical Knowledge“ von (Feisel o. J.) kommt zu dem Ergebnis, dass das eigentliche Ziel von Engineering das „Design“ sei und dass „Analyse“ auf einer untergeordneten Ebene der Lernzielorganisation allenfalls ein Mittel zur Erreichung dieses Ziels sei.

Zugespitzt wird das Argument des Engineering Design von der CDIO Initiative<sup>14</sup>. Motivation für die CDIO Initiative ist die unter ihren mitwirkenden Institutionen und Personen geteilte Auffassung, dass die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung und die realweltlichen Anforderungen an Ingenieure in den letzten Jahren auseinandergedriftet seien. Das Kürzel CDIO steht für „Conceive, Design, Implement, Operate“ und ist ein weltweit verbreiteter Programmstandard der Ingenieurausbildung, der ursprünglich am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt wurde und der ingenieurwissenschaftlich-technische Grundlagen ausdrücklich in den Kontext von Konzeption, Konstruktion, Implementierung und Betrieb von realen Systemen und Produkten stellt (Crawley et al. 2014). Der CDIO-Ansatz fördert den Erwerb von professioneller Handlungskompetenz (Gleichwertige Berücksichtigung und systemisch-ganzheitliche Integration von Wissen, Fertigkeiten, Sozialkompetenzen und Selbstorganisation) konkret über den Vierschritt Konzeption, Konstruktion, Implementierung und Betrieb, die in den Dienst der Lösung realweltlicher Probleme gestellt werden.

Die Kategorie „Design“ spielt in unserer Stickprobe von 18 Laboren der Fertigungstechnik allerdings eine untergeordnete Rolle. Vielmehr ist es so, dass im kumulierten IngLab bei den kumulierten Häufigkeiten der Lernzielkomponenten in den Laborphasen von allen 18 Laboren sich 51 Codes auf „Experiment“ beziehen und nur 19 Codes auf „Design“. Wir hatten in der Studie „Design“ mit „Entwickeln“ übersetzt. Vermutlich wäre „Entwickeln und Konstruieren“ oder nur „Konstruieren“ für den Maschinenbau treffender gewesen, aber dann hätte die Codierung sehr wahrscheinlich die Häufigkeit „0“ ergeben (Tekkaya et al. 2016, S. 114). Die Überbetonung der Fertigungstechnik in der Auswahl des Samples für die teilnehmende Beobachtung mag ein Grund dafür sein, dass Labore für uns vor allem mit der Perspektive „Experiment“ verknüpft waren, und nur untergeordnet mit der Perspektive „Design“ bzw. „Konstruktion“.

Welche Rolle die Konstruktionslehre (Kurz et al. 2009; Pahl et al. 2007) im ingenieurwissenschaftlichen Studium spielt und in welchem Umfang Konstruktionslabore in der Lehre eingesetzt werden, wäre eine andere Forschungsfrage und kann hier nicht beantwortet werden. Auch eine vertiefende Diskussion des Bedingungsgefüges zwischen Konstruktionslehre und Fertigungstechnik und deren Rollen im Bigger Picture des Fachs Maschinenbau kann hier an dieser Stelle nicht

---

<sup>14</sup> Siehe: <http://www.cdio.org/>

geleistet werden, sondern würde weitere theoretische und empirische Anstrengungen nach sich ziehen. Aber vielleicht muss die Frage auch noch einmal aus einer anderen übergeordneten Perspektive gestellt werden: in welchem Bedingungsgefüge stehen Experimentieren, Konstruieren und Fertigen im Ingenieurwesen und in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen und wie kann dieser Zusammenhang besser in laborbezogene Lehrlernszenarios eingebunden werden?

#### 5.1.1.9 Gestaltungsempfehlungen für die zukünftige Laborausbildung

Anstelle eines umfassenden Resümees erfolgte die wertende Zusammenfassung der einzelnen Teilergebnisse der Studie in Form von 25 Gestaltungsempfehlungen zur Planung, Umsetzung und Reflektion von Laborveranstaltungen in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Dabei wurden sowohl technische, soziale und didaktische, als auch institutionelle Aspekte miteinbezogen und in fachlich, didaktisch und organisatorisch orientierte Gestaltungsempfehlungen unterschieden. Sie zielen letztlich auf die Verbesserung der Laborausbildung durch Erhöhung des Praxisbezugs und der Generierung von professioneller Handlungskompetenz – letztlich von Möglichkeiten zur besseren Förderung von Berufsfähigkeit im Labor durch neue didaktische Formate und durch den Einsatz von technisch erweiterten Laboren. Die Gestaltungsempfehlungen sind in der acatech-Studie in Kapitel 9 ausführlich dargestellt.

Eine weiterführende Forschungsfrage, die nicht zur Zielsetzung des IngLab-Projekts gehörte und deshalb nicht mehr bzw. noch nicht angegangen werden konnte, wäre an dieser Stelle, ob bzw. inwieweit Akteure aus der Fachcommunity der AGU und der WGP diese Gestaltungsempfehlungen tatsächlich wahr- und angenommen haben.

#### 5.1.1.10 Labordidaktisches Weiterbildungsangebot

Für hochschuldidaktische Akteure ist die Weiterbildung und Beratung von Lehrenden Kerngeschäft. Idealerweise basiert die Entwicklung von entsprechenden Angeboten auf den Ergebnissen der eigenen hochschuldidaktischen Hochschulforschung. Für die aus der Hochschuldidaktik stammenden Wissenschaftler\*innen des IngLab-Projektteams war es deshalb ein zentrales Anliegen, die Ergebnisse der labordidaktischen Forschung nach Abschluss des Projekts nicht nur zu publizieren, sondern auch für die einschlägige hochschuldidaktische Weiterbildung fruchtbar zu machen.

Zu diesem Zweck wurde von uns ein labordidaktisches Weiterbildungsangebot auf Basis der für die Erhebungen genutzten Konzepte entwickelt, um unterschiedlichen Zielgruppen die Generierung von adäquaten didaktischen Kompetenzen für die Analyse der je eigenen Praxis der Laborlehre zu ermöglichen und Entscheidungshilfen für deren Gestaltung an die Hand zu geben.

Der geplante Projektverlauf, in dem die Entwicklung der Weiterbildung eigentlich erst im letzten Arbeitspaket vorgesehen war, erfuhr durch einen Telefonanruf im Frühjahr

2012 eine unerwartete positive Umstrukturierung. Das QPL-Projekt SKATING<sup>15</sup> an der „Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft“ war über die Webseite der acatech auf unser Projekt aufmerksam geworden und interessierte sich standhaft für die Durchführung von zwei labordidaktischen Workshops im Rahmen ihres hochschuldidaktischen Weiterbildungsangebots.<sup>16</sup> Hierzu wurden zunächst zwei Workshop-Formate für zwei unterschiedliche Statusgruppen innerhalb der hochschulischen Laborlehre entwickelt und erfolgreich umgesetzt. Das Workshop-Angebot zu Labordidaktik wurde als Arbeitspaket in ELLI 2 erfolgreich weiterentwickelt und umfassend ausgeweitet. Es wird seither verstärkt von Einrichtungen der hochschuldidaktischen Weiterbildung nachgefragt.<sup>17</sup>

#### 5.1.1.11 IngLab-Wiki: Labordidaktisches Informationssystem für Lehrende

Schließlich sollten die Projektergebnisse, also die im Projekt zu entwickelten Anleitungen und Checklisten und insbesondere die als Best Practices identifizierten und analysierten Laborveranstaltungen in einem öffentlich zugänglichen Online-Informationssystem allen Interessierten zur Verfügung gestellt werden, um z.B. Erfolgsfaktoren zu modellieren und für die Überarbeitung oder Neugestaltung von eigenen Laboren gewinnbringend zu nutzen. Das Informationssystem wurde auf Basis eines Wikis realisiert und war zumindest während der Projektlaufzeit über einen Account mit Benutzernamen und Passwort erreichbar. Nach Projektende wurde das IngLab-Wiki abgeschaltet.

### 5.1.2 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Übergeordnete Zielsetzung des IngLab-Projektes war die Generierung von labordidaktischen Forschungsergebnissen, die der „Verbesserung des anwendungs- und kompetenzorientierten Einsatzes von Laborveranstaltungen in der

---

<sup>15</sup> SKATING - Studienreformprozess KARlsruhe zur Transformation des INGenieurstudiums (siehe: <https://www.h-ka.de/zentrum-fuer-lehrinnovation/projekte/projekt-skating>)

<sup>16</sup> Mein dezenter Hinweis darauf, dass mich die Anfrage zwar überaus freue, aber leider zu früh käme, da das diesbezügliche Arbeitspaket erst ganz am Ende des Projekts bearbeitet werden würde und außerdem unsere erst noch zu erzeugenden Forschungsergebnisse qualitätssteigernd einfließen sollten, wurde mit dem offenbar hinreichend anstachelnden Hinweis weggewischt, dass ich als Hochschuldidaktiker doch wohl noch einen Workshop planen und umsetzen könne. Auch mein Hinweis darauf, dass im Bundesland der anfragenden Hochschule ein anderer weit erfahrener Akteur der labordidaktischen Weiterbildung ansässig wäre, als wir es zum Zeitpunkt der Anfrage waren, konnte keinerlei abwimmelnde Wirkung entfalten. Es gelang mir in der Folge schließlich, meinen Maschinenbaukollegen für diese Abweichung vom Arbeitsplan zu interessieren und mit ihm sukzessive das gewünschte Workshop-Angebot zu konzipieren

<sup>17</sup> Alle derzeit von uns durchgeführten Workshops zu Labordidaktik: 2013 HS Karlsruhe (1), HS Karlsruhe (2); 2016: FH Bochum; HS Bonn-Rhein-Sieg; 2017: TU Dortmund (zhb), FH Aachen, AGWW Hessen (Bad Nauheim), HS Mittelhessen (Friedberg), TU Dortmund (ID), TU Dortmund (FK MB), HS Reutlingen, TU Dortmund (IUL), TU Berlin; 2018: FH Zwickau, Karlsruhe Institute of Technology, HS Karlsruhe, FH Bielefeld, HS Emden/Leer, TU Dortmund (zhb); 2019: TU Berlin, BA Sachsen (Leipzig), FH Campus Wien, BA Sachsen (Dresden), TU Dortmund (zhb), TU Dortmund (zhb), HS Karlsruhe; 2020: TU Berlin, Universität Bonn, HTW Dresden (online), hdw-nrw (online), Universität Greifswald (online); 2021: GHD Baden Württemberg (online); FH Münster (online); 2022: tbc.

ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung“ dienen sollten. Damit sollte ein Beitrag zur Optimierung der Qualifizierung des ingenieurwissenschaftlichen Nachwuchses geleistet werden. Als Forschungsdesign wurde hierzu ein multipel triangulierender Ansatz zusammengestellt, der verschiedene Methoden und Daten, sowie Forschenden- und Theorieperspektiven miteinander verwob. Alle Auswertungen der so gewonnenen Daten flossen sukzessive sowohl in die induktive Kategorien-entwickelnde Modellierung von Labordidaktik, als auch in die deduktive Kategorien-basierte Analyse des Lehrens und Lernens in Laboren ein, und bildeten die Basis für alle in der Studie dargestellten theoretischen Modelle, Konzepte, Analysen und weiteren Ergebnisse. Hierzu zählten insbesondere folgende Produkte: Entwicklung eines Kriterienkatalogs der Laborausbildung (1), Kriterien-basierte Analyse der ausgewählten Labore (2), Formulierung von Gestaltungsempfehlungen für die ingenieurwissenschaftliche Laborausbildung unter Einbeziehung zukünftiger Entwicklungen (3), Entwicklung von Checklisten zur didaktischen Analyse und Gestaltung der Laborveranstaltungen auf Basis des Constructive Alignment (4), Entwicklung von labordidaktischen Workshops für die hochschuldidaktische Weiterbildung (5), Aufsetzen eines LabDid-Wiki als weiterführendes Informationssystem für Laborlehrende (6).

Mit diesen Arbeitsinhalten und erzielten Produkten sollte die Verbesserung von bestehenden, und die Entwicklung von neuen Laborveranstaltungen, Laborexperimenten und labordidaktischen Vorgehensweisen in der Ingenieurausbildung nachhaltig gefördert werden und in der Studie als Sammlung von Vorschlägen zur theoretischen Fundierung und zum labordidaktisch-analytischen und gestalterischen Vorgehen dargestellt werden.

Die IngLab-Studie kommt zu dem eigentlich wenig überraschenden Ergebnis, dass die ingenieurwissenschaftliche Laborlehre häufig hinter den Möglichkeiten einer lernförderlichen, praxisorientierten und am Erwerb von professioneller Handlungskompetenz ausgerichteten hochschuldidaktischen, technischen und organisatorischen Ausgestaltung zurückbleibt und diesbezügliche Potenziale ungenutzt bleiben. Es bleibt vielmehr bei grundlagenorientierten, theorie-bestätigenden, (zu) spät im Curriculum angebotenen und gleichwohl stark angeleiteten Laborübungen. Während dabei die fachlichen und methodischen Dimensionen von professioneller Handlungskompetenz hinreichend adressiert scheinen, sind es insbesondere die persönlichkeitsbildenden Aspekte, wie Selbstorganisation und Selbständigkeit, Teamfähigkeit, Übernahme von Verantwortung, Vielperspektivität und Bigger Picture des Fachs, Projektorientierung und Lernen im Modus der Forschung, die nur marginal bis gar nicht adressiert werden.

Bezogen auf den Deutschen Qualifikationsrahmen (DQR) als einer möglichen weiteren Referenz lässt sich sagen, dass die Förderung von personaler Kompetenz (Sozialkompetenz und Selbständigkeit) weniger stark ausgeprägt ist, als die Förderung von Fachkompetenz (Wissen und Fertigkeiten) und hier steht Wissen nochmal vor

Fertigkeiten. Die persönlichkeitsbildende Eigenschaft Selbstständigkeit wird hingegen so gut wie gar nicht gefördert. Professionelle Handlungskompetenz entsteht aber erst durch die integrative Förderung von Fachkompetenzen (Wissen und Fertigkeiten) und personalen Kompetenzen (Sozialkompetenz und Selbständigkeit) bei möglichst gleichwertiger Gewichtung (Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen 2011).

Parallel fanden die Einzel- und Gruppeninterviews mit Expert\*innen für die Entwicklung, Durchführung und Betreuung ingenieurwissenschaftlicher Labore statt. Die Analyse der Interviews zeigte zwar, dass das Labor durchaus im Praxisbezug gesehen wird und in diesem Zusammenhang Aspekte der Berufsvorbereitung, des Sammelns von Erfahrungen, des Umsetzens von Theorie im Anwendungsbezug sowie des Umgangs mit Maschinen und mit Methoden des Experimentierens adressieren. Es zeigte sich aber auch, dass die für die Planung und Umsetzung von Laborveranstaltungen verantwortlichen Akteure die Anforderungen an forschungs- und anwendungsorientierte Laborveranstaltungen entweder gar nicht kennen, oder nur unzureichend ausformulieren, oder die Möglichkeiten fachbezogener und vor allem fachübergreifender didaktischer Gestaltung ungenutzt lassen. Einmal mehr zugespitzt formuliert: ihnen fehlt es an entsprechender Lehrkompetenz, um ihrerseits die Lehrlernsituationen didaktisch, technisch und organisatorisch so zu gestalten, dass als Ergebnis die Studierenden mehr Praxisbezug erleben und professionelle Handlungskompetenz entwickeln konnten. Das heißt nicht, dass die Förderung dieser Kompetenzen nicht trotzdem erfolgt, sei es auf der Ebene von Studienarbeiten, Hilfskrafttätigkeiten und Abschlussarbeiten. Sie findet aber in der Laborlehre des Curriculums nicht bzw. nicht auffindbar statt. Das führt dazu, dass professionelle Handlungskompetenzen nicht in dem Umfang gefördert werden, wie es möglich wäre, wenn man die eingesetzte Labordidaktik stärker auf die Integration der einzelnen Kompetenzdimensionen abzielen würde. Hierzu fehlt es den Lehrenden aber an der entsprechenden professionellen Handlungskompetenz zur Gestaltung ihrer Laborlehre. Systemisch formuliert: aus der forschenden Perspektive, der Ebene des Beobachters dritter Ordnung (wir Forschenden) lässt sich beobachten, dass es den Beobachtern auf der Ebene zweiter Ordnung (Lehrende) an professioneller Handlungskompetenz in Form von Lehrkompetenz zur Förderung von professioneller Handlungskompetenz der Beobachter auf der Ebene erster Ordnung (Studierende) fehlt.

Auf fachlich-methodischer Ebene stellt sich ergänzend noch die Frage, ob es in der Laborlehre der Fertigungstechnik eine Überbetonung der naturwissenschaftlich orientierten Experimente gegenüber den Engineering Design-orientierten Konstruktionslaboren gibt. Oder anders formuliert: wie kann man wissenschaftliches Erkenntnisinteresse mit realweltlicher Gestaltung besser verknüpfen? In welchem Zusammenhang stehen Experimentieren, Konstruieren und Fertigen und wie lässt sich dieser Zusammenhang gezielt für die Laborlehre nutzen, etwa um die Förderung von

Autonomie, Selbstorganisation, Verantwortung und Teamarbeit zur Entwicklung von professioneller Handlungskompetenz besser zu unterstützen?

### **5.1.3 IngLab revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte**

Über das methodische Vorgehen lässt sich mit einigem Abstand im Nachhinein sagen, dass es grundsätzlich möglich ist, auf die vorgeschlagene Weise wissenschaftlich fundierte Aussagen über die didaktische Gestaltung von Lehrlernlaboren zu treffen. Gleichwohl ist bei der Umsetzung der Methoden z.B. beim Codieren der vielen Labormaterialien und Beobachtungsprotokolle mit einigem strategischen Wohlwollen vorgegangen worden. Eine härtere, rigorosere Gangart in der Analyse mit einem wirklichen Constructive Alignment hätte auch hervorbringen können, dass es mit der Intention zumindest bei einigen ILOs – wie z.B. Teamarbeit – nicht so weit her war. Dazu müsste gemäß des Constructive Alignment in den für die Studierenden vorab transparent darzustellenden Lernziele mindestens erklärt werden, welche kompetenzorientierten Ziele man mit der Teamarbeit verfolgen möchte. Und nur, weil im eigentlichen Labor die Versuche dann in Gruppen durchgeführt wurden, und damit in unserer Vorgehensweise ein entsprechender Code für „Teamwork“ erzeugt wurde, heißt das noch nicht, dass es sich dabei um ein planvolles und explizites Vorgehen im Sinne der qualitativ hochwertigen Erfüllung des Lernziels „Teamwork“ handelte, welches tatsächlich die Zählung eines Codes verdient gehabt hätte.

Darüber hinaus hat hier der systematische Abgleich der Ergebnisse der teilnehmenden Beobachtung der dafür ausgewählten Labore mit den zuvor ausgewerteten Labormaterialien, die die Grundlage für die Auswahl der Labore waren, gefehlt. Ein solcher Abgleich hätte Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen der didaktischen Planung und der tatsächlichen Praxis auf dem Shop-Floor aufzeigen können. Nur vorab explizit geplante und durch die Lernmaterialien transparent kommunizierte Lernziele hätten dann in der Auswertung der teilnehmenden Beobachtung berücksichtigt werden können. Oder man hätte zwischen explizit und implizit erreichten Lernzielen differenzieren können.

Es zeigte sich auch, dass die Handhabung des strukturierenden Beobachtungsbogens beim mehr oder weniger zeitgleichen Stattfinden des Beobachtens und des Codierens – also das Zuordnen der beobachteten und identifizierten Handlungsmuster zu jeweils einem der dreizehn Lernziel inkl. der Zuordnung zu einer der drei Ausprägungsstufen dieser Lernziele – eine Herausforderung darstellte, die sicherlich die Qualität der erhobenen Daten und damit in der Folge auch die Qualität der Auswertung und der Interpretation beeinträchtigte. Dem hätte man mit mehreren Beobachtern wirksamer begegnen können, die dann ihre Ergebnisse in Form einer Beobachtenden-Triangulation intersubjektiv diskutiert und konsensuell validiert hätten. Videoaufzeichnungen, die erst

hinterher in aller Ruhe beobachtet worden wären, hätten auch eine Option sein können, sofern die Geräuschkulisse ein solches Vorgehen zugelassen hätte. Beide Vorgehensweisen hätten allerdings den im Projekt vorgegebenen Zeit-, Personal- und Kostenrahmen gesprengt und waren in dieser Studie weder realisierbar noch organisierbar gewesen.

Das Constructive Alignment wurde somit nicht in seinem vollen Potential als Reflexionsinstrument genutzt, um die tatsächliche Abgestimmtheit von ILOs, TLAs und ATs zu ermitteln. Eine wirkliche Analyse nach dem CA hätte bedeutet, dass die in den Laboranleitungen identifizierten eigentlich explizit zu formulierenden Lernziele auch als Lehrlernaktivität in der teilnehmenden Beobachtung hätten auftauchen müssen und zwar sowohl als Ziel als auch in der Ausprägungsstufe. Diskrepanzen hätte man identifizieren, kritisch-konstruktiv diskutieren, und dann mit den Lehrenden nach Lösungen suchen können. Hier bleibt die Studie jedoch indifferent.

Es ließ also nur zeigen, welche Ziele (ILOs) mit welcher Ausprägung gesetzt wurden und welche Aktivitäten (TLAs) in welcher Ausprägung beobachtet wurden, nicht jedoch, ob es Abweichungen zwischen Zielsetzungen (ILOs) und beobachteten Aktivitäten (TLAs) und Lernerfolgskontrollen (ATs) gab. Bei der erfolgreichen didaktischen Planung mit dem CA geht es aber gerade darum, dass sich die Zielsetzungen in den Aktivitäten und in der Lehrernerfolgskontrolle widerspiegeln müssen, sie quasi deckungsgleich geplant sein müssen, um den Studierenden einerseits einen transparenten Lernprozess zu ermöglichen und ihnen andererseits keine Schlupflöcher für Abkürzungen zwischen Zielen und der Prüfung unter Umgehung der geplanten Aktivitäten zu bieten. Im Nachhinein stellt sich hier die Frage, ob es nicht ratsam gewesen wäre, zumindest exemplarisch bei einer weiteren kleineren Auswahl der 16 Labore dieses exemplarisch vorzunehmen.

Auch die Operationalisierung von professioneller Handlungskompetenz als übergeordnetes Bildungsziel der Laborlehre basiert notgedrungen auf einem wohlwollenden rein additiven Vorgehen bei der Zusammenstellung der Codes für die fünf Kompetenzkategorien (Fach-, Methoden-, Sozial-, Selbst-, Fremdsprachenkompetenzen (Tekkaya et al. 2016, S. 92), nicht aber auf deren ganzheitlicher, integrierter Adressierung. Führt man hier nachträglich eine Triangulation der Daten durch, also kontrastiert diese Ergebnisse mit den Ergebnissen der weiteren eingesetzten Taxonomien (Tekkaya et al. 2016, S. 87–91), so weist die kontrastierende Zusammenschau doch eher auf das Fehlen der Förderung Handlungskompetenzen hin, da die jeweils höchsten Taxonomiestufen gar nicht adressiert wurden. Das steht nach meinem Dafürhalten in einem Widerspruch zu unserer damaligen Aussage, dass Fach- und Methodenkompetenzen gefördert würden, dass aber die Schlüsselkompetenzen noch ausbaufähig seien.

Ohne die gleichzeitige Adressierung der jeweils höchsten Taxonomiestufen wird professionelle Handlungskompetenz nicht wirklich gefördert – zumindest nicht absichtsvoll didaktisch geplant. Das soll nicht bedeuten, dass Studierende der ersten Semester bereits dem vollen Anforderungsprofil einer professionellen Handlungskompetenzentwicklung ausgesetzt werden müssen, aber man würde doch von einer kompetenzorientierten Lehre erwarten, dass das irgendwann im Studiumverlauf geschieht, was es aber nicht tut, zumindest nicht innerhalb der Laborlehre der Curricula.

## **5.2 Follow-up Studie 1: Kreativitätsförderung im Fachlabor in der Umformtechnik (KreaLab)**

Motivation für die Durchführung der KreaLab-Studie und in der Folge für das Verfassen eines Journal-Artikels war, dass Tobias Haertel und ich 2015 auf Betreiben von Arthur J. Cropley von David H. Cropley, dem damaligen Co-Editor in Chief des „The International Journal of Creativity & Problem Solving – IJPCS“<sup>18</sup> als Gastherausgeber eines Sonderheftes zum Thema „Creativity in Engineering Education“ (Haertel und Terkowsky 2016a) angefragt wurden. Ausgangspunkt für die Durchführung der Studie war unsere These, dass Ingenieur Kreativität in einem ingenieurwissenschaftlichen Studium und insbesondere im Fachlabor in der Regel nur unzureichend gefördert werde. Die Studie wurde als multiple Triangulation im Fachlabor der Umformtechnik in der Fakultät Maschinenbau an der TU Dortmund im Projekt ELLI 1 durchgeführt und war Arbeitspakete-übergreifend an der Schnittstelle zwischen den Arbeitspaketen „Labordidaktik“ und „Kreativitätsförderung“ in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre angesiedelt.

Nach Einreichung der Ergebnisse der acatech-Studie beim Projektträger Ende Mai 2015 und der daran sich nochmal anschließenden Aufbereitung der eigentlichen Publikation mit dem Verlag im Sommer 2016, war mir/uns aufgefallen, dass aufgrund einer anderen inhaltlichen Fokussierung letztlich zwei Aspekte in der acatech-Studie unberücksichtigt geblieben waren. Zum einen war zwar das Remote-Labor unseres acatech-Projektpartners, die Teleoperative Prü fzelle zur Materialcharakterisierung des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau (IUL), in der Studie mit zwei Veranstaltungsformaten (eine Vorlesung und eine Übung) in die teilnehmende Beobachtung von insgesamt 18 Laboren einbezogen worden. Aber das eigentliche grundständige Fachlabor zur Umformtechnik, welches den gleichen Versuch beinhaltet, und welches regelmäßig im November und Dezember eines jeden Jahres durchgeführt wird, war nicht Gegenstand der Studie gewesen. Dabei hatte zu einem früheren Zeitpunkt bereits eine erste umfassende Überarbeitung stattgefunden, wodurch das Hands-on Labor durchaus

---

<sup>18</sup> Die Zeitschrift wurde zwischenzeitlich umbenannt in „Journal of Creativity“: <http://www.creativity.or.kr/page/about/welcome.html>

interessant für eine Untersuchung mit dem Instrumentarium des IngLab-Projekts geworden wäre. Zum anderen wurden die aus dem Da Vinci Projekt hervorgegangen „Sechs Facetten der Kreativitätsförderung in der Hochschullehre“ (Haertel et al. 2020; Jahnke et al. 2017) nicht in das Untersuchungsdesign der acatech-Studie einbezogen. Zwar lag die Berücksichtigung der Förderung von Ingenieur Kreativität als eines der 13 Laborlernziele nach Feisel und Rosa (2005) methodisch operationalisiert vor, mit denen wir in der IngLab-Studie gearbeitet hatten (Tekkaya et al. 2016, S. 54–55), aber da wir die am zhb im DaVinci Projekt<sup>19</sup> entwickelten Sechs Facetten der Kreativitätsförderung in der Hochschullehre, im Folgenden kurz 6F genannt, bereits erfolgreich zur Durchführung von Kategorie-basierten deduktiven Inhaltsanalysen ingenieurwissenschaftlicher Curricula eingesetzt hatten, stellte sich hier die Frage, ob die 6F auch dazu dienen können, die Praxis von Laborveranstaltungen am Beispiel des Fachlabors zur Materialcharakterisierung zu untersuchen.

Die 6F tragen in ihrer aktuellen Version die Benennungen „Reflektierendes Lernen“ (F1), „Selbstständiges Lernen“ (F2), „Motiviertes Lernen“ (F3), „Kreierendes Lernen“ (F4), „Vielperspektivisches Lernen“ (F5), und „Innovationsorientiertes Lernen“ (F6). Sie wurden inzwischen als Intended Learning Outcomes (ILO) formuliert (Haertel et al. 2020). Wir entschlossen uns deshalb dazu, die Eigenentwicklung der 6F anstelle des weitaus prominenteren Modells von Feisel und Rosa (2005) in einer Follow-up Studie in die forschungsmethodische Anwendung zu bringen.

Darüber hinaus interessierte uns insbesondere der in der Literatur vorfindliche internationale Forschungsstand zu Kreativität und Kreativitätsförderung im Lehrlernlabor. Über unsere langjährige Auseinandersetzung mit Kreativitätsförderung in der Hochschullehre waren uns zwar die generischen Theorien und Positionen bekannt und wir hatten uns durch unser Mitwirken in ELLI 1 insbesondere mit der Kreativitätsförderung in der grundständigen Ingenieurlehre befasst, aber die Fokussierung auf das Veranstaltungsformat des Fachlabors war bisher ausgeblieben.

Auf einer vierten nachgelagerten Ebene schließlich interessierten uns auch die Potenziale von Online-Laboren für die Förderung von Ingenieur Kreativität. Die Entwicklung von virtuellen und Remote-Laboren war ein Schwerpunkt des ELLI-Projekts, so dass es sich unserer Auffassung nach geradezu anbot, hier einige labordidaktische Hinweise für den Einsatz von Remote-Laboren zur Kreativitätsförderung von Studierenden näher auszuformulieren.

---

<sup>19</sup> „Da Vinci – Gestaltung kreativitätsförderlicher Lehr-/Lernkulturen an Hochschulen“, gefördert zwischen November 2008 und Oktober 2011 im Förderprogramm „Hochschulforschung als Beitrag zur Professionalisierung der Hochschullehre“ im Rahmenprogramm „Empirische Bildungsforschung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Hieraus ergaben sich schlussendlich die folgenden vier Forschungsfragen, die mittels der multiplen Triangulation bearbeitet wurden:

1. Wie stellt sich der internationale Forschungsstand zur Kreativitätsförderung im Fachlabor dar und welche Konsequenzen folgen ggf. daraus?
2. Wie lässt sich die Kreativitätsförderlichkeit einer Laborveranstaltung mittels der 6F messen und bestimmen und welche Erkenntnisse lassen sich dadurch gewinnen?
3. Wie lassen sich die mit den 6F ermittelten Defizite gezielt angehen und möglichst einfach und schnell verbessern oder beheben?
4. Wie ließe sich die Ingenieur Kreativität von Studierenden durch den Einsatz von Remote-Laboren zusätzlich fördern?

Das Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfragen sowie die erzielten Ergebnisse werden im Folgenden kurz dargestellt.

### **5.2.1 Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse**

Ausgangspunkt der multiplen Triangulation war somit eine Literaturstudie, die sich mit dem Thema Kreativitätsförderung im Lehrlernlabor auseinandersetzte. Daran schloss sich eine teilnehmende Beobachtung im Fachlabor an, deren Beobachtungsprotokolle mit einer dreigeteilten strukturierenden Inhaltsanalyse auf Basis der 6F ausgewertet wurden, bestehend aus einem deduktiv quantitativen, einem deduktiv qualitativen und einem deduktiv explizierenden Schritt.

#### **5.2.1.1 Literaturstudie**

Die Recherche für die kurze Literaturstudie wurde in erster Linie mit der akademischen Suchmaschine Google Scholar durchgeführt. Ziel der Recherche war das Aufspüren von Veröffentlichungen, die sich mit der Kreativitätsförderung in MINT-Laboren befassen. Bei der Auswertung der Treffer ging es vor allem darum, jene wichtigsten Journal-Artikel und Buchkapitel zu identifizieren und deren Positionen zusammenzustellen, die sich kritisch mit der unzureichenden Kreativitätsförderung in MINT-Laboren auseinandersetzen und insbesondere die Defizite und ungenutzten Potentiale herausarbeiteten, um so den Weg für die Notwendigkeit und Dringlichkeit der Studie zu bahnen. Die Literaturstudie kam denn auch zu dem wenig überraschenden und pointierten Schluss, dass die Kreativität der Studierenden in den gängigen Ingenieurlaborkursen allenfalls randständig gefördert wird. Als Ursache dafür wurde herausgearbeitet, dass Laborlehrveranstaltungen und Lernmaterialien in der Regel auf die bewährten und deshalb weitverbreiteten aufgabenbasierten und Theorie-verifizierenden Formate setzen, bei denen die Studierenden häufig schon vorher wissen, was sie erwartet und was von ihnen erwartet wird, und deshalb nur wenig Raum für die kreative Entfaltung der Studierenden lassen (Terkowsky et al. 2016, S. 35–38).

### 5.2.1.2 Teilnehmende Beobachtung im Fachlabor der Umformtechnik

Das von uns untersuchte Fachlabor des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) an der TU Dortmund, welches aus dem Zugversuch zur Materialcharakterisierung bestand, fand im November und Dezember 2015 statt. An diesem Fachlabor nahmen zwischen 110 und 120 Studierende teil, die in insgesamt 30 Gruppen zu jeweils 3 bis 4 Studierenden aufgeteilt wurden. Die genaue Anzahl der teilnehmenden Studierenden lässt sich heute nicht mehr nachvollziehen. Aus Datenschutzgründen hatten wir zwar keine vollständigen Teilnehmendenlisten erhalten, aber eine Liste mit den Terminen der 30 Gruppen. Von den insgesamt 30 Gruppen zu jeweils 4 Studierenden untersuchten wir 10 Gruppen, hatten also Zugriff auf ein Drittel aller Teilnehmenden, wobei wir sowohl die eigentliche Laborarbeit in der Experimentierhalle, als auch die Gruppenpräsentation während eines abschließenden Kolloquiums in einem Seminarraum teilnehmend beobachteten. Unser Team bestand aus insgesamt von fünf Forschenden, die sich die teilnehmende Beobachtung teilten, so dass jeder Forschende jeweils zwei Gruppen bei der Laborarbeit und anschließend im Kolloquium beobachtete.

Die eigentliche beobachtende Teilnahme fand in der Form einer möglichst offenen Beobachtung der Face-to-Face- und der Face-to-Machine-Interaktionen in den soziotechnischen Situationen des Fachlabors statt und bestand darin, die Beobachtung mit schriftlichen Notizen auf einem strukturierten Beobachtungsbogen während und nach den Sessions zu protokollieren. Um den Einfluss des Beobachtenden auf das Verhalten der Studierenden maximal möglich einzugrenzen, waren wir zwar schon angekündigt worden, stellten uns aber vor Beginn der jeweiligen Beobachtungssession noch einmal kurz mit unserem Anliegen vor und fragten nach dem expliziten Einverständnis, die jeweilige Gruppe beobachten zu dürfen. Im eigentlichen Laborraum suchten wir uns einen Platz auf einem etwas abseits gelegenen Stuhl, von dem aus wir einerseits gut beobachten konnten, wir andererseits aber auch unauffällig genug platziert waren, um die Aufmerksamkeit der Personen und die Abläufe im Labor möglichst wenig zu beeinträchtigen.

Zur Durchführung der Beobachtung entschieden wir uns – im Unterschied zum vergleichsweise komplexen Vorgehen der acatech-Studie – diesmal für die Konzeption eines wesentlich einfacher zu handhabenden Beobachtungsbogens. Für die Beobachtung der sozialen bzw. soziotechnischen Interaktionsmuster und Handlungsstränge wurden diesmal nur fünf Beobachtungskategorien festgelegt, damit die Beobachtenden möglichst frei beobachten konnten und nicht durch ein vorab festgelegtes inhaltliches Kategoriensystem auf eine subsumtionslogische Vorgehensweise festgelegt wurden. Beobachtet und protokolliert werden sollten deshalb lediglich:

1. Uhrzeit: (Wann beginnt ein Handlungsstrang und ggf. wie lange dauert er etwa?)

2. Beteiligte Personen /Sozialform (Wer ist anwesend und handelt allein oder mit wem zusammen?)
3. Gegenstände (Mit welchen Objekten/Artefakten im Labor, wie z.B. Versuchsstand, Proben, Werkzeuge, Messgeräte, Kontrollen, Computer usw. wird gearbeitet?)
4. Aktivitäten / Praktiken (Welche soziotechnischen und sozialen Handlungen werden ausgeführt? Welche Handlungen werden mit den Gegenständen ausgeführt? Wer spricht währenddessen mit wem über was?)
5. Ergebnis der Aktivität (Welche materialen oder abstrakten Produkte entstehen im Laufe der Handlungsstränge?)

Zu einem späteren Zeitpunkt überarbeitete und digitalisierte dann jeder Forschende seine Beobachtungsprotokolle mittels eines Textverarbeitungsprogramms, um sie so für die quantitative und qualitative Kategorie-basierte Inhaltsanalyse mit den 6F als deduktive Analysekatogorien vorzubereiten. Für die kategorien-basierte Inhaltsanalyse der in elektronischer Form vorliegenden schriftlichen Beobachtungsprotokolle wurde MAXQDA<sup>20</sup> verwendet, eine professionelle Software, mit der Mixed Methods-Textanalysen durchgeführt werden können.

#### 5.2.1.3 Deduktive quantitative Inhaltsanalyse: Häufigkeiten der 6F

Alle 20 Beobachtungsprotokolle (jeweils 10 aus der Laborhalle und 10 aus dem anschließenden Kolloquium) wurden mit MAXQDA ausgewertet, in dem sie mittels der 6F kodiert wurden, die als Analysekatogorien dienten. Hierzu wurden sprachliche Muster identifiziert, die sich zu einer der sechs Facetten zuordnen ließen. Für den Laboranteil wurden auf diese Weise insgesamt 298 Codes und für das nachfolgende Kolloquium insgesamt 212 Codes erzeugt. Für die quantitative deduktive Auswertung wurden jeweils die absoluten Häufigkeiten durch einfache Zählungen bestimmt und dann die relativen Häufigkeiten ermittelt und in Säulendiagrammen graphisch dargestellt. So ließ sich auf einfache Weise visualisieren, welche der 6F wie stark in der Laborhalle und im Kolloquium adressiert wurden und man konnte obendrein beide Veranstaltungsteile miteinander vergleichen. Schließlich wurden die Ergebnisse beider Lehrveranstaltungsteile kumuliert, um so die Kreativitätsförderung der gesamten Laborübung einschätzen zu können.

Als Hauptresultat der kategorienbasierten quantitativen Inhaltsanalyse lässt sich festhalten, dass das untersuchte Fachlabor zur Umformtechnik vor allem die Facetten Motiviertes Lernen (F3), Reflektierendes Lernen (F1) und Kreierendes Lernen (F4) fördert, wobei im Labor das Motivierte Lernen (F3) und im Kolloquium das Reflektierende Lernen (F1) im Vordergrund stehen. Auf einem niedrigeren Niveau aber

---

<sup>20</sup> Siehe: <http://www.maxqda.com>

in ungefähr gleichem Maße unterstützen beide beobachtete Veranstaltungsteile Kreierendes Lernen (F4). Dagegen werden in beiden Veranstaltungsteilen die Facetten Selbständiges Lernen (F2) sowie Vielperspektivisches Lernen (F5) nur schwach und Innovationsorientiertes Lernen (F6) gar nicht adressiert. (Für eine ausführliche Darstellung und Diskussion der Ergebnisse, siehe Terkowsky et al. 2016, S. 33–35).

#### 5.2.1.4 Deduktive qualitative Inhaltsanalyse: verpasste Gelegenheiten der 6F

Der qualitative Teil der deduktiven Inhaltsanalyse fand unter dem Label „Verpasste Gelegenheiten“ statt und zielte auf die Identifikation von leicht umsetzbaren inkrementellen Verbesserungsmöglichkeiten. Hierbei ging es vor allem darum, Strategien und Vorgehensweisen zu identifizieren, die von einigen der Lehrenden, aber nicht von allen, angewendet wurden. Für den Laborteil wie für das Kolloquium ergaben sich hier Verbesserungsmöglichkeiten für die Facetten Selbständiges Lernen (F2), Motiviertes Lernen (F3), sowie für Kreierendes Lernen (F4). Für den Laborteil ergab sich zusätzlich noch eine Option für die Facette Innovationsorientiertes Lernen (F6), die nicht von einem der Lehrenden praktiziert wurde, sondern die aus der Beobachtung heraus entstanden ist, weil sie den Umgang mit einer ungewöhnlichen technischen Fehlfunktion betraf, die die Lehrenden aber nicht in den Griff bekamen und deswegen den Studierenden den Hinweis gaben, die Fehlfunktion zu ignorieren. (Für eine umfassende Diskussion der inhaltsanalytischen Aufarbeitung der verpassten didaktischen Gelegenheiten, siehe Terkowsky et al. 2016, S. 35–38). Für das Zurückspielen der Ergebnisse an die Laborlehrenden des untersuchten Fachlabors, für eine tiefere Reflexion der erfolgreichen Strategien einzelner Lehrender und für die Erarbeitung weiterer Verbesserungsmöglichkeiten vor dem Hintergrund der 6F, wurde ein hochschuldidaktischer Weiterbildungsworkshop konzipiert, der vor dem Vorlesungsbeginn im Herbst 2016 einmalig durchgeführt wurde. Obwohl die Laborlehrenden die Teilnahme am Workshop als wertvoll erachteten, wurde das Angebot nicht mehr wiederholt.

#### 5.2.1.5 Explizierende deduktive Inhaltsanalyse zu neuen Möglichkeiten der Kreativitätsförderung durch Online-Labore

Die Entwicklung und der Einsatz von Online-Laboren war ein Schwerpunkt des ELLI-Projekts. Da das hier auf seine Kreativitätsförderlichkeit hin untersuchte Fachlabor zur Materialcharakterisierung durch die während ELLI entwickelte technische Umrüstung auch flexibel als Remote-Labor zur Verfügung gestellt werden kann, bot es sich hier an, einige grundlegende labordidaktische Hinweise für den Einsatz von Remote-Laboren zur Kreativitätsförderung von Studierenden näher auszuformulieren. Es handelt sich hierbei jedoch nicht um die Ergebnisse empirischer Forschung, sondern um explizierend-anreichernde didaktische Überlegungen, die eine bessere Adressierung der 6F durch den Einsatz von Online-Laboren betreffen. Hierdurch sind auch andere kreativitätsförderliche

Aufgabenstellungen zumindest im Raum des grundsätzlich Möglichen, die jenseits der eng getakteten Zeitfenster während des normalen Fachlabors bearbeitet werden können (siehe Terkowsky et al. 2016, S. 38–41).

### **5.2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit**

Der Beitrag gibt einen Überblick über eine mit einer multiplen Triangulation durchgeführten empirischen Studie in einem Fachlabor der umformtechnischen Lehre. Hierzu wurden die Ergebnisse einer vorangestellten Literaturstudie mit deduktiv-quantitativen und deduktiv-qualitativen inhaltsanalytischen Vorgehensweisen zur Untersuchung des Labors trianguliert. Die einleitende Literaturstudie verdeutlicht zunächst, dass nicht die Förderung von Ingenieur Kreativität im Zentrum von Laborveranstaltungen steht, sondern althergebrachte, theorie-verifizierende Ansätze, bei denen die Studierenden häufig schon vorher wissen, was sie erwartet und was von ihnen erwartet wird. Die kategorienbasierte Inhaltsanalyse auf Basis des Sechs-Facetten-Modells zur Förderung von Kreativität in der Hochschullehre zeigt jedoch durchaus kreativitätsförderliche Potenziale in der untersuchten Lehrveranstaltung, anhand derer konkrete Gestaltungsempfehlungen abgeleitet wurden. Darüber hinaus können moderne, technisch erweiterte Experimentierlabore (insbesondere Remote-Labore und virtuelle Labore) die gezielte Förderung von kreativerem Lernen im Modus der Forschung unterstützen. In Verbindung mit einer entsprechend nachgefragten labordidaktischen Beratung und Weiterbildung auf Basis der entwickelten Gestaltungsempfehlungen könnte eine didaktische Neugestaltung der Laborveranstaltungen durchaus zu einer Verbesserung des ingenieurwissenschaftlichen Studiums hinsichtlich der Förderung von Kreativität und damit zur Zukunftsfähigkeit des Ingenieurberufs beitragen.

### **5.2.3 KreaLab revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte**

Eine Methodenreflexion, die sich an der möglichen Tilgung und Verzerrung von Beobachtungsergebnissen infolge von subjektiver Wahrnehmung, des Cognitive Load von teilnehmender Beobachtung und deren Protokollierung, sowie der Fluktuation im Team abarbeitete, ist bereits Teil des Journal-Artikels und soll hier deshalb nicht weiter ausgeführt werden (siehe hierzu Terkowsky et al. 2016, S. 32–33).

Im Vergleich zur IngLab-Studie variierten wir unser Vorgehen: der Umgang mit dem umfassenden Beobachtungsbogen der acatech-Studie, der das Codieren bereits im Erhebungsprozess beinhaltete, erwies sich als komplex. Neben der Beobachtung der Handlungen musste auch schon entschieden und protokolliert werden, zu welcher Kategorie die Handlungen zählten, auch wenn das nach der eigentlichen Beobachtung noch einmal reflektiert und nachbearbeitet wurde. Hierzu wurden im Beobachtungsprozess Kategorie-basierte Häufigkeiten erhoben und qualitative Daten in

Form von kurzen Memos geschrieben, was bei 13 Items in jeweils drei Ausprägungsstufen und dem ständigen Folgen müssen eines fortschreitenden Handlungsstrangs, an dem zumeist mehrere Personen beteiligt waren, sich als wahrnehmungspsychologisch anstrengendes und damit möglicherweise auch als fehleranfälliges Vorgehen erwies.

Bei der KreaLab-Studie verwendeten wir deshalb nur einfache allenfalls grob vorstrukturierte und deshalb vergleichsweise leicht und flexibel zu handhabende Beobachtungsprotokolle (siehe oben), die erst in einem zweiten Schritt deduktiv mit den 6F inhaltsanalytisch ausgewertet wurden. Hierdurch konnte die kognitive Beanspruchung der Beobachtenden während der Beobachtung reduziert werden, weil die Zuordnung zu den fünf Kategorien im Beobachtungsprozess wesentlich weniger Aufmerksamkeit erforderte. Wir entschieden uns übrigens gegen den Einsatz von Ton- oder Videoaufzeichnungsmedien, wie sie etwa Niedderer et al. (2002) in ihrer Kategoriebasierten Analyse von Videoaufzeichnungen im physikalischen Laborpraktikum vorschlagen, obwohl man auf diese Weise hinterher unklare Situationen immer wieder hätte beobachten können. Aber da wir die Aufnahmetechnik aus Zeitgründen vorab nicht mehr vor Ort hätten testen können und wir aufgrund der beständigen Maschinengeräusche in der Halle in Verbindung mit der automatischen und stark komprimierenden Pegelaussteuerung der Tonaufnahmegeräte letztlich mit unbrauchbaren Tonaufnahmen rechneten, wählten wir lieber den beschriebenen Ansatz. Darüber hinaus wollten wir auch weder die Studierenden noch die Lehrenden mit dem Aufbau von Videokameras oder mit einem immer wieder nach der besten Perspektive heischenden herumspringenden Kameramenschen ablenken oder gar verunsichern, und auch uns selbst nicht von der Beobachtung durch die Bedienung von Aufnahme-Equipment ablenken und beeinflussen lassen, sondern setzten uns zur Herstellung von maximal möglicher Non-Reaktivität einfach unauffällig auf einen Holzstuhl in einer Nische.<sup>21</sup>

Die eigentliche Schwachstelle der Studie mit Potenzial für Verzerrung und Tilgung der Ergebnisse – die Black Box – sind die Phasen im Ablauf des Fachlabors, die nicht Teil der Beobachtung waren. Wir konnten auch hier aus organisatorischen Gründen nicht alle Laborphasen untersuchen, und wollten uns deshalb auf die Durchführung der Experimente in der Laborhalle sowie auf die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse im anschließenden Kolloquium beschränken. An der vorbereitenden Einführung der Studierenden durch die Lehrenden des Lehrstuhls, insbesondere aber an der Vorbereitungsphase und der Auswertungsphase, die die Studierenden selbstorganisiert

---

<sup>21</sup> Letztlich konnten wir im Team auch niemanden finden, der bereit gewesen wäre, freiwillig 30 Stunden Videoaufnahmen nachträglich zu beobachten und zu kodieren. Außerdem hätte das für die Deadline des Journals zu lange gedauert. Wir wählten deshalb lieber den dargestellten „quick and dirty“-Approach und diskutierten die so erzielten Ergebnisse im Forschenden-Team, bis wir mit den Ergebnissen und Interpretationen zufrieden waren.

durchführen mussten, konnten wir nicht teilnehmen, da das den organisatorischen Rahmen der Untersuchung gesprengt hätte. Wir hatten uns im Team sehr kurzfristig dafür entschieden, diese Untersuchung durchzuführen. Insbesondere die bisher im Fachlabor unterrepräsentiert erscheinenden Facetten, wie z.B. „Selbstständiges Lernen“ (F2), hätten ggf. eine andere Gewichtung erhalten, so dass bei einer Berücksichtigung weiterer Laborphasen möglicherweise die Studie zu anderen Ergebnissen geführt hätte und damit auch der kreativitätsförderliche Charakter des Fachlabors anders beurteilt worden wäre.

Gleichwohl lässt sich auch hier über das methodische Vorgehen mit einigem zeitlichen Abstand sagen, dass es grundsätzlich möglich ist, auf die vorgeschlagene Weise methodisch fundierte Aussagen über den Stand der kreativitätsförderlichen Gestaltung von Laboren treffen zu können. Wichtig wäre es aber, zukünftig alle relevanten Laborphasen in die Untersuchung miteinzubeziehen, da es zumindest hypothetisch sein kann, dass bestimmte Facetten des 6F-Modells gerade in den nicht beobachteten Veranstaltungsteilen besonders adressiert werden.

### **5.3 Follow-up Studie 2: Förderung von Arbeitswelt-4.0-Kompetenzen im Fachlabor der Umformtechnik (I4.0-Lab)**

Nachdem wir im Projekt IngLab das Fachlabor in der Fertigungstechnik einer umfassenden handlungskompetenzorientierten labordidaktischen Bestimmung unterzogen hatten und mit KreaLab innerhalb von ELLI die Förderung der Zukunftskompetenz Kreativität exemplarisch für ein umformtechnisches Fachlabor untersucht hatten, drängte sich nun die Frage auf, inwieweit Remote-Labore auch dazu geeignet sein können, Kompetenzanforderungen eines Lernens und Arbeitens 4.0 im Kontext der Industrie 4.0 erfüllen zu können. Die Ausgangsthese hierzu lautete, dass durch Digitalisierung und Cyber-Physikalisierung, also durch das zunehmende Zusammengehen des Internet of People (IoP) mit dem Internet of Things (IoT) zum Internet of Everything (IoE), darauf bezogene Kompetenzanforderungen auch in den beruflichen Alltag von Ingenieur\*innen in industriellen und akademischen Feldern eindringen werden und damit auch immer mehr Teil der universitären Ausbildung werden sollten. Schon seit einigen Jahren werden Studien und Positionspapiere von unterschiedlichen Stakeholdern veröffentlicht, in denen diskutiert wird, welche Kompetenzen die Arbeitswelt 4.0 benötigt und damit auch, welche Kompetenzen Studierende für die Bewältigung der Herausforderungen und für die konstruktive Gestaltung der Arbeitswelt 4.0 entwickeln sollten. Da cyberphysikalische Systeme wie beispielsweise Remote-Labore genuin Technik der Industrie 4.0 sind, drängte sich für uns die Frage regelrecht auf, inwieweit damit in der universitären Laborlehre implizit und explizit Lernziele eines Lernens und Arbeitens 4.0 im Kontext der Industrie 4.0 verfolgt werden können bzw. bereits umgesetzt werden.

In einer weiteren Follow-up Studie zu IngLab und zu KreaLab wurde deshalb innerhalb von ELLI das Fachlabor zur Materialcharakterisierung in der Umformtechnik inkl. der teleoperativen Prü fzelle diesmal darauf hin analysiert, inwieweit die technische und didaktische Gestaltung der Laborveranstaltung bereits die im Kontext von Industrie 4.0 erforderlichen Kompetenzen fördert. Wir hatten bereits 2019 eine erste Version der Fallstudie in einem eigenen deutschsprachigen Herausgeber\*innen-Band (Haertel, Terkowsky, Dany, Heix 2019) unter dem Titel „Labordidaktik – Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0“ (Terkowsky, May, Frye 2019) veröffentlicht und konnten nun die Gelegenheit dafür nutzen, eine umfassend überarbeitete und weiterentwickelte englische Version unter externen Peer Review-Bedingungen zu veröffentlichen. Der eigentliche motivierende Auslöser für das Anfertigen einer überarbeiteten Version der Studie war eine im Januar 2019 an mich herangetragene Einladung zur Mitwirkung an einem Special Issue des „European Journal of Education“, welches unter dem Titel: „Design Learning for Innovation“ von Jean-Claude Ruano-Borbalan<sup>22</sup> als Gastherausgeber verantwortet und im Dezember 2019 veröffentlicht wurde.

Die als multiple Triangulation angelegte Forschung basierten wie IngLab und KreaLab ebenfalls auf einer mehrstufigen qualitativen Inhaltsanalyse, diesmal im Kontext der Industrie 4.0 und widmet sich der Beantwortung der folgenden Forschungsfragen:

- Welche Kompetenzen erfordert die Industrie 4.0 und damit das Lernen und Arbeiten 4.0?
- Wie werden dies Kompetenzen bisher in der Laborausbildung gefördert?
- Wie lässt sich die Entwicklung dieser Kompetenzen künftig durch den gezielten Einsatz von Online-Laboren im ingenieurwissenschaftlichen Studium besser fördern?

Das Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfragen und die erzielten Ergebnisse werden im Folgenden kurz dargestellt.

### **5.3.1 Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse**

Zur Identifikation der im Bereich der Industrie 4.0 erforderlichen Kompetenzen sowie zur Analyse eines bestehenden Lehrlernlabors wurde ein qualitativ orientiertes inhaltsanalytisches Vorgehen umgesetzt. Die Inhaltsanalyse fand diesmal in vier Schritten statt. Zunächst wurden per Internetrecherche Quellen zu Industrie 4.0-Kompetenzen identifiziert und gesichtet und daraus induktiv ein Kategoriensystem als Kompetenzraster für die Arbeitswelt 4.0 entwickelt. In einem zweiten Schritt wurden

---

<sup>22</sup> Jean-Claude Ruano-Borbalan ist Professor am Conservatoire national des arts et métiers in Paris, Frankreich und dort in mehreren leitenden Funktionen tätig (u.a. ist er Direktor der Equipe Pédagogique Nationale (EPN) Innovation). Darüber hinaus ist er Präsident des European Institute of Education and Social Policy. Er war durch unser assoziiertes Mitwirken am Innov'Ing2020-Projekt und den beiden daraus entstandenen Publikationen, an denen wir beteiligt waren, auf uns aufmerksam geworden.

einschlägige Publikationen zum Fachlabor zur Materialcharakterisierung in der Umformtechnik sowie der daraus entwickelten teleoperativen Prüfwelle recherchiert, auf ihre Eignung als Datenquelle für eine Untersuchung mit dem Kompetenzraster hin ausgewählt und mit einer induktiven Inhaltsanalyse die aufzufindenden Lernziele des Labors identifiziert. Der dritte Schritt bestand aus einem Reality Check, also in der eigentlichen Analyse, inwieweit die induktiv ermittelten Lernziele der ausgewählten Publikationen auch Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0 adressieren – und inwieweit nicht. Aus dem Ergebnis dieses Reality Checks wurden dann einige grundsätzliche Gestaltungsempfehlungen abgeleitet.

### 5.3.1.1 Literatur- und Dokumentenanalyse zu Industrie 4.0 Kompetenzen

Zunächst wurden per Internetrecherche Quellen zu Industrie 4.0-Kompetenzen identifiziert und gesichtet. Dieser erste methodische Schritt zielte darauf ab, insbesondere solche Quellen zu identifizieren, die methodisch nachvollziehbar möglichst eindeutige Aussagen zu Kompetenzanforderungen generierten, und sich deshalb für eine Berücksichtigung im zu modellierenden Kompetenzraster eigneten. Die Qualität und Brauchbarkeit der Quellen für unsere Zwecke schätzten wird damals folgendermaßen ein:

„Es gibt eine Reihe von Quellen, die auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus Hinweise darauf geben, welche Kompetenzen zukünftig erwartet werden. In Teilen berufen sich diese Quellen auf eigene Studien, zumeist in Form von Befragungen von Unternehmensvertreterinnen und -vertretern. Bei anderen Quellen ist die zugrunde gelegte Methodik zur Ermittlung der dargestellten Inhalte nicht eindeutig. Auch erfolgt nicht in jedem Fall eine eindeutige Erläuterung der genannten Kompetenzen. Dennoch ergibt die Summe der betrachteten Studien einen fundierten Überblick über relevante Kompetenzen“ (Terkowsky, May, Frye 2019, S. 94).

Letztlich hatten wir fünf Quellen als für unsere Ziele nutzbar ausgewählt. In der I4.0-Lab-Studie berücksichtigt wurden deshalb:

- „Hochschul-Bildungs-Report 2020“ des Stifterverbands (Stifterverband 2016);
- „Kompetenzen für die Industrie 4.0 – Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze“ (acatech 2016), ein Positionspapier der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften;
- „Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025“ (Pfeiffer et al. 2016), eine Interviewstudie des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA);
- „Industrie 4.0 – Wo steht die Revolution der Arbeitsgestaltung“ (Schlund und Pokorni 2016), eine Studie des Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation; sowie
- „Zukünftige Anforderungen an Kompetenzen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 – Eine Bestandsaufnahme“ (Hartmann 2017), eine Metaanalyse über 24 Studien aus den Jahren 2014 bis 2016.

Auch wenn in der analytischen Zusammenschau noch kein einheitliches Gerüst zur Definition von Industrie 4.0 Kompetenzen feststellbar war, ergaben sich gleichwohl

studienübergreifende Schnittmengen, die für unsere Kompetenzmodellierung genutzt werden konnten. Das von uns verwendete Kompetenzraster wurde auf Basis eines rein qualitativen Vorgehens erstellt. Ein zusätzliches quantitatives Vorgehen in Form von Häufigkeitszählungen von Mehrfachnennungen für eine etwaige Verfeinerung des Modells haben wir nicht verfolgt, da die methodischen Designs der einbezogenen Studien nach unserem Dafürhalten zu unterschiedlich angelegt waren, so dass uns ein solches Vorgehen zu diesem Zeitpunkt unangemessen erschien. Für das qualitative Vorgehen wurden die vorgefundenen Textstellen als Kompetenzen modelliert und in Anlehnung an den „Deutschen Qualifikationsrahmen für Lebenslanges Lernen“ (Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen 2011), der Kompetenz als „Fähigkeit und Bereitschaft des Einzelnen, Kenntnisse und Fertigkeiten sowie persönliche, soziale und methodische Fähigkeiten zu nutzen und sich durchdacht sowie individuell und sozial verantwortlich zu verhalten“ definiert (Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen 2011, S. 8), unter drei davon abgeleiteten Kompetenzkategorien subsummiert:

- Kategorie 1: **technische Kompetenz** (fachspezifische und fachübergreifende Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten mit konkretem Bezug zu Technologien und Organisationsstrukturen);
- Kategorie 2: **Sozialkompetenz** (sich auf soziale Interaktionsformen beziehende Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten)
- Kategorie 3: **Selbstkompetenz** (sich auf individuelle Persönlichkeitsstrukturen beziehende Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten).

Da es sich um Intended Learning Outcomes (ILOs), also beabsichtigte Lernergebnisse im Sinne des Constructive Alignment handelt, wurden die ermittelten Kompetenzen entsprechend formuliert, wonach die Studierenden nach dem abgeschlossenen Lernprozess über die adressierten Kompetenzen verfügen („...in der Lage sein, zu tun...“). Die Auswertung der Studien und die Zuordnung zu einer der drei Kompetenzkategorien ergab das in Tabelle 2 vorgestellte Raster von insgesamt 18 Industrie 4.0 relevanten Kompetenzen (Terkowsky, Frye, May 2019, S. 584–585; Terkowsky, May, Frye 2019, S. 95–96).

Dieses Kompetenzraster sollte im weiteren Verlauf dazu dienen, eine Kategorie-basierte Inhaltsanalyse von Publikationen zum Fachlabor in der Umformtechnik inkl. Remote-Labor durchzuführen, um explizit oder implizit formulierte Lernziele mit Bezug zu Industrie 4.0 identifizieren und diskutieren zu können.

**Tabelle 2: Kompetenzraster für die Arbeitswelt 4.0**

Im Kontext der <b>fachspezifischen und fachübergreifenden technischen Kompetenzen</b> sollten Lernende in Bezug auf die Anforderungen der Industrie 4.0 in der Lage sein, ...	Im Kontext der <b>Sozialkompetenz</b> sollten Lernende in Bezug auf die Anforderungen der Industrie 4.0 in der Lage sein, ...	Im Kontext der <b>Selbstkompetenz</b> sollten Lernende in Bezug auf die Anforderungen der Industrie 4.0 in der Lage sein, ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>● ... interdisziplinär zu denken, zu handeln und zusammenzuarbeiten.</li> <li>● ... Unternehmensprozesse sich verändernden Rahmenbedingungen flexibel anzupassen (z.B. in Bezug auf den Einsatz neuer Technologien wie der additiven Fertigung oder Augmentation).</li> <li>● ... IT-Prozesse im Kontext von Produktion zu gestalten sowie IT-Komponenten zur Mensch-Maschine-Interaktion zu nutzen.</li> <li>● ... ganzheitliche und komplexe Produktionsprozesse und vernetzte Produktionsstrukturen zu gestalten und zu steuern sowie entsprechende Schnittstellen zu managen (inkl. der Umsetzung von Problemlösungs- und Optimierungsprozessen).</li> <li>● ... einen Zusammenhang zwischen einem digitalen Abbild und einer physischen Realität herzustellen.</li> <li>● ... mit großen Datenmengen umzugehen und entsprechende statistische Fähigkeiten einzusetzen (inkl. das Erkennen der Bedeutung von Algorithmen und das Management sensibler Daten).</li> <li>● ... Systemkompetenz zu zeigen, indem sie Funktionselemente erkennen, Systemgrenzen identifizieren und Vorhersagen über Systemverhalten treffen.</li> <li>● ... Innovationsprozesse anzustoßen und umzusetzen.</li> <li>● ... den rechtlichen Kontext der unternehmerischen Handlung zu beherrschen.</li> <li>● ... unternehmensbezogen strategisch zu denken bzw. zu handeln und in komplexen Entscheidungssituation entsprechende Tools zur Bewertung nutzen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ... sowohl intern (in Bezug auf Prozessabläufe) als auch extern (in Bezug auf Kunden und Zulieferer) sicher zu kommunizieren und zu kooperieren.</li> <li>● ... in sozialen (auch interkulturellen) Kontexten sicher und effektiv zu agieren.</li> <li>● ... Produktionseinheiten und Teams zielorientiert zu führen.</li> <li>● ... digital gestützte Interaktions- und Kooperationsprozesse zu gestalten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ... den Wert des eigenen subjektiven Erfahrungswissens realistisch einzuschätzen und entsprechend in die eigene Handlung mit einzubeziehen.</li> <li>● ... selbstbestimmt und selbstorganisiert zu handeln.</li> <li>● ... auf Basis der eigenen Offenheit und Kreativität zu handeln.</li> <li>● ... eigenes lebenslanges Lernen zu gestalten und umzusetzen.</li> </ul>

### 5.3.1.2 Recherche und Auswahl von geeigneten Publikationen

Der nächste Schritt bestand in der Recherche und Auswahl von geeigneten Publikationen aus dem Kontext der teleoperativen Prüfwelle für Materialcharakterisierung. Da die Weiterentwicklung dieses Remote-Labors umfassend innerhalb der beiden Phasen des ELLI Projekts stattfand, und im Laufe der Zeit vergleichsweise viele Mitarbeitende daran mitgewirkt hatten, gab es auch eine entsprechend große Anzahl von Publikationen, die sich zumindest grundsätzlich für eine tiefere Analyse eignen könnten, so unsere Annahme. Zum Sample gehörten verschiedene Konferenzbeiträge, Buchkapitel, Journal-Artikel, sowie eine einschlägige Dissertation, die sich alle mit Aspekten der inhaltlichen, technischen, organisatorischen und didaktisch-methodischen Gestaltung befassten.

Das Besondere an all diesen Beiträgen war, dass keiner von ihnen die Bereiche Industrie 4.0 oder Lernen und Arbeiten 4.0 explizit thematisierte, obwohl, wie bereits eingangs erwähnt, es sich bei Remote-Laboren genuin um Technik der Industrie 4.0 handelt. Dieser Umstand kann in Einklang mit allen vorausgehenden Studien durchaus dahingehend gedeutet werden, dass diese Themen im Fachlabor bisher keine Rolle spielten, allenfalls die Förderung von Handlungskompetenzen, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf den fachlichen (Umformtechnik) und den methodischen (Experimentieren/Testen) Aspekten lag. Gleichwohl stachelte es unsere Neugier ungemein an, herauszufinden, ob die Verwendung von Industrie 4.0-Technologie im Fachlabor nicht doch auch Auswirkungen auf die Förderung entsprechender Kompetenzen hat, auch wenn diese gar nicht explizit adressiert wurden.

Wir hätten sicherlich auch eine Interviewstudie durchführen können, bei der wir erfahrungsgemäß vorab den Interviewleitfaden für die je individuelle Vorbereitung hätten zirkulieren müssen, um ein Einverständnis zur Teilnahme zu erhalten, sehr wahrscheinlich mit der Folge, thematisch gut präparierte Interviewees zu befragen. Wir wollten deshalb non-reaktiv vorgehen und wählten dazu einen inhaltsanalytischen Ansatz auf Basis einschlägiger Veröffentlichungen. Uns interessierte dabei, wie die einbezogenen Publikationen sich den Themen Industrie 4.0 in der Lehre, Industrie-4.0-isierung der Lehre oder Lernen und Arbeiten 4.0 mindestens implizit und eventuell auch schon explizit widmeten. Für die Auswertung geeignet erschienen uns schließlich 15 Publikationen<sup>23</sup> aus den Jahren 2012 bis 2016, die in Terkowsky, May, Frye (2019, S. 96) bzw. Terkowsky, Frye, May (2019, S. 583) aufgeführt sind. In der Folge wurden diese Veröffentlichungen einem exemplarischen Realitätstest mittels einer strukturierenden induktiven Inhaltsanalyse unterzogen.

---

<sup>23</sup> Siehe: Haertel et al. (2013); May et al. (2012), (2013); May, Ortelt, Tekkaya (2015); May, Sadiki et al. (2015); Meya et al. (2016); Ortelt et al. (2014); Ortelt et al. (2016); Pleul (2016); Sadiki et al. (2015); Selvaggio et al. (2016); Terkowsky et al. (2014); Terkowsky, Haertel et al. (2013); Terkowsky und Haertel (2013); Terkowsky, May et al. (2013).

### 5.3.1.3 Realitätscheck mittels strukturierender induktiver Inhaltsanalyse

Als Analysetechnik wurde von uns eine strukturierende induktive Inhaltsanalyse eingesetzt. Hierzu wurden von uns zunächst die in den Publikationen explizit und implizit genannten Lernziele herausgearbeitet. In acht der fünfzehn einbezogenen Publikationen konnten Lernziele oder Aussagen zu Lernzielen identifiziert werden, wobei in der Folge die inhaltlich relevanten Textstellen paraphrasiert wurden. Auf diese Weise konnten 29 Textstellen bearbeitet werden, die durch die Bereinigung von Mehrfachnennungen schließlich zu 23 Zielsetzungen des Labors kodiert wurden, aus denen schließlich vier übergeordnete Lernzielgruppen herausgearbeitet werden konnten (siehe Tabelle 3), die weitestgehend in Einklang mit den klassischen Lernzieltaxonomien stehen und zu den in solchen Fachlaboren am meisten adressierten Lernzielen zählen. Der letzte Schritt bestand nun darin, deduktiv zu überprüfen, inwieweit diese Lernziele den 18 Lernzielen der Industrie 4.0 zugeordnet werden können.

**Tabelle 3: übergeordnete Lernzielgruppen**

Lernzielgruppen	Anzahl der Codes
to gain practical experience	4
to plan, carry out and reflect experiments	6
to gather and evaluate measured data and characteristic values	5
to gain problem-solving abilities	8

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass 14 der 23 Lernziele aus den 4 Lernzielgruppen den 18 identifizierten Lernzielen der Industrie 4.0 aus Tabelle 2 zugeordnet werden konnten. Die tiefere Analyse zeigt, dass vor allem Sozial- und Selbstkompetenzen adressiert wurden, was daran liegen kann, dass sich die beteiligten Labordidaktiker\*innen hier methodisch und didaktisch bei der Gestaltung des Labors eingebracht hatten, was ja ausdrücklich Ziel des Projekts war.

Was nun die tiefere Analyse der fachspezifischen und fachübergreifenden technischen Kompetenzen angeht, so zeigt sich hier eine Zweiteilung: während die gelingende soziotechnische Interaktion mit den sich überlagernden Interaktionsmodi Face-to-Machine und Face-to-Interface eine zentrale Eigenschaft des Remote Labors ist, und so die erfolgreiche Bedienung von Industrie 4.0-Equipment mit adressiert wird, werden die anderen fachlichen und fachübergreifenden technische Kompetenzen, die über die soziotechnische Interaktivität hinausgehen, wenig bis gar nicht adressiert. Mehr noch, da nur ein einziger richtiger Weg zur Lösung der gestellten Aufgabe führte, der aus der Einhaltung der vorgegebenen Arbeitsschritte bestand, wurden Kompetenzen im Kontext von Kreativität, Innovation und Interdisziplinarität nicht gefördert. (Für eine ausführliche

Darstellung siehe Terkowsky, Frye, May 2019, S. 585–586 und Terkowsky, May, Frye 2019, S. 96–98).

Um die Kompetenzentwicklung für die Industrie 4.0 besser fördern zu können, haben wir aus den Ergebnissen drei Empfehlungen abgeleitet und formuliert:

1. **Mehr Industrie 4.0 in der Lehre:** wesentlich kann ein Lösen von einzelnen Fachdisziplinen und eine fachübergreifende Gestaltung oder Einbettung des Labors sein.
2. **Mehr Industrie 4.0.-isierung der Lehre:** eine Verbindung mit anderen Laboren unter einer gemeinsamen, weiterreichenden Problemstellung initiiert ein umfassenderes, komplexeres Lehr-Lernszenario. Hier kann die *Digitalisierung* als Remote-Labor eine Vielzahl von Möglichkeiten eröffnen.
3. **Mehr Konvergenz von Industrie 4.0 und Industrie 4.0-isierung der Lehre:** wird die Problemstellung weniger nur am fachbezogenen Grundlagenwissen, sondern stärker am berufspraktischen Kontext zukünftiger Ingenieurinnen und Ingenieure ausgerichtet, kann dies die Entwicklung von Systemkompetenz und die Fähigkeit, in komplexen und vernetzten Strukturen zu agieren, fördern (Terkowsky, Frye, May 2019, S. 587; Terkowsky, May, Frye 2019, S. 99).

Der Vollständigkeit halber muss aber auch erwähnt werden, dass 9 Codes sich keiner der drei I4.0-Kompetenzcluster zuordnen ließen, sondern in den klassischen Lernzieltaxonomien verblieben sind. Dies lässt den finalen Schluss zu, dass das untersuchte Labor durchaus das Potenzial hat, bei entsprechender didaktischer Weiterentwicklung der Aufgaben und Problemstellungen das neue I4.0-artige wesentlich intensiver fördern zu können, ohne das alte bewährte aber gleichwohl wichtige Fachliche lassen zu müssen. Es geht also nicht um eine Entweder-oder-Entscheidung, sondern um ein didaktisches Redesign, welches ein Sowohl-als-auch zulässt.

### 5.3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Anhand von Inhaltsanalysen wurde in der vorgestellten Studie untersucht, inwieweit die Gestaltung des Fachlabors in der Umformtechnik in Verbindung mit der teleoperativen Prü fzelle für Materialcharakterisierung bereits die im Kontext von Lernen und Arbeiten 4.0 geforderten Kompetenzen adressiert. Unser damaliges durchaus ausgewogen formuliertes Fazit lautete:

„Es konnte gezeigt werden, dass dieses Setting Potenzial aufweist, die Komplexität der Arbeitswelt 4.0 didaktisch reduziert in der hochschulischen Ausbildung zu berücksichtigen. Hier öffnet die Digitalisierung als Remote-Labor eine Vielzahl von Möglichkeiten. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass im untersuchten Labor nur wenige Kompetenzen aus dem fachspezifischen und fachübergreifenden technischen Bereich im Kontext von Industrie 4.0 angesprochen werden, da die fehlende

Interdisziplinarität die Förderung dieser Kompetenzen deutlich begrenzt“ (Terkowsky, May, Frye 2019, S. 100).

Diese Einschätzung lässt sich übrigens mit den Ergebnissen der KreaLab-Studie auf Basis der 6F nachträglich validieren: Im Fachlabor werden „Vielperspektivisches Lernen“ (F5) nur schwach und „Innovationsorientiertes Lernen“ (F6) gar nicht adressiert. Die gezielte Förderung dieser beiden Facetten in einem starkem I4.0-Bezug kann das Fachlabor gezielt in diese Richtung aufwerten und zukunftsfähig machen.

### **5.3.3 I4.0-Lab revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte**

Auch hier lässt sich über das methodische Vorgehen mit einigem zeitlichen Abstand sagen, dass es grundsätzlich möglich ist, auf die vorgeschlagene Weise wissenschaftlich fundierte Aussagen über den Stand der Förderung von Industrie 4.0 Kompetenzen im Fachlabor zu treffen. Auch diese Studie zeigt, dass man sich mit induktiven und deduktiven inhaltsanalytischen Schritten dem Untersuchungsgegenstand erfolgreich und erkenntnisgewinnend nähern kann.

Da es sich hier um eine non-reaktive Vorgehensweise handelte, waren zumindest soziale und soziotechnische Beeinflussungen durch Interviewer\*innen-Effekte und Beeinflussungen der soziotechnischen Situation durch beobachtende Personen, die dort im Normalbetrieb nicht hingehören, weitestgehend ausgeschlossen.

Ob es allerdings zielführend ist, Forschungsliteratur auf eine Richtung hin zu analysieren, für welche sie gar nicht konzipiert und geschrieben wurde, ist sicherlich eine andere Frage; denn es handelte sich ja nicht um Publikationen, die sich die Gestaltung und Reflexion eines Lernens und Arbeitens 4.0 zum Ziel gesetzt hatten. Die technische und didaktische Realisierung der teleoperativen Prüfwelle zur Materialcharakterisierung in der Umformtechnik stand in den Publikationen im Vordergrund. Gleichwohl ist es interessant, ein Indiz dafür zu haben, wie Autor\*innen aus einer fachlichen Community sich thematisch verorten, wenn es um innovative Themen geht, die nicht eng mit ihrer fachlichen Sicht verbunden sind. Auch hier wird deutlich, dass der Lehre und deren Verbesserung zwar ein gewisser Stellenwert zugestanden wird, aber die eigentliche fachliche Forschung genießt wesentlich höheren Stellenwert.

Was das Kategoriensystem bzw. Raster zur Identifikation von Industrie 4.0 Kompetenzen angeht, so ist eine Analyse mit immerhin 18 verschiedenen Kompetenzen (10/4/4) zwar möglich, aber der umgekehrte Weg, dieses Kompetenzraster dann als Grundlage für didaktische Gestaltungsentscheidungen zu nutzen, scheint mir mit diesem Modell zu komplex. Insbesondere in Verbindung mit den klassischen Taxonomien kommt man schnell in zahlenmäßige Größenordnungen, die bei der konsequenten Anwendung der Strategien des Constructive Alignment, insbesondere das explizite Transparentmachen

aller ILOs in Verbindung mit den TLAs und den ATs in die Dimension von früheren Versandhauskatalogen vorstößt. Damit lässt sich sehr wahrscheinlich nicht mehr sinnvoll arbeiten. Hier wäre also ein handhabbares konsolidiertes Modell in Verbindung mit klassischen Taxonomien nötig, um beide Welten gelingend adressieren zu können.

Was die eigentlichen Ergebnisse der Studie angeht, so bietet sich in der Rückschau das durchaus überraschende Bild, dass sich hier nicht nur Anreicherungen aus der Triangulation mit den Vorgängerstudien ergeben, sondern dass insbesondere der Vergleich zwischen KreaLab und I4.0-Lab zeigt, dass beide Studien zu dem folgenreichen Ergebnis kommen, dass es in der grundständigen Laborlehre am vielperspektivischen interdisziplinären Lernen (F5) und am innovationsorientierten Lernen (F6) mangelt.

Was das methodische Vorgehen angeht, so verweist die Analyse und Reflexion der beabsichtigten Lernergebnisse nur auf den ersten, planerischen Teil des didaktischen Designs, nicht aber auf die darauf bezogenen Lehrlernaktivitäten und Lehrlernerfolgskontrollen, deren Untersuchung erst zu einer vollständigen Bestimmung des Constructive Alignment des Fachlabors führen würde. Weitere Forschungen sollten deshalb auch die Lehrlernaktivitäten und die Prüfungsformen und deren Abstimmung aufeinander berücksichtigen.

Das beschriebene inhaltsanalytische Vorgehen wurde inzwischen von uns für das Remote-Labor VISIR (Virtual Instrument Systems in Reality) auf Basis von 35 auswertbaren einschlägigen Publikationen aus einer Gesamtmenge von 97 gesichteten Veröffentlichungen der zugehörigen Scientific Community wiederholt (vgl. (May et al. 2020), dessen Fazit hier kurz zitiert werden soll:

„Abschließend lässt sich feststellen, dass Remote-Labore durchaus einen geeigneten Kontext für die Ausbildung von Kompetenzen für die Industrie 4.0 bieten, auch wenn sie nicht unter dieser Prämisse entwickelt wurden. Nicht zuletzt die Eigenschaft, dass es sich um tele-operativ nutzbares Equipment handelt, welches in der Web-Nutzungsoberfläche eine digitale Entsprechung des Equipments aufweist, bietet Anknüpfungspunkte für aktuelle und zukünftige Arbeitsrealitäten. Allerdings, so zeigt auch das untersuchte Beispiel, hängt die Anbindung im Bereich der technischen Kompetenzen stark von der jeweiligen fachlich technischen Ausrichtung des Labors selbst ab“ (May et al. 2020, S. 223).

Auch ergibt sich aus dem methodischen Vorgehen, dass mit einer entsprechenden didaktischen Planung unter besonderer Berücksichtigung von Industrie 4.0 bezogenen fachspezifischen und fachübergreifenden technischen Kompetenzen sich das Labor entsprechend überarbeiten ließe, um den Zielsetzungen eines Lernens und Arbeitens 4.0 besser gerecht zu werden, auch wenn die Labortechnik ursprünglich gar nicht dafür entwickelt wurde.

## 6 Labordidaktische Forschungen im Innovationslabor

Schließlich wurde das Thema Kreativitätsförderung im Labor von uns noch einmal gesondert aufgegriffen, dabei aber das ingenieurwissenschaftliche Fachlabor in Form des Experimentierlabors mit seinen Versuchs- und Testapparaturen verlassen und konzeptionell gegen ein Innovationslabor zur Förderung von Ingenieurkreativität, unternehmerischem Denken und Innovationsfähigkeit ausgetauscht. Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Globalisierung der Wirtschaft und im Wettbewerb um die besten Ideen, Produkte und Köpfe, welches sowohl das produzierende Gewerbe und die dort beschäftigten Ingenieur\*innen betrifft, als auch eine hochinnovative Gründerszene, wurde folgende These aufgestellt, welche die gängige hochschulische Ingenieurausbildung mindestens herausfordert, wenn nicht sogar überfordert:

„Modern societies are not only in need of creative, innovative and entrepreneurial engineers—they are also in need of engineers having the courage to take risks and realize their ideas. (...) Providing engineering students with a setting allowing for acting in this way should be an overall task of engineering education on every organizational level from the single lesson to the course, to the curriculum to the department to the whole university and to the entire educational system for aligning engineering education on innovation mainstreaming“ (Terkowsky, Haertel et al. 2018b, S. 170).

Hieraus ergab sich für uns folgende handlungsleitende Frage für die Konzeption eines Lehrlernformates: Wie kann die Kreativität der Studierenden, ihr unternehmerisches Denken und Handeln, ihr Mut und ihre Risikobereitschaft, und schließlich ihre Innovationsfähigkeit durch die Ingenieurlehre gezielt gefördert und nicht etwa verhindert werden? Unsere Antwort bestand in der Entwicklung und Durchführung eines Lehrveranstaltungsformats für Studierende zur Förderung von Kreativität, von unternehmerischem Denken und von Innovationsfähigkeit, sowie zur Reflexion der dafür notwendigen Risikobereitschaft.

Das durchweg im Teamteaching durchgeführte Lehrveranstaltungsformat basiert auf einem von uns seit 2009 immer wieder weiterentwickelten flexibel anpassbaren hochschuldidaktischen Workshop-Konzept zur Gestaltung von kreativitätsförderlicher Hochschullehre. Es fußt zum einen auf dem ursprünglich im BMBF-Projekt Da Vinci für die hochschuldidaktische Weiterbildung entwickelten Workshop „Through The Barricades“ (TTB), und zum anderen auf einer im Zuge von ELLI 1 ab 2012 unter dem Titel „Rage Against The Machine“ (RAM) vorgenommenen Anpassung des Workshop-Konzepts speziell für Ingenieurlehrende. Das Lehrveranstaltungsformat für Studierende wurde ebenfalls ab 2012 in ELLI 1 im Kernbereich „Professionelle Handlungskompetenz“ in der Maßnahme „Kreativitätsförderliche Lehre“ entwickelt und ab 2016 in ELLI 2 im neu konzipierten Kernbereich „Entrepreneurship“ in den Maßnahmen „Kreativität“, „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“, sowie in der

Maßnahme „Forschungswerkstatt“ eingesetzt. Das Lehrveranstaltungs-konzept wurde mit der didaktischen Methode Constructive Alignment (Biggs und Tang 2011) entwickelt, immer wieder an die sich verändernden Bedarfe und Rahmenbedingungen von konkreten Lehrveranstaltungen angepasst und mit Methoden der Handlungs- und Praxisforschung formativ evaluiert und damit iterativ optimiert. Die verschiedenen Anpassungen des Workshop-Konzepts an unterschiedliche Bedarfe wurden zwischen 2016 und 2020 in insgesamt zehn Publikationen umfassend dokumentiert (Haertel et al. 2015; Haertel und Terkowsky 2016b; Haertel, Terkowsky, Jahnke 2017; Haertel, Terkowsky, May 2016; Haertel, Terkowsky, Ossenber 2016; Rose et al. 2019, 2020; Schönefeld et al. 2019; Terkowsky, Haertel et al. 2018a, 2018b).

Hintergrund dieses Kapitels meiner kumulativen Dissertation sind zwei Publikationen, die im Kontext der Entwicklung und Durchführung der Seminare bzw. Übungen in unterschiedlichen fachlichen Kontexten entstanden sind. Hierbei handelte es sich einerseits um die Lehrveranstaltungen „Projektmanagement“ und in der Folge auch um die ELLI-Maßnahme „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“, die beide von der in der Fakultät Maschinenbau der TU Dortmund angesiedelten Ingenieurdidaktik mehrfach im Kontext von ELLI 2 durchgeführt wurden. Andererseits wurden die von der Professur für Hochschuldidaktik und Hochschulforschung an der Fakultät Wirtschaftswissenschaften der TU Dortmund semesterweise alternierend durchgeführten Seminare „Academic Entrepreneurship and Applying Academic Entrepreneurship“ und „Foundations of Systematic and Strategic Entrepreneurship in Complex Systems“ jeweils mit einer Übung in Form eines zweitätigen stark anwendungsorientierten Innovationslabors praktisch begleitet.

Während Terkowsky, Haertel et al. (2018b) sich vor allem mit der methodengeleiteten Veranstaltungskonzeption und -durchführung mittels Constructive Alignment und den dadurch erzeugten Produkten und erzielten Ergebnissen befassen, aber dabei auch die Ermutigung zur Konfrontation mit der je eigenen Risikobereitschaft adressieren, wenden sich Rose et al. (2019) in einer Follow up Studie aus einer anders gelagerten theoretischen Perspektive vor allem der Bewältigung von negativen Emotionen zu, mit denen Studierende im Laufe von innovationsförderlichen Aufgabenstellungen in den Lehrveranstaltungen zwangsläufig konfrontiert werden.

## **6.1 Constructive Alignment im Innovationslabor (STE-Lab)**

Diese labordidaktische Forschung ist ebenfalls aus ELLI heraus im Kontext des ANR-Projektes „Innov’ing 2020 – Les ingénieurs et l’innovation: nouveau métiers, nouvelles formations“ entstanden (siehe Kapitel 4.1.2). Das Buchkapitel ist Teil des vom Projektkoordinator Denis Lemaître herausgegebenen Sammelbandes „Training Engineers for Innovation“ (Lemaître 2018c), der Rahmenbedingungen und Lösungen für

die Ingenieurausbildung diskutiert, die vor dem Hintergrund eines zunehmenden globalen Wettbewerbs auf die Steigerung der Innovationsfähigkeit von Ingenieur\*innen abzielen. Der Herausgeberband adressiert damit insbesondere die vierte Forschungsfrage des Projekts Innov'ing 2020:

- Mit welchen Maßnahmen kann man den herausgearbeiteten Defiziten in den beteiligten Ländern wirksam begegnen?

Der Herausgeber Denis Lemaître fasst sein Mission-Statement im Editorial des Sammelbands folgendermaßen zusammen:

„However, the link between engineering and innovation is no longer straightforward, as illustrated by multiple injunctions addressed to schools to better train engineers in innovation, as well as the work undertaken by the same institutions to develop educational tools dedicated to this objective. There is therefore a gap between the new skills expected of the engineers in terms of innovation and the knowledge and know-how transmitted by the schools to their graduates, which up to now have allowed them to meet society's expectations. The question is where does this gap come from?" (Lemaître 2018b, S. xi).

Unser Beitrag „Swimming with Sharks without Being Eaten: How Engineering Students can Learn Creativity, Entrepreneurial Thinking and Innovation“ (Terkowsky, Haertel et al. 2018b) eröffnet den dritten Teil des Sammelbands, der den Titel „Pedagogies of Innovation“ trägt und der vier verschiedene didaktische Szenarien und Ansätze zur Innovationsförderung im ingenieurwissenschaftlichen Studium aufzeigt. Die übergeordnete Forschungsfrage unseres Beitrags lautete hierbei: “How can engineering students learn to boost their creativity and to think like successful entrepreneurs aiming at innovativeness?” Unser Ausgangspunkt bestand dabei aus drei Thesen:

1. Kreativitätsförderung ist im Kontext der Ingenieurausbildung in entsprechend gestalteten Lehrveranstaltungen umsetzbar; Kreativität kann angeleitet und deren Prozesse und Produkte können beobachtet und anschließend Kriterien-geleitet beurteilt werden.
2. Erfinderrische Kreativität und unternehmerisches Denken stellen den eigentlichen Kern der Innovationsfähigkeit dar. Während kreative Prozesse eher dem divergenten Denken zur Generierung einer möglichst großen Zahl von Ideen zur Lösung eines gestellten Problems zugeordnet werden, ist das unternehmerische Denken eher dem konvergenten Denken zuzuordnen, welches die divergent erdachten Ideen prüft, unter ihnen auswählt, und diese so lange verfeinert, bis sie in einer konkret ausformulierten und auf Innovation abzielenden Geschäftsidee münden.
3. Innovation als intendierte Auswirkung von unternehmerischer Kreativität kann hingegen nicht beobachtet werden, da sie in der unvorhersehbaren Zukunft der kreativen Prozesse und Produkte liegt. Innovation ist möglich aber nicht gewiss.

Die Chancen der Realisierung einer möglichen Innovation können allenfalls Kriterien-geleitet beurteilt und eingeschätzt werden.

Für die Entwicklung und Durchführung unseres Veranstaltungsformats stellten sich hierzu vier handlungsleitende Fragenkomplexe:

1. Wie können erfinderische Kreativität, unternehmerisches Denken und Innovationsfähigkeit in der Ingenieurausbildung gefördert werden?
2. Wie können Studierende lernen, Kreativitätstechniken anzuwenden, um Lösungen für technische Probleme zu entwickeln und um daraus potenziell erfolgreiche Geschäftsideen herauszuarbeiten?
3. Wie können Studierende die Entwicklung ihrer kreativen Kompetenzen selber fördern? Wie können sie lernen, den für erfolgreiche Innovation nötigen Mut zu entwickeln, der für die Befolgung der Imperative „think out of the box“ und „think big“ aufgebracht werden muss?
4. Wie kann das als didaktische Simulation in einem genuin risikofreien und wohlwollenden Setting einer Lehrveranstaltung zumindest angestoßen werden (Terkowsky, Haertel et al. 2018b, S. 150)?

Um einen möglichst motivierenden Kontext für die Studierenden herzustellen, der sich maßgeblich von den üblichen Erwartungen und Erwartungserwartungen der gewohnten Lehrveranstaltungsformate unterscheiden sollte, wurde nach Vorbild der US-amerikanischen TV-Serie „Shark Tank“ (in Deutschland lizenziert unter dem Titel „Höhle der Löwen“) eine didaktische Simulation entwickelt und in die Übung integriert, die darauf abzielte, dass die Studierenden ihre Geschäftsideen vor einer Gruppe von potentiellen Investor\*innen für einen Geschäftsabschluss präsentieren und verteidigen sollten. Die Entwicklung der Geschäftsideen wurde zuvor mit einer Reihe von Kreativitätstechniken durchgeführt. Das Tutorium beinhaltete damit also alle Schritte, die von der ersten Ideenfindung über eine Ausarbeitung der Idee zu einer Geschäftsidee bis hin zur Präsentation vor Investor\*innen reichten.

Unter dem Titel „Shark Tank Experience“ wurde die Übung in den Sommersemestern 2015, 2016 und 2017, sowie in den Wintersemestern 2015/16 und 2016/17 zu den von der Professur für Hochschuldidaktik und Hochschulforschung in der Fakultät Wirtschaftswissenschaften der TU Dortmund angebotenen Entrepreneurship-Seminaren mit insgesamt 51 Studierenden durchgeführt. Die Übung wurde hierbei im Teamteaching von drei Lehrenden durchgeführt. Darüber hinaus wurde von zwei Lehrenden im Sommersemester 2017 die Lehrveranstaltung „Projektmanagement“ in der Ingenieurdidaktik der Fakultät Maschinenbau an der TU Dortmund in einer angepassten Version der Übung mit insgesamt 37 Studierenden umgesetzt.

### 6.1.1 Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse

Auf der Ebene der didaktischen Entwicklung der Veranstaltung orientierten wir uns methodisch am Constructive Alignment. Darüber hinaus wurde das Constructive Alignment von „Shark-Tank-Experience“ während jeder Durchführung mit qualitativen Methoden formativ evaluiert und so die Qualität der ILOs, TLAs und ATs als auch deren Abstimmung aufeinander iterativ optimiert. Hierdurch ergab sich ebenfalls eine multiple Triangulation, die die qualitativen Methoden diesmal um das CA gruppierte. Im Folgenden wird die Umsetzung des CA als Methode zur didaktischen Gestaltung und zur formativen Evaluation des didaktischen Designs noch einmal nachvollzogen.

#### 6.1.1.1 Entwicklung beabsichtigter Lernergebnisse (ILOs)

Im anwendungsorientierten Tutorium sollen folgende Intended Learning Outcomes (ILOs) erreicht werden. Nach der zweitägigen „Shark-Tank-Experience“ sollten die teilnehmenden Studierenden künftig in der Lage sein...

**ILO 1:** ...ihre je unterschiedlichen kreativitätsförderlichen und kreativitätsblockierenden personalen Voraussetzungen und situativen Bedingungen eigenständig zu reflektieren, um für sich möglichst kreativitätsförderliche Voraussetzungen und Bedingungen zu schaffen, sowie die Grenzen gängiger Kreativitätsdefinitionen und Bewertungskriterien zu erkennen und auf ihren Nutzen hin zu reflektieren;

**ILO 2:** ...wirksame Kreativitätstechniken zur Ideenfindung auszuwählen und anzuwenden, um in der Folge innovative Geschäftsideen mit Ingenieurbezug zur Lösung von selbstdefinierten realweltlichen (sozio-)technischen Problemstellungen entwickeln zu können;

**ILO 3:** ...ihre innovative Geschäftsidee für einen möglichst überzeugenden Pitch vor Investoren vorzubereiten, zu präsentieren und zu verteidigen (die eigentliche Shark-Tank-Experience);

**ILO 4:** ...unter dem Leitmotiv „Tue etwas Ungewöhnliches!“ (siehe hierzu auch Haertel, Terkowsky, Ossenberg 2016) ein eigenes kleines soziales Krisenexperiment zu kreieren, durchzuführen und davon anschließend im Plenum zu berichten, um entweder die nur in die soziale Situation übertragenen und deshalb gar nicht eintretenden eigenen negativen Erwartungserwartungen zu reflektieren oder um sich in der Bewältigung von tatsächlich stattfindenden sozialen Zurückweisungen zu üben und sich zunehmend dagegen zu desensibilisieren.

Während die ILOs 1 bis 3 auf die praktische Umsetzung von akademischem Wissen abzielen und zumindest auf einer grundlegenden Ebene in einem Tutorium eindeutig erreichbar sind, ist ILO 4 zur Förderung der Risikofähigkeit mehr oder weniger ein langfristiges Lernziel, welches auf „transformative Lernprozesse“ (Fuhr und Gremmler-Fuhr 1988), also auf Veränderungen personaler Dispositionen durch Selbstbeobachtung,

Selbstreflexion und Übung abzielt und nicht innerhalb von zwei Tagen vollständig erreicht werden kann. Die Studierenden können jedoch die Einsicht entwickeln, dass sie ihre Persönlichkeit weiterentwickeln müssen, wenn sie ihre eigenen Ideen langfristig besser umsetzen wollen.

#### 6.1.1.2 Modellierung von Lehrlernaktivitäten (TLAs)

Aus den vier zentralen beabsichtigten Lernergebnissen wurden dann folgende Lehrlernaktivitäten modelliert:

**TLA 1:** Zur Adressierung des ersten ILOs wurde zunächst ein Partner\*innen-Interview durchgeführt, welches sowohl dem schnellen gegenseitigen Kennenlernen und Überwinden von Kommunikationshürden zwischen Unbekannten, als auch einem ersten Einstieg ins Thema dienen kann, und zwar immer dann, wenn die Interviewfragen themenbezogen gestellt werden. Hierzu sollten die Interviewpaare sich wechselseitig folgende drei Leitfragen stellen und protokollieren: „Was ist Kreativität für Dich?“, „Unter welchen Bedingungen bist Du kreativ?“ und „Wie kreativ schätzt Du Dich ein auf einer Skala von 0 bis 10?“ Als erste kurze integrierte Übung im kreativen Assoziieren wurde zusätzlich an jeden Teilnehmenden ein Überraschungsei verteilt und nach dem Auspacken des darin eingekapselten zusammenbaubaren Spielzeugs sollte jeder Partner eine Assoziation zwischen dem zuvor vom Gegenüber Gesagten und dem jeweiligen Spielzeug herstellen. Während der anschließenden paarweisen gegenseitigen Vorstellungen im Plenum wurden die Antworten auf Flip-Chart dokumentiert und anschließend Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Widersprüche in einer moderierten Gruppendiskussion gemeinsam erörtert und reflektiert.

Als grundsätzliches Ergebnis lässt sich festhalten, dass es keine überindividuell einheitlichen kreativitätsförderlichen Bedingungen gibt, die für alle bisherigen teilnehmenden Studierenden gleich sind. Was für Person A eine kreativitätsförderliche Bedingung ist, kann den kreativen Ausdruck von Person B behindern oder verhindern. Die Entfaltung der je eigenen Kreativität unterliegt somit einerseits unterschiedlichen personalen, sozialen und situativen Bedingungen. Andererseits ist es möglich, dass Studierende ihre von ihnen identifizierten eigenen kreativitätsförderlichen Bedingungen künftig bewusst herstellen oder zumindest positiv beeinflussen können, sofern sie kreativitätserfordernde Aufgaben zu lösen haben.

In einem weiteren Schritt wurden im Plenum dann Objekte künstlerischer Kreativität und Ingenieurkreativität präsentiert und vor dem Hintergrund von Definitionen und Bewertungskriterien für Kreativität diskutiert. Hier zeigt sich, dass dem Kreativen immer etwas Neues, Ungewöhnliches, Unerwartetes, Negentropisches anhängt, dass Kreativität also im informationstheoretischen Sinne immer Information erzeugt, welche mit der Zeit aber abnimmt und verblasst. Es lässt sich auch zeigen, dass sich die Ergebnisse von

Kreativität vor dem Hintergrund von zuvor dafür operationalisierten Zwecken bewerten lassen.

Gemäß ILO 1 wurden die Studierenden durch die TLA 1 in die Lage versetzt, Set und Setting ihrer individuellen Kreativität zu kennen und künftig auch bewusst herzustellen. Sie kennen gängige Definitionen und Beurteilungskriterien von Kreativität und können deren Reichweiten und Grenzen einschätzen.

**TLA 2:** Zunächst wurde den Studierenden eine Auswahl von auf YouTube verfügbaren Pitches aus der TV-Serie Shark Tank gezeigt und diskutiert und ihnen erklärt, welche Art von Präsentation als Endergebnis ihrer kreativen Gruppenarbeiten von ihnen erwartet werden würde. Danach wurden in unterschiedlichen Durchläufen verschiedene Kreativitätstechniken vorgestellt und eingesetzt, um zu lösende Problemstellungen zu identifizieren und auszuhandeln, um letztlich individuell und in Arbeitsgruppen innovative Ideen zu generieren und auszuarbeiten. Zum Einsatz kamen dabei in unterschiedlich verschachtelten Sequenzen Kreativitätstechniken für visionäres und divergentes Denken wie die assoziative Bildertechnik, Brain Writing, Brainstorming, 6-3-5, sowie die Denke-Hüte Technik. Dadurch konnten die Studierenden auch unterschiedliche Kreativitätstechniken für unterschiedliche Zielsetzungen in ihrer Anwendung kennenlernen und auf ihre Vor- und Nachteile hin aus ihrer je subjektiven Sichtweise einschätzen.

Gemäß ILO 2 waren am Ende dieser Phase alle Kleingruppen in der Lage, jeweils eine rudimentär ausgearbeitete visionäre Geschäftsidee zur Lösung eines realweltlichen Problems mit Ingenieurbezug auszuformulieren, die durch die Verschachtelung von unterschiedlichen Kreativitätstechniken zustande gekommen ist.

**TLA 3:** Im weiteren Verlauf wendeten die Studierenden dann als Strategie des konvergenten Denkens den Business Model Canvas (BMC) an, einer aus neun Elementen aufgebauten Systematik zur schnellen Entwicklung und Reflexion von Geschäftsideen. Anschließend bereiteten sie den eigentlichen Pitch im Stil von Shark Tank vor. Schließlich wurde in einem Rollenspiel die ausgearbeitete Geschäftsidee vor eine Gruppe von „Investor\*innen“ präsentiert, die von im Hause anwesenden Kolleg\*innen als auch von den jeweils anderen Studierenden gespielt wurden, die somit auch in die Rolle der „Sharks“ schlüpfen mussten, um so auch diese Perspektive erfahren und reflektieren zu können.

Gemäß ILO 3 waren die Studierenden nach dieser Phase in der Lage, ihre Geschäftsidee mittels des BMC zu optimieren und anschließend einen Pitch im Stil von Shark Tank zu erarbeiten, zu präsentieren und zu verteidigen. Sie waren auch in der Lage, die Rolle der Sharks einzunehmen und von diesem Perspektivwechsel ebenfalls zu profitieren.

**TLA 4:** Für die Zeit zwischen Ende des ersten und Beginn des zweiten Tages erhielten die Studierenden die Aufgabe, jeweils ein eigenes kleines soziales Krisenexperiment zu

kreieren und durchzuführen. Ziel war dabei, dass die Studierenden ihre wie auch immer gearteten negativen und positiven Emotionen vor, während und nach der Durchführung des sozialen Experiments beobachten und festhalten sollten. Hier wurden keine weiteren Vorgaben gemacht, sondern die Studierenden waren vollkommen frei in der Entscheidung, welche Intensität von sozialer Überwindung sie sich zur Aufgabe stellen wollten. Einzige Bedingung war, dass es sich um soziale Situationen handeln sollte. Am nächsten Tag mussten die Studierenden dann nacheinander im Plenum darstellen, welches Szenario sie für sich ausgewählt haben und wie sie sich vorher, währenddessen und hinterher gefühlt hatten. Als Ergebnis zeigt sich, dass die negativen Gefühle vor Absolvierung der Aufgabe überwogen, während der Aufgabe in der eigentlichen Situation aber das jeweilige eigene Funktionieren beobachtet werden konnte, und hinterher überwogen die positiven Gefühle der Erleichterung über das erfolgreiche Absolvieren der Aufgabe in der sozialen Situation.

Gemäß ILO 4 waren die Studierenden in der Lage, etwas für sie Ungewöhnliches zu identifizieren und zu tun und die dadurch in unterschiedlichen Phasen der Aufgabe provozierten Emotionen zu reflektieren.

In der Zusammenschau der TLAs 1 bis 3 zeigte sich auch, dass Teams, die aus Studierenden bestanden, die sich selber eigentlich eine niedrigere individuelle Kreativitätsselbstbewertung gegeben hatten, trotzdem in der Lage waren, visionäre und innovative Geschäftsideen zu entwickeln, die denen, die sich höhere Kreativitätsselbstbewertungen gegeben hatten, in nichts nachstanden. Daraus lässt sich entweder schließen, dass sie bei ihrer Selbsteinschätzung zu pessimistisch vorgegangen waren, oder aber, dass die kreative Arbeit im Team durch das hochgradig vernetzte Arbeiten und das Einbringen von individuell unterschiedlichen Ressourcen und Kompetenzen individuelle Kreativitätsdefizite ausgleichen kann.

Für TLA 4 zeigte sich, dass beinahe jeder Teilnehmende in der Lage war, eine für sich herausfordernde soziale Situation zu kreieren, die Herausforderung zu meistern und dann der Gruppe davon zu berichten. Diejenigen, die die Aufgabe nicht erledigt hatten, mussten sich zumindest im Plenum erklären, ohne dass sie aber für die Nichtausführung der Aufgabe von uns oder den anderen Teilnehmenden negativ kritisiert oder gar gemäßregelt worden wären.

#### 6.1.1.3 Modellierung der Lehrlernerfolgskontrolle (ATs)

Die Lernlernerfolgskontrolle der begleitenden Übungen zu den Entrepreneurship-Seminaren bestand jeweils in der aktiven Teilnahme, die insbesondere darin bestand, an allen in Form von Arbeitsaufträgen gestellten Lehrlernaktivitäten konstruktiv und engagiert mitzuwirken und anschließend einen kurzen leitfadengestützten Reflexionsbericht zu verfassen. Die aktive Teilnahme floss zu 20% in die Gesamtleistung der Seminare ein. Wir entschieden uns gegen eine umfassendere Kriterien-geleitete

quantitative und qualitative Beurteilung der von den Studierenden gestalteten kreativen Prozesse und Produkte. Wichtigstes Ziel war für uns, maximal möglich die intrinsische Motivation und die Neugier auf die eigene Kreativität anzustoßen, zu fördern und zu unterstützen und dieses Ansinnen nicht durch die sonst eher extrinsisch motivierte, möglichst effizient und effektiv zu erledigende Prüfungsleistung zu durchkreuzen.

Bei der Lehrveranstaltung zum Projektmanagement in der Ingenieurdidaktik bestand die Lehrlernerfolgskontrolle dagegen aus zwei Teilen: zum einen ging es um die konkrete Entwicklung eines materialen Produktes, in diesem Fall um eine zu erfindende Erweiterung für ein Rutschauto für Kleinkinder; zum anderen um das zu entwickelnde und umzusetzende Projektmanagement, welches den Produktentwicklungsprozess steuern sollte, so dass sowohl die innovative und funktionale Qualität des materialen Endproduktes, als auch die Qualität des Projektmanagements mittels vorher transparent kommunizierter Kriterien beurteilt werden konnten. Auch hier erzeugte das hohe Maß an Freiheiten bei der Entwicklung der Produktideen eine beobachtbare hohe intrinsische Motivation unter den teilnehmenden Studierenden.

#### 6.1.1.4 Formative Evaluation des Constructive Alignment

Für die formative Evaluation des Constructive Alignment von „Shark-Tank-Experience“ haben wir uns einer methodenexternen Triangulation bedient, die aus folgendem Methoden-Setting bestand:

1. Teilnehmende Beobachtung und handschriftliche Notizen zu den sozialen und soziotechnischen Interaktionen, die während der Workshops stattfanden;
2. Fotoprotokolle der prozesshaften Artefakte und Visualisierungen, die von den Studierenden in den unterschiedlichen Workshop-Phasen mit dem zur Verfügung gestellten Moderationsmaterial angefertigt wurden;
3. Handschriftliche Protokolle, die von uns während der moderierten Reflexionsrunden und der abschließenden Evaluationsrunde angefertigt wurden; sowie
4. Strukturierte individuelle Reflexionsberichte, die von den Studierenden im Nachgang des Tutoriums anzufertigen waren.

Die so gewonnenen Daten wurden von uns immer wieder in der Nachbereitung des vergangenen als auch in der Vorbereitung auf den nächsten Workshops auf etwaige Verbesserungsmöglichkeiten hin analysiert und diskutiert. Hierzu wurde ein inhaltsanalytisches Vorgehen gewählt. Basis bildete hierbei das Constructive Alignment, dessen operationalisierte Grundelemente als Analysekatoren dienten. Dabei standen drei Leitfragen im Vordergrund:

1. Bezogen auf die ILOs: Was sollen die Studierenden hier lernen? Ist das, was die Studierenden hier lernen tatsächlich das, was sie hier lernen sollen?

2. Bezogen auf die TLAs: Durch welche TLAs können die Studierenden die ILOs erreichen? Sind die ILOs mit den eingesetzten TLAs erreichbar? Adressieren die eingesetzten TLAs andere gar nicht beabsichtigte Lernergebnisse?
3. Bezogen auf die ATs: Woran kann man erkennen, dass die Studierenden die ILOs durch die Bearbeitung der TLAs erreicht haben? Wie gut haben sie die ILOs durch die Bearbeitung der TLAs erreicht? Haben die Studierenden die ILOs auch auf anderen Wegen oder durch das Nutzen von Abkürzungen erreichen können?

Durch die kritische Beantwortung dieser Fragen haben wir über die vielen Workshops und Lehrveranstaltungen hinweg die von uns modellierten und formulierten ILOs, TLAs und ATs immer wieder auf ihre Funktionserfüllung im Constructive Alignment hin formativ evaluiert, transformativ reflektiert und letztlich iterativ optimiert. Auf Basis dieser „transformativen Reflexionen“ (Biggs und Tang 2011) S. 49) wurden von uns zeitliche, strukturelle und inhaltliche Überarbeitungen vorgenommen, wo immer es uns nötig und möglich erschien.

#### 6.1.1.5 Formulierung eines unternehmerischen Imperativs für Studierende

Das Kapitel mündet schließlich in unsere Vision eines unternehmerischen Imperativs für Studierende, der die zu entwickelnden Kompetenzen bilanziert, die nach unserer Auffassung für kreatives unternehmerischen Denken und Handeln im Studium und darüber hinaus notwendig sind:

“Finally, students should not wait for their institutions or their teachers to give them permission to be creative and innovative. Instead, they should simply start alone. To this end, they should somehow practice each day

1. to reflect on their personal creative sets and design their settings accordingly
2. to use creativity techniques to generate ideas
3. to show steadily courage to express themselves and to achieve their ideas

Probably, this is all it takes” (Terkowsky, Haertel et al. 2018b, S. 171).

#### 6.1.2 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Mit Shark-Tank-Experience wurde ein Lehrveranstaltungskonzept vorgestellt, mit dem Studierende lernen können, kreativer, innovativer und risikobereiter zu denken und zu handeln, oder kurz: wie Unternehmer\*innen zu denken und zu handeln.

Auch hierzu setzten wir eine multiple Triangulation um. Auf der Ebene der didaktischen Entwicklung der Veranstaltung orientierten wir uns stark am Constructive Alignment, in dem wir beabsichtigte Lernergebnisse (IOLs), darauf bezogene Lehrlernaktivitäten (TLAs) und Lernerfolgskontrollen (ATs) definierten. Das Constructive Alignment von „Shark-Tank-Experience“ wurde während jeder Durchführung mit qualitativen

Methoden formativ evaluiert und so die Qualität der ILOs, TLAs und ATs als auch deren Abstimmung aufeinander iterativ optimiert.

Auf der inhaltlichen Ebene wurde eine Vielzahl von Kreativitätstechniken eingesetzt und die entstandenen Produkte und Prozesse immer wieder in der Gruppe reflektiert. Jeweils anschließend wurden auch die Kreativitätstechniken selbst auf Vor- und Nachteile, auf je individuelle Präferenzen und Abneigungen hin diskutiert und reflektiert, so dass jeder Teilnehmende sukzessive immer mehr Ressourcen und Kompetenzen entwickeln konnte, um die konstruktive Steuerung der je eigenen individuellen Kreativität zu erfahren und zu übernehmen.

Es zeigte sich auch, dass Team-Kreativität in der Lage ist, selbsteingeschätzte individuelle Kreativitätsdefizite auszugleichen, so dass die präsentierten Lösungen der vermeintlich aus Low-Achievers bestehenden Teams denen der High-Achievers in nichts nachstanden. Alle teilnehmenden Studierenden zeigten großes Engagement während der vielen verschiedenen Gruppenarbeitsphasen und beim abschließenden Rollenspiel, dem Präsentieren der entwickelten innovativen Geschäftsidee in einem Pitch vor Investor\*innen, der eigentlichen Shark-Tank-Experience.

Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang, dass diejenigen teilnehmenden Studierenden, die aus Studiengängen des Wirtschaftsingenieurwesens und der Wirtschaftswissenschaften stammten, mitunter schon Grundkenntnisse zu den von uns eingesetzten Kreativitätstechniken vorweisen konnten. Allerdings handelte es sich dabei um träges Wissen, da sie die Kreativitätstechniken nur als passiv entgegenzunehmenden Vorlesungsstoff dargeboten bekommen haben. Sie gaben in der abschließenden Reflexionsrunde denn auch an, dass sie von sich aus nie auf die Idee gekommen wären, diese Techniken tatsächlich zum Definieren und Erreichen von Zielen einzusetzen, sich also auch deren prozedurale Wissenskomponente durch selbstorganisiertes „Learning by Doing“ zu erschließen.

Was die Didaktisierung von Mut und Risikobereitschaft angeht, so sind hier durch das Format klare organisatorische und ethische Grenzen gesetzt, denn transformative Lernprozesse brauchen in der Regel viel mehr Zeit und entsprechendes Coaching mit klarer freiwilliger Auftragsvergabe von den Studierenden an die Lehrenden, was ein zweitägiger Workshop im Rahmen einer übergeordneten Lehrveranstaltung so nicht bieten kann. Aber zumindest der Anflug kann vorbereitet werden und die Studierenden können die Einsicht entwickeln, dass sie ihre Persönlichkeit weiterentwickeln müssen, wenn sie ihre eigenen Ideen langfristig besser umsetzen wollen.

Aus unseren gewonnenen Erkenntnissen zu Mut und Risikobereitschaft für erfolgreiches unternehmerisches Denken und Handeln von Studierenden entwickelte sich schließlich die Forschungsfrage, welche verschiedenen Emotionen Studierende während ihrer Teilnahme in Lehrveranstaltungen der Entrepreneurship-Education durchleben und

verarbeiten. Dies mündete schließlich in eine exemplarischen Follow-up Studie, die hier kurz vorgestellt wird.

## 6.2 Follow up Studie: Emotionen im Innovationslabor

Hintergrund dieser Follow-up Studie zu Shark Tank Experience ist ein weiteres Special Issue des European Journal of Engineering Education (EJEE), welches unter dem Titel “(Re)Thinking Higher Engineering Education” (Volume 44, 2019 - Issue 4) als Tagungspublikation der in zweijährigem Turnus stattfindenden „Conferência Internacional da Sociedade Portuguesa para a Educação em Engenharia (CISPEE)“ von der 2010 gegründeten Portugiesischen Gesellschaft für Ingenieurbildung herausgegeben wurde. Der im Nachgang der Konferenz veröffentlichte Call for Paper richtete sich sowohl an Konferenzteilnehmende, als auch an weitere Interessierte aus der internationalen Engineering Education Community. Unser Beitrag war letztlich einer von 12 Artikeln, die sich in einem zweistufigen Double-Blind Peer Review Verfahren durchsetzen konnten und im Special Issue veröffentlicht wurden. Wir nutzten diese Publikationsmöglichkeit als Gelegenheit, das Konzept von Shark Tank Experience diesmal in Verbindung mit den beiden übergeordneten Seminaren zu Entrepreneurship in den Wirtschaftswissenschaften eingehender theoretisch-empirisch zu beforschen. Ausgehend von der „Tue etwas Ungewöhnliches“-Aufgabe in STE und der damit in Verbindung stehenden Reflexion der zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftretenden negativen und positiven Emotionen stellte sich für uns die übergeordnete Frage, welche Emotionen Studierende in Lehrveranstaltungen zu Entrepreneurship erleben und wie sie diese verarbeiten. Die übergeordnete Forschungsfrage unseres Beitrags lautete deshalb: „Welche Rolle spielen Emotionen für Studierende für das Erreichen von beabsichtigten Lernergebnissen (ILOs) in der hochschulischen Entrepreneurship Engineering Education?“ (Rose et al. 2019, 2020). Zur Beantwortung dieser Frage bezogen wir uns auf die Theorie der Liminalität bzw. der liminalen Räume und deren Durchschreiten in transformativen Lernprozessen (Land et al. 2010, S. ix). Dieses Durchschreiten eines fachlichen liminalen Raumes kann zu transformativen Lernprozessen führen, die letztlich in einer Veränderung des Wissens, Denkens und Handelns münden, wobei diese Veränderung von starken positiven wie negativen Emotionen begleitet werden kann (Meyer und Land 2005). Nach Pekrun (2014) sind vier Gruppen von akademischen Emotionen für das Lernen der Studierenden besonders relevant: Leistungsemotionen, epistemische bzw. erkenntnistheoretische Emotionen, themenbezogene Emotionen, sowie soziale Emotionen. Diese Emotionen können positiv oder negativ ausfallen, sie können intensiv und häufig auftreten. Einige dieser Emotionen kommen aus dem Leben außerhalb der Hochschule, viele von ihnen haben jedoch ihren Ursprung im hochschulischen Umfeld (Pekrun 2014, S. 8). Hieraus ergaben sich für uns im Rahmen der Follow up Studie folgende drei Forschungsfragen:

- Welche Emotionen erleben Studierende im Rahmen der Lehrveranstaltungen der hochschulischen Entrepreneurship Education?
- Wo können dabei liminale Räume auftreten?
- Wie können Lehrende die Studierenden bei der Überwindung liminaler Räume in der Entrepreneurship Education unterstützen?

Für die Follow up Studie von STE wurden jedoch keine neuen Daten erhoben. Vielmehr wurden die bereits gewonnenen Daten aus den vier Entrepreneurship-Seminaren zwischen Sommersemester 2015 und Wintersemester 2016/17 und den vier begleitenden STE-Übungen unter dem oben beschriebenen theoretischen Blickwinkel der transformativen Lernprozesse im Kontext von Liminalität inhaltsanalytisch neu ausgewertet.

### 6.2.1 Methodisches Vorgehen und erzielte Ergebnisse

Die beiden Veranstaltungen („Academic Entrepreneurship and Applying Academic Entrepreneurship“ und „Foundations of Systematic and Strategic Entrepreneurship in Complex Systems“) weisen eine hohe Ähnlichkeit in Bezug auf Ziele und Inhalte auf. Sie bestehen jeweils aus zwei Teilen: einem Seminar zur Förderung des theoretischen Verständnisses von Entrepreneurship, sowie der oben bereits ausführlich beschriebenen seminarbegleitenden Übung Shark Tank Experience zur Förderung und Reflexion von individueller und kollaborativer Kreativität im Kontext von Innovation und unternehmerischem Denken. Die Datenbasis bezieht sich damit auf zwei vollständige Veranstaltungszyklen aus zwei aufeinanderfolgenden Studienjahren.<sup>24</sup> In diesem Zeitraum nahmen insgesamt 41 Studierende aus den Masterstudiengängen Maschinenbau, Logistik und Wirtschaftswissenschaften aus unterschiedlichen Herkunftsländern (Deutschland, China, Polen, Georgien, Russland, Ukraine, Kamerun) an den Lehrveranstaltungen teil. Beide einbezogenen Lehrveranstaltungen sind Wahlpflichtveranstaltungen mit einem Umfang von vier Semesterwochenstunden bzw. 7,5 ECTS.

In die Untersuchung wurden vier Veranstaltungsphasen einbezogen, jeweils zwei Phasen aus dem Seminar und zwei Phasen aus der STE-Übung. Hierzu zählte die Teamarbeit bei den Forschungsprojekten im Seminar, die Präsentation der Forschungsprojekte und die

---

<sup>24</sup> Die Lehrveranstaltung zum Projektmanagement in der Ingenieurdidaktik der Fakultät Maschinenbau aus dem Sommersemester 2017 wurde hierbei nicht einbezogen, da sie inhaltlich eine andere Zielsetzung als die Entrepreneurship-Seminare in der Fakultät Wirtschaftswissenschaften verfolgte und weder schriftliche Reflexionsberichte noch mündliche Gruppenreflexionen zu emotionalen Verarbeitungsprozessen Bestandteil der Aufgabenstellung waren. Die Produkte und Artefakte, die im Kontext der kreativen Erstellung der Geschäftsideen entstanden sind, spielten unter der hier verfolgten Forschungsfrage keine Rolle, da der kreative Ausdruck, der jedem kreativen Produkt oder Artefakt innewohnt, hier nicht untersucht worden ist. Ebenso wurde das oben noch mit einbezogene Entrepreneurship-Seminar inkl. Übung aus dem Sommersemester 2017 hier aus Symmetriegründen nicht mit einbezogen.

Moderation der Diskussionen im Seminar, das Pitching der Geschäftsideen im Tutorium, und die "Do-Something-Unusual-Aufgabe", die die Studierenden im Rahmen des Tutoriums dazu anregen sollte, Unsicherheit im Rahmen des Tutoriums auszuhalten und zu reflektieren.

Bei dem zu analysierenden Datenmaterial fokussierten wir uns auf die Daten, die Aufschluss über die emotionale Verarbeitung geben konnten. Hierzu zählten die handschriftlichen nicht vorstrukturierten Beobachtungsprotokolle, die von uns während der moderierten mündlichen Reflexionsrunden in der Übung angefertigt wurden, die strukturierten individuellen Reflexionsberichte, die von den Studierenden anzufertigen waren, grundlegende Informationen über die Zusammensetzung der studentischen Arbeitsgruppen, sowie Gedächtnisprotokolle von den Treffen mit den Studierenden, die während der Semesterdauer von Lehrkräften angefertigt worden waren.

### 6.2.2 Deduktiv-induktive qualitative Inhaltsanalyse

Das Material wurde mit einer deduktiv-induktiven qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Zunächst wurde dazu das Modell der akademischen Emotionen von Pekrun als qualitativ deduktiv anzuwendendes Kategoriensystem eingesetzt. Als Ergebnis ließ sich festhalten, dass in den einbezogenen Lehrveranstaltungen der hochschulischen Entrepreneurship Education die folgenden Emotionen bei Studierenden auftraten:

- **Leistungsemotionen:** sie beziehen sich auf Leistungsaktivitäten sowie auf Erfolg und Misserfolg, die sich aus diesen Aktivitäten ergeben. Hierzu zählten die üblichen anfänglichen Unsicherheiten, wenn im Rahmen der Übung die Lehrenden die Lernerfolgskontrolle für die erfolgreiche Teilnahme darstellten, die sich von den sonst üblichen Leistungsnachweisen maßgeblich unterschied. Hierzu zählten aber auch Freude und Stolz für das erfolgreiche Absolvieren der gestellten Aufgaben. Hierunter vielen aber auch Leistungsenttäuschungen, z.B. wenn „Investor\*innen“ die vorgestellten Geschäftsideen zu sehr kritisierten und letztlich ablehnten.
- **Erkenntnistheoretische Emotionen:** hierzu zählen vor allem Überraschung, Neugier, Verwirrung und Unsicherheit, etwa, wenn Studierende mit Problemen wegen neuer oder ungewohnter Aufgaben konfrontiert wurden wie z.B. die Übernahme der Moderation von fachlichen Diskussionen im Seminar nach der Präsentation der eigenen Forschungsprojekte, der Entwicklung der Verkaufspräsentation ihrer Geschäftsideen oder der „Tue-etwas-Ungewöhnliches“ Aufgabe.
- **Themenbezogene Emotionen:** sie beziehen sich auf das Interesse der Studierenden an den in den Lehrveranstaltungen dargebotenen fachlichen Inhalten. Obwohl themenbezogene Emotionen in den vier einbezogenen

Veranstaltungsphasen kaum direkt beobachtet werden, war doch augenfällig, dass die Studierenden immer dann engagiert an den Reflexions- und Diskussionsrunden teilnahmen, wenn sie eigene Erfahrungen einbringen konnten.

- **Soziale Emotionen:** sie beziehen sich auf Lehrende und Kommiliton\*innen und können soziale Ängste aber auch Vertrauen beinhalten, das vor allem für die Gruppenarbeit im Rahmen der Forschungsprojekte, aber auch für das gemeinsame Entwickeln von Geschäftsideen notwendig war. Hierbei konnte beobachtet werden, dass es in Bezug auf Nationalität, Studiengang oder Geschlecht heterogenen Gruppen im Gegensatz zu homogenen Gruppen schwieriger fiel, Vertrauen zu entwickeln.

In einem folgenden Schritt wurde die Inhaltsanalyse mit einem induktiven Schritt erweitert, um im Datenmaterial induktiv weitere Quellen von Emotionen zu identifizieren und insbesondere die situativen Kontexte ihres Auftretens zu ermitteln. Für eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse, siehe Rose et al. 2019, S. 133–138 und Rose et al. 2020, S. 611–613.

### 6.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Als zentrales Ergebnis lässt sich festhalten, dass alle genannten Typen von Emotionen auch in Lehrveranstaltungen der Entrepreneurship-Education gegenwärtig sind. Es zeigt sich aber auch, dass insbesondere negative Emotionen einen gewissen Schwellenwert nicht überschreiten, d.h., dass die Studierenden Emotionen der härteren Gangart, wie etwa Wut, Ärger oder Hass gut regulieren konnten, sofern sie denn vorhanden gewesen sein sollten. Darüber hinaus zeigt sich aber auch, dass die Reflexion von Studierenden über emotionale Prozesse, die das Aushalten von Ungewissheit beinhalten, wesentlich zum Erreichen von Lernergebnissen beiträgt und dass Lehrende solche Reflexionsprozesse unterstützen können, indem sie ihnen einen angemessenen Raum geben – innerhalb der Grenzen bestehender Lernkulturen und Richtlinien für die Bewertung (Rose et al. 2019, S. 143). Die Verfasserin des Editorials fasst das folgendermaßen zusammen:

„Rose et al. studied the emotions that are ‘present in all learning processes, including those in entrepreneurship education’. Using ‘courses on entrepreneurship for Engineering and Business Administration students at a German university’ their ‘findings suggest that reflection of students on emotional processes that involve the endurance of uncertainty contribute significantly to the achievement of learning outcomes and that (...) teachers can facilitate such processes’“ (Nascimento et al. 2019, S. 448).

Was in der Nachbetrachtung deutlich wird, ist, dass wir beim Untersuchungsdesign zur Analyse der akademischen Emotionen nur die Studierenden berücksichtigt haben, aber die Lehrenden außen vor gelassen haben. Zumindest systemisch-konstruktivistische Beratungsansätze, psychoanalytische aber wohl auch, würden dafür votieren, dass es

lohnenswert wäre, mindestens auch die Beteiligung der Lehrenden am Hervorbringen der akademischen Emotionen zu untersuchen und in die Reflexion mit einzubeziehen.

### **6.3 STE-Lab revisited: nachträgliche Reflexion einiger methodischer Aspekte**

Auch wenn das ursprünglich gar nicht so intendiert war, lässt sich im Nachhinein durchaus erkennen, dass sich die didaktische Entwicklung und Umsetzung von Shark Tank Experience methodisch immer umfassender in ein Vorgehen handlungs- und praxisforscherischer Provenienz wandelte: Die Lehrenden, in diesem Fall wir, obendrein noch als zertifizierte hochschuldidaktische Trainer, entwickelten theorie- und methodengeleitet ihre eigenen didaktischen Lehrlernszenarien und optimierten diese iterativ bei jedem neuen Durchlauf durch Einsichten, die wir mittels formativer Evaluation gewonnen hatten. Dies zielte gemäß dem praxisforschenden Ansatz auf die Verbesserung der Lehrpraxis, an der wir selber als konzeptentwickelnde und konzeptumsetzende Lehrende teilgenommen hatten. Eine mit jedem neuen Durchlauf wiederkehrende zyklische Bewegung aus didaktisch planerischen, handelnden, beobachtenden und transformativ-reflektierenden Schritten mündete in eine sukzessive Optimierung der Lehrveranstaltung bzw. des übergeordneten Lehrveranstaltungskonzeptes.

Das Constructive Alignment wurde dabei als Methode für das didaktische Design eingesetzt, welches zunächst aus der Formulierung von ILOs, TLAs und ATs bestand und in einem weiteren Schritt auf deren iterativer systemischer Abstimmung, so dass möglichst qualitätsvolle ILOs, TLAs und ATs entstehen sollten. Eine möglichst optimale systemische Abstimmung aufeinander verhinderte, dass Studierende die ATs, die das Erreichen der IOLs messen sollten, auch ohne das Bearbeiten der TLAs erreichen konnten, etwa indem sie sich die für das erfolgreiche Bestehen der ATs notwendigen Ressourcen anders erschließen konnten als einzig durch das Bearbeiten der TLAs. Da die Lernerfolgskontrollen (ATs) aus der aktiven und konstruktiven Teilnahme an der gesamten Simulation bestanden und damit andererseits in den TLAs zwangsläufig kreative Prozesse und Produkte mit Innovationspotenzial entstanden waren, maßen die ATs sehr gut, dass die ILOs nur durch die TLAs erreicht werden konnten. Das ist hier besonders hervorzuheben, da die Ergebnisse der Studierenden in erster Linie durch deren kreativitätsförderliche intrinsische Motivation zustande gekommen waren, und nicht durch eher extrinsisch motivierende Klausurerfordernisse.

Während die Auswertungen der Protokolle und Berichte keine größeren Schwierigkeiten bereiteten, da sie ja erst im Anschluss an die eigentliche Übung zeitversetzt stattfanden, stellte die Doppelrolle von Teilnahme und Beobachtung in der mitunter sehr dynamischen sozialen Situation der eigentlichen Lehrveranstaltung eine große Herausforderung dar.

Aus der Perspektive des aktiven immer wieder auch intervenierenden Lehrenden konnte sicherlich nicht alles beobachtet werden; und in der Rolle des Beobachtenden ist möglicherweise die eine oder andere sinnvolle didaktische Intervention unterblieben. Hier zeigte sich die eigentliche Stärke der Forschendentriangulation, weil dadurch die benannten Einschränkungen durch die Gruppe kompensiert werden konnten. Die Formulierung der ILOs, TLAs und ATs sowie die Überprüfung ihrer systemischen Abstimmung aufeinander wurde so bei jedem neuen Durchlauf des Lehrlernszenarios mit qualitativen Methoden prozessbegleitend formativ evaluiert. Die formative Evaluation diente also dem Zweck zu ermitteln, in wie weit die Gestaltung des Constructive Alignment bereits funktionierte bzw. an welchen Stellen noch Anpassungsbedarf in der Abstimmung bestand. Vermutlich kommt unser Mix aus Teilnahme und Beobachtung der „Ausgewogenen Teilnahme“ (Savin-Baden und Major 2013, S. 396) sehr nahe.

Gleichwohl bemängelten die Studierenden in der regulären Veranstaltungsevaluation immer wieder, dass sie keine konkrete Anleitung für die Durchführung der Pitches bekommen würden, obwohl wir ihnen in einem einführenden Veranstaltungsteil Videos von originalen Shark Tank Pitches vorgespielt, die sie als Anregung nutzen sollten. Wir konnten deshalb immer wieder feststellen, dass sie unseren Beobachtungen nach auch ohne konkrete Anleitung überzeugende Pitches entwickeln konnten. Aus der Perspektive der Förderung von Kreativität und Risikobereitschaft und der daraus entwickelten ILOs, TLAs und ATs entschieden wir uns also immer wieder gegen den Wunsch der Studierenden. Es erschien uns aus der Perspektive unserer didaktischen Zielsetzungen sogar kontraproduktiv, hier stärker normierend und Sicherheit gebend vorzugreifen. Im Gegenteil: wir ermutigten die Studierenden hartnäckig, hier kreativ und risikobereit sein zu dürfen, zumal es sich ja um den geschützten Raum einer Übung handelte, die genau das fördern wollte: Kreativität, Mut und Risikobereitschaft. Unsere Sicherheit, didaktisch so zu handeln und hier auch nicht nachzugeben, war letztlich aus dem Constructive Alignment und dessen iterativer Optimierung mittels formativer Evaluation entstanden.

Da wir als Lehrende die Freiheit hatten, alle praxisforscherischen Schritte der didaktischen Planung, Durchführung, Beobachtung und Reflexion selbst ausführen zu können, war es für uns auch möglich, unsere eigenen Entscheidungen zunehmend erfahrungsbasiert und expertisegeleitet vor dem Hintergrund unserer eigenen didaktischen Zielsetzungen treffen zu können. Nach all den Jahren war methodisch hergeleitet und begleitet ein Veranstaltungskonzept entstanden, in dem wir uns als Lehrende didaktisch bombensicher fühlten, einfach, weil wir inzwischen zu jedem Zeitpunkt wussten, wie was warum didaktisch optimal funktioniert und somit unsere didaktischen Zielsetzungen bestmöglich erfüllt. Das Besondere an Shark Tank Experience gegenüber den anderen bisher in der kumulativen Dissertation vorgestellten labordidaktischen Untersuchungen lag insbesondere darin, dass alle Handlungsoptionen bei uns Lehrenden selber gelegen haben. In allen anderen vorgestellten labordidaktischen

Untersuchungen waren wir darauf angewiesen, dass sich jemand anderer den gewonnenen Erkenntnissen annehmen und sie an seine eigenen Bedürfnisse anpassen möge oder eben nicht. Insbesondere die deduktiv-induktive Inhaltsanalyse von auftretenden akademischen Emotionen ergab weitere wertvolle Hinweise für die Planung und Gestaltung der je eigenen Lehre. Hierzu hilft wiederum das Constructive Aligment in außerordentlicher Weise, hilft es doch herauszufinden, was man als Lehrperson von den Studierenden wirklich erwartet, und was man als Lehrperson bereit ist an Transparenz zu geben, auf das die Studierenden diesen Erwartungen auch entsprechen können. Das gesamte didaktische und begleitforschende Vorgehen von Shark Tank Experience spricht also zumindest exemplarisch dafür, als Lehrperson die eigene Lehre didaktisch fundiert zu entwickeln, handlungsforscherisch zu begleiten und zu optimieren, wie es etwa der Scholarship of Teaching and Learning Ansatz vorsieht.

Dass sich auftretende Probleme resultierend aus negativen Emotionen durch Reflexion abmildern lassen, ist als Erkenntnis nicht so arg neu. Dass Reflexion allerdings positive Wirkung entfalten kann, sofern sie auch Teil der Lehre wird und nicht vorschnell in den privaten Bereich zurückverwiesen wird, sollte sich besser herumsprechen. Wichtig wäre hier, dass auch die Lehrenden ihre akademischen Emotionen erkennen und reflektieren lernen. Wir vermitteln hier sonst eventuell den Eindruck, dass negative Emotionen nur Studierende beträfe, oder dass das Lehrpersonal aufgrund seines Vorsprungs an akademischer Bildung und persönlicher Reife immer emotional reflektiert zu Werke gehen würde. Hier ergäben sich sicherlich spannende Forschungsfragen für die Hochschulforschung, nämlich inwieweit Liminalität und akademische Emotionen unterschiedlicher Statusgruppen sich in der Lehre wechselseitig hervorbringen können.

## 7 Labordidaktik *in the making*: Resümee und Ausblick

In den Forschungsarbeiten, die meiner kumulativen Dissertation zugrunde liegen, waren wir folgenden übergeordneten Forschungsfragen nachgegangen: Vor welchen aktuellen und zukünftigen Herausforderungen steht das Lehren und Lernen in ingenieurwissenschaftlichen Fachlaboren? Wie lässt sich das Lehren und Lernen in den Fachlaboren theoretisch fassen und empirisch untersuchen? Wie lässt sich die Laborlehre anwendungs- und kompetenzorientierter gestalten, um den identifizierten Herausforderungen möglichst wirksam begegnen zu können? Eigentliches Ziel des Kumulus war es, sieben mit unterschiedlichen Forschungsdesigns entstandene Veröffentlichungen nachträglich in ein Bigger Picture so einzuordnen, dass eben genau dies im Prozess des Einordnens entsteht: ein Bigger Picture als Forschungsprogramm unter dem Label einer im Werden befindlichen Labordidaktik der Ingenieurwissenschaften.

Hierzu wurde in Kapitel 2 zunächst ein kursorischer Überblick über die einbezogenen sieben Studien gegeben, um gewissermaßen die Ausgangslage des kumulativen Dissertationsvorhabens zu skizzieren.

Kapitel 3 zeichnete dann in einem ersten Schritt die Entstehungshintergründe unserer labordidaktischen Forschungen nach. Als Ausgangspunkt für unsere labordidaktischen Forschungen ist das Fachlabor als eine labordidaktisch vernachlässigte Situation identifiziert und von uns als Desiderat der ingenieurwissenschaftlichen Lehre und der Ingenieurdidaktik gekennzeichnet worden. Daran anschließend wurde das übergeordnete Forschungsdesign als gemeinsamer Nenner der kumulierten Einzelstudien nachträglich herausgearbeitet und theoretisch fundiert. Als zu unserem Arbeiten passendes zentrales Forschungsdesign wurde die „Multiple Triangulation“ nach (Denzin 2017) identifiziert, in der Folge theoretisch hergeleitet und schließlich alle eingeflossenen und multipel triangulierten Erhebungs-, Auswertungs- und Gestaltungsmethoden umfassend vorgestellt. So verwendeten wir für unsere Untersuchungen immer wieder Literatur und Dokumentenanalysen, etwa um die jeweiligen Forschungsstände und die zugrundeliegenden Theorien und Konzepte identifizieren und für unsere Forschungen operationalisieren zu können. Die Dokumentenanalysen bezogen sich sowohl auf Veröffentlichungen von unterschiedlichen Stakeholdern als auch auf die Lehrlermaterialien der Labore, die in die Studien einbezogen wurden. Diese Vorgehensweisen dienten in drei Studien auch der Vorbereitung von teilnehmenden Beobachtungen der Lehre in den berücksichtigten Laboren. Als Anreicherung des aus den teilnehmenden Beobachtungen gewonnenen Materials führten wir in einer Teilstudie Experteninterviews mit Forschenden, Lehrenden und Studierenden durch. Auf diese Weise sollte auch das je subjektive Erfahrungs- und Deutungswissen der

unterschiedlichen Teilnehmenden in die Analyse mit einbezogen werden. Als zentrale Auswertungsmethode setzten wir qualitativ orientierte kategoriengeleitete Textanalysen nach Mayring und Fenzl (2019) ein, die für die jeweiligen Einzelstudien flexibel an die Forschungsdesigns angepasst wurden. Eine besondere Rolle kam dem Constructive Alignment zu, worunter eine in der Hochschuldidaktik weit verbreitete Methode zur Reflexion, Gestaltung und formativen Evaluation von Lehre verstanden wird. Hierdurch wurde auch die Brücke zu handlungs- und praxisforscherischen Vorgehensweisen gebaut, denn die Laborlehre in den Ingenieurwissenschaften sollte ja nicht nur wissenschaftlich analysiert und beschrieben werden, sondern es sollten immer auch Potenziale für eine anwendungs- und kompetenzorientierte Optimierung herausgearbeitet werden.

Als erstes inhaltliches Kapitel befasste sich Abschnitt 4 auf Basis von verschiedenen Literatur- und Dokumentenanalysen zunächst mit dem organisationalen Überbau der Laborausbildung und gab einen Überblick über einige der drängenden Herausforderungen, die von verschiedenen Stakeholdern für die hochschulische Ingenieurausbildung benannt wurden. So wurde von uns herausgearbeitet, dass die Zukunftsfähigkeit der deutschen Ingenieurausbildung davon abhängen wird, wie einerseits das technisch hohe Niveau der deutschen Ingenieurausbildung gesichert werden kann, und wie andererseits der vermehrte Bedarf an fachübergreifenden Kompetenzen zur Ausbildung von „globalen Ingenieuren“ in die Standardcurricula integriert werden kann. Für das Verhältnis von Technikdidaktik zu Ingenieurdidaktik, die sich beide mit eben dieser fachbezogenen und fachübergreifenden Kompetenzentwicklung im Rahmen der technischen Bildung befassen, lässt sich feststellen, dass beide institutionell unterschiedlich eingebunden sind, einmal als Bestandteil der Lehrerbildung, und einmal im Aufgabenbereich der wissenschaftlich-künstlerischen Einrichtungen an Hochschulen. Damit adressieren sie ihre Angebote auch an jeweils andere Zielgruppen und sind rückgekoppelt an eine anders geartete Professionalisierung bzw. Professionalisierungsbedürftigkeit.

Kapitel 5 befasste sich dann mit der labordidaktischen Erforschung des Fachlabors aus drei verschiedenen anwendungs- und kompetenzorientierten Perspektiven. Die IngLab-Studie kommt zu dem eigentlich wenig überraschenden Ergebnis, dass ingenieurwissenschaftliche Lehrveranstaltungen im Labor häufig hinter den Möglichkeiten einer lernförderlichen, praxisorientierten und am Erwerb von professioneller Handlungskompetenz ausgerichteten hochschuldidaktischen, technischen und organisatorischen Ausgestaltung zurückbleiben und diesbezügliche Potenziale ungenutzt bleiben. Die KreaLab-Studie untersuchte exemplarisch die Kreativitätsförderlichkeit des Fachlabors und kam zu dem Schluss, dass die Förderung von Ingenieur Kreativität nicht im Zentrum von Laborveranstaltungen steht, sondern althergebrachte aus vorgegebenen Lernpfaden bestehende allenfalls theorieverifizierende Ansätze. Gleichwohl zeigt eine kategorienbasierte Inhaltsanalyse auf Basis

des an der TU Dortmund empirisch entwickelten Sechs-Facetten-Modells zur Förderung von Kreativität in der Hochschullehre durchaus kreativitätsförderliche Potenziale in der untersuchten Lehrveranstaltung, aus denen konkrete Gestaltungsempfehlungen ableitet wurden. Darüber hinaus könnten insbesondere Remote-Labore und virtuelle Labore durch eine Vielzahl neuartiger Möglichkeiten die gezielte Förderung von kreativem Lernen im Modus der Forschung unterstützen. Die I4.0-Lab-Studie untersuchte nun, inwieweit die didaktische Gestaltung des Fachlabors in der Umformtechnik durch den Einsatz eines Remote-Labors für Materialcharakterisierung bereits die im Kontext der Arbeitswelt 4.0 geforderten Kompetenzen adressierte. Es ließ sich zeigen, dass der Einsatz des Remote-Labors vielversprechende Potenziale aufweist, die entsprechenden Kompetenzen zu fördern. Die Ergebnisse zeigten aber auch, dass im untersuchten Fachlabor tatsächlich bisher nur wenige der Arbeitswelt 4.0-Kompetenzen angesprochen wurden. Mit einer vertiefenden Bestandsaufnahme der Herausforderungen, vor denen die Ingenieurlehre durch eine zunehmende Industrie-4.0-isierung steht, befasst sich unser zwischenzeitlich veröffentlichter Sammelband „Hochschullehre und Industrie 4.0“ (Haertel, Terkowsky, Dany, Heix 2019)

Das Kapitel 6 hat schließlich das Thema Kreativitätsförderung im Labor noch einmal gesondert aufgegriffen. Dabei wurde aber das ingenieurwissenschaftliche Fachlabor verlassen und gegen ein Innovationslabor im Seminarraum zur Förderung von Ingenieurkreativität, unternehmerischem Denken und Handeln und von Innovationsfähigkeit ausgetauscht. Mit STE-Lab (Shark-Tank-Experience) wurde ein Lehrveranstaltungskonzept vorgestellt, mit dem Studierende lernen können, kreativer, und innovativer zu denken und zu handeln. Darüber hinaus wurden sie in ihrer individuellen Risikobereitschaft herausgefordert und ihre dabei auftretenden Emotionen immer wieder systematisch reflektiert. Das Constructive Alignment wurde dabei als Methode für das didaktische Design eingesetzt, welches aus der Formulierung von beabsichtigten Lernergebnissen, Lehrlernaktivitäten und Lernerfolgskontrollen und deren systemischer Abstimmung besteht. Hierdurch wurde exemplarisch für den gesamten Kumulus eine Verbindung zu handlungs- und praxisforscherischen Vorgehensweisen explizit hergestellt, denn neben den theoretischen und empirischen Analysen wollten wir immer auch Potenziale für eine anwendungs- und kompetenzorientierte Optimierung der Laborlehre herausarbeiten. Allerdings muss hier darauf verwiesen werden, dass solche kreativitäts- und innovationsförderlichen Veranstaltungsformate nicht die Regel, sondern die absolute Ausnahme in den Curricula der Ingenieurwissenschaften darstellen. Zur breiten Förderung dieser Kompetenzen wäre ein „Innovation-Mainstreaming“ in der Hochschule unabdingbar (Haertel, Terkowsky, Frye 2019; Haertel, Terkowsky, Wilkesmann 2017).

Was nun ein methodologisches Resümee der multiplen Triangulation angeht, die Ziel des Kumulus war, so lässt sich feststellen, dass alle drei Ebenen innerhalb der multiplen

Triangulation erfolgreich angesprochen und miteinander verbunden werden konnten. So konnten fundierte Aussagen zum gegenwärtigen didaktischen Zustand der Laborlehre getroffen werden, sowohl auf der Ebene der einzelnen Methoden innerhalb der Einzelstudien (1), als auch auf der Ebene der Einzelstudien, die jeweils aus multipel triangulierten methodischen Schritten bestanden (2), als auch auf der übergeordneten Ebene des von uns zum Desiderat erklärten Bigger Picture in Form einer integrierenden multiplen Triangulation (3). Dabei sind berufliche Handlungskompetenz (1), Ingenieurkreativität (2), Lernen und Arbeiten 4.0 (3), Innovation und Entrepreneurship (4) und die damit in Verbindung stehende emotionale Bewältigung von Herausforderungen (5) als labordidaktische Dimensionen unserer Forschungen herausgearbeitet worden, um eine zukunftsorientierte Laborausbildung entwickeln zu können.

Dass unsere labordidaktischen Forschungen inzwischen weitergegangen sind und weitergehen, belegt einerseits der von uns ebenfalls zwischenzeitlich herausgegebene Sammelband „Labore in der Hochschullehre“ (Terkowsky, May, Frye et al. 2020) mit Beiträgen aus der deutschen und der internationalen Lab-Developer-Community, und andererseits ein aktueller Beitrag von Mitgliedern der Community Working Group „Digitale Labore in Deutschland“<sup>25</sup> des Hochschulforum Digitalisierung, der sich mit der Zukunft des digitalen Lernens mit Online-Laboren befasst (Ortelt et al. 2021).

Darüber hinaus ist das Forschungsdesign durch die intensive Zusammenarbeit mit der Strömungsmechanik der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen an der TU Dortmund zwischenzeitlich zu einem Mixed-Methods-Research Design innerhalb der multiplen Triangulation erweitert worden.

Ein Special Issue des European Journal of Engineering Education mit dem Titel “Online Laboratories in Higher Engineering Education: Solutions, challenges, and future directions from a pedagogical perspective” wird von den Gastherausgebenden Dominik May, Claudius Terkowsky, David Boehringer und Valerie Varney verantwortet und wird 2022 veröffentlicht.

Im zwischenzeitlich von der Stiftung Innovation in der Hochschullehre bewilligten Verbundprojekt „CrossLab – Flexibel kombinierbare Cross-Reality Labore in der Hochschullehre: zukunftsfähige Kompetenzentwicklung für ein Lernen und Arbeiten 4.0.“ werden unsere labordidaktischen Forschungen mit dem Ziel fortgesetzt, theoretische und methodische Konzepte weiter zu konsolidieren, zu optimieren, neue Aspekte aufzuspüren und in einem weiterentwickelten Modell der Labordidaktik für MINT-Fächer zu bündeln.

„Labordidaktik *in the making*“ geht weiter.

---

<sup>25</sup> <https://remote-labore.de/>

## 8 Literaturverzeichnis

- acatech (Hrsg.). (2016). *Kompetenzen für die Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze* (acatech Position). München: Utz, Herbert.
- Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen. (2011). Deutscher Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen. [https://www.dqr.de/media/content/Der\\_Deutsche\\_Qualifikationsrahmen\\_fue\\_lebenslanges\\_Lernen.pdf](https://www.dqr.de/media/content/Der_Deutsche_Qualifikationsrahmen_fue_lebenslanges_Lernen.pdf). Zugegriffen: 1. September 2018.
- ASIIN. (2011). Fachspezifisch ergänzende Hinweise zur Akkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengängen des Maschinenbaus, der Verfahrenstechnik und des Chemieingenieurwesens. [http://www.asiin-ev.de/media/feh/ASIIN\\_FEH\\_01\\_Maschinenbau\\_und\\_Verfahrenstechnik\\_2011-12-09.pdf](http://www.asiin-ev.de/media/feh/ASIIN_FEH_01_Maschinenbau_und_Verfahrenstechnik_2011-12-09.pdf). Zugegriffen: 7. Dezember 2021.
- Baran, M. (2010). Teaching multi-methodology research courses to doctoral students. *International Journal of Multiple Research Approaches* 4 (1), 19–27. doi:10.5172/mra.2010.4.1.019
- Berelson, B. (1952). *Content Analysis in Communication Research*. Glencoe, Illinois: The Free Press.
- Biggs, J. (2014). Constructive alignment in university teaching. *HERDSA Review of Higher Education Vol. I*, 5–22. [www.herdsa.org.au](http://www.herdsa.org.au). Zugegriffen: 21. Juli 2019.
- Biggs, J. & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university. What the student does* (4<sup>th</sup> ed.). Maidenhead: McGraw-Hill/Society for Research into Higher Education/Open University Press.
- Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (Hrsg.). (2009). *Interviewing Experts*. London, UK: Palgrave Macmillan.
- Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung* (Lehrbuch). Wiesbaden: Springer VS.
- Bonfadelli, H. (2002). *Medieninhaltsforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendungen* (utb-studi-e-book, Bd. 2354, 1. Aufl.). Konstanz: UVK; UVK Verl.-Ges.
- Brewer, J. & Hunter, A. (2006). *Foundations of multimethod research. Synthesizing styles*. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publications.
- Bruchmüller, H.-G. & Haug, A. (2001). *Labordidaktik für Hochschulen. Eine Hinführung zum praxisorientierten Projekt-Labor* (Schriftenreihe Report / Lenkungsausschuss der Studienkommission für Hochschuldidaktik an den Fachhochschulen in Baden-Württemberg, Bd. 40). Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verl.

- Burzan, N. (2016). *Methodenplurale Forschung. Chancen und Probleme von Mixed Methods* (Standards standardisierter und nichtstandardisierter Sozialforschung, 1. Auflage). Weinheim, Bergstr: Beltz Juventa.
- Campbell, D. T. (1953). *A study of leadership among submarine officers*.
- Campbell, D. T. (1956). *Leadership and its effects upon the group* (Bureau of Business Research, College of Commerce and Administration, Research monograph no. 83). Columbus, Ohio, USA.
- Campbell, D. T. & Fiske, D. W. (1959). Convergent and discriminant validation by the multitrait-multimethod matrix. *Psychological Bulletin* 56 (2), 81–105.  
doi:10.1037/h0046016
- Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. R. & Edström, K. (2014). *Rethinking engineering education. The CDIO approach* (Second edition). Cham: Springer.
- Creswell, J. W. (2014a). *Educational research. Planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research* (Pearson custom library, Pearson new international edition, fourth edition). Harlow, Essex: Pearson.
- Creswell, J. W. (2014b). *Research design. Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4. ed., international student ed.). Los Angeles: Sage.
- Creswell, J. W. & Miller, D. L. (2000). Determining Validity in Qualitative Inquiry. *Theory Into Practice* 39 (3), 124–130. doi:10.1207/s15430421tip3903\_2
- Creswell, J. W. & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (Third edition, international student edition). Los Angeles: Sage.
- Cunningham, H. A. (1946). Lecture demonstration versus individual laboratory method in science teaching—A summary. *Science Education* 30 (2), 70–82.  
doi:10.1002/sce.3730300204
- Denzin, N. K. (2007). Triangulation. In G. Ritzer (Hrsg.), *Blackwell encyclopedia of sociology online* (Bd. 56, S. 81). Malden, MA: Blackwell Pub.
- Denzin, N. K. (2017). *The research act. A theoretical introduction to sociological methods*. New York: Routledge.
- Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (2005). Introduction: The Discipline and Practice of Qualitative Research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Hrsg.), *The SAGE handbook of qualitative research* (3<sup>rd</sup> ed., S. 1–32). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (2018). Strategies of Inquiry. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Hrsg.), *The SAGE handbook of qualitative research* (Fifth edition, S. 309–321). Los Angeles: Sage.

- Dörner, D. (1987). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (Kohlhammer-Standards Psychologie Basisbücher und Studentexte, 3. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Erpenbeck, J. & Sauter, W. (2016). *Stoppt die Kompetenzkatastrophe!* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Erzberger, C. & Prein, G. (1997). Triangulation: Validity and empirically-based hypothesis construction. *Quality and Quantity* 31 (2), 141–154.  
doi:10.1023/A:1004249313062
- Europäische Kommission. (2018). *The European Qualifications Framework. Supporting learning, work and cross-border mobility : 10<sup>th</sup> anniversary* (Manuscript completed in February 2018, 1<sup>st</sup> edition). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Feisel, L. D. (o. J.). *A Taxonomy of Technical Knowledge*.
- Feisel, L. D. & Rosa, A. J. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education* 94 (1), 121–130.  
doi:10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x
- Flick, U. (1999). *Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften* (Rororo Rowohlt's Enzyklopädie, Bd. 55546, Orig.-Ausg., 4. Aufl., 11. - 13. Tsd). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl.
- Flick, U. (2011). *Triangulation. Eine Einführung* (Qualitative Sozialforschung, Band 12, 3., aktualisierte Auflage). Wiesbaden [Germany]: VS Verlag.
- Flick, U. (2019). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung* (Rororo Rowohlt's Enzyklopädie, Bd. 55694, Völlig überarb. Neuaufl., 9. Aufl. Mai 2019). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Fuhr, R. & Gremmler-Fuhr, M. (1988). *Faszination Lernen. Transformative Lernprozesse im Grenzbereich von Pädagogik und Psychotherapie*. Köln: Ed. Humanistische Psychologie; Moll u. Eckhardt.
- Gardelle, L. (2017). Editorial. *European Journal of Engineering Education* 42 (2), 127–130. doi:10.1080/03043797.2017.1298704
- Gläser, J. & Laudel, G. (2009a). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. Als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen* (Lehrbuch, 3., überarb. Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Gläser, J. & Laudel, G. (2009b). On Interviewing “Good” and “Bad” Experts. In A. Bogner, B. Littig & W. Menz (Hrsg.), *Interviewing Experts* (S. 117–137). London,

UK: Palgrave Macmillan. [https://link.springer.com/chapter/10.1057/9780230244276\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1057/9780230244276_6).

- Goffman, E. (1977). *Rahmen-Analyse. Ein Versuch über die Organisation von Alltagserfahrungen* (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, Bd. 329, 4. Auflage). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Goffman, E. (1994). Die Interaktionsordnung. In H. A. Knoblauch (Hrsg.), *Interaktion und Geschlecht* (Campus Studium, 1. Aufl., S. 50–104). Frankfurt/Main: Campus-Verl.
- Gold, R. L. (1958). Roles in Sociological Field Observations. *Social Forces* 36 (3), 217–223. <http://www.jstor.org/stable/2573808>. Zugegriffen: 2. November 2021.
- Haertel, T., Höschel, A., Rummler, M. & Terkowsky, C. (2020). Kreativität und Sicherheit im Labor - ein Widerspruch? In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix et al. (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre. Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 81–94). wbv Media.
- Haertel, T. & Terkowsky, C. (Hrsg.). (2016a) Creativity in Engineering Education [Themenheft]. *International Journal of Creativity & Problem Solving* 26 (2). Hangaram Core #209, Myeongdeok-ro 368, Suseong - gu, Daegu 706-832, KOREA: The Korean Association for Thinking Development.
- Haertel, T. & Terkowsky, C. (2016b). Creativity versus adaption to norms and rules: a paradox in higher engineering education. In T. Haertel & C. Terkowsky (Hrsg.), *Creativity in Engineering Education. International Journal of Creativity & Problem Solving. 26 (2)*, 105–119 [Themenheft]. Hangaram Core #209, Myeongdeok-ro 368, Suseong - gu, Daegu 706-832, KOREA: The Korean Association for Thinking Development.
- Haertel, T., Terkowsky, C., Dany, S. & Heix, S. (Hrsg.). (2019). *Hochschullehre & Industrie 4.0. Herausforderungen - Lösungen - Perspektiven*. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag.
- Haertel, T., Terkowsky, C. & Frye, S. (2019). Kreativität in der Industrie 4.0: Drei zentrale Thesen für die Ingenieurdidaktik. In T. Haertel, C. Terkowsky, S. Dany & S. Heix (Hrsg.), *Hochschullehre & Industrie 4.0. Herausforderungen - Lösungen - Perspektiven* (S. 13–25). Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag.
- Haertel, T., Terkowsky, C. & Jahnke, I. (2017). To develop creative students, we may have to re-de-sign our self as well as our teaching. *Creative Academic Magazine* (7), 8–11.

- Haertel, T., Terkowsky, C. & May, D. (2016). The Shark Tank Experience: How Engineering Students Learn to Become Entrepreneurs. In *2016 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*. ASEE Conferences.
- Haertel, T., Terkowsky, C., May, D. & Pleul, C. (2013). Entwicklung von Remote-Labs zum erfahrungsbasierten Lernen. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung* 8 (1). doi:10.3217/zfhe-8-01/09
- Haertel, T., Terkowsky, C. & Ossenberr, P. (2016). Kreativität in der Hochschullehre: „Tue etwas Ungewöhnliches!“. In M. Heiner, B. Baumert, S. Dany, T. Haertel, M. Quellmelz & C. Terkowsky (Hrsg.), *Was ist „Gute Lehre“? Perspektiven der Hochschuldidaktik* (Blickpunkt Hochschuldidaktik, Thema 129, S. 73–82). Bielefeld: wbv.
- Haertel, T., Terkowsky, C. & Radtke, M. (2015). Creative students need creative teachers: Fostering the creativity of university teachers: A blind spot in higher engineering education? In *2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL 2015)*. Firenze, Italy, 20 - 24 September 2015 (S. 137–140). Piscataway, NJ: IEEE.
- Haertel, T., Terkowsky, C. & Wilkesmann, U. (2017). Innovation Mainstreaming in der Hochschule: Wie kommt das Neue in die Lehre? In D. Bückler, A. Gumpert, U. Lucke, S. Hofhues, V. Dander, F. Rau et al. (Hrsg.), *„Trendy, hip und cool“*. Auf dem Weg zu einer innovativen Hochschule? (Blickpunkt Hochschuldidaktik, Bd. 130, S. 55–62). Bielefeld: wbv.
- Halcomb, E. & Hickman, L. (2015). Mixed methods research. *Nursing standard (Royal College of Nursing (Great Britain) : 1987)* 29 (32), 41–47. doi:10.7748/ns.29.32.41.e8858
- Hartmann, F. (2017) Zukünftige Anforderungen an Kompetenzen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 – Eine Bestandsaufnahme. In Verbundprojekt Prokom 4.0 (Hrsg.), *Facharbeit und Digitalisierung* (S. 19–28). [https://www.risp-duisburg.de/files/facharbeit\\_und\\_digitalisierung.pdf](https://www.risp-duisburg.de/files/facharbeit_und_digitalisierung.pdf).
- Hsieh, H.-F. & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative health research* 15 (9), 1277–1288. doi:10.1177/1049732305276687
- Hussein, A. (2009). The use of Triangulation in Social Sciences Research: Can qualitative and quantitative methods be combined? *Journal of Comparative Social Work* 1, 1–12.
- Isenhardt, I., Petermann, M., Schmohr, M., Tekkaya, A. E. & Wilkesmann, U. (Hrsg.). (2020). *Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften*. wbv Media.

- Jahnke, I., Haertel, T. & Wildt, J. (2017). Teachers' conceptions of student creativity in higher education. *Innovations in Education and Teaching International* 54 (1), 87–95. doi:10.1080/14703297.2015.1088396
- Janssen, M., Stamann, C., Schreier, M., Whittal, A. & Dahl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse I. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* 20 (3). <https://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/issue/view/65>. Zugegriffen: 29. Oktober 2021.
- Jick, T. D. (1979). Mixing Qualitative and Quantitative Methods: Triangulation in Action. *Administrative Science Quarterly* 24 (4), 602–611. doi:10.2307/2392366
- Kelle, U. (2008). *Die Integration qualitativer und quantitativer Methoden in der empirischen Sozialforschung. Theoretische Grundlagen und methodologische Konzepte* (2. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Kimchi, J., Polivka, B. & Stevenson, J. S. (1991). Triangulation: Operational Definitions. *Nursing Research* 40 (6), 364–366. [https://journals.lww.com/nursingresearchonline/Citation/1991/11000/Triangulation\\_\\_Operational\\_Definitions.9.aspx](https://journals.lww.com/nursingresearchonline/Citation/1991/11000/Triangulation__Operational_Definitions.9.aspx). Zugegriffen: 23. November 2021.
- Kracauer, S. (1952). The Challenge of Qualitative Content Analysis. *Public Opinion Quarterly* 16 (4, Special Issue on International Communications Research), 631–642. doi:10.1086/266427
- Krippendorff, K. (2004). *Content analysis. An introduction to its methodology* (2. ed.). Thousand Oaks, Calif.: Sage.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (Grundlagentexte Methoden, 3., überarbeitete Auflage). Weinheim: Beltz Juventa.
- Kurz, U., Hintzen, H. & Laufenberg, H. (2009). *Konstruieren, Gestalten, Entwerfen. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium der Konstruktionstechnik* (Studium, 4., erw. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Lamnek, S. & Krell, C. (2016). *Qualitative Sozialforschung. Mit Online-Materialien* (Ciando library, 6., vollständig überarbeitete Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Land, R., Meyer, J. H. F. & Baillie, C. (2010). Editors' Preface: Threshold Concepts and Transformational Learning. In J. H. F. Meyer, R. Land & C. Baillie (Hrsg.), *Threshold concepts and transformational learning* (S. ix–xlii). Rotterdam: Sense Publ.
- Laudel, G. & Gläser, J. (2007). Interviewing Scientists 3 (2). *Science, Technology & Innovation Studies*. doi:10.17877/DE290R-983

- Lauer, S. (2019). *Transformational governance of academic teaching*, Technische Universität Dortmund. Dortmund.
- Lemaître, D. (Hrsg.). (2018a). *Formation des ingénieurs à l'innovation*. London, UK: ISTE editions (Collection: innovation, entrepreneuriat et gestion).
- Lemaître, D. (2018b). Introduction. Why train engineers in innovation? In D. Lemaître (Hrsg.), *Training Engineers in Innovation* (S. xi–xvi). London, UK: ISTE Publishing.
- Lemaître, D. (Hrsg.). (2018c). *Training Engineers in Innovation*. London, UK: ISTE Publishing.
- Loughlin, C., Lygo-Baker, S. & Lindberg-Sand, Å. (2021). Reclaiming constructive alignment. *European Journal of Higher Education* 11 (2), 119–136.  
doi:10.1080/21568235.2020.1816197
- Ma, J. & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A Comparative Literature Review. *ACM Computing Surveys* 38 (3), 1-24.  
doi:10.1145/1132960.1132961
- Marcus, G. E. (1995). Ethnography in/of the World System: The Emergence of Multi-Sited Ethnography. *Annual Review of Anthropology* 24 (1), 95–117.  
doi:10.1146/annurev.an.24.100195.000523
- May, D. (2017). *Globally competent engineers. Internationalisierung der Ingenieurausbildung am Beispiel der Produktionstechnik*. Dissertation, Technische Universität Dortmund. Dortmund.
- May, D., Frye, S. & Terkowsky, C. (2020). Die Eignung von Remote-Laboren zur Förderung von Kompetenzen für die Industrie 4.0 am Beispiel von VISIR. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix et al. (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre. Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 211–226). wbv Media.
- May, D., Ortelt, T. R. & Tekkaya, A. E. (2015). Using Remote Laboratories for Transnational Online Learning Environments in Engineering Education. In *E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2015* (S. 632–637). Kona, Hawaii: AACE. <https://www.learntechlib.org/p/152072>.
- May, D., Sadiki, A., Pleul, C. & Tekkaya, A. E. (2015). Teaching and learning globally connected using live online classes for preparing international engineering students for transnational collaboration and for studying in Germany. In *2015 12<sup>th</sup> International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* (S. 118–126). Piscataway, NJ: IEEE.

- May, D., Terkowsky, C., Haertel, T. & Pleul, C. (2012). Using E-Portfolios to support experiential learning and open the use of tele-operated laboratories for mobile devices. In *2012 9<sup>th</sup> International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* (S. 1–9). Piscataway, NJ: IEEE.
- May, D., Terkowsky, C., Haertel, T. & Pleul, C. (2013). The laboratory in your hand. Making remote laboratories accesible through mobile devices. In *2013 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (S. 335–344). Piscataway, NJ: IEEE.
- Mayring, P. (2000). Qualitative Content Analysis. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* 1 (2). Qualitative Methods in Various Disciplines I: Psychology. <https://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1089>. Zugegriffen: 21. Oktober 2021.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (12. überarb. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Mayring, P. (2016). *Einführung in die qualitative Sozialforschung* (Beltz Studium, 6., neu ausgestattete Aufl.). Weinheim: Beltz, J.
- Mayring, P. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse – Abgrenzungen, Spielarten, Weiterentwicklungen. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* 20 (3). Qualitative Content Analysis I / Conceptualizations of Qualitative Content Analysis. <https://doi.org/10.17169/fqs-20.3.3343>. Zugegriffen: 22. Oktober 2021.
- Mayring, P. & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 633–648). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Merriam, S. B. & Tisdell, E. J. (2016). *Qualitative research. A guide to design and implementation* (Fourth edition). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Meya, R., Ortelt, T. R., Selvaggio, A., Chatti, S., Becker, C. & Tekkaya, A. E. (2016). Development of a tele-operative control for the incremental tube forming process and its integration into a learning environment. In *2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (S. 80–86). Piscataway, NJ: IEEE.
- Meyer, J. H. F. & Land, R. (2005). Threshold concepts and troublesome knowledge (2): Epistemological considerations and a conceptual framework for teaching and learning. *Higher Education* 49 (3), 373–388. doi:10.1007/s10734-004-6779-5
- Minks, K.-H. (2004). Kompetenzen für den Arbeitsmarkt: Was wird vermittelt, was vermisst? In Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg.), *Bachelor- und Master-Ingenieure. Welche Kompetenzen verlangt der Arbeitsmarkt?* (S. 32–40).

- Morace, C., May, D., Terkowsky, C. & Reynet, O. (2017). Effects of globalisation on higher engineering education in Germany – current and future demands. *European Journal of Engineering Education* 42 (2), 142–155.  
doi:10.1080/03043797.2017.1293618
- Mulhall, A. (2003). In the field: notes on observation in qualitative research. *Journal of Advanced Nursing* 41 (3), 306–313. doi:10.1046/j.1365-2648.2003.02514.x
- Nascimento, M. M., Alves, G. R. & Luisa Sein-Echaluce, M. (2019). Editorial. *European Journal of Engineering Education* 44 (4), 445–448.  
doi:10.1080/03043797.2019.1643558
- Neuendorf, K. A. (2017). *The content analysis guidebook* (Second edition). Los Angeles: Sage.
- Niedderer, H., Aufschnaiter, S., Tiberghien, A., Buty, C., Haller, K., Hucke, L., Sander, F. & Fischer, H. (2002). Talking Physics in Labwork Contexts - A Category Based Analysis of Videotapes. In D. Psillos & H. Niedderer (Hrsg.), *Teaching and learning in the science laboratory* (Science & Technology Education Library, Bd. 16, Bd. 16, S. 31–40). Dordrecht: Kluwer Academic Publ.
- Norgaard, R. B. (1989). The case for methodological pluralism. *Ecological Economics* 1 (1), 37–57. doi:10.1016/0921-8009(89)90023-2
- Ortelt, T. R., Pekasch, S., Lensing, K., Gueno, P.-J., May, D. & Tekkaya, A. E. (2016). Concepts of the international manufacturing remote lab (MINTReLab). Combination of a MOOC and a remote lab for a manufacturing technology online course. In *2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (S. 602–607). Piscataway, NJ: IEEE.
- Ortelt, T. R., Sadiki, A., Pleul, C., Becker, C., Chatti, S. & Tekkaya, A. E. (2014). Development of a tele-operative testing cell as a remote lab for material characterization. In *2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)* (S. 977–982). Piscataway, NJ: IEEE.
- Ortelt, T. R., Terkowsky, C., Schwandt, A., Winzker, M., Pfeiffer, A., Uckelmann, D., Hawlitschek, A., Zug, S., Henke, K., Nau, J. & May, D. (2021). Die digitale Zukunft des Lernens und Lehrens mit Remote-Laboren. In Hochschulforum Digitalisierung (Hrsg.), *Digitalisierung in Studium und Lehre gemeinsam gestalten. Innovative Formate, Strategien und Netzwerke* (S. 553–575). Wiesbaden: Springer VS.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2007). *Konstruktionslehre*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Pekrun, R. (2014). Emotions and learning, International Academy of Education. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.691.9950&rep=rep1&type=pdf>. Zugriffen: 1. Oktober 2021.
- Pfeiffer, S., Lee, H., Zirnic, C. & Suphan, A. (VDMA, Hrsg.). (2016). Industrie 4.0 - Qualifizierung 2025. <https://arbeitsmarkt.vdma.org/viewer/-/v2article/render/13668437>. Zugriffen: 1. September 2018.
- Pleul, C. (2016). *Das Labor als Lehr-Lern-Umgebung in der Umformtechnik. Entwicklungsstrategie und hochschuldidaktisches Modell* (Dortmunder Umformtechnik, Bd. 89, 1. Auflage). Aachen: Shaker.
- Ritsert, J. (1972). *Inhaltsanalyse und Ideologiekritik: ein Versuch über kritische Sozialforschung*: Athenäum Fischer Taschenbuch Verlag.
- Rose, A.-L., Leisyte, L., Haertel, T. & Terkowsky, C. (2019). Emotions and the liminal space in entrepreneurship education. *European Journal of Engineering Education* 44 (4), 602–615. doi:10.1080/03043797.2018.1553937
- Rose, A.-L., Leisyte, L., Haertel, T. & Terkowsky, C. (2020). Zur Bedeutung von Emotionen in der hochschulischen Entrepreneurship Engineering Education. In I. Isenhardt, M. Petermann, M. Schmohr, A. E. Tekkaya & U. Wilkesmann (Hrsg.), *Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften* (S. 129–143). wbv Media.
- Russell-Walling, E. (2011). Das 80/20-Prinzip. In E. Russell-Walling & H. Reissig (Hrsg.), *50 Schlüsselideen Management* (Sachbuch, S. 68–71). Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Sadiki, A., Ortelt, T. R., Pleul, C., Becker, C., Chatti, S. & Tekkaya, A. E. (2015). The challenge of specimen handling in remote laboratories for Engineering Education. In *2015 12<sup>th</sup> International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* (S. 180–185). Piscataway, NJ: IEEE.
- Savin-Baden, M. & Major, C. H. (2013). *Qualitative research. The essential guide to theory and practice*. Milton Park, Abingdon, Oxon: Routledge.
- Schaeper, H. & Wolter, A. (2008). Hochschule und Arbeitsmarkt im Bologna-Prozess. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 11 (4), 607–625. doi:10.1007/s11618-008-0054-y
- Schlund, S. & Pokorni, W. (Ingenics AG, Hrsg.). (2016). Industrie 4.0 - Wo steht die Revolution der Arbeitsgestaltung?, Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation IAO. <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-432393.html>. Zugriffen: 1. September 2018.
- Schmid, C. J. & Wilkesmann, U. (2019). Eine praxistheoretische Fundierung der Governance wissenschaftlicher Weiterbildung. In M. Apelt, I. Bode, R. Hasse, U.

- Meyer, V. von Groddeck, M. Wilkesmann et al. (Hrsg.), *Handbuch Organisationssoziologie* (Living reference work, S. 1–19). Wiesbaden: Springer VS.
- Schmidt, W. (2016). Dokumentenanalyse in der Organisationsforschung. In S. Liebig, W. Matiaske & S. Rosenbohm (Hrsg.), *Handbuch Empirische Organisationsforschung* (S. 1–24). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Schönefeld, K., Frye, S., Haertel, T., Willicks, F. & Hees, F. (2019). Interkulturelle und sozial verantwortliche Technikbildung - Die Ingenieure ohne Grenzen Challenge. *Journal of Technical Education (JOTED)*, Bd. 7 Nr. 1 (2019): *Journal of Technical Education (JOTED)*. doi:10.48513/JOTED.V7I1.145
- Schreier, M. (2014). Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* 15 (1). doi:10.17169/fqs-15.1.2043
- Schreier, M. & Odağ, Ö. (2017). Mixed Methods-Forschung in der Psychologie. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (Bd. 1, S. 1–25). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Seawright, J. (2016). *Multi-method social science. Combining qualitative and quantitative tools* (Strategies for social inquiry). Cambridge: Cambridge University Press.
- Selvaggio, A., Sadiki, A., Ortelt, T. R., Meya, R., Becker, C., Chatti, S. & Tekkaya, A. E. (2016). Development of a cupping test in remote laboratories for engineering education. In *13<sup>th</sup> International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* (S. 122–126). Piscataway, NJ: IEEE.
- Stamann, C., Janssen, M., Schreier, M., Whittal, A. & Dahl, T. (2020). Qualitative Inhaltsanalyse II. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* 21 (1). <https://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/issue/view/66>. Zugegriffen: 29. Oktober 2021.
- Steigleder, S. (2008). *Die strukturierende qualitative Inhaltsanalyse im Praxistest. Eine konstruktiv kritische Studie zur Auswertungsmethodik von Philipp Mayring*. Marburg: Tectum.
- Steinhardt, I. (2019). „Induktives und deduktives Codieren“, in *Sozialwissenschaftliche Methodenberatung*, 12/06/2019. <https://sozmethode.hypotheses.org/842>. Zugegriffen: 27. Oktober 2021.
- Stifterverband. (2016). *Hochschulbildung für die Arbeitswelt 4.0. Jahresbericht 2016* (Hochschul-Bildungs-Report 2020). Essen: Edition Stifterverband - Verwaltungsgesellschaft für Wissenschaftspflege mbH.

- Sunal, D. W., Sunal, C. S., Sundberg, C. & Wright, E. L. (2008). The importance of laboratory work and technology in science teaching. In D. W. Sunal, E. L. Wright & C. Sundberg (Hrsg.), *The impact of the laboratory and technology on learning and teaching science K-16* (Research in science education, 1.28). Charlotte, N.C: IAP/Information Age Pub.
- Tashakkori, A. & Creswell, J. W. (2008). Editorial: Mixed Methodology Across Disciplines. *Journal of Mixed Methods Research* 2 (1), 3–6.  
doi:10.1177/1558689807309913
- Tekkaya, A. E., Wilkesmann, U., Terkowsky, C., Pleul, C., Radtke, M. & Maevus, F. (2016). *Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab: acatech Studie* (acatech Studie). München: Herbert Utz Verlag GmbH.
- Tenberg, R. (2018). Editorial. In B. Zinn, R. Tenberg & D. Pittich (Hrsg.), *Technikdidaktik. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme* (S. 9–14). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Tenberg, R., Bach, A. & Pittich, D. (2019). *Didaktik technischer Berufe*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Terkowsky, C. (2006). Ortloses Wissen - Verortetes Wissen. Vertrauen in elektronische(n) Lern- und Wissensumgebungen. In M. Faßler & C. Terkowsky (Hrsg.), *Urban Fictions. Die Zukunft des Städtischen* (S. 313–329). München: Fink.
- Terkowsky, C., Frye, S., Haertel, T., May, D., Wilkesmann, U. & Jahnke, I. (2018). Technik- und Ingenieurdidaktik in der hochschulischen Bildung. In B. Zinn, R. Tenberg & D. Pittich (Hrsg.), *Technikdidaktik. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme* (S. 87–97). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Terkowsky, C., Frye, S. & May, D. (2019). Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for “Working 4.0”? *European Journal of Education* 54 (4), 577–590.  
doi:10.1111/ejed.12368
- Terkowsky, C. & Haertel, T. (2013). Fostering the Creative Attitude with Remote Lab Learning Environments. An Essay on the Spirit of Research in Engineering Education. *International Journal of Online Engineering (iJOE)* 9 (S5), 13.  
doi:10.3991/ijoe.v9iS5.2750
- Terkowsky, C., Haertel, T., Bielski, E. & May, D. (2013). Creativity@School: Mobile Learning Environments Involving Remote Labs and E-Portfolios. A Conceptual Framework to Foster the Inquiring Mind in Secondary STEM Education. In J. García-Zubía & O. Dziabenko (Hrsg.), *IT Innovative Practices in Secondary Schools: Remote Experiments* (S. 255–280). Bilbao, Spain: University of Deusto.

- Terkowsky, C., Haertel, T., Bielski, E. & May, D. (2014). 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)* (S. 930–935). Piscataway, NJ: IEEE.
- Terkowsky, C., Haertel, T., Ortelt, T. R., Radtke, M. & Tekkaya, A. E. (2016). Creating a place to bore or a place to explore? Detecting possibilities to establish students' creativity in the manufacturing engineering lab. In T. Haertel & C. Terkowsky (Hrsg.) *Creativity in Engineering Education. International Journal of Creativity & Problem Solving*. 26 (2), 23–45 [Themenheft]. Hangaram Core #209, Myeongdeok-ro 368, Suseong - gu, Daegu 706-832, KOREA: The Korean Association for Thinking Development.
- Terkowsky, C., Haertel, T., Rose, A.-L., Leisyte, L. & May, D. (2018a). Nager avec les requins sans se faire dévorer: comment les étudiants en ingénierie peuvent apprendre à être créatifs, à développer un esprit d'entreprise et à innover. In D. Lemaître (Hrsg.), *Formation des ingénieurs à l'innovation*. Collection: innovation, entrepreneuriat et gestion (S. 159–188). London, UK: ISTE editions.
- Terkowsky, C., Haertel, T., Rose, A.-L., Leisyte, L. & May, D. (2018b). Swimming with sharks without being eaten: how engineering students can learn creativity, entrepreneurial thinking and innovation. In D. Lemaître (Hrsg.), *Training Engineers in Innovation* (S. 147–176). London, UK: ISTE Publishing.
- Terkowsky, C., Jahnke, I., Pleul, C., May, D., Jungmann, T. & Tekkaya, A. E. (2013). PeTEX@Work: Designing CSCL@Work for Online Engineering Education. In S. P. Goggins, I. Jahnke & V. Wulf (Hrsg.), *Computer-Supported Collaborative Learning at the Workplace* (S. 269–292). Springer, Boston, MA. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-1740-8\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-1740-8_13).
- Terkowsky, C., Jahnke, I., Pleul né: Burkhardt, C., Licari, R., Johannssen, P., Buffa, G., Heiner, M., Fratini, L., LoValvo, E., Nicolescu, M., Wildt, J. & Tekkaya, A. E. (2010). Developing Tele-Operated Laboratories for Manufacturing Engineering Education. Platform for E-Learning and Telemetric Experimentation (PeTEX). *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)* 6 (5), 60. doi:10.3991/ijoe.v6s1.1378
- Terkowsky, C., May, D. & Frye, S. (2019). Labordidaktik: Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0. In T. Haertel, C. Terkowsky, S. Dany & S. Heix (Hrsg.), *Hochschullehre & Industrie 4.0. Herausforderungen - Lösungen - Perspektiven*. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag.
- Terkowsky, C., May, D. & Frye, S. (2020). Forschendes Lernen im Labor: Labordidaktische Ansätze zwischen Hands-on und Cross-Reality. In C. Terkowsky,

- D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix et al. (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre. Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 13–34). wbv Media.
- Terkowsky, C., May, D., Frye, S., Haertel, T., Ortelt, T. R., Heix, S. et al. (Hrsg.). (2020). *Labore in der Hochschullehre. Didaktik, Digitalisierung, Organisation*: wbv Media.
- Terkowsky, C., May, D., Haertel, T. & Pleul, C. (2013). Integrating Remote Labs into Personal Learning Environments - Experiential Learning with Tele-operated Experiments and E-portfolios. *International Journal of Online Engineering (iJOE)* 9 (1). doi:10.3991/ijoe.v9i1.2364
- Terkowsky, C., Pleul, C., Jahnke, I. & Tekkaya, A. E. (2011). Tele-Operated Laboratories for Online Production Engineering Education - Platform for E-Learning and Telemetric Experimentation (PeTEX). *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)* 7 (S1), 37. doi:10.3991/ijoe.v7iS1.1725
- Webb, E. J. (1978). Unconventionality, Triangulation, and Inference. In N. K. Denzin (Hrsg.), *Sociological methods. A sourcebook* (2d ed., S. 322–328). New York: McGraw-Hill.
- Webb, E. J., Campbell, D. T., Schwartz, R. D. & Sechrest, L. (1966). *Unobtrusive measures: Non-reactive research in the social sciences*. Chicago: Rand McNally.
- Weber, R. P. (2008). *Basic content analysis* (Sage University papers Quantitative applications in the social sciences, Bd. 49, 2. ed., [Nachdr.]. Newbury Park, Calif.: Sage Publ.
- Wildt, J. (2006). Kompetenzen als “Learning Outcome”. *Journal Hochschuldidaktik* 17 (1), 6–9. doi:10.17877/DE290R-8128
- Wildt, J. & Wildt, B. (2011). Lernprozessorientiertes Prüfen im „Constructive Alignment“. Ein Beitrag zur Förderung der Qualität von Hochschulbildung durch eine Weiterentwicklung des Prüfungssystems. In B. Berendt, H.-P. Voss & J. Wildt (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre* (Griffmarke H 6.1, S. 1–46). Berlin: Raabe.
- Wilkesmann, U. (2017). Methoden und Daten zur Erforschung spezieller Organisationen: Hochschulen. In S. Liebig, W. Matiaske & S. Rosenbohm (Hrsg.), *Handbuch Empirische Organisationsforschung* (S. 565–588). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Wilkesmann, U. (2019). *Methoden der Hochschulforschung. Eine methodische, erkenntnis- und organisationstheoretische Einführung* (Standards standardisierter und nichtstandardisierter Sozialforschung). Weinheim: Beltz Juventa; Preselect.media GmbH.

- Wilkesmann, U. (2021). Methoden und Modelle der Hochschulforschung. In A. Pausits, R. Aichinger, M. Unger, M. Fellner & B. Thaler (Hrsg.), *Rigour and Relevance: Hochschulforschung im Spannungsfeld zwischen Methodenstrenge und Praxisrelevanz* (S. 17–30). Waxmann Verlag GmbH.
- Wilkesmann, U. & Lauer, S. (2021). How to motivate professors to teach. In T. U. Thomsen, A. Lindgreen, A. Kjærgaard & E. Rosier (Hrsg.), *Handbook of Teaching and Learning at Business Schools. A Practice-Based Approach* (S. 277–290). Edward Elgar Publishing.
- Wolter, A. & Banscherus, U. (2012). Praxisbezug und Beschäftigungsfähigkeit im Bologna-Prozess – “A never ending story“? In W. Schubarth, K. Speck, A. Seidel, C. Gottmann, C. Kamm & M. Krohn (Hrsg.), *Studium nach Bologna: Praxisbezüge stärken?!* (Bd. 1, S. 21–36). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Zaidman-Zait, A. (2014). Content Analysis. In A. C. Michalos (Hrsg.), *Encyclopedia of quality of life and well-being research* (S. 1258–1261). Dordrecht: Springer.
- Zinn, B., Tenberg, R. & Pittich, D. (Hrsg.). (2018). *Technikdidaktik. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.

## 9 Anhänge

### Anhang 1: Liste aller 42 durch qualitative Inhaltsanalyse beurteilte Laborveranstaltungen

Laborversuche	Fertigungsverfahren / Fachlabor	Hochschule / Studiengang
1. <b>Teleoperativer Versuch in der Übung Forming Technology</b>	Umformtechnik, Master of Manufacturing Technology	TU Dortmund, Institut für Umformtechnik und Leichtbau, Manufacturing Technology, Master
2. <b>Teleoperativer Versuch in der Vorlesung „Kennwertermittlung“ in „Umformende Fertigungstechnologien“</b>	Umformtechnik, integriertes, teleoperatives Experiment	TU Dortmund, Institut für Umformtechnik und Leichtbau, Fertigungstechnik, Bachelor
3. <b>Tiefziehen / Näpchenziehversuch nach Swift</b>	Umformtechnik / Praktikum Grundlagen der Fertigungstechnik 1	Südwestfalen, FH (Meschede) / Maschinenbau, Bachelor
4. <b>Labor „Gesektschmieden“</b>	Umformtechnik / „Kleine Laborarbeit“ im Rahmen des Moduls „Soft Skills“	Hannover, Uni / Maschinenbau, Bachelor
5. <b>Biegelabor</b> 6. <b>Gießen</b>	Umformtechnik / Maschinenlabor:	Siegen, Uni / Maschinenbau, Bachelor
7. <b>Mechanisches Fügen</b> 8. <b>Klebertechnik</b>	Fügetechnik / Labor Fügetechnik:	Braunschweig, TU / Maschinenbau, Bachelor
9. <b>BHLS: Bifokal-Hybrid-Laserschweißen</b> 10. <b>FSW: Rühr-Reibschweißen</b> 11. <b>MSG: Metall-Schutzgasschweißen</b> 12. <b>SNG: Schweißnahtgestaltung</b> 13. <b>SNP: Schweißnahtprüfung</b> 14. <b>WIG: Wolfram-Intertgasschweißen</b>	Fügetechnik / Schweißtechnisches Praktikum:	München, TU / Maschinenbau, Bachelor
15. <b>SPS-Technik nach IEC 61131-3</b> 16. <b>CNC-Programmierung (ISO 6625, 2D-CAM, 3D-CAM)</b> 17. <b>Programmierung und Fertigung einer einfachen Baugruppe</b>	Fertigungsautomatisierung / Fertigungsautomatisierung mit Labor (in Abschnitte aufgeteilt)	Braunschweig, TU / Maschinenbau, Bachelor
18. <b>Innovationslabor Umformtechnik</b>	Umformtechnik / Innovationslabor	Paderborn, Uni / Maschinenbau, Master

<p>19. <b>Konfigurierung einer Motion Control</b>  20. <b>Digitale Lageregelung</b>  21. <b>Ölhydraulik und Pneumatik</b>  22. <b>Programmieren einer speicherprogrammierbaren Steuerung</b>  23. <b>Simulation einer Vorschubachsregelung mit MATLAB/Simulink</b>  24. <b>NC-Programmierung</b>  25. <b>Roboterprogrammierung</b>  26. <b>Hardware-in-the-Loop Simulation einer Werkzeugmaschine (Kinematik)</b></p>	<p>Zerspantechnik /  Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen mit Labor</p>	<p>Stuttgart, Uni /  Maschinenbau, Master</p>
<p>27. <b>Übung Umformverfahren</b>  28. <b>Praktikum Walzen und Schneiden</b></p>	<p>Umformtechnik /  Verfahren der Urform-, Zerteil- und Umformtechnik:  Verfahrens- und Werkstückgestaltung</p>	<p>Dresden, Uni /  Maschinenbau, Diplom-  Aufbaustudiengang</p>
<p>29. <b>Simulation des Zylinderstauchversuches mit Hilfe des Finite-Elemente-Programms LARSTRAN/SHAPE</b></p>	<p>Umformtechnik /  Praktikum Grundlagen und Lösungsverfahren der Umformtechnik</p>	<p>Aachen, RWTH /  Werkstoffingenieurwesen,  Master</p>
<p>30. <b>Tasse mit Henkel und Knauf</b>  31. <b>Zylinderboden und -baugruppe</b>  32. <b>Fertigungssimulation Tasse</b>  33. <b>Kinematiksimulation Werkzeugmaschine</b></p>	<p>Produktionstechnik /  Tutorium CAD-/CAM-  Prozessketten in der Prozesslernfabrik CiP (in Abschnitte aufgeteilt)</p>	<p>Darmstadt, TU /  Maschinenbau, Master</p>
<p>34. <b>Kreisformtest/ Genauigkeitsvermessung mit dem Renishaw Quick Check</b>  35. <b>Maschinenfähigkeitsuntersuchung</b>  36. <b>Bestimmung der Positionsunsicherheit nach VDI/DGQ 3441 bzw. Positioniermessungen mit dem Laserinterferometer</b></p>	<p>Produktionstechnik /  Qualitätsmerkmale von Werkzeugmaschinen</p>	<p>Bremen, Uni /  Maschinenbau, Master</p>
<p>37. <b>Umrüstung eines skalierten Versuchsträgers auf Elektroantrieb</b></p>	<p>Mechatronik /  Labor Mechatronik</p>	<p>Duisburg-Essen, Uni /  Maschinenbau, Master</p>
<p>38. <b>Programmieren eines Schweißroboters</b>  39. <b>Bedienen und Beobachten an einer Maschinensteuerung</b>  40. <b>Anwenden einer CNC-Bearbeitungsmaschine</b>  41. <b>Sensorversuchsstand</b>  42. <b>SPS-Steuerung</b></p>	<p>Fertigungsautomatisierung /  Fachlabor  Fertigungsautomatisierung</p>	<p>Siegen, Uni /  Maschinenbau,  Master</p>

## Anhang 2: Liste der 18 durch teilnehmende Beobachtung analysierten Best Practice Beispiele

	Universität/ Hochschule	Institut / Einrichtung / Lehrstuhl	Fertigungsverfahren / Labor	Teilnehmende Beobachtung
01	Uni Paderborn	Lehrstuhl für Umformende und Spanende Fertigungstechnik (LUF)	Umformtechnik / Innovationslabor	07.07.2014
02	Uni Hannover	Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen	Umformtechnik / Allgemeines Messtechnisches Labor (AML)	08.07.2014
03	FH Südwestfalen, Meschede	Fachbereich Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften	Umformtechnik / Tiefziehen	21.10.2014
04	RWTH Aachen	Institut für Bildsame Formgebung	Umformtechnik / Simulation Praktikum FEM	05.12.2014
05	Uni Siegen	Lehrstuhl für Umformtechnik	Umformtechnik / Biegeumformung	05.01.2015
06	Uni Siegen	Lehrstuhl für Umformtechnik	Umformtechnik / Gießen	05.01.2015
07	TU Dresden	Institut für Fertigungstechnik	Umformtechnik / Längswalzen	04.11.2014
08	TU Dresden	Institut für Fertigungstechnik	Umformtechnik / Sandformguss	04.11.2014
09	TU Dortmund	IUL	Umformtechnik / Teleoperativ, integriert zum charakteristischen Verhalten metallischer Werkstoffe	13.11.2014
10	TU Dortmund	IUL	Umformtechnik / Teleoperativ, vorbereitend für eine Übung	
11	TU München	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften	Fügetechnik / Bifokal-Hybrid- Laserschweißen	07.10.2014
12	TU München	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften	Fügetechnik / Rührreibschweißen	07.10.2014
13	Uni Stuttgart	Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen	Zerspantechnik / Digitale Lageregelung	01.12.2014
14	Uni Siegen	Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung	Fertigungsautomatisierung / Fachlabor Fertigungstechnik (Schwerpunkt Fertigungsautomatisierung),	19.11.2015

			Versuch 4: Anwenden einer CNC-Bearbeitungsmaschine	
<b>15</b>	Uni Siegen	Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung	Fertigungsautomatisierung / Fachlabor Fertigungstechnik (Schwerpunkt Fertigungsautomatisierung), Versuch 6: SPS-Steuerung	23.01.2015
<b>16</b>	Uni Siegen	Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung	Fertigungsautomatisierung / Sensorversuchsstand	16.01.2015
<b>17</b>	Uni Stuttgart	Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen	Fertigungsautomatisierung / Konfiguration einer Motion Control	01.12.2014
<b>18</b>	TU Braunschweig	Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik	Fertigungsautomatisierung / Projekte in FUP und CFC	20.11.2014

## 10 Auflistung der Einzelbeiträge der kumulativen Dissertation

Im Folgenden sind in chronologischer Reihenfolge die sieben Veröffentlichungen zu dieser kumulativen Dissertation aufgelistet:

- Tekkaya, A. E., Wilkesmann, U., Terkowsky, C., Pleul, C., Radtke, M. & Maevus, F. (2016). *Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab : acatech Studie (acatech Studie)*. München: Herbert Utz Verlag GmbH.
- Terkowsky, C., Haertel, T., Ortelt, T. R., Radtke, M. & Tekkaya, A. E. (2016). Creating a place to bore or a place to explore? Detecting possibilities to establish students' creativity in the manufacturing engineering lab. In T. Haertel & C. Terkowsky (Hrsg.), *Creativity in Engineering Education. International Journal of Creativity & Problem Solving*. 26 (2), 23–45 [Themenheft]. Hangaram Core #209, Myeongdeok-ro 368, Suseong - gu, Daegu 706-832, KOREA: The Korean Association for Thinking Development
- Morace, C., May, D., Terkowsky, C. & Reynet, O. (2017). Effects of globalisation on higher engineering education in Germany – current and future demands. *European Journal of Engineering Education* 42 (2), 142–155.  
doi:10.1080/03043797.2017.1293618
- Terkowsky, C., Frye, S., Haertel, T., May, D., Wilkesmann, U. & Jahnke, I. (2018). Technik- und Ingenieurdidaktik in der hochschulischen Bildung. In B. Zinn, R. Tenberg & D. Pittich (Hrsg.), *Technikdidaktik. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme* (S. 87–97). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Terkowsky, C., Haertel, T., Rose, A.-L., Leisyte, L. & May, D. (2018). Swimming with sharks without being eaten: how engineering students can learn creativity, entrepreneurial thinking and innovation. In D. Lemaître (Hrsg.), *Training Engineers in Innovation* (S. 147–176). London, UK: ISTE Publishing.
- Rose, A.-L., Leisyte, L., Haertel, T. & Terkowsky, C. (2019). Emotions and the liminal space in entrepreneurship education. *European Journal of Engineering Education* 44 (4), 602–615. doi:10.1080/03043797.2018.1553937
- Terkowsky, C., Frye, S. & May, D. (2019). Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for “Working 4.0”? *European Journal of Education* 54 (4), 577–590.  
doi:10.1111/ejed.12368