

Hieronymus, Martin; Finck, Matthias; Meussen, Bernhard

**Working Paper**

## Cyber-physische Labore: Abschlussbericht des von der NORDAKADEMIE-Stiftung geförderten Projekts "CPL - inverted laboratories"

Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2022-01

**Provided in Cooperation with:**

Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

*Suggested Citation:* Hieronymus, Martin; Finck, Matthias; Meussen, Bernhard (2022) : Cyber-physische Labore: Abschlussbericht des von der NORDAKADEMIE-Stiftung geförderten Projekts "CPL - inverted laboratories", Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2022-01, Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/253698>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

# ARBEITSPAPIERE DER NORDAKADEMIE

ISSN 1860-0360

Nr. 2022-01

## Cyber-physische Labore

Abschlussbericht des von der NORDAKADEMIE-Stiftung geförderten Projekts „CPL – inverted Laboratories“

**Martin Hieronymus, Matthias Finck,  
Bernhard Meussen**

**Januar 2022**

Eine elektronische Version dieses Arbeitspapiers ist verfügbar unter:

<https://www.nordakademie.de/forschung/publikationen>



Köllner Chaussee 11

25337 Elmshorn

[www.nordakademie.de](http://www.nordakademie.de)

# Cyber-physische Labore

Martin Hieronymus, Matthias Finck, Bernhard Meussen

NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

**Abstract:** In dem von der NORDAKADEMIE-Stiftung geförderten Projekt „CPL – inverted laboratories“ wurde untersucht, wie Laborveranstaltungen in den dualen Bachelorstudiengängen und den berufsbegleitenden Masterstudiengängen der NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft didaktisch fundiert digitalisiert werden können. Zunächst war es das Ziel, in den berufsbegleitenden Masterstudiengängen Laborveranstaltungen sinnvoll zu ermöglichen und in den dualen Bachelorstudiengängen effizienter zu gestalten. Mit der Covid-19-Pandemie hat das Thema der Digitalisierung der Hochschullehre zusätzlich Aktualität gewonnen. Dieser Arbeitsbericht beschreibt die Grundlagen erfolgreicher Lehr-Laborveranstaltungen und deren Weiterentwicklung durch, auf Basis didaktischer Überlegungen durchgeführter Digitalisierung.

**Keywords:** Labordidaktik, Digitalisierung in der Lehre, cyber-physische Systeme

## 1 Einführung

Das von der NORDAKADEMIE-Stiftung geförderte Projekt „CPL - inverted laboratories“ (CPL: cyber-physische Labore) hatte das Ziel, die Laborveranstaltungen, die aus didaktischer Sicht Kompetenzen in einer viel breiteren Art und Weise fördern als dies durch konventionelle Lehr-Lernmethoden erfolgen kann (vgl. Terkowski et al. 2020), in die Lehre der NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft mit einem Fokus auf den dort angebotenen berufsbegleitenden Masterstudiengängen zu integrieren. Dieser Arbeitsbericht dokumentiert die Arbeitsergebnisse des Projekts.

### 1.1 Anstoss

Die NORDAKADEMIE als private, staatliche anerkannte und systemakkreditierte Fachhochschule, führt regelmäßig gegen Ende eines Moduls Evaluationen ihrer Lehr- Lernveranstaltungen durch. Die Studiengangsleiter, unterstützt vom Qualitätsmanagement der NORDAKADEMIE, nutzen diese Evaluationen zur Studiengangsverbesserung und sind hierzu im regelmäßigen Austausch mit den im Studiengang lehrenden Dozentinnen und Dozenten und den Studierenden. In diesem Qualitätsregelkreis ist aufgefallen, dass es von den Studierenden des berufsbegleitenden Masterstudiengangs Wirtschaftsingenieurwesen (MWING) gewünscht wurde, die Lehre stärker auf praktische Lehr-Lernmethoden auszurichten. Im Rahmen dieser Maßnahmen wurde der Eindruck, dass im Studiengang die rezeptive Aufnahme von Informationen einen Überhang besitzt, bestätigt. Im Hamburger Standort Dockland der NORDAKADEMIE Graduate School, in der die Präsenzphasen der Masterstudiengänge der NORDAKADEMIE durchgeführt werden, gibt es keine Infrastruktur für praktische Arbeit, so dass praktische Beispiele an White- bzw. Smartboard nur dargestellt und dann analysiert werden.

## 1.2 Analyse zum didaktischen Design

Ausgehend von oben genannten Gesprächen und Eindrücken aus den Evaluationen erscheint eine systematische Erhebung nötig, um das Potential zur Modul- und Studiengangverbesserung offenzulegen. Als Methode bietet sich dafür eine Umfrage mit Fragebogen an, der konkretisiert welche ingenieurwissenschaftlichen Module im MWING die rezessive Aufnahme von Informationen bevorzugen oder auch zu intensiv mit der Informationsvermittlung und Aktivierung umgehen. Als Grundlage für die Gestaltung der Lehrveranstaltung wird die Differenzierung nach den Elementen Vermittlung, Aktivierung und Betreuung (Reinmann (2015)) angenommen.

Für die Umfrage im Frühjahr 2019 wurden 53 verfügbare Studierende befragt, womit keine statistische Sicherheit, aber eine für das Projekt ausreichende Tendenz besteht.

**CPL – I Labs**  
Ein Forschungsprojekt der NORDAKADEMIE-Stiftung

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Meussen  
Prof. Dr. Matthias Fink  
Martin Hieronymus



**Umfrage zum didaktischen Design der technischen MWING-Module**

Das Design einer Lehr-Lernveranstaltung umfasst unter anderem die Komponenten

- Vermittlung (Angebote zur Aufnahme von Information; rezeptiv),
- Aktivierung (Aufgaben zur Be-/Verarbeitung von Information; produktiv),

Wie beurteilen Sie diese Komponenten im Bezug auf die technischen Module des Masterstudiengangs WING?

	Systems Engineering	
	Vermittlung	Aktivierung
intensiv		
ausgeglichen		
gering		

	Technische Produktentwicklung	
	Vermittlung	Aktivierung

	Produktivitätsmanagement	
	Vermittlung	Aktivierung
intensiv		
ausgeglichen		
gering		

	Digitalisierung ind. Wertschöpfungsketten	
	Vermittlung	Aktivierung

Wie würden Sie die Aktivierung der Studierenden steigern, wenn Sie als Dozent das Modul übernehmen sollten? Welches technische Gerät würden Sie dafür einsetzen?

Abbildung 1: Fragebogen zum didaktischen Design ausgewählter Module im MWING

Für die Module „Systems Engineering“ und „Produktivitätsmanagement“ ist jeweils eine ausgeglichene Informationsvermittlung und -aktivierung von den Studierenden attestiert worden. Für das Modul „Digitalisierung in den Wertschöpfungsketten“ wurde im Mittel eine geringe Aktivierung der Lehr-Lerninhalte bei einem ausgeglichenen Angebot dokumentiert. In dem Modul „Technische Produktentwicklung“ erhalten die Studierenden ein intensives Angebot an Informationen; die Aktivierung dieses Angebots wird als gering eingestuft. Insgesamt wird von 70% der Studierenden der Einsatz von Modellierungs- und Simulationssoftware, Planspielen und Laboren als mögliche Aktivierungshilfsmittel in den Antwortsätzen genannt (Abbildung 2).

Was würden Sie als Dozent an dem Unterricht(-smaterialien) ändern?	
Produktivitätsmanagement	Kann so bleiben; Video zur Visualisierung einstreuen
Systems Engineering	Viel Papier, Software zur besseren Datensicherung & Modellierung
Digitalisierung ind. Wertschöpfungsketten	Geräte zum Experimentieren, VR, Simulation, Modellierungstool, Netzwerklabor, el. Bauteile
Technische Produktentwicklung	Fallbeispiele, Produktentwicklungsprozess-Spiele, Simulation

Abbildung 2: Einsatz von technischen Hilfsmitteln in den Modulen des MWING

Gespräche mit den Studiengangsleitern im Masterbereich der NORDAKADEMIE Graduate School haben ergeben, dass die Bereitschaft für eine Veränderung der Lehre grundsätzlich hoch ist, häufig aber an den Rahmenbedingungen scheitert:

- Die Änderungsarbeit in der Lehre wird von der NORDAKADEMIE nicht über das Deputat der Lehrenden erfasst.
- Das Risiko durch neue Methoden oder technisch schwerer zu beherrschende Prozesse eine schlechtere Lehrevaluation verhindert Lehrinnovationen.

Seitens andere berufsbegleitender Masterstudiengänge der NORDAKADEMIE gab es eine positive Resonanz bezüglich der Idee in der Lehre an der Graduate School Laborveranstaltungen verfügbar zu machen und interdisziplinär anzubieten. Nach dieser Erstanalyse wurde mit der Unterstützung einer studentischen Projektgruppe die Umfrage weiter ausgerollt und der Fokus auf die drei Masterstudiengänge Wirtschaftsingenieurwesen, Wirtschaftspsychologie und Wirtschaftsinformatik gelegt.

### 1.3 Standortanalyse

Der NORDAKADEMIE Standort in Elmshorn verfügt über eine Reihe von unterschiedlich ausgestatteten Laborräumen. Diese sind in den dualen Bachelorstudiengängen curricular verankert. In den berufsbegleitenden Masterstudiengängen sind keine Laborveranstaltungen vorgesehen, bzw. in den Räumlichkeiten der NORDAKADEMIE Graduate School verfügbar.

Das didaktische Konzept der Masterstudiengänge an der NORDAKADEMIE ist darauf ausgelegt, dass die Qualifikationsziele trotz Doppelbelastung durch Beruf und Studium erreicht werden. Das organisatorische Ge-

samtkonzept soll eine hohe Abschlussquote der Studierenden ermöglichen und ist durch die folgenden Bausteine charakterisiert. Ein Modul beginnt mit einer vier- bis sechswöchigen Selbststudienphase mit einem Aufwand von ca. Hundert Arbeitsstunden. In dieser Phase erhalten die Studierenden Zugriff auf die Lernplattform. In dieser Umgebung erhalten die Studierenden den Zugriff auf eine Selbststudienanleitung mit einer klaren Beschreibung der Lernziele, Lese- und Übungsaufgaben und eine Erläuterung zu den ausgewählten Lehrmethoden. Wenn Bücher erforderlich sind, werden diese rechtzeitig per Post zugesendet. Es folgt eine Präsenzphase von zweieinhalb Tagen an der NORDAKADEMIE am Standort in Hamburg-Altona im fünften Stockwerk des Docklands, ein Bürogebäude an der Elbe. Diese Komprimierung auf eine kurze Anwesenheitszeit wurde ausgewählt, damit die Vereinbarung von Beruf und Studium möglich ist.

Die Präsenzphasen haben einen seminaristischen Stil. Neben der klassischen Vorlesung werden Fallstudien bearbeitet, Gruppenaufgaben umgesetzt und Diskussionen angeregt. Die Nachbereitungsphase gestaltet sich je nach Prüfungsform unterschiedlich. Bei Hausarbeiten folgen die selbstständige Literaturrecherche und das Schreiben der Hausarbeit. Wird das Modul mit einer Klausur abgeschlossen, dann vertiefen die Studierenden die Inhalte des Moduls und schreiben zwei bis drei Wochen später eine zweistündige Klausur, die in der Regel an einem Freitag, Samstag oder Montag stattfindet. Für die Nachbereitungsphase sind etwa dreißig Stunden vorgesehen. Diese Aufteilung der Stunden sollte bei der Konzeptionierung von Laborveranstaltungen mit berücksichtigt werden.

#### **1.4 Analyse der Studienführer**

Um ein Konzept zu entwickeln, welches sich in der NORDAKADEMIE umsetzen lässt, werden die didaktischen Rahmenbedingungen analysiert. Das fördert eine Konzeptentwicklung, die konfliktfrei in die vorhandene Struktur eingearbeitet werden kann. Zu diesem Zweck werden drei Studienpläne in den Masterstudiengängen, die zudem den höchsten Zuspruch zur Laborintegration erhalten hatten (Wirtschaftsingenieurwesen, Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftspsychologie) untersucht. Dabei wurden ausschließlich die Basis- und Pflichtmodule betrachtet und der Wahlpflichtbereich ausgelassen.

In jedem der drei untersuchten Studienführer werden die Qualifikationsziele auf vier Felder unterteilt: Wissensvertiefung, instrumentale Kompetenz, systemische Kompetenz und kommunikative Kompetenz. Es werden die Definitionen der Qualifikationsziele und die passenden didaktischen Einbindungen dargestellt, die in den Studienführern zu finden sind.

Die Wissensverbreitung ist das erst genannte Ziel und steht für die Vertiefung und Erweiterung von Fachwissen. Unterschiedliche Lehrmeinungen sollen reflektiert und eigene Ideen entwickelt werden können. Hierzu soll einschlägige Literatur in der Selbststudienphase durchgearbeitet werden. Das Reflektieren wird durch Kontrollfragen in der Selbststudienphase und durch wissenschaftlichen Disput in der Präsenzphase herbeigeführt.

Die Wissensvertiefung ist ein Ziel, welches die Formulierung und Verfolgung eigener Ideen beschreibt. Module wie z.B. „wissenschaftliches Arbeiten“ unterstützen die Wissensvertiefung. Speziell im Studienführer des Wirtschaftsingenieurwesen werden Hausarbeiten und das Bearbeiten von Fallstudien hervorgehoben, da sie das Entwickeln und Formulieren eigener Ideen unterstützen (NORDAKADEMIE Hochschule der Wirtschaft, 2019b, 46f.).

Im Studienführer Wirtschaftspsychologie wird die Relevanz von Hausarbeiten zur Entwicklung kommunikativer Kompetenzen hervorgehoben. Eine Masterabsolventin oder -absolvent soll die Fähigkeit besitzen, Wissen klar und eindeutig zu übermitteln, gleich es sich um ein Fachpublikum oder um Laien handelt. Dies spiegelt sich in der großen Anzahl der Hausarbeiten als Prüfungsform wider (siehe Tabelle 2.1).

Durch interaktive Lehrveranstaltungen, sowie Einzel- und Gruppenpräsentationen werden die kommunikativen Fähigkeiten gestärkt. Die instrumentale Kompetenz ist die Fähigkeit Probleme in neuen, unvertrauten und multidisziplinären Umgebungen zu lösen. Das wird durch selbstständiges Erarbeiten von Stoff, die Beantwortung von Kontrollfragen und das Bearbeiten von Fallstudien erreicht. Die Fähigkeit Entscheidungen zu treffen, obwohl die Informationslage unvollständig ist, wird mit systemischer Kompetenz beschrieben. Die Masterabsolventen lernen, Wissen zu integrieren und mit Komplexität umzugehen. Dabei sollen gesellschaftliche und ethische Zusammenhänge stets mit in der Betrachtung einbezogen werden. Mit Hilfe von Fallstudien wird diese Kompetenz erarbeitet.

*Tabelle 1: Prüfungsformen 2019 gültiger Studienpläne basierend auf (NORDAKADEMIEHochschule der Wirtschaft, 2019a;b;c)*

	Prüfungsform		
	Klausur	Hausarbeit Einzelaufgabe	Hausarbeit Gruppenaufgabe
MWING	4	5	1
MWINF	7	3	0
MPSY	2	8	0

### 1.5 Zwischenfazit der Studienführeranalyse

Ein Abgleich der Lehr-Lernziele und der Prüfungsformen ergeben, dass die Prüfungsformen an der NORDAKADEMIE Graduate School aus dem Bereich der symbolischen Formen stammen und tendenziell die unteren Taxonomie-Stufen bedienen (vgl. Abbildung 3). Die Bearbeitung von Fallbeispielen mit einer Prüfung als Hausarbeit lässt prinzipiell auch ein höheres Niveau zu. Für ein Masterstudium ist der Prüfungsmix aus 2-3 unterschiedlichen Formen der schriftlich symbolischen Sparte wenig dimensional. Es wird dabei mehr oder weniger das Primat des Wissens bedient. Das Berufsbild des Wirtschaftsingenieurs fordert jedoch im Kompetenzbereich „Wissenschaftliche Innovation“ den Erwerb und die Weiterentwicklung von Kompetenzen des „forschenden Lernens“ (Abawi et. al., 2019), welche nach Reinmann (2014) dem enaktiven Spektrum zuzuordnen sind. Diese Forderung aus dem Berufsbild wurde aus dem Hochschulqualifikationsrahmen abgeleitet, so dass damit ein wesentliches Optimierungspotential vorliegt.

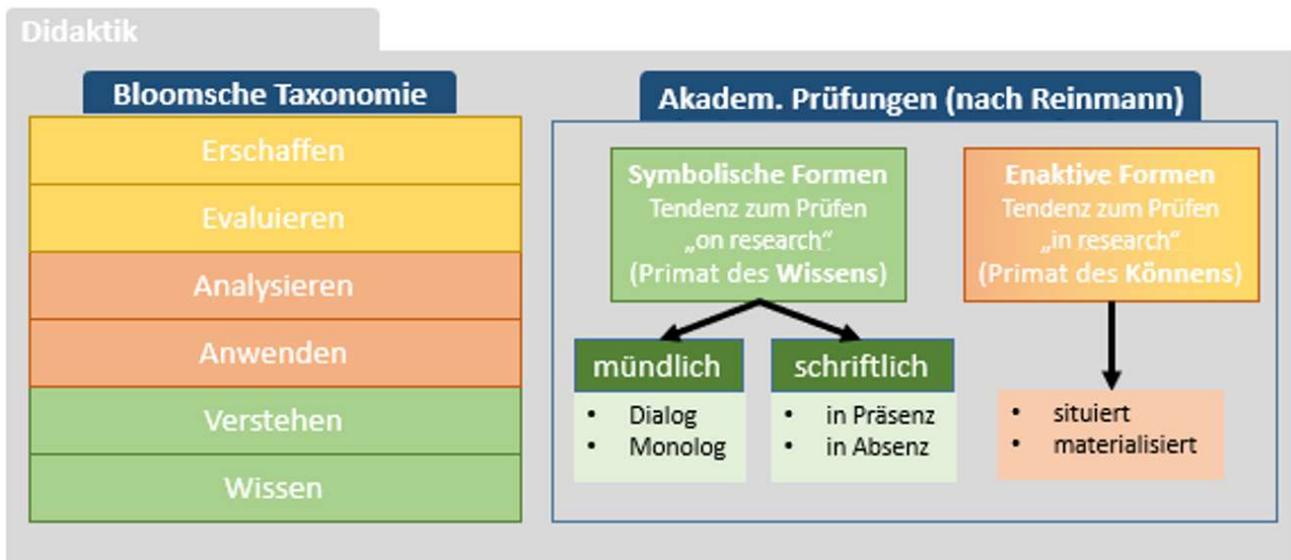


Abbildung 3 Prüfungen in Abhängigkeit zu Taxonomie-Stufen, basierend auf Reinmann (2014)

Mit dem Feedback der Studierenden, die berufsbegleitend studieren, also bereits in der Wirtschaft tätig sind, sowie den Kompetenzvorgaben des Berufsbilds ist eine dringende Handlungsempfehlung enaktive Prüfungen durch neue Module, Methoden und Mittel zu ermöglichen. Die Nutzung von Laborveranstaltungen bietet die Möglichkeit das Primat des Könnens direkt anzuwenden und wird im folgenden Kapitel genauer beschrieben.

## 2 Labordidaktik

### 2.1 Labore in der Hochschullehre

Das Labor ist in der technikbezogenen Aus- und Weiterbildung, in der Fachhochschullehre und an Universitäten sowie in Forschung und Entwicklung insbesondere im MINT-Bereich weit verbreitet und eignet sich für enaktive situierte Prüfungen ebenso wie für die Herstellung von Prototypen als mögliche materialisierte Prüfungsform. Es ist im Rahmen der Masterstudiengänge der NORDAKADEMIE Graduate School kein Labor vorhanden, so dass die Einrichtung ein innovatives Leuchtturm-Projekt für diese Studiengänge der NORDAKADEMIE darstellt.

Es existiert eine Vielzahl an Definitionen für ein „Labor“ in der Hochschullehre. In vielerlei Hinsicht weisen die unterschiedlichen Erklärungen jedoch Gemeinsamkeiten auf. So beschreiben diverse Studien (Tekkaya et al., 2016), (Auer, M. E., & Pester, A, 2007), (Kirschner & Meester, 1988) und (Millar et al., 2003) den Praxisbezug als zentrales Element der Laborarbeit an Hochschulen. Im Folgenden wird eine Abgrenzung des Begriffs „Labor“ für vorgenommen: Labore in der Hochschullehre dienen der Forschung und Anwendung von theoretischem Wissen in einer praktischen Lehr-Lernsituation.

In Laboren werden Zusammenhänge analysiert, sowie methoden- und fachwissenbezogene Transferprozesse angestoßen. Dies wird durch die Planung, Durchführung und Bewertung von praktischen Versuchen erreicht. Es findet eine Aufzeichnung, Aufbereitung und Beurteilung der Messdaten und Beobachtungen in einer kontrollierten, möglichst störungsunempfindlichen Umgebung statt. Dies soll Fehler im Versuch minimieren, welche die zu beobachtenden Ergebnisse des Versuchs verzerren könnten (Auer, M. E., & Pester, A, 2007, 285); (Tekkaya et al., 2016, 13f., 30).

## 2.2 Laborphasen

Das Labor gliedert sich typischerweise nach Bruchmüller und Haug (2001) in fünf Phasen auf, die aufeinander folgen:

In der Sicherheits- und Geräteeinweisung werden den am Labor Teilnehmenden die benötigten Kenntnisse für die einzusetzenden Gerätschaften in Bezug auf die Bedienung und bestehende Risiken und Gefahren vermittelt. Daraufhin wird in der Versuchsvorbereitung die Planung des durchzuführenden Versuchs inklusive des Konfigurierens der Geräte und bei Bedarf eine Schulung der Probanden durchgeführt. Die am Labor Teilnehmenden stellen Thesen auf und legen die Metriken fest, mithilfe derer das Ergebnis des Versuchs gemessen werden soll. Die Versuchsdurchführung umfasst neben dem Ausführen des geplanten Experiments das Vornehmen der Messungen, das Notieren von Beobachtungen oder die Befragung der Probanden. Auf die Durchführung folgt die Versuchsnachbereitung, in der die gemessenen Daten aufbereitet und ausgewertet werden. Anschließend müssen in der Analyse und Interpretation der Ergebnisse die aufgestellten Thesen geprüft und bei Bedarf angepasst oder verworfen werden. Zuletzt beschreibt die Versuchsdokumentation die vorangegangenen Phasen: der Versuchsaufbau, Thesen, die Ergebnisse und Schlüsse werden zusammengefasst und kritisch betrachtet (Tekkaya et al., 2016, 30f.); (Kirschner & Meester, 1988, 87f.).

Für die NORDAKADEMIE wurde dazu die in der folgenden Abbildung 4 festgehaltene Einteilung des Grundlagenlabors aus dem Bachelorstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen übernommen

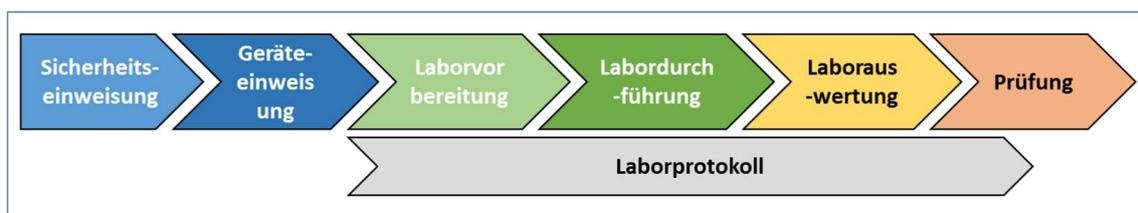


Abbildung 4: Laborphasen eines grundlegenden Lehr-Lernlabors

## 2.3 Labortypen

Traditionell gilt das Praktikum in den Naturwissenschaften bzw. das Grundlagen- oder Lehr-Lernlabor in den Ingenieurwissenschaften dem empirischen Nachvollziehen grundlegender wissenschaftlicher Erkenntnisse (Bruchmüller & Haug, 2001) und eignet sich damit speziell für den Bachelorbereich.

Der Einsatz eines Entwicklungs- oder Konstruktionslabors adressiert die Entwicklung von Produkten, Prototypen oder Prozessen zur Lösung konkreter Problemstellungen, während im Forschungslabor neues Wissen auf der Grundlage einer offenen Fragestellung entwickelt wird (ebd.).

Das praxisorientierte Projektlabor erweitert Labore derart, dass die Studierenden im Kontext einer realen Problemstellung unter Nutzung der Methoden des Projektmanagements die industrielle „Alltags“-Praxis simulieren (Bruchmüller & Haug, 2001) und damit den Lernzielen im Masterbereich entspricht.

In der Lehr-Lernfabrik soll ein konkretes Produkt durch die Gestaltung von Produktionsabläufen und Logistikprozessen optimal produziert werden. Die Lernfabrik kann projekt- und problemorientiertes Lernen, in dem die Studierenden vor allem Eigeninitiative und Selbstorganisation entwickeln sollen, fördern (Kauffeld & Reining, 2019).

## 2.4 Labordidaktisches Design

Es existiert eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Einbindung von Laboren in die Hochschullehre. Diese unterscheiden sich sowohl in ihren angestrebten Lernzielen, ihrem didaktischen Konzept sowie dem mit der Laborarbeit verbundenem kognitiven Anspruchsniveau. Sowohl Bruchmüller und Haug (2001, S. 67) als auch Kirschner und Meester (1988, S. 89f.) differenzieren zwischen drei übergeordneten Laborformen bzw. -stufen.

Einerseits kann ein Labor zum Optimieren des Lernens der Vorlesungsinhalte fungieren, indem es eine Veranschaulichung, Vertiefung und Wiederholung von bereits Gelehrtem und Gelerntem vornimmt. Die Studenten arbeiten hier nach einer vorgegebenen Vorgehensweise auf ein bereits definiertes Ergebnis hin (Bruchmüller & Haug, 2001, S. 70f.; Kirschner & Meester, 1988, S. 89f.). Diese Form der Laborarbeit kann als "Integriertes Labor" (Bruchmüller & Haug, 2001, S. 70) oder „Akademisches Labor“ bezeichnet werden (Kirschner & Meester, 1988, S. 89). Aufgrund der primären Reproduktion von Wissen kann mittels eines integrierten Labors lediglich die unterste kognitive Lernzielstufe erreicht werden. Da die Laborarbeit hier lediglich eine Erweiterung der Vorlesung darstellt, setzen sich die Studierenden oft nur wenig mit den Geräten im Labor auseinander. Das Verfassen von Laborprotokollen wird als reine Verpflichtung angesehen (Kirschner & Meester, 1988, S. 90).

Die zweite Möglichkeit, Labore in der Hochschullehre auszugestalten, löst sich weitestgehend vom theoretisch gelehrtens Wissensstoff. Im Fokus stehen aktuelle Themen der Berufspraxis, welche die Studenten eigenständig mithilfe lediglich übergeordneter Instruktionen bearbeiten. Das Ergebnis der entsprechenden Laborversuche ist unbekannt, Studenten müssen selbstständig Problemstellungen lösen und ihre Ergebnisse interpretieren (Bruchmüller & Haug, 2001, S. 79; Kirschner & Meester, 1988, S. 90). Dem sogenannten "praxisorientierten Entwicklungslabor" (Bruchmüller & Haug, 2001, S. 74–76) bzw. "Experimentallabor" ist ein Forschungscharakter zuzuschreiben (Kirschner & Meester, 1988, S. 90). Aufgrund der selbstständigen Arbeitsweise sowie dem Forschungsansatz ist es mittels dieser Laborform möglich, die kognitiven Lernzielstufen der Synthese und Evaluation auf der Bloomschen Taxonomie zu erreichen.

Das "divergierende Labor" stellt als dritte Laborform eine Kombination der beiden eben erläuterten Labore dar, die gemäß Kirschner & Meester in der Universitätslehre realistisch umsetzbar ist. Ein Teil des Vorgehens der Laborarbeit ist bereits vorgegeben, nach dem Anfangsstadium können sich die Ergebnisse der Studenten jedoch in verschiedene Richtungen entwickeln (Bruchmüller & Haug, 2001, S. 67f.; Kirschner & Meester, 1988, S. 90). Kirschner und Meester fassen das Konzept dort wie folgt zusammen: "The divergent lab would provide the student with tasks similar to those encountered in an [...] open ended or project (experimental) lab within a framework that is compatible with the various restrictions imposed as a result of the wider system of instructional organization."

Die Laborform dient nicht dem reinen Forschungszweck, die Studierenden arbeiten jedoch überwiegend selbstständig und können zu unterschiedlichen Resultaten gelangen. Dadurch ermöglicht das divergierende Labor ebenfalls das Erreichen der höheren kognitiven Stufen der Anwendung und Analyse auf der Bloomschen Taxonomie.

Eine Studie von Franszkiewicz, Frye, Terkowsky und Heix (2019) evaluiert die Zufriedenheit von Dozenten und Studenten im Hinblick auf verschiedene Laborkonzepte. Sie vergleicht einen mittels detaillierter Anweisungen vordefinierten Laborversuch mit einem selbstorganisierten, flexiblen Versuch, bei welchem lediglich die Problemstellung gegeben ist. Der Großteil der befragten Studenten nimmt bei der Durchführung eines selbstorganisierten Versuches einen höheren Lernerfolg wahr. Für diesen konstatieren die Dozenten darüber hinaus eine "Steigerung der Motivation, Kreativität sowie des Interesses der Studierenden" (Franszkiewicz et al., 2019, S. 279).

Daraus geht hervor, dass von Studenten sowie Dozenten selbstorganisierte Laborkonzepte gegenüber den vordefinierten Versuchen, die lediglich das unterste kognitive Niveau adressieren, präferiert werden. Diese sind den höchsten kognitiven Stufen zuzuordnen. Analysen der Lernwirksamkeit im Labor bestätigen den Mehrwert selbstorganisierter, forschungsorientierter Laborarbeit, indem sie für diese eine Unterstützung der Entwicklung fachübergreifender sowie –spezifischer Fähigkeiten konstatieren (Terkowsky et al., 2016, 36-43).

### 3. Schrittweise Digitalisierung der Lehre im Labor

Die Einrichtung eines neuen Labors in ein bestehendes Modul funktioniert deutlich reibungsloser, wenn die Digitalisierung schrittweise erfolgt. Ein einfacher Hörsaal-Versuch, könnte so im nächsten Schritt in eine Übung ausgelagert und erweitert werden.

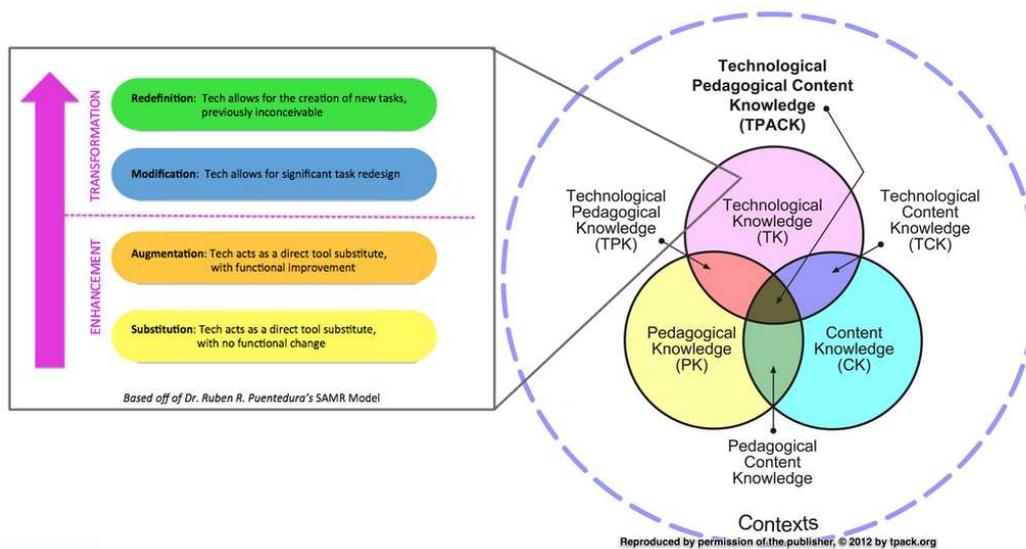


Abbildung 5: Didaktisches Rahmenwerk zur Lehr-Lerngestaltung unter der Bezeichnung TPACK

Ein Vorgehensmodell, das in der Pandemie vom Land Schleswig-Holstein zur Digitalisierung der Lehre empfohlen wurde, jedoch didaktisch nur ein Ausschnitt darstellt, ist das Modell SAMR nach Puentedura (2012) (Siehe Abbildung 5).

#### 3.1 Modellbasierte Digitalisierung der Lehre mit SAMR

Funktioniert ein Werkzeug spontan nicht mehr, ist der naheliegende Schritt dieses durch ein äquivalentes oder ein ähnliches Werkzeug ohne funktionale Erweiterung zu ersetzen, um den Status Quo beizubehalten bzw. wiederherzustellen. Aufgrund der Einschränkungen durch die globale Covid-19-Pandemie funktionierten sämtliche auf direkten Kontakt ausgelegte "Werkzeuge" in den Lehr-Lernszenarien nicht mehr und mussten ersetzt werden. Im SAMR-Modell, welches von Ruben Puentedura (2012) als vierstufiges Fortschrittsmodell zur Digitalisierung des analogen Unterrichts vorgeschlagen worden ist, wird diese einfachste Ersatzlösung ohne funktionalen Mehrwert mit dem Wort "Substitution" überschrieben (Abbildung 6).

Eine Reihenfolge wird durch die schrittweise Erhöhung des Digitalisierungsgrads vorgegeben, jedoch lassen sich die Stufen des Modells unabhängig voneinander in die Lehrveranstaltungsplanung einbeziehen. Das Modell nimmt zwischen den Ebenen "Enhancement" und "Transformation" einen Perspektivwechsel vom Werkzeug (tool) zur Aufgabe (task) vor. Das Institut für Qualitätsentwicklung des Landesministeriums in Schleswig-Holstein (2018) empfiehlt diesbezüglich das Modell generell von einer Aufgabenstellung ausgehend reihenfolgeunabhängig zu benutzen.

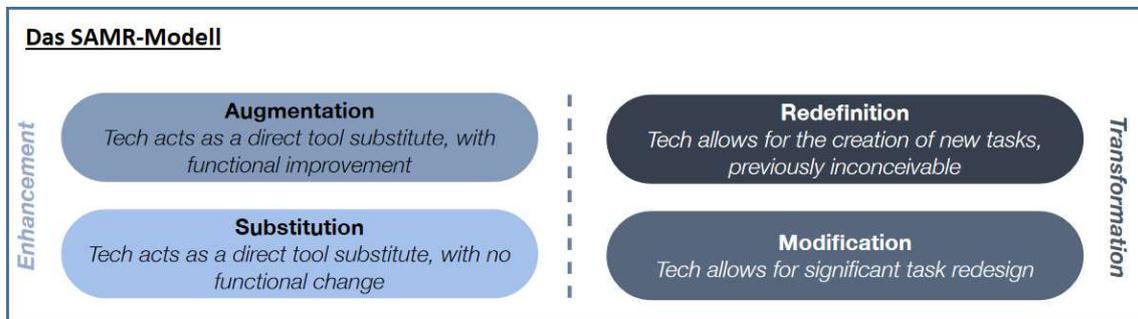


Abbildung 5: Das SAMR-Modell, basierend auf Puentedura (2012)

### 3.2 Die digitale Substitution

Zum Zeitpunkt des Pandemie-Ausbruchs war der pragmatischste Lösungsansatz die Lernmaterialien digital zu versenden oder an einen online zugänglichen Speicherort zu hinterlegen. Da dieses Vorgehen aufgrund des hohen Digitalisierungsgrads heutiger Lehrmittel mit wenig Aufwand verbunden war, ging die Substitution in Lehrveranstaltungen, die auf die Wissensvermittlung abzielen - von etwaigen Harmonisierungen der Dateiformate abgesehen - deutlich reibungsloser, als dies noch zu Zeiten des Fernstudiums mit Lehrbriefen möglich gewesen wäre.

Für die NORDAKADEMIE, die Ihren Schwerpunkt auf einen sozial-kognitiven Lernprozess setzt, besteht die Substitutionslösung in der Nutzung einer Onlinekonferenz-Software, die die multidirektionale Kommunikation zwischen den Lehrenden und Lernenden ermöglicht. Mit dieser Software lässt sich somit sicherstellen, dass nicht ausschließlich ein unidirektionaler Wissenstransfer zu den Studierenden, sondern über die omnidirektionale Kommunikation ebenso eine in der Lernzieltaxonomie darüberliegende Verständnisebene erreicht werden kann.



Abbildung 6: Verknüpfung der Substitution mit der Bloom'schen Taxonomie

In der Ausbildung der Studierenden des Bachelorstudiengangs Wirtschaftsingenieurwesen der NORDAKADEMIE sind ein wesentliches Element Labor-Lehrveranstaltungen, die die Lernziele auf der Anwendungsebene

adressieren. Die Nutzung von technischem Laborgerät lässt sich in der Regel nicht aufwandsarm substituieren, so dass die Dozierenden die Laborversuche im ersten Schritt als Demonstration per Videokamera an die Studierenden verteilt haben. Die dadurch verursachte Reduktion der Funktionalität wird vom SAMR-Modell nicht abgedeckt. Um den Funktionsverlust auszugleichen wurde im Modul Elektrotechnik ein hybrider Weg eingeschlagen. Die Studierenden erhielten die sonst in Präsenz vorgehaltenen Bauteile und Geräte per Post zugestellt und konnten damit in der Videokonferenz gemeinsam die Schaltungen stecken und in den experimentellen Erfahrungsaustausch eintreten. Zusätzlich ermöglichen die Standardisierungen in der Elektrotechnik den Software-Einsatz zum Entwurf von Schaltungen als kostengünstigere ortsunabhängige Alternative zu den Bauteil- und Geräte-Sets. Bei der Auswahl derartiger "Computer Aided Design" (CAD) Werkzeuge ist allerdings zu beachten, dass trotz gleichbleibender Funktionalität auf einer höheren Abstraktionsebene operiert wird.

Im Prüfungsbereich gestaltete sich die Umstellung etwas aufwändiger. Die bisherigen Präsenz-Prüfungsformen mündlicher und schriftlicher Art mussten auf digitale Verfahren, die die ausschließliche Nutzung der eigenen Intelligenz sicherstellen, umgestellt werden und dabei rechtliche Rahmenbedingungen erfüllen. So wäre das "Kapern" der studentischen Computer inklusive der integrierten Kameras und Mikrofone zur Beaufsichtigung der Prüfungsdurchführung nicht nur IT-technisch aufwändig geworden, sondern vor allem rechtlich unzulässig. Als Lösung wurde ein hybrider Weg eingeschlagen, der dem Smartphone die Rolle des Beobachters zukommen lässt. Das Smartphone wird im Raum des Prüflings so positioniert, dass der gesamte Arbeitsbereich von der Aufsicht im Online-Meeting eingesehen werden kann. Über das Lernmanagementsystem werden nach der üblichen Ansprache die Prüfungsunterlagen für die Prüflinge zeitsynchron bereitgestellt. Die Lösung der Aufgaben erfolgt handschriftlich und nach Beendigung der Klausur wird die Lösung als Foto ins Lernmanagementsystem übertragen und dem Prüfer digital zur Verfügung gestellt. Trotz der Nutzung verschiedener digitaler Werkzeuge auf dem Smartphone hat dieses Vorgehen in der Praxis wenig Probleme bereitet, die Beaufsichtigung erfolgte ohne nennenswerte Auffälligkeiten und die Prüfungsergebnisse in den ingenieurwissenschaftlichen Modulen lag innerhalb des erwarteten Rahmens.

### **3.3 Die digitale Erweiterung**

Wird bei der Digitalisierung der Lehr-Lernszenarien die Funktionalität erweitert, so wird diese Erweiterung im SAMR-Modell unter "Augmentation" einsortiert - so lange dies keine Neugestaltung der Unterrichtsplanung mit sich bringt. Bei den CAD - Programmen, wie sie u.a. in der Elektrotechnik genutzt werden, sind z.B. häufig weitere Prüfalgorithmen hinterlegt, die auf Unstimmigkeiten hinweisen bzw. diese nachvollziehbar machen oder die an den Bauteilen Ströme und Spannungen berechnen bzw. direkt anzeigen. Das Speichern der Modelle erleichtert zudem die Verteilung und Wiederverwendung.

Die Möglichkeit der multidirektionalen Kommunikation zwischen den Studierenden und Dozierenden stellt für seminaristische Lehrveranstaltungen in der Regel noch keine erweiterte Funktionalität dar. Viele Konferenzprogramme erlauben jedoch auch das parallele Teilen von Informationen, so dass zusätzlich zu Bildschirmansichten der Studierenden auch Zwischenrufe und unausgesprochene Ideen, die im Hörsaal leicht untergehen können, im Chat oder im Forum sichtbar werden und diese Feedback-Kanäle als eine erweiterte Funktionalität zum Verständnissgewinn genutzt werden können.

Eine weitere Funktionalität in den Konferenz-Tools ist das Einteilen von Gruppen, die isoliert eine Aufgabe bearbeiten können. Während in physischen Räumen die Sitzordnung oder Gruppenzusammenstellung, sind diese einmal getroffen, wenig fluktuieren, lässt sich mit Hilfe der Konferenz-Tools eine zufällige oder gezielt abwechslungsreiche Zusammenstellung von Gruppen erreichen. Didaktisch im Sinne des "deep and surface learnings" nach Biggs und Tang (2007) ist es damit möglich unterschiedliche Lernstrategien und Persönlichkeiten zusammen und ein gemeinsames Verständnis herbeizuführen.

In Bezug auf Prüfungen und Aufgaben sind erweiterte Funktionalitäten für die Studierenden aus Sicht des Prüfenden nur sinnvoll, wenn diese nicht das eigentliche Lernziel betreffen. Das Bewertungskriterium Rechtschreibung wird beispielsweise obsolet, wenn die Aufgabe mit einem modernen Textverarbeitungsprogramm angefertigt wird. An dieser Stelle wird deutlich, dass das didaktische Design einer Lehr-Lernveranstaltung aus dem Dreiklang Lernziele, didaktische Mittel und Methoden und Prüfung besteht. Die Veränderung einer Komponente erfordert im Sinne des "Constructive Alignment" (Biggs & Tang, 2007) eine Überprüfung der übrigen Komponenten. Deswegen wurden an der NORDAKADEMIE bislang nur vereinzelt Klausuren zur digitalen Bearbeitung ausgegeben, in denen entweder bereits im Lehr-Lernverlauf auf diese Variante eingegangen werden konnte oder die Veränderung keine nennenswerten Auswirkungen auf das didaktische Design der anderen Komponenten ausübte. In diesen Fällen profitieren insbesondere die Dozierenden von den Tool-Unterstützungen zur Korrektur der Prüfungsleistung.

Die Beispiele zeigen, dass Wechsel von analogen zu digitalen Werkzeugen oder die Modernisierung digitaler Werkzeuge, in vielen Fällen mit Erweiterung der Funktionalität einher gehen. Diese funktionalen Verbesserungen, die im wesentlichen Zeit oder weitere Werkzeugwechsel sparen, dienen also einer einfachen Optimierung. Kognitive Steigerungen in dem Sinne, dass mit den erweiterten Funktionalitäten Lehr- und Lernstufen oberhalb der ursprünglichen Verständnis-Ebene erreicht werden, sind damit nicht verbunden. Im nächsten Schritt der Digitalisierung wird im SAMR-Modell die Ebene der Anreicherung oder Erweiterung ("Enhancement") verlassen und die Ebene der Transformation erreicht.

### **3.4 Die digitale Modifikation**

Die Modifikation ist im SAMR-Modell die erste Stufe in der Ebene der Transformation. Auf dieser Stufe wird eine digitale Lösung ohne analoges Pendant geschaffen und die Perspektive auf die Aufgaben geschwenkt.

Die Nutzung der den Konferenz-Tools inhärenten Whiteboards, die das gleichzeitige Arbeiten aller Teilnehmenden an einer virtuellen Tafel ermöglichen, erlauben eine Kollaboration vergleichbar mit dem Füllen einer Metaplanwand oder eines Flipcharts in physischen Seminarräumen. Mit der Entwicklung von Kollaborationssoftware wurde dieser Aspekt der kollaborativen Zusammenarbeit derart ausgebaut, dass das Äquivalent, welches sich in der Präsenzveranstaltung mit begrenzten Ressourcen unter Zuhilfenahme eines Moderationskoffers gestaltet, online grenzenlos, multidimensional über jede Art von multimedialen Elementen und Verlinkungen auf weitere Elemente ausgeführt werden konnte. Durch diese Modifikation konnten neue Aufgabenstellungen in die Lehr-Lernszenarien integriert werden, die eine höhere Form der kollaborativen studentischen Interaktion ermöglichen.

Ein weiteres Beispiel an der NORDAKADEMIE ist die mathematische Berechnung logistischer Warteschlangen-Probleme. Diese lassen sich im Prinzip mit einfachen mathematischen Operationen berechnen, die in ihrer Häufung jedoch relativ schnell derart komplex werden, dass der Einsatz einer Simulationssoftware für den Einsatz realitätsnaher Szenarien zu empfehlen ist. Simulationen haben gegenüber der physischen Welt u.a. den Vorteil, dass die Zeit stark beschleunigt oder verlangsamt werden kann. Die Anwendung und Evaluation von Simulationsstudien zur Erreichung eines Optimums liegt bereits in der oberen Ebene der kognitiven Lernzieltaxonomien. Diese Projektarbeit oder Studie als digitales Portfolio wäre somit eine passende Prüfungsform, die als analoges Pendant nicht realisierbar wäre.

### **3.5 Die digitale Redefinition**

Im SAMR-Modell steht diese höchste Stufe unter der Prämisse, dass sich neuartige Aufgabenstellungen ergeben, die ohne die digitale Weiterentwicklung nicht möglich gewesen wären. Dies kann eine frei wählbare

Kombination verschiedener Werkzeuge mit denen orts- und zeitunabhängigen Demonstrationen, eine virtuelle Exkursion oder ein virtuelles Produkt, ergo Lernmittel die Erfahrungen ermöglichen, die real im Rahmen der Hochschulbildung nicht realisierbar wären, sein.

Das Thema eines Projektengineering-Seminars an der NORDAKADEMIE bestand in der Unterstützung der Ingenieure ohne Grenzen e.V. bei ihrer Arbeit in Nepal. Die Aufgabe bestand konkret darin, den Produktentwicklungsprozess für die Gewinnung, den Transport und die Verbrennung von Gehölz in Form eines Videos darzustellen und zu vertonen. Die Studierenden haben sich dafür selbstständig die passenden digitalen Werkzeuge und Methoden zu den jeweiligen Phasen im Design Thinking Prozess ausgewählt, angewendet und systematisch ein digitales Abbild Ihres Produkts entwickelt. Dabei wurden sämtliche Stufen von Lernzieltaxonomien durchlaufen und eine neue Prüfungsleistung, die "multimediale Entwicklungsprozessdokumentation" geschaffen (Abbildung 7).

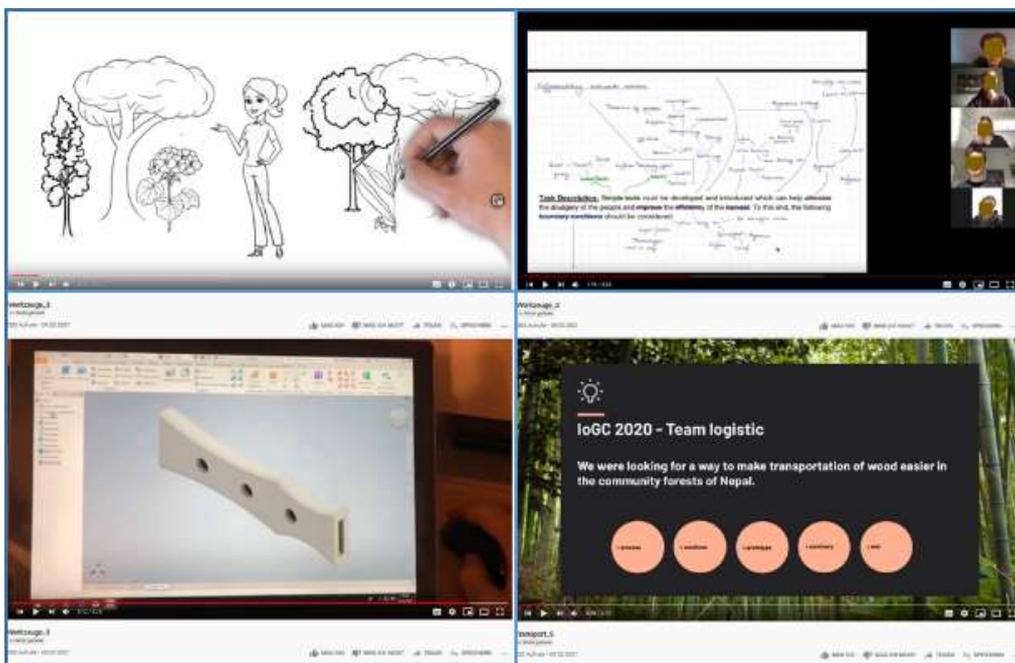


Abbildung 7: Ausschnitte aus der "Multimedialen Entwicklungsprozessdokumentation" (basierend auf studentischen Arbeiten der NORDAKADMIE)

### 3.6 Digitale Laborveranstaltungen

Eine besondere Herausforderung entsteht auch an der NORDAKADEMIE bei der Digitalisierung der Laborveranstaltungen. Das Labor als physischer Lehr-Lernort beinhaltet in der Regel eine nicht unerhebliche Menge an Maschinen, Geräten und Material sowie einen Laboringenieur, der situativ den Lernprozess begleitet und fördert. Ein Labor lässt sich nicht mit einer Kamera via Konferenztool funktionalitätskonform abbilden, bzw. substituieren, so dass die Digitalisierung eine deutlich höhere Komplexität als bei seminaristischen Vorlesungen oder Workshops birgt.

Die dreizehn Lernziele des ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlabors nach Feisel und Rosa (2005) beginnen mit Ausrüsten, Modellieren, Experimentieren. Weitere Ziele, wie bspw. die Datenerhebung oder Software-Werkzeuge auswählen und anwenden sind bereits digital, jedoch ist es bei den Lernzielen Material- und Geräteverhalten wahrnehmen (Perzeption) sowie Laborequipment handhaben (Psychomotorik) mit den

derzeitigen Techniken nicht möglich eine Substitution mit dem Erhalt des Constructive Alignment (Biggs & Tang, 2007) durchzuführen.

Im Bewusstsein, die perceptiven und psychomotorischen Ziele nicht abbilden zu können, wurde im ersten Schritt der Labor-Digitalisierung ein dreidimensionales Abbild des physischen Lernortes generiert, wie in der Abbildung das User Experience Labor der NORDAKADEMIE zu sehen ist.



Abbildung 8: User Experience Labor - Einführung mit virtueller Umgebung

Dieses virtuelle Labor lässt sich mit Hinweisen und multimedialen Lern-Elementen anreichern, um zunächst das Wissen und Verständnis für die Räumlichkeiten und die Ausstattung zu bilden. Für die Anwendung der Geräte benötigt es ein grafisches Modell, das Usereingaben verarbeiten und Ausgaben erzeugen kann. Einige Hochschulen nutzen dafür z.B. die Unity-Engine, die sonst in der Spieleindustrie eingesetzt wird. Über diesen Weg der Transformation lässt sich für manche Fälle eine Laborsimulation erstellen, mit der die höheren Taxonomie-Stufen nach Bloom (1972) erreicht werden können. In Zeiten der „Industrie 4.0“ wächst die Zahl an Firmen, die ihre Maschinen und Anlagen als digitale Zwillinge zur Integration in Simulationsplattformen zur Verfügung stellen. Werden beispielsweise diese digitalen Objekte in einer Simulationssoftware integriert, ist die Ebene der Redefinition erreicht.

Eine Alternative zur Simulation stellen die teleoperativen Labore oder in der gängigen, englischen Bezeichnung, die Remote Labs dar. Die realen Labore werden dabei mit Hilfe von digitalen Systemen, wie Kameras, Sensoren und Aktoren aus der Ferne, in der Regel über das Internet gesteuert. Bei der Entwicklung eines Remote Labs ist die IT- und Anlagensicherheit sowie die Instandhaltung nicht zu verachten.

Aufgrund der hohen Kosten bei der Erstellung von simulierten Laboren und Remote Labs schließen sich Hochschulen zur kooperativen Labornutzung zusammen, wie beim BMBF-Projekt DigiLab4U<sup>1</sup>, teilen ihre Labore auf Plattformen, z.B. bei LabsLand Experimentia S.L. oder stellen Ihre Labore als Open Educational Resource

<sup>1</sup> Link: <https://digilab4u.com>, letzter Zugriff 16.04.2021

(OER) zur Verfügung, wie es beim online Labornetzwerk „Grid of Online Laboratory Devices“ der Technischen Universität Ilmenau (GOLDi)<sup>2</sup> der Fall ist.

### **3.7 Erkenntnisse für die online Lehre**

Werden Herausforderungen zu schnell zu hoch entsteht eine Überforderung, die anstelle eines Flow-Effekts Stress und Resignation bewirkt. Aus dem Grund hilft das SAMR-Modell die Digitalisierung der Lehre in kleinere handhabbare Stufen zu gliedern und wie auch beim Lernprozess der Studierenden über kürzere Feedbackschleifen Teilerfolge zu erzielen. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich das SAMR-Modell unter Einbeziehung der Bloom'schen Lernzieltaxonomie in die Komplexitätssteigerung einfügt (siehe Abbildung 9).

Die pandemisch bedingte Umstellung der NORDAKADEMIE auf Onlinelehre hat gezeigt, dass mit dem bereits vorhandenen Lernmanagementsystem und der Ergänzung der Konferenzsoftware zumindest die Substitution der meisten Lehrveranstaltungen machbar war. Auf dieser Basis gehen die Dozierenden nun weitere Schritte und lassen ihre gewonnenen Erfahrungen in die didaktischen Planungen einfließen. Abhängig von den jeweiligen Modulen und bisherigen Methoden, sind dafür ganz unterschiedliche Aufwände notwendig. So werden rein seminaristische Veranstaltungen die Redefinition sicher eher erreichen als die Laborveranstaltungen, für die die kleinschrittige Digitalisierung mangels vollständiger Substitutionsmöglichkeiten der haptischen Lernziele ungeeignet ist. Die Augmentation des Labors mittels AR-Brillen oder Smartphones sind jedoch ein großes Thema und werden unter der Bezeichnung Cross-Reality-Labore beforscht (May, 2020).

Das "Projekt Engineering"-Seminar hat zudem gezeigt, dass die Studierenden, wenn diese ohne Vorgaben bezüglich der digitalen Lernmittel mit einer komplexen Aufgabe konfrontiert werden, selbstständig digitale Werkzeuge auswählen, anwenden und zu herausragenden Ergebnissen kombinieren. Diese Kernkompetenzen sollten als Lernziele aufgegriffen und gezielt in jedem Curriculum Berücksichtigung finden, um die Digitalisierung insgesamt zu fördern, wie es in dem VDI-Positionspapier bereits gefordert wird (vgl. Gallenkämper, 2018).

---

<sup>2</sup> Link: <http://goldi-labs.net/index.php>, letzter Zugriff 16.04.2021

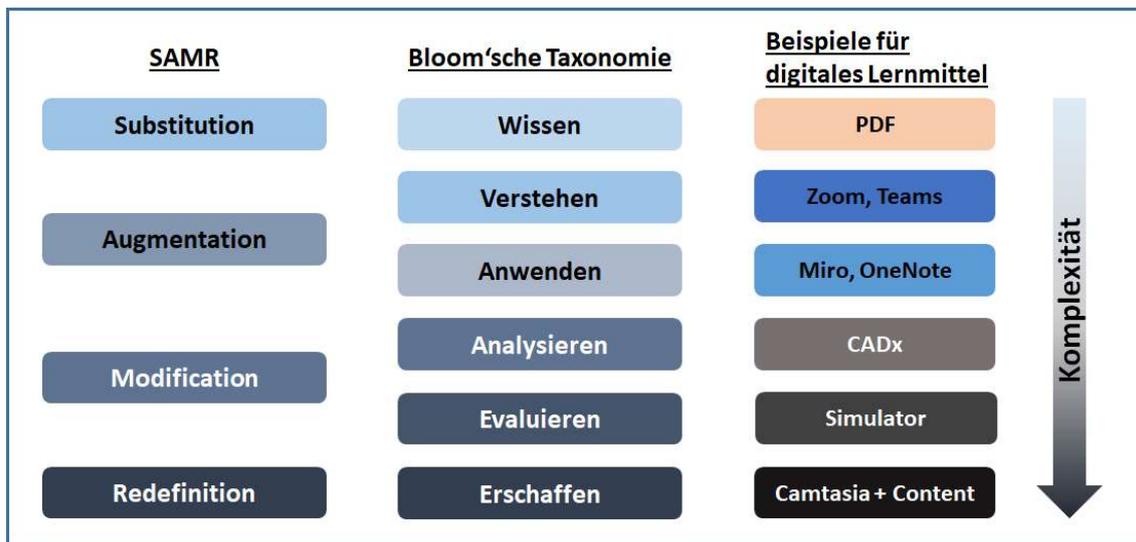


Abbildung 9: Verbindung des SAMR-Modells zur Bloom'schen Taxonomie und geeigneter digitaler Lernmittel

Inwiefern die Digitalisierung der Lehre an der NORDAKADEMIE hinsichtlich der Erreichung der Lernziele tatsächlich gelungen ist, wird erst mit Analyse der Veranstaltungsevaluationen quantifizierbar sein. Erste Rückmeldungen von Dozierenden und Studierenden stimmen schon mal optimistisch, dass die Erweiterungen überwiegend gelungen sind.

In der Nutzung des Vorgehensmodells ist aufgefallen, dass der Schritt zur Optimierung der Lehre an der NORDAKADEMIE ein deutlich geringeres Hindernis darstellt, als den nächsten Schritt in die Entwicklung innovativer Lehrformate zu beschreiten. Der Schritt zwischen Augmentation und Modification ist damit viel größer als dies bildlich dargestellt worden ist. Im folgenden Artefakt wird der Innovationsgedanke weiter aufgefächert.

## 4 Die Lehr-Lernlaborkonzepte

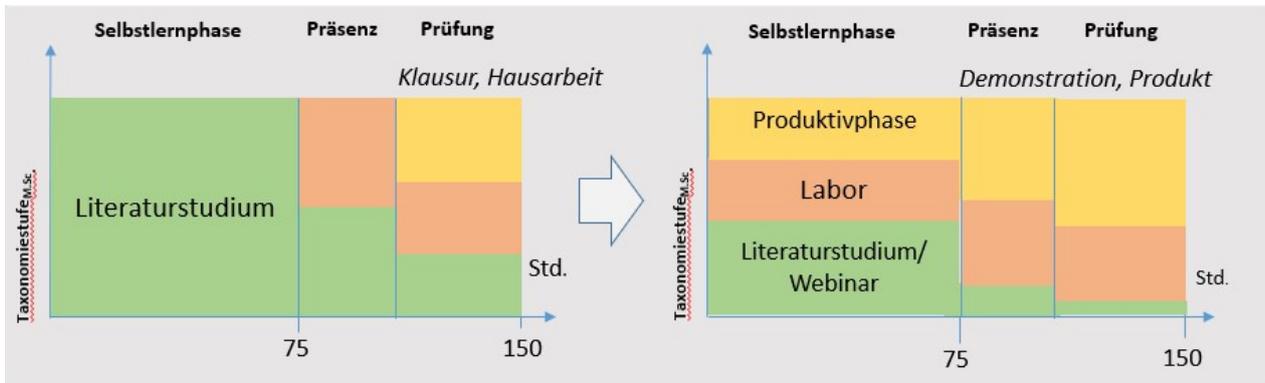
### 4.2 Generelle Anwendung des Constructive Alignments am Taxonomielevel

Ein generelles Ergebnis des Projekts CPL- inverted laboratories ist die Sensibilisierung dafür, dass sich die Struktur der Masterstudiengänge der NORDAKADEMIE stärker an den Lehr-Lernzielen eines Moduls aus Sicht sämtlicher Stake-Holder ausrichten sollte. Diese sind im Bereich des Masterstudiums, das eine Grundlagenausbildung in Form des Bachelors voraussetzt, deutlich schneller auf höheren Taxonomiestufe adressierbar, als dies bisher in den untersuchten Mastercurricula der Fall gewesen ist. Die bekannteste Taxonomie nach Bloom besitzt 6 Stufen, die sich aber auf drei grundlegende kognitive Phasen verkürzen lassen und im Projekt mit den Farben grün, rot und gelb vereinfacht worden sind (vgl. Tabelle 2). Diese Lernziele lassen sich wiederum um affektive und motorische Lerntaxomien erweitern, wo mit auch die im HQR geforderten Kompetenzfelder, wie die soziale Kompetenz oder Persönlichkeitskompetenz abgedeckt werden.

Die Kombination aus Constructive Alignment und Taxonomieleveln führt unter Beibehaltung der Rahmenbedingungen zu einer Umstrukturierung im Ablauf der Mastermodule, die in Abbildung 10 verdeutlicht wird.

*Tabelle 2: Verschiedene Lerntaxonomien  
(Quelle: Metzger & Nüesch, 2004, S. 14–16; Schaper, 2017, S. 18)*

<b>Taxonomie nach Schaper</b>	<b>Taxonomie nach Metzger &amp; Nüesch</b>	<b>Kognitive Lernzielstufen nach Bloom</b>
Wissensbasis/ -wiedergabe Wissenstransformation	Informationswiedergabe Informationsverarbeitung und -anwendung	Wissen (1), Verständnis (2) Anwendung (3), Analyse (4)
Wissenserweiterung	Informationserzeugung und Problembearbeitung	Synthese (5), Evaluation (6)



*Abbildung 10: Umstrukturierung des didaktischen Designs der Mastermodule an der NORDAKADEMIE Graduate School*

Im Sinne des Constructive Alignments ist die Prüfungsform der Lernzielhöhe anzupassen, so dass die enaktiven Lernziele, die zum Beispiel durch eine Laborveranstaltung gefördert werden, einer klassischen Klausur nicht gerecht werden. Die Anfertigung eines Produkts und/ oder eine Demonstration des Könnens sind die geeigneteren Prüfungsformen, die im Bachelorbereich der NORDAKADEMIE bereits über die Bezeichnung Projekt- und Portfolioprfung in der Prüfungsordnung verankert worden sind. Nach dem Abgleich zwischen Lernzielen und Prüfung erfolgt eine adäquate Auswahl der Mittel und Methoden die den Studierenden die Gelegenheit geben sich weiterzuentwickeln bzw. zu lernen.

Der Vorteil bei Laboren ist die zusätzliche Adressierung nicht-kognitiver Taxonomiefelder, wie es durch Rosa und Feisel publiziert und weltweit anerkannt worden ist, siehe Tabelle 3.

*Tabelle 3: Kompetenzerwerbsmöglichkeiten im Labor (Quelle: Rosa & Feisel, 2005, S. 127)*

#### **The Fundamental Objectives of Engineering Instructional Laboratories**

By completing the laboratories in the engineering undergraduate curriculum, you will be able to...

Objective 7: Creativity.

Demonstrate appropriate levels of independent thought, creativity, and capability in real-world problem solving.

Objective 8: Psychomotor.

Demonstrate competence in selection, modification, and operation of appropriate engineering tools and resources.

Objective 9: Safety.

Identify health, safety, and environmental issues related to technological processes and activities, and deal with them responsibly.

Objective 10: Communication.

Communicate effectively about laboratory work with a specific audience, both orally and in writing, at levels ranging from executive summaries to comprehensive technical reports.

Objective 11: Teamwork.

Work effectively in teams, including structure individual and joint accountability; assign roles, responsibilities, and tasks; monitor progress; meet deadlines; and integrate individual contributions into a final deliverable.

Objective 12: Ethics in the Laboratory.

Behave with highest ethical standards, including reporting information objectively and interacting with integrity. [...]

Mit diesen erweiterten Kompetenzfeldadressierung eignet sich die Laborveranstaltung, um die Studierenden in die Lage zu versetzen umfassendere Lernziele erreichen zu können.

### **4.3 Labor Usability Engineering**

Im Masterprojekt Entwicklung innovativer Laborveranstaltungen wird das Laborkonzept für das Modul Mensch-Computer-Interaktion erläutert. Ausgehend von den Lernzielen des Moduls erfolgt die Definition des übergeordneten Labortyps. Anhand der drei Studienphasen wird der Modulaufbau, der die Laborarbeit integriert, dargelegt. Weiterhin findet eine Erläuterung des Laboraufbaus einschließlich der benötigten Geräte sowie eine Aufwandsschätzung der Laboreinbindung statt. Die Verifikation und kritische Würdigung des Konzeptes bilden den Abschluss des Kapitels. Das mit sehr gut bewertetem Projekt bereichert nicht nur die Forschungsmöglichkeiten, sondern wurde zudem von den Dozenten als sinnvolles Lehr-Lernlabor für zukünftige Mastermodule avisiert.

### **4.4 Labor Kollaborative Robotik**

Im Masterprojekt Aufbau eines hybriden Lernlabors für kollaborative Robotik wird für ein Wahlpflichtmodul ein Konzept vorgestellt, das wie im Lastenheft gefordert über eine Situationsanalyse im Sinne des Constructive Alignments aufgebaut worden ist. Aufgrund mangelnder Wahlbeteiligter wurde das Modul zuerst im Bachelorstudium angeboten. Das Modul ist dabei durch die hohe Integration an Simulationsübungen robust gegenüber der online Lehre in der Corona-Zeit gewesen. Die kollaborativen Roboter sind 2012 als erste Serie an die NORDAKADEMIE gekommen. Die Hardware und Steuerungssoftware waren dementsprechend inkompatibel zu den neueren Versionen und Simulatoren. Die Evaluation ergab, dass dieser technische Mangel, die herausragende didaktische Planung des Moduls leicht getrübt hat. Die Anschaffung neuer Robotersysteme wurden vom Stiftungsvorstand nicht genehmigt, da der Nachnutzungsaufwand bei der Hochschule gelegen hätte. Die Roboter werden aus dem Grund im Rahmen des Folgeprojekts erneuert.

Das Konzept zur kollaborativen Robotik hat den Vorteil, dass es sowohl in Präsenzlabor als auch in der Form eines Remote Labors umgesetzt werden kann, so dass zeit- und ortsunabhängig ergo flexibel auf die Teilnehmer eingegangen werden kann.

#### **4.5 Labor Technische Informatik**

Der Studiengang der technischen Informatik hat ein eigenes Labor bekommen, das für sechzehn Teilnehmer die Mikrocontrollerprogrammierung benutzt werden kann. Ein Lernziel für die technische Informatik stellt die Auseinandersetzung mit FPGAs dar. Diese werden aufwändiger über eine Toolchain programmiert. Für dieses FPGA-Labor ist eine Anschaffung eines Klassensatzes FPGA-Boards ein vermeidbarer Aufwand, wenn stattdessen zwei Boards online verfügbar gemacht und als Remote Labor designt werden. In Kooperation mit der FPGA Expertengruppe der Firma LabsLand kann auf deren Erfahrungen aufgebaut werden. Die Nutzungsdauer der Boards beträgt jährlich wenige Stunden, so dass die Nutzung fremder Remotelabore selbst gegen eine Gebühr lohnend sein könnten. Der Studiengang ist im Jahr 2022 gestartet, so dass die Ausbildung an den FPGA-Boards erst in 2024 erfolgen wird. Der konkrete Aufbau eines Moduls ist aus dem Grund nur im Gespräch mit dem Studiengangsleiter skizziert worden und wird im Rahmen des Folgeprojekts CrossLab abgeschlossen.

#### **4.6 Labor Werkstoffprüfung**

Im Bachelorstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen wird das Modul Werkstoffkunde/-prüfung durch ein Labor gestützt. Dieses Labor hat repetitive Elemente, die dazu führen, dass in einem Team nicht jeder gleichsam mit der Technik umgehen bzw. vertraut werden kann. Dieser Umstand kann durch die Erstellung eines Ultraconcurrent-Labors geheilt werden. Ein digitales Abbild des Labors wurde bereits angefertigt, so dass eine Erweiterung durch die Aufnahme bspw. des Zugversuchs keine große Herausforderung darstellt. Wie in der Technischen Informatik lässt sich durch die Firma LabsLand Entwicklungsaufwand und Wartungskosten sparen, wenn diese das Labor auf Ihrer Plattform veröffentlichen dürfen.

### **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Das Projekt „CPL - inverted laboratories“, welches ab Dezember 2018 von der NORDAKADEMIE-Stiftung für 3 Jahre finanziert wurde, war ein insgesamt ein großer Erfolg. Dieser Arbeitsbericht dokumentiert die Arbeitsergebnisse. Das Team des Projekts „CPL - inverted laboratories“ hat sich zum Ziel gesetzt didaktische Potentiale für innovative Laborveranstaltungen systematisch zu erschließen, daraus Lösungen zu konzipieren sowie diese technisch umzusetzen.

Diese allgemeine Zielsetzung wurde systematisch bearbeitet und, wie in der folgenden Abbildung 11. zusammengefasst, in vier Bereichen exemplifiziert.

<b>User Experience/ Usability Labor</b>	Ein mobiles Laborkonzept ist umgesetzt und wurde zur Nutzung in einem Projekt an der TU Ilmenau avisiert.
<b>Kollaborative Robotik</b>	Das Konzept des Wahlpflichtmoduls wurde als didaktisch herausragend evaluiert. Die Robotertechnik muss modernisiert/ erweitert werden.
<b>Technische Informatik</b>	Laborkonzept ist erstellt. Studiengang Techn. Informatik ist noch nicht gestartet.
<b>Werkstoffkunde/-Prüfung</b>	Digitales Abbild wurde erstellt; Ein „ultraconcurrent“ Labor wird mit Fa. Labsland und TU Dortmund finalisiert.

Abbildung 11: Technische und Konzeptionelle Ergebnisse des Projekts „CPL - inverted laboratories“

Zusätzlich zu diesem Projektergebnis sind akademische Projekte in der Regel mit einer wissenschaftlichen Teilhabe verknüpft, die die Reputation stärkt und auf diese Weise die Fortführung oder Weiterbeschäftigung in Folgeprojekten zum Ziel hat; auch dieses Ziel ist von dem Projektteam, welches im Folgenden vorgestellt wird, erreicht worden.

Das Team des Projekts „CPL - inverted laboratories“ besteht aus den an der NORDAKADEMIE - Hochschule der Wirtschaft gAG angestellten Professoren Matthias Finck und Bernhard Meussen sowie dem ebenfalls an der NORDAKADEMIE angestellten wissenschaftlichen Mitarbeiter Martin Hieronymus (siehe Abbildung 12).

		
<b>Prof. Dr. Matthias Finck</b>	<b>Prof. Dr.-Ing. Bernhard Meussen</b>	<b>Martin Hieronymus (MEd., Dipl. Inf. FH)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studiengangsleiter M.Sc. Wirtschaftsinformatik / IT-Mgmt.</li> <li>• Professur für Usability Engineering / Informatik &amp; Gesellschaft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vizepräsident</li> <li>• Studiengangsleiter M.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen</li> <li>• Professur für Maschinenbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studiengangskoordinator B.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen</li> <li>• Wiss. u. Projektmitarbeiter im FB Ingenieurwissenschaften</li> </ul>

Abbildung 12: Projektteam des Projektes „CPL - inverted laboratories“

Aus der Abbildung 12 wird deutlich, dass das Projektteam insbesondere auf der Mesoebene sowie in der Lehre an der NORDAKADEMIE tätig ist und war, womit sich auch erklärt, dass das inhaltliche Ziel innovative Lehr-Lernveranstaltungen zu konzipieren auf deren jeweilige Kerngebiete konzentriert hat.

Für den Fachbereich Ingenieurwissenschaften sind somit Laborveranstaltungen im Bereich der Robotik entstanden, für den Fachbereich Informatik im Bereich des Usability Engineering und für die Technische Informatik, die von beiden Fachbereichen profitiert, Konzepte im Bereich der Mikrocontroller (vgl. Abbildung 11). Vor der technischen Umsetzung stand jedoch die didaktische Sinnhaftigkeit und damit die Lehr-Lernziele an erster Stelle.

Das Team hat durch die Arbeit in dem Projekt zusätzlich eine fachdidaktische Reputation aufbauen können, die indirekt der NORDAKADEMIE und der NORDAKADEMIE-Stiftung - als Sponsorin innovativer und didaktischer Projekte – zugute gekommen ist.

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Meussen wurde durch seine Arbeit im Projekt beim Dachprogramm Lehre<sup>n</sup> der Töpfer Stiftung angenommen<sup>3</sup>. Mit Zugang zu diesem didaktischen Netzwerk hat dieser an den damit verbundenen Tagungen teilgenommen und sowohl die eigenen Erfahrungen präsentiert als auch die Projekte der anderen Teilnehmer kennenlernen dürfen. Die Ergebnisse aus dem Projekt fließen in den NORDAKADEMIE Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen ein, wenn dieser im Jahr 2022 oder 2023 in überarbeiteter Form wieder angeboten wird.

Prof. Dr. Matthias Finck hat in dem Projekt sein Labor für Usability und User Experience einsetzen sowie eine mobile Laborvariante entwickeln können. Diese konnte wiederum in Masterprojekten zum Beispiel an der Technischen Universität Ilmenau die Reputation des NORDAKADEMIE Professors, Matthias Finck stärken.

Martin Hieronymus hat die Arbeit im Projekt zur Studiengangsverbesserung im Bachelorstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen sowie zur wissenschaftlichen Weiterqualifikation genutzt, um den „Master of Higher Education“ (MHEd.) an der Universität Hamburg erfolgreich abzuschließen. Zusätzlich hat Herr Hieronymus auf zahlreichen Konferenzen und universitären Tagungen die wissenschaftliche Reputation der NORDAKADEMIE und der NORDAKADEMIE-Stiftung erhöht.

Die folgende Grafik zeigt Universitäten, Firmen und Institutionen, die direkt oder indirekt durch das Projektteam von der Arbeit an der NORDAKADEMIE tangiert worden sind.

---

<sup>3</sup> Vgl. <https://lehrehochn.de/bernhard-meussen/> (letzter Aufruf 02.12.2021)



Abbildung 11: Auswahl an vom „CPL – inverted laboratories“-Projekt tangierten Institutionen

Wie wichtig dieser Reputationsaufbau gewesen ist, zeigt sich in der Tatsache, dass das Projekt im Anschluss im Folgeverbundprojekt „CrossLabs“, das mit 5 Millionen Euro dotiert worden ist, aufgegangen ist.

## 5.2 Projektplan und Finanzierung

Das Projekt „CPL - inverted laboratories“ wurde von der NORDAKADEMIE-Stiftung mit 170.000€ für zwei Jahre gefördert. In dem Projektantrag sind für die Durchführung zwei Stellen für wissenschaftliche Mitarbeiter vorgesehen worden. Eine dieser Stellen wurde von Martin Hieronymus in Teilzeit besetzt. Ein weiterer Mitarbeiter konnte nicht gefunden werden.

Der Projektplan (siehe Abbildung 14) orientierte sich am im Fachbereich Ingenieurwissenschaften durch Prof. Dr.-Ing. Volker Ahrens etablierten und publizierten Problemlösungszyklus (Ahrens 2014, S.82).

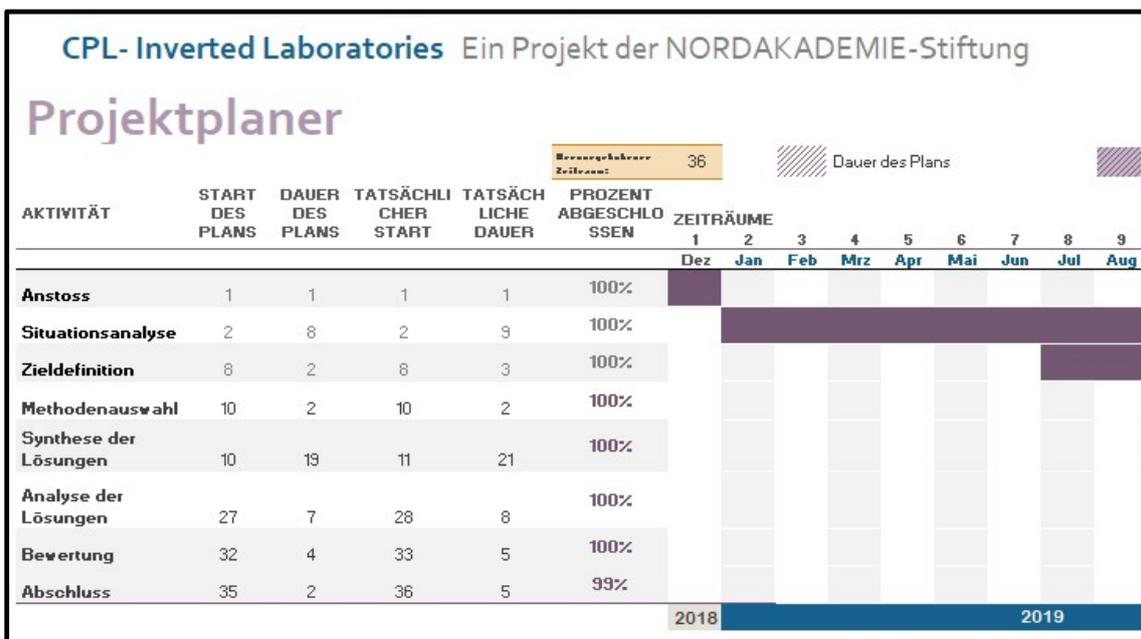


Abbildung 14: Ausschnitt aus dem Projektplan

Aufgrund des fehlenden Mitarbeiters und weitere äußerer Umstände, wie zum Beispiel der Covid 19-Pandemie, musste der zu Beginn aufgestellte Projektplan mehrfach angepasst werden. Durch die Pandemie konnten zwischenzeitlich keine Produktdemonstrationen für Robotersysteme und/oder Schulungen durchgeführt werden. Das Projektteam hat daraufhin bei der Stiftung eine Verlängerung der Projektlaufzeit um 12 Monate beantragt und genehmigt bekommen. Diese Verlängerung konnte ohne eine Budgetaufstockung durchgeführt werden (vgl. Abbildung 15).

	Budget zur Antragsstellung 2018	verplantes Budget (Juli 2020)	Neues Projektbudget für 2021
Personalkosten (1,5 MA)	90.000 €	62.089 €	71500
Sachkosten	80.000 €	11.500 €	95000
<b>Summe</b>	<b>170.000 €</b>	<b>73.589 €</b>	<b>166.500 €</b>

Abbildung 12: Budgetplan (Zusammenfassung)

Die anhaltende Pandemie entschleunigte weiterhin die Arbeit im Projekt, so dass die Bestellung und Einrichtung eines kollaborativen Roboterlabors im letzten Projektmonat vom Stiftungsvorstand untersagt wurde, da Folgeaufwände für die NORDAKADEMIE - Hochschule der Wirtschaft befürchtet wurden. Mit diesen Einflüssen war es dem Projektteam nicht möglich das Sachkostenbudget auszuschöpfen und die Laborkonzepte vollständig technisch umzusetzen, wie die folgende Schlussrechnung (Tabelle 4) zeigt.

Das Projekt CPL - inverted laboratories wurde von der NORDAKADEMIE-Stiftung in Summe mit 102.126,-€ gefördert. Davon waren 70 Prozent reine Personalkosten für die dreijährige<sup>4</sup> wissenschaftliche Mitarbeit von Martin Hieronymus.

---

<sup>4</sup> In den Abrechnungen der NORDAKADEMIE blieb in 2021 die Laufzeit von 2 Jahren unverändert.

Tabelle 4: Schlussrechnung

<b>Abruf von Fördermitteln – 4/2021 (Personalkosten 01.10.2021- 30.11.2021)</b>			
Projektbezeichnung:	<b>"CPL - Inverted Laboratories"</b>		
Projektverantwortliche/r:	Prof. Dr. Finck, Prof. Dr. Meussen		
Projekt-Start:	Dezember 2018		
Laufzeit:	2 Jahre		
Fördersumme gesamt:	170.000,00 €		
Personalkosten	Bereits abgerufene Beträge:	71.837,58 €	
	Gezahlte Beträge:	71.837,58 €	
	Offene Beträge:	0,00 €	
Sachkosten	Bereits abgerufene Beträge:	30.288,42 €	
	Gezahlte Beträge:	30.288,42 €	
	Offene Beträge:	0,00 €	
Verbleibende Fördersumme:	67.874,00 €		

### 5.3 Das Folgeverbundprojekt „CrossLab“

Die Reise des CPL-Projekts geht im Verbundprojekt „CrossLab“, welches von der Stiftung Innovation in der Hochschullehre gefördert wird, weiter.

Für diese neue Stiftung wurde nach einem wettbewerblichen Interessenbekundungsverfahren am 6. Dezember 2019 die Toepfer Stiftung gGmbH von der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz (GWK) ausgewählt, um diese Organisation unter ihrem Dach aufzubauen. Die Toepfer Stiftung gGmbH ist im Bereich innovativer Hochschullehre wie auch in der Förderarbeit ein kleiner, aber erfahrener und gut vernetzter Akteur. Mit dem Vorhaben „Lehre“ hat sie bereits über den Zeitraum der vergangenen zehn Jahre ein erfolgreiches Bündnis für gute Hochschullehre entwickelt und ein Exzellenznetzwerk für lehrbezogene Hochschulentwicklung etabliert. Dabei wurde Lehren in einer breiten Allianz ermöglicht und zuletzt aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. In enger Zusammenarbeit mit dem steuernden Bund-Länder-Gremium wurden seit Januar 2020 alle rechtlich-organisatorischen Voraussetzungen geschaffen und die Stiftung Innovation in der Hochschullehre in Trägerschaft der Toepfer Stiftung gGmbH gegründet.

Die erste Ausschreibung dieser neuen Stiftung hatte das Thema „Innovation in der Hochschullehre“ und wurde für August 2021 terminiert. Die NORDAKADEMIE nahm unter der Konsortialführerschaft der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und mit den Technischen Universitäten Dortmund und Ilmenau an der Ausschreibung teil und erhielt den Zuschlag. Die NORDAKADEMIE bringt vorrangig ihre Erfahrungen im Usability Engineering, der Fachdidaktik und der Robotertechnik aus dem NORDAKADEMIE Stiftungsprojekt „CPL - inverted laboratories“ ein.

Die Vision des Projekts CrossLab ist es reale Labore, die sich digital von einem anderen Ort aus steuern lassen, zu einem hochschulübergreifenden, interdisziplinären Netzwerk von digitalisierten Labormodulen, die je nach Bedarf für verschiedene Lehrveranstaltungen eingesetzt werden können, zu entwickeln.

#### Danksagung

Die Projektteilnehmer möchten sich an dieser Stelle für die Unterstützung und die Förderung durch die NORDAKADEMIE-Stiftung ausdrücklich bedanken. Ohne den Einsatz der NORDAKADEMIE-Stiftung wären die erfolgreiche Durchführung des Projektes und die beschriebene erfolgreiche Akquise des Folgeprojektes „CrossLabs“ nicht möglich gewesen.

## Literaturverzeichnis

Ahrens, V. (2014): Abschlussarbeiten richtig gliedern in Naturwissenschaften, Technik und Wirtschaft. v|d|f-Hochschulverlag, Zürich (UTB, Stuttgart)

Reinmann, G. (2015): Studententext Didaktisches Design. Hamburg. Link: [https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2013/05/Studententext\\_DD\\_Sept2015.pdf](https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2013/05/Studententext_DD_Sept2015.pdf) (letzter Download 12.10.2020)

Abawi, D. F.; Ahrens, V.; Bäßler, R.; Brettel, M.; Dittmann, U.; Engelberger, H.; Hildebrand, W.-Chr.; Leibnitz-Ponto, Y.; Merchiers, A.; Olsowski, G.; Pumpe, D.; Schätter, A.; Schmager, B.; Schuchardt, Chr.; von Hirschhausen, Chr.; Werner, M.; Zadek, H. (2019). *Qualifikationsrahmen Wirtschaftsingenieurwesen*. 3. Aufl. Steinbeis-Edition, Stuttgart

Auer, M. E., & Pester, A. (2007). Toolkit for distributed online-lab grids. In J. García Zubía & L. F. d. S. Gomes (Hg.), *Engineering: no. 6. Advances on remote laboratories and e-learning experiences* (S. 285–296). University of Deusto

Benner, M. J.; Tushman, M. L. (2003). *Exploitation, Exploration, and Process Management: The Productivity Dilemma Revisited*. *Academy of Management Review* 28, 2 238-256.

Biggs, J.B.; Tang, C. (2007). *Teaching for quality learning at university, 3rd ed.* Berkshire: Open University Press 2007.

Bloom, B.S. (Hrsg.) (1972). *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. 4. Auflage. Beltz Verlag, Weinheim und Basel, 1972

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. Leuchtturm-Verlag

Csikszentmihalyi, M. (1985). *Das Flow-Erlebnis*. Stuttgart: Klett

Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer Berlin Heidelberg

European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAAEE) (2015): *EUR-ACE® Framework, Standards and Guidelines*. Brüssel

Feisel, L. D.; Rosa, A. J. (2005). *The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education*. *Journal of Engineering Education* 94 (1), 2005, S. 121–130.

Franuszkiewicz, J.; Frye, S.; Terkowsky, C.; Heix, S. (2019). Flexibles und selbstorganisiertes Lernen im Labor - Remote-Labore in der Hochschullehre. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*(14 (3)), 273–285.

Gallenkämper, J. et al (2018). *Smart Germany. Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation*. Diskussionspapier zum VDI-Qualitätsdialog. VDI-Thesen und Handlungsfelder. März 2018. Düsseldorf: VDI

Gupta, A. K.; Smith, K. G. and Shalley C.E. (2006). *The Interplay between Exploration and Exploitation*. *The Academy of Management Journal*, Vol. 49, No. 4 (Aug., 2006), pp. 693-706

- Huber, L.; Pilniok, A.; Sethe, R.; Szczyrba, B.; Vogel, M. (Hrsg.) (2014). *Forschendes Lehren im eigenen Fach. Scholarship of Teaching and Learning in Beispielen*. Bielefeld: wbv Media.
- Hussy, W.; Schreier, M.; Echterhoff, G. (2010). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften - für Bachelor*. Springer
- Kirschner, P. A.; Meester, M. A. M. (1988). *The laboratory in higher science education: Problems, premises and objectives*. Higher Education, 17(1), 81–98. <https://doi.org/10.1007/BF00130901>
- Kling, M.-U. (2017). *Qualityland*. Helle Edition, Ullstein Verlag
- Krosnick, J. A; Alwin, D. F. (1988). A Test of the Form-Resistant Correlation Hypothesis: Ratings, Rankings, and the Measurement of Values. *Public Opinion Quarterly*, 52(4), 526.
- Kultusminister Konferenz (KMK) (2017). *Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse (HQR)*. Verfügbar unter: [https://www.hrk.de/fileadmin/redaktion/hrk/-02-Dokumente/02-03-Studium/02-03-02-Qualifikationsrahmen/2017\\_Qualifikations-rahmen\\_HQR.pdf](https://www.hrk.de/fileadmin/redaktion/hrk/-02-Dokumente/02-03-Studium/02-03-02-Qualifikationsrahmen/2017_Qualifikations-rahmen_HQR.pdf) (letzter Zugriff 12.09.2020)
- Institut für Qualitätsentwicklung an Schulen Schleswig-Holstein (IQSH). (Hrsg.). (2018). *Digitale Medien im Fachunterricht*, IQSH 2018, S. 20
- May, D. (2020). *Wie Cross Reality die Hochschullehre verändern kann und wird*. Verfügbar unter: <https://hochschulforumdigitalisierung.de/de/blog/wie-cross-reality-die-hochschullehre-veraendern-kann-und-wird> (Letzter Zugriff 15.04.2021)
- Pratt, D.; Collins, J. B. (2000). *The Teaching Perspectives Inventory (TPI)*, Adult Education Research Conference. Verfügbar unter: <https://newprairiepress.org/aerc-/2000/papers/68>, letzter Zugriff 02.01.2021.
- Puentedura, R.R. (2012). *Focus: Redefinition*, <http://www.hippasus.com/rrpweblog/-archives/2012/06/18/FocusRedefinition.pdf> (Letzter Zugriff: 16.04.2021)
- Raisch, S.; Birkinshaw, J.; Probst, G.; Tushman, M. L. (2009). *Organizational Ambidexterity: Balancing Exploitation and Exploration for Sustained Performance*. Organization Science 20, 4 685-695.
- Reinmann, G. (2014). *Prüfungen und Forschendes Lernen*. PrePrint. Verfügbar unter: [https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2014/12/Artikel\\_Pruefungen2\\_ForschendesLernen\\_Dez14\\_Preprint.pdf](https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2014/12/Artikel_Pruefungen2_ForschendesLernen_Dez14_Preprint.pdf) (letzter Zugriff 21.04.2021)
- Reinmann, G. (2015). *Studententext Didaktisches Design*. Universität Hamburg
- Schaper, N.; Sonntag, K. (2007). *Weiterbildungsverhalten*. In Frey, D. & Rosenstiel, L. v. (Hrsg.). *Wirtschaftspsychologie: Enzyklopädie der Psychologie*. D/III/6. Hogrefe, Göttingen. S. 573–648.
- Tekkaya, A. E.; Wilkesmann, U.; Terkowsky, C.; Pleul, C.; Radtke, M.; Maevus, F. (Hrsg.). (2016). *acatech Studie. Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung: Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab:acatech Studie*. Herbert Utz Verlag GmbH. <http://www.acatech.de/> Verfügbar unter: (Google-Suche mit Acatech und Labor als pdf, Download-Link nicht extrahierbar.)

Wannemacher, K. (2016). *Organisation digitaler Lehre in den deutschen Hochschulen*. Arbeitspapier Nr. 21. Hochschulforum Digitalisierung, Berlin. Verfügbar unter: [https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD\\_AP\\_Nr21\\_Organisation\\_digitaler\\_Lehre\\_web.pdf](https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD_AP_Nr21_Organisation_digitaler_Lehre_web.pdf) (letzter Zugriff 15.4.2021).