

# Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Studium

Zur Erlangung des akademischen Grades einer

Dr.-Ing.

von der Fakultät Maschinenbau

der Technischen Universität Dortmund

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Wirt.-Ing. Silke Frye

aus

Diepholz

Tag der mündlichen Prüfung: 07.10.2022

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne

2. Gutachter: Prof. Dr. Tobias Haertel

Dortmund, 2022



## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin der IngenieurDidaktik an der Technischen Universität Dortmund. Im Rahmen dieser Tätigkeit hatte ich die Möglichkeit und auch die Freiheit, das Lernangebot zu entwickeln, praktisch umzusetzen und zu erproben. An dieser Stelle möchte ich Personen, die mich bei der Erstellung der Arbeit begleitet haben, meinen Dank aussprechen.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne möchte ich mich für die wohlwollende Förderung und geduldige Unterstützung bedanken. Sein uneingeschränktes Vertrauen in meine Arbeit und die Offenheit für ein Thema an der Schnittstelle von Nachhaltigkeit, Technik und Didaktik haben maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Tobias Haertel, ohne den die Idee für das Thema dieser Arbeit nie entstanden wäre. Ich möchte mich für seine intensive Auseinandersetzung mit der Arbeit bedanken, für die vielen wertvollen Anregungen, die Unterstützung bei der praktischen Umsetzung meiner Ideen und besonders auch für seinen persönlichen Zuspruch, der mich auch in den schwierigen Phasen immer motiviert hat.

Darüber hinaus danke ich Prof. Dr. Isa Jahnke für den Prüfungsbeisitz, ihre Offenheit, ihr Interesse und ihre Begeisterung für das Thema meiner Arbeit sowie Herrn PD Dr.-Ing. Andreas Zabel, dem Vorsitzenden der Prüfungskommission.

Mein weiterer Dank gilt meinen ehemaligen und derzeitigen Kolleg\*innen, die mich auf meinem Weg begleitet haben. Außerdem danke ich dem Team rund um die Ingenieure ohne Grenzen Challenge: Steffen Rolke vom Ingenieure ohne Grenzen e.V., Dennis Kreuzer, Dr. Valérie Varney und Dr. Kathrin Krosch und ganz besonders den vielen tollen Studierenden, die mit ihrer Begeisterung, ihrem Engagement und ihren kreativen Ideen die Arbeit an diesem Thema zu etwas ganz Besonderem gemacht haben.

Von Herzen danke ich außerdem Dr.-Ing. Sabine Hempten, Dr.-Ing. Kirsten Weisner und Yvonne Finke. Sie haben mich immer wieder bestärkt und mehr an mich geglaubt als ich selbst. Danke, dass Ihr immer da seid und danke für Eure wunderbare Freundschaft.

Der größte Dank gebührt aber meinem Mann Thomas. Er hat mich immer vorbehaltlos und aus vollem Herzen unterstützt und mir erst den Mut gegeben, meinen Weg bis zu dieser Arbeit mit allen Herausforderungen zu gehen. Für seine Ruhe, Geduld und seinen Rückhalt bin ich über alle Maßen dankbar.

*Dortmund, im Oktober 2022*

*Silke Frye*



## **Sustainable Development Goals**

### **Unterziel 4.7:**

*„Bis 2030 sicherstellen, dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Lebensweisen, Menschenrechte, Geschlechtergleichstellung, eine Kultur des Friedens und der Gewaltlosigkeit, Weltbürgerschaft und die Wertschätzung kultureller Vielfalt und des Beitrags der Kultur zur nachhaltigen Entwicklung.“*

UNESCO (2016)



---

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	iii
Tabellenverzeichnis .....	v
Abkürzungsverzeichnis .....	vi
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Begriff der Nachhaltigkeit.....</b>	<b>5</b>
2.1 Entstehung der Idee einer nachhaltigen Entwicklung .....	5
2.2 Dimensionen der Nachhaltigkeit und Nachhaltigkeitsmodelle .....	9
2.2.1 Ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit.....	9
2.2.2 Modelle der Nachhaltigkeit .....	10
2.2.3 Handlungsstrategien für eine nachhaltige Entwicklung.....	13
2.3 Unternehmerische Nachhaltigkeit .....	14
2.3.1 Kreislaufwirtschaft.....	15
2.3.2 Corporate Social Responsibility.....	17
<b>3 Nachhaltigkeit als Bildungsziel .....</b>	<b>19</b>
3.1 Entwicklungslinien einer Bildung für nachhaltige Entwicklung.....	19
3.2 Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung .....	20
3.3 Nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen als Bildungsziel .....	22
3.3.1 Modell der Gestaltungskompetenz .....	24
3.3.2 BNE-Kompetenzmodelle in der hochschulischen Bildung.....	25
<b>4 Hochschulische Ausbildung von Ingenieur*innen.....</b>	<b>30</b>
4.1 Produktentstehungsprozess als Berufsfeld von Ingenieur*innen .....	30
4.1.1 Produktentwicklung .....	31
4.1.2 Produktherstellung .....	34
4.2 ‚Employability‘ als Bildungs- und Leitziel der Hochschulbildung.....	36
4.2.1 Kompetenzorientierung für eine berufsrelevante Hochschulbildung.....	37
4.2.2 Konzeption und Gestaltung kompetenzorientierter Lernsettings .....	40
<b>5 Zwischenfazit zur Relevanz des Themas Nachhaltigkeit für eine zeitgemäße und zukunftsorientierte Ausbildung von Ingenieur*innen .....</b>	<b>42</b>
<b>6 Anforderungsanalyse und Ableitung des Entwicklungsziels .....</b>	<b>43</b>
6.1 Identifikation relevanter Perspektiven .....	43
6.2 Perspektive Hochschulen – Ökologisierung und Flexibilität.....	44
6.3 Perspektive Studierende – Niederschwellige und praxisorientierte Formate.....	50

6.4	Perspektive Unternehmen – Generalist*innen mit transformativen Kompetenzen ....	52
6.5	Resultierende Elemente des Entwicklungsziels im DBR .....	56
<b>7</b>	<b>Entwicklung und Gestaltung des Lernangebots.....</b>	<b>58</b>
7.1	Die ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘ .....	58
7.2	Didaktische und methodische Konzeption des Lernangebots.....	61
7.2.1	Lernergebnisse als Lernziele definieren .....	62
7.2.2	Lernergebnisse erkennen und prüfen .....	64
7.2.3	Lehr- und Lernaktivitäten gestalten.....	65
<b>8</b>	<b>Erprobung und Evaluation des entwickelten Lernangebots.....</b>	<b>69</b>
8.1	Praktische Erprobung des Lernangebots im Wintersemester 2019/20 .....	69
8.2	Evaluation der Erprobung des Lernangebots im Wintersemester 2019/20 .....	71
8.2.1	Evaluationskonzept und Untersuchungsdesign.....	71
8.2.2	Daten und Ergebnisse der Evaluation .....	78
8.2.3	Diskussion der Ergebnisse .....	92
<b>9</b>	<b>Zwischenfazit zur Entwicklung und Erprobung des Lernangebots zur Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen .....</b>	<b>97</b>
<b>10</b>	<b>Anpassung und Optimierung des Lernangebots .....</b>	<b>98</b>
10.1	Revision und Modifikation des entwickelten Konzepts.....	98
10.2	Optimieren der methodischen und didaktischen Gestaltung.....	99
10.2.1	Anpassungen zum Erkennen und Prüfen der Lernergebnisse .....	99
10.2.2	Anpassungen in der Gestaltung der Lehr- und Lernaktivitäten.....	99
<b>11</b>	<b>Erprobung und Evaluation des optimierten Lernangebots.....</b>	<b>102</b>
11.1	Zweifache Erprobung des angepassten Lernangebots .....	102
11.2	Evaluation der Erprobungen des angepassten Lernangebots .....	104
11.2.1	Evaluationskonzept und angepasstes Untersuchungsdesign.....	104
11.2.2	Daten und Ergebnisse der Evaluation .....	109
11.2.3	Diskussion der Ergebnisse und Bewertung der Optimierung.....	119
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung, kritische Reflexion und Ausblick.....</b>	<b>124</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>130</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>143</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zyklusmodell des Design-Based Research.....	4
Abbildung 2: Interesse am Thema Nachhaltigkeit.....	5
Abbildung 3: Millenniumsentwicklungsziele .....	7
Abbildung 4: SDG - 17 globale Ziele für nachhaltige Entwicklung.....	8
Abbildung 5: Nachhaltigkeitsmodelle .....	11
Abbildung 6: Integrierendes Nachhaltigkeitsdreieck.....	13
Abbildung 7: 9-R-Framework .....	16
Abbildung 8: CSR – Verantwortungspyramide .....	17
Abbildung 9: Phasen im Produktentstehungsprozess .....	31
Abbildung 10: Arbeitsschritte und Phasen der Konstruktion .....	33
Abbildung 11: Heuristisches Modell zur Förderung von Employability im Hochschulstudium.....	37
Abbildung 12: Lernzieltaxonomien .....	40
Abbildung 13: Modell des Constructive Alignment.....	41
Abbildung 14: Fundstellen der Suchphrasen in der Analyse der Modulhandbücher.....	47
Abbildung 15: Module mit Bezug zu Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung .....	48
Abbildung 16: Framework mit 16 'Future Skills' .....	54
Abbildung 17: Ablauf der Ingenieure ohne Grenzen Challenge .....	60
Abbildung 18: Matrix nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen.....	63
Abbildung 19: Ablauf und Struktur des Lernangebots .....	66
Abbildung 20: Anwendung der Kreativitätstechnik 'Denkhüte' .....	67
Abbildung 21: Studierende präsentieren ihre Lösungen beim Abschluss der IoGC.....	70
Abbildung 22: Kategorisierte Nachhaltigkeitserklärungen (WiSe 19/20) .....	79
Abbildung 23: Vorwissen zu den Dimensionen von Nachhaltigkeit (WiSe 19/20).....	80
Abbildung 24: Persönliche und berufliche Bedeutung von Nachhaltigkeit (WiSe 19/20).....	80
Abbildung 25: Thematisierung von Nachhaltigkeit im Studium (WiSe 19/20).....	81
Abbildung 26: Selbsteinschätzungen in Pre- und Posttest (WiSe 19/20) .....	82
Abbildung 27: Zu- und Abnahme der Selbsteinschätzungen von Pre- zu Posttest.....	83
Abbildung 28: Selbsteinschätzung in Pre- und Posttest (WiSe 19/20, TU Dortmund).....	87
Abbildung 29: Gruppenbezogener Vergleich der Mittelwerte in Pre- und Posttest .....	88
Abbildung 30: Zu-/ Abnahme der Selbsteinschätzungen in Pre- und Posttest (TU Dortmund).....	89
Abbildung 31: Beispielsicht der interaktiven Lerneinheit zum Thema Nachhaltigkeit .....	100
Abbildung 32: Kategorisierte Nachhaltigkeitserklärungen (WiSe 20/21 & 21/22) .....	110
Abbildung 33: Bezug auf die Dimensionen von Nachhaltigkeit.....	111
Abbildung 34: Anteil der Dimensionen von Nachhaltigkeit in den Definitionen .....	111

Abbildung 35: Persönliche und berufliche Bedeutung von Nachhaltigkeit (WiSe 20/21 & 21/22).....	112
Abbildung 36: Thematisierung von Nachhaltigkeit im Studium (WiSe 20/21 & 21/22) .....	113
Abbildung 37: Selbsteinschätzungen in Pre- und Posttest (WiSe 20/21) .....	114
Abbildung 38: Selbsteinschätzungen in Pre- und Posttest (WiSe 21/22) .....	116
Abbildung 39: Vergleich der ermittelten Effektstärken aus den Erprobungen .....	118

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: SDG - Unterziele und Indikatoren.....	8
Tabelle 2: Teilkompetenzen der Gestaltungskompetenz (i.A.a. Haan, 2009).....	24
Tabelle 3: Kompetenzprofil Nachhaltigkeit der Hochschule München.....	27
Tabelle 4: Nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen von Ingenieur*innen.....	29
Tabelle 5: Schlüsselwörter/ Codes zur Analyse der Modulhandbücher .....	46
Tabelle 6: Teilnehmende Studierende nach Fach und Studiengang .....	69
Tabelle 7: Nachhaltigkeitserklärungen in der SOLO-Taxonomie .....	74
Tabelle 8: Charakterisierung der Stichprobe .....	77
Tabelle 9: Irrtumswahrscheinlichkeit und Signifikanzniveau.....	84
Tabelle 10: Levene-Test und Mixed ANOVA – Erster Haupteffekt.....	85
Tabelle 11: Levene-Test und Mixed ANOVA – Zweiter Haupteffekt und Interaktion.....	89
Tabelle 12: Post-hoc-Tests zur Überprüfung des Unterschieds zwischen den Standorten.....	91
Tabelle 13: Post-hoc-Tests zur Überprüfung des Unterschieds innerhalb der Gruppen .....	91
Tabelle 14: Hypothesenüberprüfung - Ebene der Vorannahmen (WiSe 19/20).....	93
Tabelle 15: Hypothesenüberprüfung - Ebene des allgemeinen Einflusses der IoGC.....	94
Tabelle 16: Hypothesenüberprüfung - Ebene des konkreten Einflusses des Lernangebots.....	95
Tabelle 17: Teilnehmende Studierende nach Fach und Studiengang (WiSe 20/21).....	102
Tabelle 18: Teilnehmende Studierende nach Fach und Studiengang (WiSe 21/22).....	104
Tabelle 19: Charakterisierung der Stichproben der Evaluationsdurchgänge.....	109
Tabelle 20: Überprüfung der Differenzen mittels t-Test (WiSe 20/21).....	115
Tabelle 21: Überprüfung der Differenzen mittels t-Test (WiSe 21/22).....	117
Tabelle 22: Überprüfung der Differenzen mittels t-Test (WiSe 19/20).....	117
Tabelle 23: Hypothesenüberprüfung - Ebene der Vorannahmen (optimiertes Lernangebot) .....	121
Tabelle 24: Hypothesenüberprüfung - Ebene der Wirksamkeit des Lernangebots.....	122
Tabelle 25: Hypothesenüberprüfung - Ebene des Einflusses der Optimierung .....	123

---

## Abkürzungsverzeichnis

BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BNE	Bildung für eine nachhaltige Entwicklung
CSR	Corporate Social Responsibility
DBR	Design-Based-Research
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DUK	Deutsche UNESCO Kommission
EESD	Engineering Education for Sustainable Development
EwB	Engineers without Borders
FFF	Fridays for Future
fzs	Freier Zusammenschluss von Student*innenschaften
HRK	Hochschulrektorenkonferenz
ifaa	Institut für angewandte Arbeitswissenschaften
IoGC	Ingenieur ohne Grenzen Challenge
ISSB	Interlocking Stabilised Soil Blocks
KMK	ständige Kommission der Kultusminister*innen (Kultusministerkonferenz)
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
PEP	Produktentstehungsprozess
SDG	Sustainable Development Goals
TU	Technische Universität
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
WCED	World Commission on Environment and Development
WiSe	Wintersemester

---

# 1 Einleitung

Angesichts der großen Ungleichheiten zwischen Industrie- und Entwicklungsländern und der immensen Zerstörung natürlicher Ressourcen gehört Nachhaltigkeit zu den wichtigsten Zielen der aktuellen Zeit. Die globalen Herausforderungen für Öko-, Sozial- und Wirtschaftssysteme sind auch in der COVID-19 Pandemie präsenter als je zuvor (vgl. z.B. Bundeskanzleramt, 2020, S. 13). Dabei ist Nachhaltigkeit nicht allein als ‚Umwelt-Thema‘ oder ‚Entwicklungsproblem‘ zu sehen. Vielmehr ist sie zu einer „Frage der ökonomischen, demografischen, politischen, kulturellen, technischen, ökologischen und nicht zuletzt moralischen Entwicklung der Gesellschaft geworden“ (INGENIEUR.de, 2011). Nachhaltigkeitsprobleme sind so genannte „super wicked problems“ (vgl. Levin et al., 2012), also Probleme, deren Lösung fundamental für das Überleben der Menschheit und des Planeten sind. Die drohenden Folgen führen dazu, dass die Forderungen nach aktivem Umweltschutz an Stelle kurzfristiger, wirtschaftlicher Interessen zunehmen. Und nicht zuletzt die Bewegung ‚Fridays for Future‘ [FFF] zeigt, dass dieses Thema insbesondere für die junge Generation von hoher Bedeutung ist. Der Einfluss dieser Bewegung beschränkt sich nicht auf ihre ‚Schulstreiks‘. Eine deutschlandweite Befragung von FFF-Aktiven hat ergeben, dass etwa 59% von ihnen über ein Abitur verfügen oder dieses aktuell anstreben. Weitere etwa 23% befinden sich im Studium und/ oder besitzen bereits einen ersten akademischen Abschluss (InnoSÜD, 2020). Es ist somit zu erwarten, dass diese Jugendlichen mit ihren Überzeugungen und Erwartungen die Hochschulen in den nächsten Jahren prägen werden. Unabhängig davon tragen Hochschulen aber auch allgemein eine (gesellschaftliche) Verantwortung, das Bewusstsein von Studierenden für Nachhaltigkeit zu schärfen. Denn Hochschulen bilden die Führungskräfte aus, die die Anforderungen komplexer und nachhaltiger Entscheidungen zukünftig umsetzen müssen (vgl. Michael et al., 2020, S. 113 und Müller-Christ, 2011, S. 8).

Eine Berufsgruppe, die den Herausforderungen von Nachhaltigkeit, Globalisierung und sozialer Verantwortung in ihren Arbeitsgebieten immer wieder begegnet und die den technologischen Fortschritt als einen der wesentlichen Treiber entscheidend mitprägt sind die Ingenieur\*innen (Schönefeld et al., 2019, S. 128). Neben innovativen und kreativen Problemlösungen gewinnen Nachhaltigkeitsfragen und die verantwortungsvolle Entwicklung technischer Konzepte für sie zunehmend an Bedeutung. Es ist also wesentlich, dass zukünftige Ingenieur\*innen die Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung kennen, verstehen und in ihren zukünftigen beruflichen Handlungsfeldern nicht nur angemessen auf sie reagieren, sondern sie auch selbst aktiv gestalten können (Crofton, 2000, S. 397).

## Problemstellung und Zielsetzung

Die Hochschulrektorenkonferenz erklärt, dass es ein zentrales Ziel von Hochschulen sein muss, eine „Kultur der Nachhaltigkeit“ (Hochschulrektorenkonferenz [HRK], 2018, S. 5) zu entwickeln. Dazu sollen in der Lehre individuelle Fähigkeiten und Denkweisen in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung gezielt gefördert werden. Obwohl diese Bedarfe unstrittig sind, ist die curriculare Einbindung des Themenbereichs Nachhaltigkeit an den Hochschulen noch nicht weit verbreitet. In einer Erhebung wurde ermittelt, welche Studienmöglichkeiten im Kontext des Themas Nachhaltigkeit an deutschen Hochschulen (Universitäten und Fachhochschulen) existieren. Dabei konnten 175

Studiengänge mit einem nachhaltigkeitsbezogenen Studienschwerpunkt identifiziert werden. Dies entspricht einem Anteil von 1,25% der etwa 14.000 angebotenen Studiengängen in Deutschland. Zusätzlich wurden 120 explizite Nachhaltigkeitsstudiengänge erfasst, was einem Anteil von 0,85% entspricht (Haan, 2011). Eine allgemeine Berücksichtigung von Nachhaltigkeit als Querschnittsthema außerhalb dieser expliziten Studiengänge und -schwerpunkte existiert bisher jedoch nicht. Aktuell sind es vielmehr individuelle Engagements von Lehrenden oder Studierendengruppen, die ein Bildungs- und Lernangebot in Bezug auf das Thema Nachhaltigkeit an Hochschulen organisieren und anbieten. Dies erfolgt in der Regel über die Wahl entsprechender Themen für Lehrveranstaltungen, Aktions- und Projektwochen oder Exkursionen (Grunwald & Kopfmüller, 2012, S. 213).

Insbesondere in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen werden Fragen der Nachhaltigkeit nur unzureichend berücksichtigt. Dies kann zum Teil darauf zurückgeführt werden, dass entsprechende Lehrbücher und Praxisbeispiele, aber auch die Zeit im Semester genauso fehlen, wie fundierte Kompetenzen oder auch das Bewusstsein für den Bedarf und die Bedeutung des Themas bei den Lehrenden (vgl. z.B. Boyle, 2004). Darüber hinaus sind traditionelle Lehrkonzepte wie Vorlesungen strukturell nur wenig geeignet, um die erforderlichen Kompetenzen der Studierenden zu fördern. Und gerade in den Ingenieurwissenschaften existiert noch immer eine alte und mächtige Tradition von lehrendenzentrierten Lehrstilen (vgl. Wilkesmann & Lauer, 2015, S. 720).

Inhaltlich orientiert sich die Ausbildung in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen an der „zentralen Ingenieuraufgabe“ (Deutsche Forschungsgemeinschaft [DFG], 2004, S. 23), der Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte und Prozesse. Dies reicht beispielsweise im Bereich des Maschinenbaus vom Finden eines Produktprofils über die Konzipierung und Optimierung der technischen Gestaltung sowie die Realisierung und Implementierung in Prototypen bis hin zur Planung und Durchführung der Fertigung. Dieses Spektrum kann allgemein unter dem Begriff der Produktentstehung, die sowohl Entwicklung als auch Herstellung beinhaltet, zusammengefasst werden (DFG, 2004, S. 23). Und hier zeigen sich unmittelbar Anknüpfungspunkte zum Themenbereich der Nachhaltigkeit. Ein wesentlicher Ansatz, das Ziel der Nachhaltigkeit zu erreichen, ist es, die negativen Auswirkungen von Produktion (und Konsum) durch eine stärkere Ressourceneffizienz in der industriellen Produktion, faire Arbeitsbedingungen und nachhaltige Lieferketten so gering wie möglich zu halten. Auch der Produktentwicklung kommt eine Schlüsselrolle zu, denn die Konstruktion hat beispielsweise maßgeblichen Einfluss auf die Möglichkeiten zur Reparatur, Demontage und zum Recycling eines Produktes. Es fehlen jedoch bisher Ansätze und konkrete Lehr- und Lernkonzepte, mit denen eine Verknüpfung der fachwissenschaftlichen Themen mit dem Querschnittsthema Nachhaltigkeit so in das ingenieurwissenschaftliche Studium integriert werden kann, dass die Studierenden berufs- und zukunftsrelevante Kompetenzen zur Gestaltung eines verantwortungsvollen und nachhaltigen technologischen Fortschritts entwickeln können.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Ziel ist es, ein kompetenzorientiertes Lernangebot zu entwickeln, mit dem das Thema Nachhaltigkeit in bestehende Ausbildungsstrukturen und -konzepte ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge integriert werden kann. Dabei werden drei zentrale Fragen betrachtet und untersucht:

1. *Warum ist das Thema Nachhaltigkeit relevant für eine zeitgemäße und zukunftsorientierte Ausbildung von Ingenieur\*innen?*
2. *Welche Kompetenzen in Bezug auf das Thema Nachhaltigkeit müssen zukünftige Ingenieur\*innen im Rahmen ihres Studiums entwickeln?*



3. *Wie kann die Entwicklung dieser Kompetenzen im Rahmen der fachbezogenen, ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre gefördert werden?*

Ausgehend von diesen Fragen wird zum einen das konkrete Berufsbild bzw. die Profession von Ingenieur\*innen betrachtet, indem fachliche Arbeitskontexte und Bedarfe beruflicher Handlungskompetenzen untersucht werden. Zum anderen stützt sich die Gestaltung des Lernangebots auf Grundlagen der Hochschuldidaktik, die als Ingenieurdidaktik fachbezogen konkretisiert und angewendet wird. Über Inhalte und Methodik erfolgt somit eine Verknüpfung der fachlichen und der didaktischen Dimensionen. Dies erfordert entsprechend einen forschungsmethodischen Ansatz, der die wissenschaftliche Gültigkeit in beiden Dimensionen sicherstellt. Für eine solche Verbindung von Theorieentwicklung und Praxisexpertise im realen Bildungskontext eignet sich insbesondere der Design-Based-Research [DBR], bei dem Innovationen für konkrete Lernsituationen theoriebasiert entwickelt und gleichzeitig generalisierbare Erkenntnisse darüber abgeleitet werden.

## **Methodischer Ansatz**

Das Konzept des DBR stammt aus der amerikanischen Bildungsforschung (vgl. z.B. Brown, 1992). Der Ansatz entstand aus der Unzufriedenheit darüber, dass in der Lehr- und Lernpraxis bildungswissenschaftliche Theorien und Erkenntnisse nicht ausreichend Berücksichtigung fanden. Ziel des DBR ist es daher, Lernumgebungen und -settings zu gestalten und gleichzeitig didaktische Theorien in konkreten Kontexten zu überprüfen und weiterzuentwickeln. Somit werden Wissenschaft und Praxis miteinander verknüpft, um Lernsettings „erforschend zu gestalten und gestaltungsorientiert zu beforschen“ (Jahnke et al., 2009, S. 283). Gess, Rueß und Deicke (2014, S. 11) charakterisieren den DBR dabei mit sechs zentralen Merkmalen:

- Die Entwicklung und der Test einer didaktischen Maßnahme oder Verbesserung (der sogenannten Intervention) stehen im Zentrum des Forschungsprozesses des DBR.
- Der DBR findet in einem realen Bildungskontext, also in einer konkreten, komplexen und praktischen Lern- und Lehrsituation statt.
- Entsprechend der Ziele und Perspektiven werden unterschiedliche Forschungsmethoden im DBR kombiniert.
- Der DBR verläuft in einem iterativen Prozess, in dem das Design und Re-Design der Intervention weiterentwickelt wird.
- Die Praxisexpertise wird durch die Beteiligung von Lehrenden in den Forschungsprozess einbezogen.
- Der DBR leistet einen Beitrag zur Theorieentwicklung, indem theoretisch fundierte Interventionen evaluiert und weiterentwickelt werden.

Zentrales Merkmal des DBR sind die sich abwechselnden Phasen von Analyse und Aktion (vgl. Plomp, 2013 sowie Euler, 2014). In der Literatur finden sich hierzu verschiedene Zyklusmodelle, die neben einigen Unterschieden im Detail jedoch alle, wie in Abbildung 1 dargestellt, ausgehend von der Identifikation des Handlungsbedarfs die Phasen Analyse, Entwicklung und Gestaltung, Erprobung, Analyse durch Evaluation sowie die Revision und Modifikation, aus der dann ein weiterer Durchlauf des Zyklus initiiert werden kann, umfassen (Jahn, 2014, S. 7).

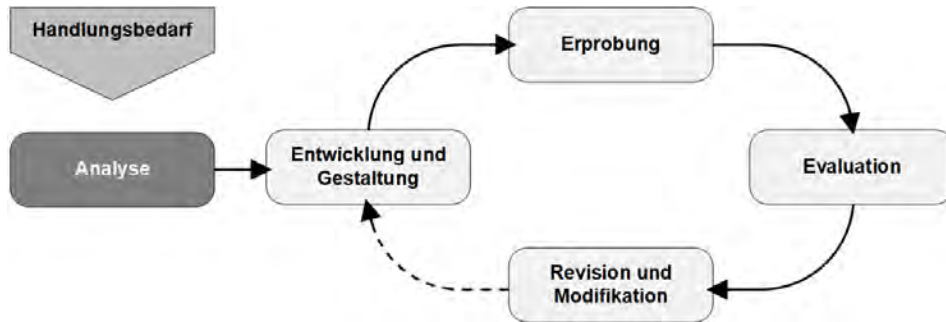


Abbildung 1: Zyklusmodell des Design-Based Research (i.A.a. Euler, 2014)

Dieser Zyklus des DBR bildet im Folgenden die Grundstruktur des methodischen Vorgehens im Rahmen der vorliegenden Arbeit.

## Vorgehensweise und Gliederung der Arbeit

Nach der Einführung in die Problemstellung und Zielsetzung erfolgt in Kapitel 2 zunächst die grundlegende Einordnung und Konkretisierung des Begriffs der Nachhaltigkeit. Ausgehend davon wird in Kapitel 3 dargestellt, inwieweit Nachhaltigkeit als Bildungsziel zu verstehen ist und welche Ansätze der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung im Bereich formaler Bildungsangebote bereits existieren. Die hochschulische Ausbildung von Ingenieur\*innen ist Thema des vierten Kapitels. Hier wird die fachliche Struktur des Studiums exemplarisch für den Bereich des Maschinenbaus betrachtet und mit der didaktischen Zielsetzung der Kompetenzorientierung in Beziehung gesetzt. Diese ersten Kapitel verdeutlichen einen Handlungsbedarf und bilden damit, wie in Kapitel 5 zusammengefasst wird, den Einstieg in den Zyklus des DBR.

In Zentrum des Kapitels 6 steht die Frage nach den Anforderungen an die Ausbildung von Ingenieur\*innen für nachhaltige Entwicklung. Diese Frage wird sowohl hinsichtlich der Perspektive von Hochschulen und Studierenden als auch von Unternehmen betrachtet, die stellvertretend für das Berufsfeld der zukünftigen Ingenieur\*innen stehen. Im Rahmen einer initiierenden Analyse werden dabei Bedarfe und Erwartungen hinsichtlich des Kompetenzprofils von Ingenieur\*innen abgeleitet. Ausgehend davon erfolgt in Kapitel 7 die Entwicklung und Gestaltung eines entsprechenden Lernangebots und -settings, das den Anforderungen einer modernen und kompetenzorientierten Hochschullehre entspricht und bei dem mit der ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘ ein Szenario gestaltet wird, in dem Studierende ihre ingenieurwissenschaftliche Profession in Verbindung mit Aspekten der Nachhaltigkeit erfahren und anwenden. Die Erprobung und die Evaluation dieses Settings werden in Kapitel 8 dargestellt. In Kapitel 9 wird dann ein Zwischenfazit gezogen, das den ersten Zyklus des DBR abschließt.

In einem zweiten Zyklus schließen sich ausgehend von den Ergebnissen der Evaluation eine Revision und Modifikation an. Die Anpassung und Optimierung des Lernangebots sind Inhalt des Kapitels 10. Eine Erprobung und Evaluation dieser Optimierung sowie eine abschließende Diskussion der Ergebnisse und eine davon ausgehende Bewertung im Hinblick auf die eingangs formulierten Bedarfe und Erwartungen erfolgen in Kapitel 11. Mit einer kritischen Bewertung der fachlichen, didaktischen und methodischen Ergebnisse werden mit Kapitel 12 der zweite Zyklus im Modell des DBR und damit auch die Arbeit abgeschlossen.

## 2 Begriff der Nachhaltigkeit

Nicht zuletzt durch die Aktivitäten der Bewegung ‚Fridays For Future‘ sind der Klimawandel und das Thema Umwelt zu dominierenden Themen der aktuellen politischen und gesellschaftlichen Diskussion geworden. Die COVID-19 Pandemie mit ihren erheblichen wirtschaftlichen und sozialen Folgen hat darüber hinaus die Bedeutung dieser Faktoren für die gesamte Gesellschaft aufgezeigt (Institut für angewandte Arbeitswissenschaften [ifaa], 2020, S. 6). Eine Studie aus dem Frühjahr 2020 zeigt, wie in Abbildung 2 dargestellt, dass Nachhaltigkeit und Klimaschutz auch in den Zeiten der ‚Corona-Krise‘ allgemein weiter als wesentliche und wichtige Themen betrachtet werden.

### Wie stark interessieren Sie sich aktuell für folgende Themenbereiche?

Forsa für BPS, 14.-16.04.2020, Angaben in %

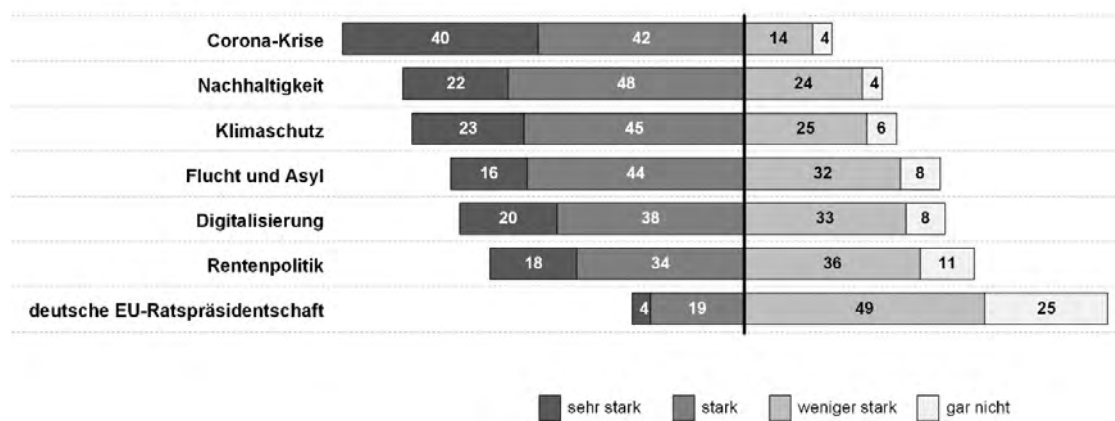


Abbildung 2: Interesse am Thema Nachhaltigkeit (entnommen aus: Bundeskanzleramt, 2020)

Dabei muss kritisch angemerkt werden, dass der Begriff der Nachhaltigkeit aber auch zunehmend willkürlich und fast „inflationär“ verwendet wird und daher für viele Menschen „konturlos und trivial“ erscheint (vgl. z.B. Zinn, 2013). Bereits vor 25 Jahren wurde kritisiert, dass „nichts so nachhaltig [ist] wie das Reden und Schreiben über ‚Nachhaltige Entwicklung‘ [...] und gleichzeitig nicht so aussichtslos ist wie der Versuch, den Begriff konsensfähig und allgemeinverbindlich zu definieren“ (Jüdes, 1997, S. 26). Dennoch ist der Begriff in der Regel positiv und als erstrebenswert belegt und wird häufig mit Langfristigkeit und Dauerhaftigkeit assoziiert (Pufé, 2017, S. 23). Insgesamt ist Nachhaltigkeit kein rein wissenschaftlich zu bestimmender Begriff, sondern vielmehr ein „gesellschaftlich-politisches und damit normatives Leitbild“ (Grunwald & Kopfmüller, 2012, S. 11). Um die Entwicklung dieses Leitbildes und Handlungsprinzips zu verdeutlichen und um der beschriebenen Unschärfe im Verständnis zu begegnen, ist ein Blick zurück auf die konzeptionellen Grundlagen der Nachhaltigkeitsidee hilfreich. Aus diesem Grund wird im Folgenden zunächst die historische Entwicklung des Begriffsverständnisses zusammengefasst.

### 2.1 Entstehung der Idee einer nachhaltigen Entwicklung

Umgangssprachlich steht der Begriff ‚Nachhaltigkeit‘ häufig für Dauerhaftigkeit und Beständigkeit (beispielsweise wenn etwas ‚nachhaltig verankert‘ wird) und auch der Duden definiert Nachhaltigkeit als „längere Zeit anhaltende Wirkung“ (Duden, 2015). Der historische Ursprung für dieses Verständnis liegt in der Forstwirtschaft des frühen 18ten Jahrhunderts. Hans Carl von Carlowitz

(1645-1714), Oberberghauptmann des sächsischen Berg- und Hüttenwesens, erläutert in der ‚Sylvicultura Oeconomica‘, dass die Natur respektvoll und vorsichtig zu behandeln sei, um Ressourcen zu erhalten. Bergbau und Verhüttung verursachten einen immensen Bedarf an Brennholz, was zu einer starken Entwaldung führte. Als Folge musste Holz über größere Entfernungen transportiert werden, was den Preis erheblich steigen ließ und zur Befürchtung einer Holzknappheit führte. Von Carlowitz forderte daher, dass in jedem Jahr nur so viel Holz geschlagen werden dürfe, wie auch im gleichen Zeitraum nachwachsen könne und prägte so den Begriff der Nachhaltigkeit:

*„Wird derhalben die größte Kunst/Wissenschaft/ Fleiß/ und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen/ wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen/ daß es eine continuirliche beständige und nachhaltige Nutzung gebe/“ (Carlowitz, 1713)*

Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts wurde dieses Nachhaltigkeitsprinzip auch auf den Bereich der Fischereiwirtschaft übertragen. Danach sollte sich die Menge des Fischfangs an der Reproduktion der Fischbestände orientieren, um dauerhaft maximale Erträge sicherzustellen (Grunwald & Kopfmüller, 2012, S. 19). In Zeiten der zunehmenden Industrialisierung wurden ökologische Aspekte weitgehend ökonomischen nachgeordnet und Nachhaltigkeit war kein relevantes Thema mehr (Michelsen & Adomßent, 2014, S. 7). In den 1960er Jahren wurden dann zunehmend Umweltprobleme deutlich. Dies führte dazu, dass das Thema der Nachhaltigkeit – zumindest in Bezug auf den Schutz der Umwelt – zu einem öffentlich diskutierten Thema wurde. Anfang der 1970er Jahre verstärkte sich die Diskussion über das Verhältnis und die Abhängigkeit zwischen Ressourcen und Wachstum und deren Bedeutung für die Zukunft der Menschheit und es entstand der Bericht ‚Grenzen des Wachstums‘ (Meadows, 1982), der im Auftrag des Club of Rome (einem Zusammenschluss von Expert\*innen verschiedener Disziplinen aus mehr als 30 Ländern) erstellt wurde. Aus der Debatte um diesen Bericht entstand eine Initiative skandinavischer Länder und der USA, das Thema Umwelt im Rahmen der Vereinten Nationen [UN] aufzugreifen (Michelsen & Adomßent, 2014, S. 7).

1972 fand die erste internationale Konferenz der UN statt, die das Thema Umwelt in den Fokus stellte. Wesentliche Ziele dieser Konferenz waren aus Perspektive der Länder des globalen Nordens die Begrenzung industrieller Umweltverschmutzungen sowie das Einleiten von Maßnahmen zum Schutz von Ökosystemen. Für den globalen Süden stand vielmehr die Bekämpfung von Armut und Hunger, die Versorgung mit Trinkwasser und die medizinische Versorgung als elementarere Probleme im Zentrum des Interesses. „Durch eine schnelle Industrialisierung wollten die Länder des Südens – dies sind die insbesondere wirtschaftlich weniger entwickelten Länder auf der Erde – ihre ‚Rückständigkeit‘ überwinden. Die Umweltprobleme wurden dabei, sofern sie überhaupt gesehen wurden, zunächst in Kauf genommen und sollten erst später beseitigt werden.“ (Michelsen & Adomßent, 2014, S. 8). Aus der Diskussion entstand die Kompromissformel ‚poverty ist the biggest polluter‘, die Umweltschutz und entwicklungspolitische Zielsetzungen zusammenbringen sollte. Ergebnis der Konferenz war ein erster Aktionsplan, zu dessen Umsetzung die Einrichtung eines eigenen Umweltprogramms der Vereinten Nationen beschlossen wurde. Ausgehend von einer Nachfolgekonferenz, die 1982 in Nairobi stattfand, wurde 1983 die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung eingesetzt. Aus dieser Kommission wurde im Jahr 1987 mit dem sogenannten ‚Brundtland-Report‘ (World Commission on Environment and Development [WCED], 1987) eine neue weitgreifende Definition für den Begriff der Nachhaltigkeit geprägt, der über den rein ökologischen Fokus deutlich hinaus geht. Demnach bedeutet Nachhaltigkeit, den Bedürfnissen der aktuellen

Generation gerecht zu werden, ohne die Möglichkeiten zur Erfüllung der Bedürfnisse folgender Generationen zu gefährden oder zu begrenzen:

„[...] to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“ (WCED, 1987, S. 16)

Nachhaltigkeit bezeichnet somit einen Zielzustand im Sinne dieser Vision; wobei dieser Zielzustand als dynamisch zu verstehen ist, da er – sollte er einmal erreicht werden – nicht dauerhaft bestehen bleibt, sondern permanent neu verfolgt und angestrebt werden muss. Das Anstreben dieses Ziels und der Weg dorthin werden als ‚nachhaltige Entwicklung‘ bezeichnet. Häufig werden Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung aber auch synonym verwendet. Ausgehend von dieser Vision der Nachhaltigkeit wurde 1992 auf der UN-Weltkonferenz in Rio de Janeiro mit der sogenannten Agenda 21 ein weltweites entwicklungs- und umweltpolitisches Aktionsprogramm mit konkreten Handlungsempfehlungen für das 21ste Jahrhundert beschlossen. Dabei wurden die nationalen Regierungen aufgefordert, entsprechende eigene Aktionspläne abzuleiten und das Leitbild der Nachhaltigkeit in Politik, Wirtschaft und Bildung in den Ländern umzusetzen (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit [BMU], 1992).

Im Rahmen des sogenannten Millennium-Gipfels 2000 einigte sich die bis dahin größte Zusammenkunft von Staats- und Regierungschefs aus 189 Ländern in New York auf einen ersten Maßnahmenkatalog mit konkreten Ziel- und Zeitvorgaben, um bis 2015 eine Halbierung der Armut in der Welt zu erreichen. Dieser Katalog umfasste die in Abbildung 3 dargestellten Entwicklungsziele.

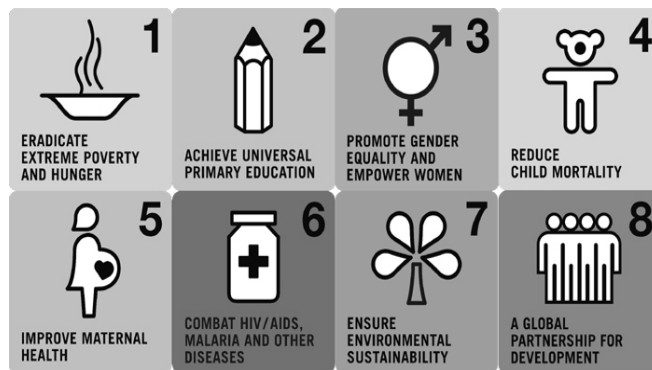


Abbildung 3: Millenniumsentwicklungsziele (Quelle: Bundesamt für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)

Völkerrechtlich verbindlich waren diese Ziele allerdings nicht. Die Vereinbarung zeitlicher Vorgaben sorgte für einen gewissen Umsetzungsdruck, wurden sie nicht erreicht, folgten daraus aber auch keine Konsequenzen. Zehn Jahre nach der Weltkonferenz in Rio de Janeiro fand 2002 die Folgekonferenz, der Weltgipfel für eine nachhaltige Entwicklung, in Johannesburg statt. Insgesamt stand dieser Gipfel für eine Vielzahl von ernüchternden Kompromissen, die aber für das Erreichen eines ersten Konsenses zwischen allen beteiligten Länder unumgänglich waren (Hauff, 2014, S. 11). Im Rahmen dieser Konferenz wurde insbesondere die Bedeutung der Bildung als Kernelement der nachhaltigen Entwicklung hervorgehoben. Es wurde für die Zeit von 2005 bis 2014 die ‚Weltdekade Bildung für nachhaltige Entwicklung‘ ausgerufen und von der United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO] koordiniert. Anlässlich des zwanzigsten Jahrestages der Weltkonferenz fand 2012 erneut eine UN-Konferenz für nachhaltige Entwicklung (Rio+20) in Rio de Janeiro statt. Hier wurde das allgemeine politische Bekenntnis zur Umsetzung der Idee einer

nachhaltigen Entwicklung erneuert und es wurde beschlossen, Vorschläge für universell gültige und global verbindliche Nachhaltigkeitsziele auszuarbeiten. Diese ‚Sustainable Development Goals‘ [SDG] wurden 2015 in New York als Teil der Agenda 2030 durch Vertretende aller insgesamt 193 Mitgliedsstaaten der UN verabschiedet. Abbildung 4 zeigt die SDG in der Übersicht.



Abbildung 4: SDG - 17 globale Ziele für nachhaltige Entwicklung (Engagement Global, 2020)

Jedes dieser 17 Ziele wird in Unterziele heruntergebrochen, die durch entsprechende Indikatoren konkretisiert und messbar gemacht werden. Tabelle 1 zeigt dies beispielhaft für das Ziel 12 ‚Nachhaltige/r Konsum und Produktion‘.

Tabelle 1: SDG - Unterziele und Indikatoren (Engagement Global, 2020)

	exemplarisch ausgewählte Unterziele	Indikatoren
	Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen.	Rohstoff-Fußabdruck; inländische Materialnutzung
	Bis 2030 das Abfallaufkommen durch Vermeidung, Verminderung, Wiederverwertung und Wiederverwendung deutlich verringern.	nationale Recyclingquote; Tonnen an recyceltem Material
	Die Unternehmen, insbesondere große und transnationale Unternehmen, dazu ermutigen, nachhaltige Verfahren einzuführen und in ihre Berichterstattung Nachhaltigkeitsinformationen aufzunehmen.	Anzahl an Unternehmen, die Nachhaltigkeitsberichte veröffentlichen

Auf dem SDG- und Klima-Gipfel, der im September 2019 in New York stattfand, und der durch Greta Thunbergs Teilnahme und ihr emotionales „How dare you“ zu großem medialen Interesse führte, wurde festgestellt, dass diese Ziele nicht wie vereinbart 2030 erreicht werden können, wenn sich die aktuellen Trends wie Klimawandel, Artensterben und zunehmender Ressourcenverbrauch weiter fortsetzen. Die Vereinten Nationen riefen daher das kommende Jahrzehnt als „Decade of Action and Delivery for Sustainable Development“ aus (Bundeskanzleramt, 2020, S. 10).

Die Agenda 2030 ist seit 2015 Grundlage der deutschen Nachhaltigkeitspolitik. Ausgehend davon wurde eine grundlegende Überarbeitung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie beschlossen und 2018 vom Bundeskabinett verabschiedet (Bundeskanzleramt, 2020, S. 8). Im Kern stehen dabei sechs Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung:

1. Nachhaltige Entwicklung als Leitprinzip konsequent in allen Bereichen und bei allen Entscheidungen anwenden
2. Globale Verantwortung wahrnehmen
3. Natürliche Lebensgrundlagen erhalten
4. Nachhaltiges Wirtschaften stärken
5. Sozialen Zusammenhalt in einer offenen Gesellschaft wahren und verbessern
6. Bildung, Wissenschaft und Innovationen als Treiber einer nachhaltigen Entwicklung nutzen

Diese Ziele spannen einen Rahmen auf, in dem auch die vorliegende Arbeit eingeordnet werden kann. Das erste Prinzip, also die nachhaltige Entwicklung als Leitprinzip, beinhaltet, dass technologische (und gesellschaftliche) Innovationen immer so entwickelt werden müssen, dass sie für heutige und zukünftige Generationen auch global tragfähig sind. Das sechste Prinzip, also das Verständnis von Bildung als Treiber der nachhaltigen Entwicklung, umfasst gleichzeitig den Anspruch, nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen auf allen Ebenen im gesamten Bildungssystem - und somit auch im Bereich der hochschulischen Bildung - zu fördern.

## **2.2 Dimensionen der Nachhaltigkeit und Nachhaltigkeitsmodelle**

Aus der dargestellten Entwicklung des Verständnisses von Nachhaltigkeit wird deutlich, dass die Zielsetzung einer nachhaltigen Entwicklung immer eine Vielzahl unterschiedlichster Aspekte und Dimensionen umfasst. Zuerst wird in der Regel der Bezug zu Umwelt und Natur angeführt und die Frage nach einer „gerechten Gesellschaftsform“ oder einem „guten Leben“ gestellt (Holfelder, 2018, S. 30). Darüber hinaus sind aber z.B. auch wirtschaftliche, kulturelle und politische Rahmenbedingungen wesentlich. Normative Prinzipien, wie die Antworten darauf, was ‚gut‘ oder ‚gerecht‘ ist, müssen dabei in einem gesellschaftlichen Diskurs und nicht allein aus wissenschaftlichen Analysen heraus betrachtet werden. Ein wissenschaftlicher Beitrag kann es aber sein, Erklärungen für den aktuellen Zustand zu liefern und Strategien zur Umsetzung des Leitbildes der Nachhaltigkeit zu erarbeiten. Die dazu aufgestellten Nachhaltigkeitsmodelle dienen zur Visualisierung der Dimensionen der Nachhaltigkeit und zur Darstellung der wechselseitigen Abhängigkeiten und Einflüsse.

### **2.2.1 Ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit**

Bereits in frühen Phasen der Entwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffs wurde deutlich, dass die Vision der Nachhaltigkeit nicht allein auf ökologische Aspekte zu beziehen ist, sondern nur durch das Zusammenspiel mehrerer Dimensionen erreicht werden kann. Bereits Carlowitz (Kapitel 2.1) setzte beispielsweise den Zustand des Waldes mit dem Bedarf von Ressourcen für die Verhüttung in Beziehung und stellte so die Verbindung einer ökologischen und einer ökonomischen Dimension in seinem Verständnis von Nachhaltigkeit her.

Hinsichtlich der Anzahl der relevanten Dimensionen von Nachhaltigkeit besteht weitgehend Einigkeit in der wissenschaftlichen Literatur. Seit Mitte der 1990er Jahre hat sich international die

Differenzierung in ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit durchgesetzt (vgl. Hauff, 2014, S. 32):

- **ökologische Nachhaltigkeit**  
Die Dimension der ökologischen Nachhaltigkeit steht dafür, die Umwelt und die natürlichen Ressourcen zu schonen. Dabei steht die ökologische Stabilität, also die Eigenschaft eines Ökosystems, gewisse Belastungen zu tolerieren, im Fokus.
- **soziale Nachhaltigkeit**  
Die Dimension der sozialen Nachhaltigkeit stellt den Menschen in den Mittelpunkt. Sie steht für die Würde des Menschen, für faire Bezahlung, die Umsetzung von Interessen von Arbeitnehmer\*innen und die freie Entfaltung der (auch beruflichen) Persönlichkeit. Genauso steht diese Säule aber auch für den Anspruch des Allgemeinwohls und der Gesellschaft.
- **ökonomische Nachhaltigkeit**  
Die Dimension der ökonomischen Nachhaltigkeit steht für ein gutes und stabiles Wirtschaften. Nachhaltige Unternehmen müssen ausreichend Gewinne erzielen, um diese in zeitgemäße, ökologisch nachhaltige Betriebsmittel investieren zu können und im Sinne der sozialen Nachhaltigkeit angemessene und faire Löhne zu zahlen.

Ergänzend zu diesen Dimensionen wird der Aspekt der Kultur als weitere Dimension diskutiert (vgl. z.B. Kurt & Wagner, 2002). Dieser Dimension sind Aspekte wie Sprache, Religion, Ethik und Kunst, aber auch individuelle und gesellschaftliche Lebens- und Handlungsformen sowie Werte, Normen und Traditionen zugeordnet. Zunehmend prägt sich außerdem das Verständnis, dass Nachhaltigkeit maßgeblich auch durch eine Dimension der verfügbaren und eingesetzten Technik und Technologien beeinflusst wird (ifaa, 2020, S. 1). Dabei hat die Gestaltung von Produkten und Prozessen Auswirkungen auf die angewendeten Technologien (Produkt- und Prozesstechnik), Umwelt (Emissionen und Abfälle), den wirtschaftlichen Erfolg und das Wohlergehen aller beteiligten Personen (ifaa, 2020, S. 1). Diese ergänzenden Dimensionen haben sich aber in der allgemeinen wissenschaftlichen Diskussion bisher nicht etabliert.

Eine inhaltliche Abgrenzung der Dimensionen der Nachhaltigkeit sagt noch nichts über ihre Gewichtung, Beziehungen zueinander und Abhängigkeiten voneinander aus. Um diese Aspekte in einem Gesamtzusammenhang zu bringen, eignen sich Modelle, die die Komplexität reduzieren und Abhängigkeiten darstellen.

### 2.2.2 Modelle der Nachhaltigkeit

In der Gewichtung der Dimensionen der Nachhaltigkeit können Ein- und Mehr-Dimensionen-Modelle unterschieden werden (vgl. z.B. Tremmel, 2003). Im Ein-Dimensionen-Modell wird der ökologischen Dimension ein Vorrang vor den anderen Dimensionen eingeräumt. Entsteht ein Konfliktfall – wird also eine Abwägung zwischen den verschiedenen Dimensionen erforderlich – so werden die ökologischen Aspekte und Ziele den anderen Dimensionen vorangestellt. Dieses „Primat der Ökologie“ (Pufé, 2017, S. 99) baut darauf, dass die ökologische Dimension im Vergleich zu den beiden anderen Dimensionen existenziell ist, da der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen die Grundbedingung für soziale und ökonomische Stabilität ist.

Diese Gewichtung wird jedoch der Lebensrealität nicht gerecht. Die Lösung ökologischer Probleme wird gesellschaftlich nur akzeptiert, wenn dies nicht zu ausgeprägten sozialen und ökonomischen



Risiken führt. Genauso wird es in der Regel nicht auf Dauer akzeptiert, wenn sich die Wirtschaft zu stark auf Kosten von Umwelt und vor allem Gesellschaft entwickelt:

„Zentrales Ziel des Nachhaltigkeitsanliegens ist die Sicherstellung und Verbesserung ökologischer, ökonomischer und sozialer Leistungsfähigkeit. Diese bedingen einander und können nicht teiloptimiert werden, ohne Entwicklungsprozesse als ganze infrage zu stellen.“ (Deutscher Bundestag, 1998, S. 52)

Entsprechend werden in Mehr-Dimensionen-Modellen alle Dimensionen der Nachhaltigkeit als gleichwertig und gleichberechtigt betrachtet. Zur Visualisierung haben sich, wie in Abbildung 5 dargestellt, verschiedene Modelle entwickelt. Die am häufigsten in der Literatur zu findenden Darstellungsformen sind das Drei-Säulen-Modell, das Schnittmengenmodell und das Nachhaltigkeitsdreieck.

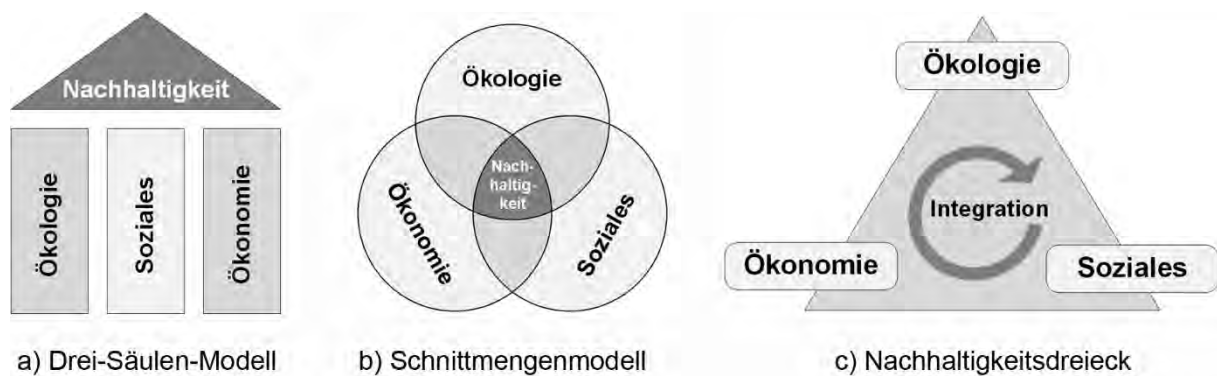


Abbildung 5: Nachhaltigkeitsmodelle (i.A.a. Pufé, 2017)

### a) Drei-Säulen-Modell

Im Drei-Säulen-Modell werden die Dimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie als Säulen dargestellt, auf denen die Nachhaltigkeit als Dach ruht. Im ursprünglichen Verständnis konnten sich die Säulen in diesem Modell noch gegenseitig ausgleichen. Eine schwache Ökologie könnte demnach durch eine besonders starke Ökonomie kompensiert werden. Dieses Verständnis wird als ‚schwache Nachhaltigkeit‘ bezeichnet. Dabei gilt die Annahme, dass „Naturkapital durch Sachkapital substituiert werden kann, solange der gesamte Kapitalbestand für zukünftige Generationen erhalten bleibt“ (Hauff, 2014, S. 33). ‚Starke Nachhaltigkeit‘ setzt hingegen auf das Verständnis, dass die Dimensionen komplementär und daher nur begrenzt substituierbar sind (Hauff, 2014, S. 34). Innerhalb einer Dimension kann jedoch ein Austausch erfolgen. Werden beispielsweise Bäume zur Gewinnung von Holz geschlagen (Verringerung des Naturkapitals), kann dies durch eine Aufforstung substituiert werden (Erhöhung des Naturkapitals), jedoch nicht durch die Inbetriebnahme weiterer Atomkraftwerke (Erhöhung des Sachkapitals). Im Verständnis der schwachen Nachhaltigkeit wäre dies jedoch ein zulässiges Substitut. Ein Kompromiss zwischen diesen beiden Positionen wird durch eine ‚ausgewogene Nachhaltigkeit‘ abgebildet. Demnach werden die Dimensionen in begrenztem Umfang als kompensierbar betrachtet. So kann beispielsweise der Einsatz von fossilen und damit nicht erneuerbaren Energieträgern (natürliche Ressource und daher Naturkapital) durch zusätzliche Investitionen in regenerative Energien wie Windkraft (Technik und daher Sachkapital) ausgeglichen werden (vgl. Hauff, 2014, S. 35 sowie Schütt-Sayed, 2020, S. 83). Insgesamt hat sich so das Verständnis durchgesetzt, dass alle drei Dimensionen gleichwertig sind und im gleichen Umfang benötigt werden, damit das Ziel der Nachhaltigkeit erreicht wird.

Auch wenn das Drei-Säulen-Modell noch immer das am häufigsten verwendete Modell ist und durch die Abbildung der Dimensionen als gleichwertige Säulen als „stilbildend“ (Brand & Jochum, 2000, S. 184) für das Verständnis von Nachhaltigkeit gilt, gibt es Kritik an diesem Modell. Diese bezieht sich hauptsächlich darauf, dass das Dach in dieser Darstellung aus Perspektive der Statik betrachtet auch getragen würde, wenn eine oder sogar zwei der Säulen fehlen. Dies suggeriert, dass die Dimensionen zum einen vollständig unabhängig voneinander sind und sich zum anderen entsprechend dem Verständnis der schwachen Nachhaltigkeit weitgehend gegenseitig substituieren können und daher nicht alle drei gleichermaßen Beachtung finden müssen (Pufé, 2017, S. 111). Zudem stehen in diesem Modell die Säulen parallel nebeneinander und es fehlt die Möglichkeit zur Verbindung und Darstellung von Wechselwirkung der Dimensionen untereinander.

### **b) Schnittmengenmodell**

Diese Verbindung wird deutlicher im Schnittmengenmodell visualisiert, da hier das reine ‚Nebeneinander‘ der Dimensionen aufgelöst wird. Es wird verdeutlicht, dass es Mehrfachzuordnungen außerhalb der isolierten Säulen bzw. Dimensionen gibt. In diesem Modell greifen die drei Dimensionen bildlich stärker ineinander und werden dazu als Kreise dargestellt, die sich gegenseitig überlappen und so fließende Grenzen und Übergänge entstehen. In der Mitte und damit in der Überlappung aller drei Dimensionen steht die Nachhaltigkeit. Durch das Überlappen der Kreise wird zwar die Überschneidung der Dimensionen abgebildet, gleichzeitig werden diese aber auch hier weitgehend unabhängig und abgegrenzt voneinander dargestellt:

*„Nachhaltigkeit [ist] konzeptionell weder ein von drei unverbunden nebeneinander stehenden Säulen getragenes ‚Dach‘ noch die Schnittmenge abgrenzbarer Dimensionen, etwa im Sinn eines ‚kleinsten gemeinsamen Nenners‘. Nachhaltigkeit ist ein ganzheitlicher, integrativer Ansatz; Wechselbeziehungen und Wechselwirkungen müssen ermittelt, dargestellt und beachtet werden, um langfristig tragfähige Lösungen für die bestehenden Probleme zu identifizieren.“ (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2008, S. 21)*

### **c) Nachhaltigkeitsdreieck**

Als eine Weiterentwicklung der beiden vorherigen Modelle gilt das Nachhaltigkeitsdreieck, in dem alle drei Dimensionen integrativ dargestellt werden (vgl. z.B. Schütt-Sayed, 2020, S. 81). In diesem Modell werden die drei Dimensionen als Spitzen eines gleichschenkligen Dreiecks dargestellt. Das Dreieck betont stärker den unauflösbaren Zusammenhang und die Verknüpfung der drei Dimensionen, indem sie als „ein gemeinsames Ganzes“ (Pufé, 2017, S. 113) dargestellt werden. Dieses Modell soll verdeutlichen, dass ökologische Verträglichkeit, soziale Gerechtigkeit und wirtschaftliche Leistungsfähigkeiten in ständigen Wechselwirkungen zueinanderstehen und sich gegenseitig bedingen. Eine weitere Konkretisierung ist das in Abbildung 6 dargestellte integrierende Nachhaltigkeitsdreieck.

Es unterteilt den Innenraum des Dreiecks als Kontinuum der drei Dimensionen zusätzlich in Faktoren, nach denen eine Handlung oder Unternehmung bewertet werden kann. Dabei kann eine Beurteilung anhand des „Mischungsverhältnisses“ (Hauff, 2014, S. 169) erfolgen, wonach die Handlung oder Unternehmung unterschiedlich stark auf den drei ‚Achsen‘ (x, y, z) eingeordnet werden kann.

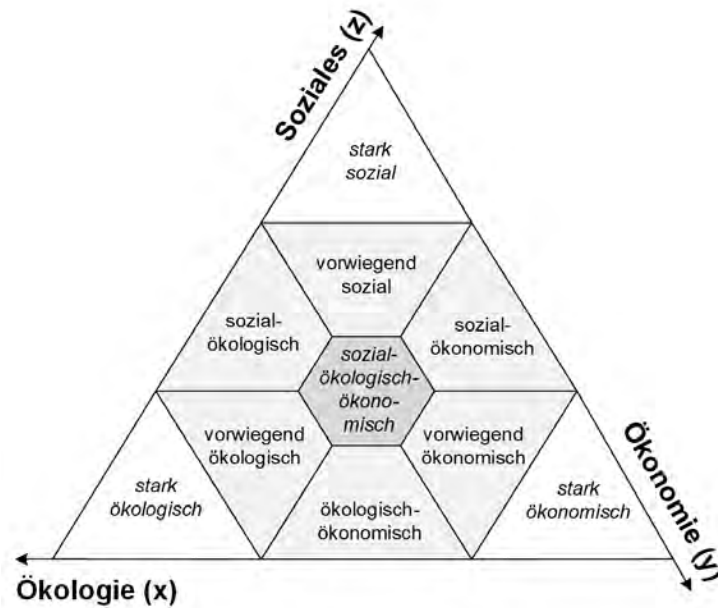


Abbildung 6: Integrierendes Nachhaltigkeitsdreieck (Hauff, 2014, S. 170)

Alle beschriebenen Darstellungsformen können das Handlungsmodell der Nachhaltigkeit zwar visualisieren, jedoch sind sie nur schwer zu operationalisieren. Es lassen sich aus ihnen kaum praktische Handlungsanweisungen herauslesen oder konkrete Konsequenzen im Sinne von Handlungsstrategien ableiten.

### 2.2.3 Handlungsstrategien für eine nachhaltige Entwicklung

Um die beschriebene Theorie der Nachhaltigkeit in die Praxis einer nachhaltigen Entwicklung umzusetzen, bedarf es einer Übertragung in konkrete Handlungen und entsprechender Handlungsstrategien. Dabei besteht kein Zweifel daran, dass dies Veränderungen in den bisherigen Produktions- und Konsummustern und prinzipiellen Herangehensweisen auf allen Ebenen erfordert (Grunwald & Kopfmüller, 2012, S. 92). Wie weit diese Veränderungen greifen müssen und können wird kontrovers diskutiert. Als entscheidend für die Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung und das Erreichen der gesetzten Nachhaltigkeitsziele können in diesen Debatten aber drei grundlegende politische und gesellschaftliche Strategien identifiziert werden (vgl. Pufé, 2017, S. 123; Grunwald & Kopfmüller, 2012, S. 92 sowie Hauff, 2014, S. 62):

- **Effizienzstrategie**  
In dieser Strategie steht die Ressourceneffizienz im Fokus. Durch das Anstreben eines minimalen Einsatzes soll der Verbrauch von Rohstoffen reduziert werden. Dazu sollen neue Technologien entwickelt und eingesetzt und Wertschöpfungsketten hinsichtlich der Langlebigkeit und Mehrfachnutzung von Produkten optimiert werden. Die Effizienzstrategie setzt somit stark auf die *ökonomische Dimension* der Nachhaltigkeit.
- **Konsistenzstrategie**  
Die Umsetzung eines funktionierenden Kreislaufs, der insbesondere die qualitativen Aspekte von Ressourcen berücksichtigt und in dem diese kontinuierlich in einen natürlichen Umlauf zurückgeführt werden, ist der Kern dieser Strategie. Die Konsistenzstrategie bezieht sich damit im Schwerpunkt auf die *ökologische Dimension* der Nachhaltigkeit.

- *Suffizienzstrategie*

Das Grundelement dieser Strategie ist die Reduzierung des Konsums und der Verzicht auf nicht nachhaltige Ressourcen. Oft wird dabei angeführt, dass ein Verzicht auf der materiellen Ebene zu einem Gewinn auf der immateriellen Ebene führt (vgl. Schütt-Sayed, 2020, S. 83). Dies zeigt die Betonung der *sozialen Dimension* der Nachhaltigkeit in dieser Strategie.

So wie im Nachhaltigkeitsdreieck alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit integrativ betrachtet werden, gilt dies auch für die beschriebenen Handlungsstrategien. Eine nachhaltige Entwicklung setzt die komplementäre Anwendung voraus. Dies wird bei der Übertragung auf ein Beispiel wie die Nutzung von Kraftfahrzeugen unmittelbar deutlich: Für eine nachhaltige Entwicklung würde gemäß der Effizienzstrategie die Optimierung des Wirkungsgrads von Verbrennungsmotoren und die Effizienz der Nutzung der Energie, also der Verbrauch der Fahrzeuge, im Fokus stehen. Entsprechend der Konsistenzstrategie wäre hingegen das Ersetzen von fossilen Treibstoffen und Verbrennungsmotoren durch den Einsatz regenerativer Energien und Elektromotoren ein zentrales Ziel. Die Fahrzeugnutzung zu reduzieren, also z.B. auf Kraftfahrzeuge im Individualverkehr zu verzichten und stattdessen öffentliche Verkehrsmittel oder emissionsfreie Fahrzeuge wie Fahrräder zu nutzen wäre hingegen ein Ansatz entsprechend der Suffizienzstrategie. Es wird deutlich, dass eine erfolgreiche ‚Verkehrswende‘, also das Ziel einer nachhaltigen Mobilität, nicht durch eine der Handlungsstrategien allein erreicht werden kann. Vielmehr erfordert dies eine Kombination aller drei Handlungsstrategien für einen Erfolg und eine nachhaltige Entwicklung.

Die beschriebenen Handlungsstrategien geben Hinweise auf mögliche konkrete Handlungen zur Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung für jedes Individuum, aber auch für Unternehmen. In modernen Produktionsunternehmen werden beispielsweise Ansätze dieser Strategien bereits häufig angewendet. Kennzahlen wie die Overall Equipment Effectiveness(OEE) können der Effizienzstrategie zugeordnet werden und die Suffizienzstrategie findet sich beispielsweise in der unbedingten Vermeidung von Verschwendung, die ein zentrales Ziel ganzheitlicher Produktionssysteme ist (Gronau, 2013). Insgesamt spielen Unternehmen auf dem Weg einer nachhaltigen Entwicklung eine entscheidende Rolle. „Als Hersteller von Gütern und Erbringer von Dienstleistungen beeinflussen sie direkt einen großen Teil des Verbrauchs an Energie und an anderen Ressourcen, denn ihre Entscheidungen, welche Produkte erzeugt werden und vor allem mit welchen Methoden haben darauf starke Auswirkungen.“ (Hutter et al., 2018, S. 169)

## 2.3 Unternehmerische Nachhaltigkeit

Unternehmen kommt hinsichtlich der Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung eine besondere Bedeutung zu. Sie sind häufig sowohl der Ausgangspunkt von Nachhaltigkeitsproblemen als auch wesentliche Akteur\*innen bei ihrer Beseitigung (Beckmann & Schaltegger, 2014, S. 322).

Allgemein kann die Definition nachhaltiger Entwicklung, wie sie im Brundtlandt-Report zu finden ist (vgl. Kapitel 2.1) unmittelbar auf Unternehmen bzw. unternehmerisches Handeln übertragen werden. Nur wenn Unternehmen heute nachhaltig agieren, bleiben sie auch in Zukunft überlebensfähig. Hinsichtlich der ökonomischen Dimension erschließt sich dies unmittelbar aus der (betriebs-) wirtschaftlichen Langfristorientierung sowie der Zielsetzung von bleibendem Umsatz und Gewinn. Auch wenn diese Dimension für Unternehmen häufig im Vordergrund steht, machen nicht

zuletzt bekannte Umweltskandale wie z.B. die Ölkatastrophe durch Deepwater Horizon, für deren Folgen das Unternehmen BP mehrere Milliarden Dollar Entschädigungen zahlen musste, auch die Bedeutung der ökologischen Dimension für Unternehmen deutlich. Der Einsturz einer Textilfabrik in Bangladesch, die dadurch publik gewordenen schlechten Arbeitsbedingungen unter denen Unternehmen wie z.B. Primark, C&A oder Adler produzieren lassen und der damit verbundene schwere Imageschaden sind Beispiele für die soziale Dimension, in der Unternehmen agieren.

*„Deutsche Unternehmen haben in den 80er Jahren [...] viel für den lokalen Umweltschutz getan, für sie ist Mitbestimmung normal und sie bieten zunehmend über gesetzliche Anforderungen hinaus gehende soziale Leistungen. Doch heutzutage reicht das nicht mehr.“ (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2015)*

Der Großteil aller Aktivitäten der Wertschöpfung sind in einem Unternehmen zwangsläufig mit sogenannter ‚Schadschöpfung‘, also Umweltbelastung und/ oder negativen sozialen Wirkungen verbunden. Ziel der nachhaltigen Entwicklung von Unternehmen muss es daher sein, im Rahmen der Ausführung der wertschöpfenden Prozesse gleichzeitig aktiv die Schadschöpfung zu minimieren (Beckmann & Schaltegger, 2014, S. 322). Dabei kommt dem Einsatz moderner Technologien und innovativen Ansätzen insbesondere in Bereichen der Produktion sowie in der Nutzung und Entsorgung von Gütern eine besondere Bedeutung zu. Technik wird dabei einerseits als Ursache vieler Nachhaltigkeitsprobleme gesehen, andererseits kann sie häufig aber auch ein wesentlicher Ansatz zur Lösung von Nachhaltigkeitsproblemen sein (Grunwald & Kopfmüller, 2012, S. 214).

*„Der Schlüssel für mehr Nachhaltigkeit liegt somit in einem möglichst verschwendungsarmen und produktiven Umgang mit ökologischen, ökonomischen, sozialen und technologischen Ressourcen.“ (ifaa, 2020, S. 6)*

Für einen solchen effektiven und effizienten Ressourceneinsatz sollten Primärrohstoffe daher nur in einem möglichst geringen Umfang verschwendungsfrei eingesetzt und die Rückführung von Reststoffen aus Produktion und Konsum im Wirtschaftskreislauf optimiert werden.

### **2.3.1 Kreislaufwirtschaft**

Als ein wesentlicher Bestandteil der Umsetzung unternehmerischer Nachhaltigkeit gilt die Förderung der sogenannten Kreislaufwirtschaft (vgl. z.B. Bundeskanzleramt, 2020, S. 18). Die Kreislaufwirtschaft steht im Gegensatz zur traditionellen Linearwirtschaft, in der Produkte, nachdem sie in Gebrauch waren, als Abfall entsorgt werden. In der Kreislaufwirtschaft gilt hingegen das Konzept eines regenerativen Systems, an dessen Ende nach dem ‚End of Use‘ das Recycling von Produkten steht. Die Förderung der Kreislaufwirtschaft wurde in Deutschland 1994 gesetzlich verankert. Dabei geht die Zielsetzung über die reine Rückführung von Wertstoffen hinaus. Ziel ist es, den Ressourcen- und Energieeinsatz sowie die Produktion von Abfällen oder Emissionen durch das Verlangsamem, Reduzieren und Schließen von Energie- und Materialflüssen zu minimieren:

*„Abfälle sind in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit, in zweiter Linie stofflich zu verwerten oder zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung).“ (Deutscher Bundestag, 1994)*

Aus dieser Zielsetzung ergeben sich für Unternehmen die folgenden Leitlinien:

- **Ressourceneinsatz minimieren:** Material- und Energieeinsätze möglichst reduzieren, Effizienz in Produktion und Nutzung maximieren

- *Produktnutzungsdauer maximieren*: Möglichkeiten für Instandhaltung und Reparatur maximieren, Aktualisierung und Weiterverwendung ermöglichen
- *Rohstoffe und Materialien wiederverwenden*: Substitution von Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe maximieren, Wiederverwendung von Produkten oder Produktkomponenten optimieren, Recycling zur materiellen Verwertung ermöglichen

Zur Umsetzung dieser Leitlinien werden häufig sogenannte ‚R-Strategien‘ angeführt, die als Bausteine der Transformation zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft gesehen werden und in denen auch die beschriebenen Handlungsstrategien für eine nachhaltige Entwicklung (Kapitel 2.2.3) wiederzuerkennen sind. Im sog. ‚9-R-Framework‘ (Potting et al., 2017) werden wie in Abbildung 7 dargestellt diese Strategien entsprechend ihrer Zirkularität geordnet. Eine höhere Zirkularität wird dabei mit einer geringeren Umweltwirkung bei der Nutzung bzw. Schadschöpfung bei der Produktion bewertet.



Abbildung 7: 9-R-Framework (i.A.a. Potting et al., 2017, S. 5 sowie Kirchherr et al., 2017, S. 234)

Zur Umsetzung dieser R-Strategien sind Optimierungen in der Organisation von Produktions- und Logistikprozessen sowie insbesondere Veränderungen in der Produktentwicklung erforderlich (vgl. Potting et al., 2017, S. 17). Unter dem Begriff des *EcoDesign* etabliert sich dabei zunehmend ein Gestaltungsansatz mit dem Ziel, Produkte für den gesamten Produktlebenszyklus hinweg nachhaltig zu konzipieren (vgl. auch Deutsches Institut für Normung, 2018). Bereits bei der Entwicklung eines Produktes sollen die R-Strategien mitgedacht und berücksichtigt werden. Neben einem recyclinggerechten Design (vgl. Verein Deutscher Ingenieure, 2002) umfasst das Ziel des *EcoDesign* auch das material- und energieeffiziente Design, das abfallvermeidende Design, ein langlebiges und reparaturfähiges Design sowie das logistik- und entsorgungsgerechte Design (Burschel, 2003, S. 292).

Die Kreislaufwirtschaft scheint so grundsätzlich nachhaltiger zu sein als die Linearwirtschaft. Durch eine Minimierung der Einbringung von Primärrohstoffen in das System und eine Reduzierung des Verlustes von Ressourcen durch Abfälle oder Verluste werden natürliche Ressourcen geschont und die Schadschöpfung im Unternehmen reduziert. Mit Blick auf die verschiedenen Dimensionen von Nachhaltigkeit wird aber deutlich, dass sich die Zielsetzung der Kreislaufwirtschaft im Wesentlichen auf die ökologische Dimension fokussiert und einzelne Aspekte der ökonomischen Dimension mit

einbezieht. Soziale Aspekte werden hierbei jedoch gar nicht oder nur nachrangig berücksichtigt. Grundlage für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens sind in der Regel die unternehmerische Freiheit und der wirtschaftliche Wettbewerb – sie geben wichtige Impulse auch für die nachhaltige Entwicklung. Aber auch das Übernehmen von sozialer und gesellschaftlicher Verantwortung kann in Unternehmen ein wesentlicher Innovationsfaktor sein (Bundeskanzleramt, 2020, S. 74).

### 2.3.2 Corporate Social Responsibility

Die freiwillige Einbindung von gesellschaftsverantwortlichen Strategien in das unternehmerische Handeln und das nachhaltige Wirtschaften wird häufig als ‚Corporate Social Responsibility‘ [CSR] bezeichnet. Die DIN ISO 26000 definiert Social Responsibility als „Verantwortung einer Organisation für die Auswirkungen ihrer Entscheidungen und Aktivitäten auf die Gesellschaft und die Umwelt durch transparentes und ethisches Verhalten“ (Deutsches Institut für Normung, 2009b). Doch ein wörtliches Verständnis greift hier zu kurz. CSR bezieht sich nicht allein auf die soziale Verantwortung von Unternehmen, sondern auf die gesamtgesellschaftliche, also auch die ökologische und ökonomische Verantwortung für die Folgen des unternehmerischen Handelns.

*„CSR wird als ein ganzheitliches, alle Nachhaltigkeitsdimensionen integriertes Unternehmenskonzept aufgefasst, mit dem Unternehmen auf freiwilliger Basis soziale Belange und Umweltbelange in ihre Unternehmenstätigkeit und in die Wechselbeziehungen mit Stakeholdern integrieren.“ (Grunwald & Kopfmüller, 2012, S. 185)*

Bereits 1979 stellte Carroll die in Abbildung 8 dargestellte Verantwortungspyramide auf, die vier aufeinander aufbauende Ebenen der Verantwortung umfasst.



Abbildung 8: CSR – Verantwortungspyramide (i.A.a.Carroll, 1979)

Die erste Ebene stellt hier die ökologische Verantwortung eines Unternehmens dar. Darauf baut als zweite Ebene die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben und Bestimmungen auf. Ethische und faire Unternehmenshandlungen bilden die dritte Ebene und das Engagement des Unternehmens für das Gemeinwohl schließt als vierte Ebene das Modell ab. In diesem Modell müssen die ersten beiden Ebenen eingehalten werden, um die Existenz eines Unternehmens zu sichern (gesellschaftlich gefordert). Die dritte Ebene ist nicht zwingend erforderlich, aber notwendig, um gesellschaftlich akzeptiert zu werden (gesellschaftlich erwartet). Die letzte Ebene kann hingegen von Unternehmen freiwillig verfolgt werden (gesellschaftlich gewünscht) (Mesicek, 2016, S. 4).

Ausgehend von diesem Verständnis wechselte in den folgenden Jahren zunehmend der Fokus von der Frage der Verwendung der Gewinne von Unternehmen für soziale Projekte (Corporate Citizenship) hin zur Frage, wie Unternehmen ihre Gewinne erwirtschaften. Ein zeitgemäßes CSR ist dabei keine zusätzliche, wohlthätige Aktivität eines Unternehmens, sondern es geht um das eigentliche Kerngeschäft in der Praxis: Umweltverträglich, ethisch, sozial verantwortlich und zugleich ökonomisch erfolgreich zu wirtschaften.

So hat sich der Ansatz von einer normativen Ansicht über eine strategische Einbindung zur operativen Umsetzung entwickelt (vgl. Mesicek, 2016, S. 4). Unter dieser gemeinsamen Zielsetzung haben sich ca. 15.000 Unternehmen aus mehr als 160 Ländern weltweit, darunter auch mehr als 500 in Deutschland, dem UN Global Compact angeschlossen. Sie verpflichten sich damit dazu, zehn grundlegenden Prinzipien aus dem Bereich der Menschenrechte, der Arbeitsnormen, Umwelt- und Klimaschutz sowie Korruptionsprävention zu folgen (UN Global Compact, 2020). Nach diesen Prinzipien sollen Unternehmen ...

1. den Schutz der internationalen Menschenrechte unterstützen und achten.
2. sicherstellen, dass sie sich nicht an Menschenrechtsverletzungen mitschuldig machen.
3. die Vereinigungsfreiheit und die wirksame Anerkennung des Rechts auf Kollektivverhandlungen wahren.
4. für die Beseitigung aller Formen von Zwangsarbeit eintreten.
5. für die Abschaffung von Kinderarbeit eintreten.
6. für die Beseitigung von Diskriminierung bei Anstellung und Erwerbstätigkeit eintreten.
7. im Umgang mit Umweltproblemen dem Vorsorgeprinzip folgen.
8. Initiativen ergreifen, um größeres Umweltbewusstsein zu fördern.
9. die Entwicklung und Verbreitung umweltfreundlicher Technologien beschleunigen.
10. gegen alle Arten der Korruption eintreten, einschließlich Erpressung und Bestechung.

Der Global Compact versteht sich dabei nicht als zertifizierbarer Standard, sondern als ein offenes Forum mit nationalen Netzwerken, um Veränderungsprozesse und konkrete Lösungsansätze im Sinne der CSR zu entwickeln und anzustoßen. Für die praktische Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung stehen Unternehmen somit vor der Herausforderung, konkrete Ziele bzw. Soll-Zustände hinsichtlich dieser Prinzipien zu definieren und möglichst auch als Kennzahl messbar zu machen. Durch die Analyse, Bewertung und Neu- oder Umgestaltung von Produkten und Prozessen unter Berücksichtigung definierter unternehmens-spezifischer Nachhaltigkeitsziele kann dann die praktische Umsetzung erfolgen (ifaa, 2020, S. 6). Diese Umgestaltung von Produktionsprozessen, der Logistik und dem Lieferkettenmanagement und auch des Personalmanagements verändert auch die Anforderungen an alle Mitarbeiter\*innen in den Unternehmen.

*„Die Arbeitswelt ist ein wichtiger Gestaltungsraum für nachhaltige Entwicklung. Qualifizierte Arbeitnehmer/-innen bilden somit ein unverzichtbares Innovationspotenzial für die Ausrichtung von Unternehmen an Prinzipien nachhaltiger Entwicklung.“ (Deutsche Unesco-Kommission [DUK], 2014, S. 5)*

So ist das Thema der unternehmerischen Nachhaltigkeit auch eng mit einem entsprechenden Bildungsanspruch verbunden.



---

### 3 Nachhaltigkeit als Bildungsziel

Globale Herausforderungen wie der Klimawandel machen deutlich, wie essenziell die Entwicklung der Gesellschaft in Richtung Nachhaltigkeit auf allen Ebenen ist. Bei der Gestaltung dieser ‚Transformation‘ nimmt Bildung eine Schlüsselrolle ein. Dabei geht es einerseits darum, Menschen für die Bewältigung der globalen Nachhaltigkeitsherausforderungen zu befähigen und andererseits darum, den Prozess der nachhaltigen Entwicklung kollektiv voranzubringen. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung [BNE] hat daher das Ziel, sowohl ein Bewusstsein für nachhaltigkeitsrelevante Probleme zu schaffen als auch Menschen konkret dazu zu befähigen, an der nachhaltigen Entwicklung aktiv und verantwortungsbewusst teilzuhaben und diese mitzugestalten (Rieckmann, 2016, S. 90). In der Agenda 21 (Kapitel 2.1) wird die Bedeutung von Bildung als wesentliche Grundlage der nachhaltigen Entwicklung explizit hervorgehoben:

*„[...] Bildung ist eine unerlässliche Voraussetzung für die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung und die Verbesserung der Fähigkeit der Menschen, sich mit Umwelt- und Entwicklungsfragen auseinanderzusetzen. [...] Sowohl die formale als auch die nichtformale Bildung sind unabdingbare Voraussetzungen für die Herbeiführung eines Bewusstseinswandels bei den Menschen, damit sie in der Lage sind, ihre Anliegen in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung abzuschätzen und anzugehen.“ (BMU, 1992, S. 281)*

Dabei ist BNE stets ein integrativer Ansatz, denn sie umfasst (wie die Nachhaltigkeit auch) stets die ökologische, ökonomische und soziale Dimension und berücksichtigt globale und lokale Strukturen und Prozesse (DUK, S. 9).

#### 3.1 Entwicklungslinien einer Bildung für nachhaltige Entwicklung

Lange dominierte im allgemeinen Verständnis von Nachhaltigkeit die ökologische Dimension. Mit dieser Sichtweise auf den Nachhaltigkeitsgedanken wird BNE häufig auch mit Umweltbildung gleichgesetzt, die in Deutschland seit den 1970er Jahren in verschiedenen Bildungsbereichen etabliert und curricular verankert wurde (Stoltenberg & Burandt, 2014, S. 569). Mit zunehmender Globalisierung entstand dann das Konzept des sogenannten ‚globalen Lernens‘, bei dem die Entwicklung von Ländern des globalen Südens, die internationale Gerechtigkeit und Aspekte der Interkulturalität im Mittelpunkt standen (vgl. z.B. Schmidt, 2009, S. 32). Doch BNE unterscheidet sich von der Umweltbildung sowie von der entwicklungspolitischen und interkulturellen Bildung durch einen breiteren und umfassenderen Ansatz, der sowohl ökologische als auch ökonomische und soziale Aspekte gleichermaßen integriert.

International wurde seit 1992 BNE auf politischer Ebene ausgehend von der Agenda 21 vorangetrieben. In annähernd allen Kapiteln der Agenda wird explizit Bezug auf Bildung und Bewusstsein genommen (vgl. BMU, 1992). Nach der UN-Konferenz 2002 in Johannesburg wurde die Dekade „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung 2005-2014“ ausgerufen (DUK, S. 12). Eines der Kernziele dieser Initiative war es, die Implementierung von BNE in allen Bildungsbereichen zu fördern (Stoltenberg & Burandt, 2014, S. 570). In Deutschland erarbeitete die Deutsche UNESCO Kommission [DUK] die ‚Hamburger Erklärung‘, ein Referenzdokument, in dem 2003 erste zentrale Ziele für diese Dekade formuliert wurden:

*„Lehrbücher, Curricula und Prüfungskriterien müssen im Licht der Agenda-21-Ziele überarbeitet werden. Naturwissenschaftliche Kenntnisse, interkulturelle Kompetenz und die Entwicklung umfassender Gestaltungsfähigkeiten sind dabei ebenso wichtig wie die Vermittlung nachhaltiger Konsumgewohnheiten. Bildung für nachhaltige Entwicklung erfordert einen interdisziplinären, handlungsorientierten Unterricht, innovative Konzepte und fächerintegrierende Unterrichtsmaterialien“.* (DUK, 2003, S. 1)

Diese Erklärung war Ausgangspunkt für den „Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung“, den die ständige Kommission der Kultusminister\*innen [KMK] gemeinsam mit dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung 2007 vorstellte. Dieser Orientierungsrahmen wurde Bildungsverantwortlichen als Arbeitshilfe zur Entwicklung von Lehrplänen und schulischen Curricula zur Verfügung gestellt und gibt unter anderem erste übergreifende Bildungsziele und Kompetenzen an, die Schüler\*innen in diesem Lernbereich erreichen sollen (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung [BMZ], 2007). Ein weiterer Meilenstein in der UN-Dekade war die UNESCO-Weltkonferenz zur BNE, die 2009 in Bonn stattfand. Dort wurde von etwa 900 Delegierten und Expert\*innen aus rund 150 Staaten die ‚Bonner Erklärung‘ mit dem Appell, Bildung angesichts der globalen Herausforderungen an den Prinzipien der nachhaltigen Entwicklung auszurichten, beschlossen (UNESCO, 2009). Die in dieser Erklärung formulierten Leitlinien und der enthaltene ‚Aufruf zum Handeln‘ wurden zu den wichtigsten Bezugsgrößen für den ‚Nationalen Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung‘. Der erste Aktionsplan erschien 2005, wurde zunächst 2008 und nach Beschluss der UNESCO-Weltkonferenz die Dekade zur BNE in einem Weltaktionsprogramm, um weitere fünf Jahre fortzuführen, nochmals 2017 aktualisiert (Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung, 2017). Ziel der in diesem Aktionsplan formulierten nationalen Strategien ist es, das Konzept der nachhaltigen Entwicklung in allen Bereichen der Bildung – also auch an Hochschulen - in Deutschland dauerhaft zu verankern.

### **3.2 Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung**

Seit Jahrhunderten sind Hochschulen von streng abgegrenzten Fachdisziplinen und den daraus folgenden fachwissenschaftlich definierten Lehr- und Lernprozessen geprägt. Diese strikten fachsystematischen Strukturen innerhalb der Fakultäten scheinen dem inter- und transdisziplinären Verständnis von BNE oftmals entgegenzustehen (Singer-Brodowski et al., 2019, S. 8). Dabei kommt Hochschulen als formalen Bildungseinrichtungen eine besondere Verantwortung zu:

*„Hochschulen sind als Forschungs- und Bildungseinrichtungen zentral für eine nachhaltige Entwicklung. Durch Forschung und Lehre erarbeiten und vermitteln Hochschulen Wissen, Kenntnisse, Kompetenzen und Werte und bilden Multiplikatorinnen und Multiplikatoren und zukünftige Führungskräfte aus.“* (Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung, 2017, S. 51)

Begleitend zu den politischen und gesellschaftlichen Diskussionen und der Entwicklung der Leitidee einer nachhaltigen Entwicklung (Kapitel 2.1) entstand in den 1980er Jahren die Überlegung, wie Hochschulen zur Umsetzung dieser Leitidee beitragen könnten. 1990 versammelten sich Präsident\*innen und Kanzler\*innen von internationalen Hochschulen in Frankreich und verfassten eine gemeinsame Erklärung, in der sie ihre Besorgnis über das Ausmaß von Umweltverschmutzung und -zerstörung zum Ausdruck bringen und zehn Empfehlungen aussprechen, welche Maßnahmen Hochschulen für eine nachhaltige Entwicklung ergreifen sollten (vgl. University Leaders for a

Sustainable Future, 1990). Diese sogenannte ‚Talloires Declaration‘ ist eine Konsenserklärung, die von 22 Hochschulen sowie internationalen Umweltexpert\*innen aus 15 Nationen sowohl des globalen Nordens als auch des globalen Südens verfasst und unterzeichnet wurde. Inzwischen haben mehr als 500 Hochschulen in 55 Ländern diese Erklärung unterzeichnet. Gleichzeitig stellt sie die Grundlage für eine Vielzahl nachfolgender Erklärungen zur Hochschulbildung für eine nachhaltige Entwicklung dar. Zu nennen ist hier beispielsweise die ‚COPERNICUS Charta‘ der europäischen Konferenz der Hochschulrektor\*innen (CRE-Copernicus, 1994). Dieses Dokument ist eine Selbstverpflichtung von Hochschulen, sich zum Leitbild der nachhaltigen Entwicklung zu bekennen und es in Forschung, Lehre, Transfer und Organisation umzusetzen. Europaweit haben sich mehr als 300 Hochschulen, davon 40 in Deutschland, dieser Charta angeschlossen (Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF], 2004, S. 22). Auch die Technische Universität [TU] Dortmund gehört zu diesen Hochschulen und hat sich dem Aktionsprogramm verpflichtet, das auch Empfehlungen für Forschung, Wissenstransfer und Ökologisierung von Hochschulen enthält.

Im Rahmen der Weltdekade Bildung für nachhaltige Entwicklung beschlossen 2005 die Mitgliedsstaaten der United Nations Economic Commission for Europe [UNECE], BNE in Europa sowohl in den formalen Bildungssystemen zu verankern als auch als Teil eines lebenslangen Lernprozesses zu definieren und zu fördern. Daraus folgte eine explizite Verknüpfung von BNE mit der Hochschulbildung im Rahmen des Bologna-Prozesses:

*„Our contribution to achieving education for all should be based on the principle of sustainable development and be in accordance with the ongoing international work on developing guidelines for quality provision of cross-border higher education.“ (Conference of European Ministers Responsible for Higher Education, 2005, S. 4)*

In Deutschland wurde dieses Ziel im Rahmen einer Erklärung der HRK und der DUK (2010) zur Hochschulbildung für eine nachhaltige Entwicklung bekräftigt. Dabei wurden Empfehlungen für die hochschulischen Kernaufgaben Forschung und Lehre formuliert:

*„In Lehre und Studium sowie der Weiterbildung sollten die Hochschulen bei ihren Studierenden Wissen und Kompetenzen fördern, die es ihnen ermöglichen, die Probleme nachhaltiger Entwicklung in den interdisziplinären Zusammenhängen zu erkennen und zu beurteilen, um in ihren Disziplinen und beruflichen Arbeitszusammenhängen informiert und verantwortlich handeln zu können.“ (HRK & DUK, 2010, S. 3)*

Trotz aller Initiativen und Bekräftigungen konnte das Thema Nachhaltigkeit an deutschen Hochschulen aber weiterhin kaum etabliert werden. Im Jahr 2006 wurden im Rahmen einer Totalerhebung an allen 337 deutschen Universitäten und Fachhochschulen erstmals die Studienmöglichkeiten im Kontext von Nachhaltigkeitswissenschaften erfasst. Diese Erhebung wurde seither kontinuierlich fortgeführt (Haan, 2011). Von insgesamt ca. 14.000 Studiengängen in Deutschland konnten etwa 120 ausdrückliche Nachhaltigkeits-Studiengänge und 175 Studiengänge mit nachhaltigkeitsbezogenen Schwerpunkten identifiziert werden. Dies entspricht zusammen einem Anteil von lediglich etwa 2% (Haan, 2011, S. 3).

Im Mai 2021 fand aufgrund der COVID-19 Pandemie die erste digitale UNESCO Weltkonferenz zur Bildung für nachhaltige Entwicklung unter dem Titel ‚Learn for Our Planet. Act for sustainability‘ statt. Unter Leitung des deutschen Bundesministeriums für Bildung und Forschung bildete die Konferenz den offiziellen Auftakt der ‚Dekade des Handelns‘ und des UNESCO-Programms ‚Bildung für nachhaltige Entwicklung: Die globalen Nachhaltigkeitsziele verwirklichen‘ (UNESCO, 2020). Es

nahmen mehr als 2.500 Regierungsvertreter\*innen, Delegierte internationaler und zwischenstaatlicher Organisationen und Nichtregierungsorganisationen sowie Vertreter\*innen der Zivilgesellschaft, Jugend, Wissenschaft, Wirtschaft und aller Bereichen des Lehrens und Lernens aus mehr als 130 Ländern teil. Zum Abschluss dieser Konferenz verpflichteten sie sich alle in der ‚Berliner Erklärung‘ dazu, BNE im Rahmen ihrer Positionen und Einflussmöglichkeiten in ihren Bildungssystemen zu verankern:

*„Im Rahmen unseres jeweiligen Mandats und Zuständigkeitsbereichs und unter Berücksichtigung unserer Bedürfnisse, Kapazitäten, verfügbaren Ressourcen und nationalen Prioritäten verpflichten wir uns, [...] BNE in alle Bildungs- und Ausbildungsbereiche von der frühkindlichen Bildung bis zur Hochschul- und Erwachsenenbildung einschließlich der beruflichen Bildung sowie in die non-formale Bildung und das informelle Lernen aufzunehmen, so dass allen Bürgerinnen und Bürgern während des gesamten Lebens und in allen Lebensbereichen Bildungsangebote für eine nachhaltige Entwicklung zur Verfügung stehen.“*  
(UNESCO, 2021a)

Inwieweit diese Selbstverpflichtung zukünftig Berücksichtigung in den Hochschulgesetzen und Leitbildern von Hochschulen findet und daraus auch konkrete Maßnahmen in Hochschulen entstehen, bleibt abzuwarten. Genauso fehlt weiterhin die Berücksichtigung von BNE in den Curricula. Bisher gilt somit weiterhin, dass „die formale Verankerung von Nachhaltigkeit und BNE in Forschung und Lehre aus den Strukturen der Hochschulen selbst noch ausbaufähig ist.“ (Holst & Seggern, 2020, S. 11)

Wenn Hochschulen nicht so weit gehen, gesamte Studiengänge am Thema Nachhaltigkeit auszurichten, so wäre zumindest eine breite Integration in und Verknüpfung mit fachwissenschaftlichen Lerninhalten zielführend. Um dies zu erreichen sind innovative Lehr- und Lernkonzepte, vor allem aber zunächst eine (Neu-) Ausrichtung auf nachhaltigkeitsorientierte Bildungsziele wesentlich.

### 3.3 Nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen als Bildungsziel

Neben den beschriebenen politischen Anstrengungen haben sich ausgehend von der Agenda 21 auch unterschiedliche Diskurse hinsichtlich der Zieldimensionen von BNE entwickelt. Unter der gemeinsamen Absicht eine nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft zu fördern, konnten zwei Entwicklungslinien, der ‚*instrumental approach*‘ und der ‚*emancipatory approach*‘, identifiziert werden (vgl. u.a. Vare & Scott, 2007). Der instrumentelle Ansatz geht davon aus, dass es definierte Verhaltensweisen gibt, die eindeutig mit einer nachhaltigen Entwicklung in Verbindung stehen. Ziel von BNE ist es dann, mit Nachhaltigkeit verbundene Werte zu vermitteln und die in diesem Sinne richtigen Verhaltensweisen zu fördern. Von BNE wird so ein unmittelbarer Beitrag zu einer nachhaltigen Lebens- und Arbeitsweise erwartet (Rieckmann, 2016, S. 90). Beim emanzipatorischen Ansatz geht es hingegen weniger um die Vermittlung von Denk- und Verhaltensweisen, sondern viel mehr um die Anregung zur kritischen Auseinandersetzung. Menschen sollen lernen, selbst über Fragen und Probleme einer nachhaltigen Entwicklung nachzudenken und in der Komplexität, den eventuell auftretenden Widersprüchen und Unsicherheiten eigene Antworten und Werte zu entwickeln und begründet individuelle Entscheidungen zu treffen (Rieckmann, 2016, S. 91). Zusammenfassend steht der instrumentelle Ansatz für ein ‚Lernen **für** nachhaltige Entwicklung‘ und dem gegenüber der emanzipatorische Ansatz für ein ‚Lernen **als** nachhaltige Entwicklung‘ (Vare & Scott, 2007, S. 193). Aus didaktischer Perspektive wird in der Regel der emanzipatorische Ansatz favorisiert (vgl. z.B.

Haan, 2008 sowie Künzli David, 2007 und Vare & Scott, 2007). Es gehe vielmehr um die Eröffnung von Möglichkeiten und nicht darum, „zu einem vermeintlich nachhaltigkeitskonformen Verhalten zu erziehen“ (Rieckmann, 2016, S. 92). Damit steht der emanzipatorische Ansatz für die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen zur aktiven Gestaltung des Prozesses einer nachhaltigen Entwicklung als zentrales Bildungsziel der BNE. Voraussetzung dafür ist die Förderung eines ‚Nachhaltigkeitsbewusstseins‘ als „normative Nachhaltigkeitseinstellung (z.B. in Form positiver Werte und Überzeugungen zur Nachhaltigkeit) sowie die konkrete Verhaltensintention nachhaltigkeitsorientiert handeln zu wollen“ (Schütt-Sayed, 2020, S. 91). Die Absicht der Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen setzt voraus, dass BNE nicht zu einem Verhaltenskodex mit zugeschriebenen richtigen und falschen Handlungen führen soll. Es geht vielmehr um eine Befähigung zur kreativen Suche nach der individuell besten Lösung mit dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung (das Können) und um eine Werteorientierung und Motivation (das Wollen) (Stoltenberg & Burandt, 2014, S. 568).

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Beschreibungsansätzen und Modellen nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen auf unterschiedlichen Konkretisierungsstufen. Viele dieser Modelle beziehen sich auf den internationalen Referenzrahmen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung [OECD]. Hier werden sogenannte Schlüsselkompetenzen definiert, die zum persönlichen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wohlergehen beitragen (vgl. Rychen, 2008). Diese Schlüsselkompetenzen werden in drei Kategorien eingeteilt (OECD, 2005):

1. *interaktive Anwendung von Medien und Tools*

Diese Kategorie bezieht sich auf die Interaktion mit der Umwelt mittels Informationstechnologien (z.B. Computer) und sozio-kultureller Medien (z.B. Sprache als Kommunikationsmittel). Dies setzt nicht nur das Vorhandensein von technischen Kenntnissen und Fähigkeiten voraus, sondern auch ein Verständnis dafür, wie das jeweilige Medium die Interaktion mit der Umwelt beeinflussen kann.

2. *Interagieren in (sozial) heterogenen Gruppen*

Diese Kategorie umfasst beispielsweise die Fähigkeit, mit Konflikten konstruktiv umzugehen oder in Teams zu arbeiten und zielt somit auf das Zusammenleben in einer multikulturellen, pluralistischen Gesellschaft und die Auseinandersetzung mit sozialer Vielfalt.

3. *autonome Handlungs- und Gestaltungsfähigkeit, eigenständiges Handeln*

Diese Kategorie bezieht sich auf das eigenständige und verantwortungsvolle Handeln in verschiedenen Lebensbereichen und die aktive Mitgestaltung der wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Umwelt.

Insgesamt gilt dieser Referenzrahmen als „international anschlussfähig und zugleich von hoher bildungspolitischer Relevanz“ (Haan, 2008, S. 30). Jedoch stehen nicht die einzelnen Kompetenzen, sondern vielmehr die Verknüpfungen der drei Kategorien im Fokus dieses Referenzrahmens. Es werden Schlüsselkompetenzen formuliert, die allgemein als multifunktionale und kontextübergreifende Kompetenzen gelten und sich daher nicht unmittelbar auf Nachhaltigkeit beziehen. Ein einheitliches, auf BNE bezogenes Kompetenzkonzept kann somit nicht unmittelbar abgeleitet werden. Zur Beschreibung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen wurde im deutschsprachigen Raum daher auf Basis dieses Referenzrahmens das Modell der Gestaltungskompetenz konkretisiert (Grundmann, 2017, S. 29).

### 3.3.1 Modell der Gestaltungskompetenz

Mit dem Modell der Gestaltungskompetenz sollen die Kompetenzen zusammengeführt werden, die zur Mitgestaltung und Teilhabe an einer nachhaltigen Entwicklung erforderlich sind. Mit diesem Modell wurden im Rahmen eines Schulmodellprogramms Teilkompetenzen und Qualitätskriterien für BNE formuliert und in Form von Lerngegenständen und -zielen für den mittleren Bildungsabschluss (Sekundarstufe I) konkretisiert.

*„Mit Gestaltungskompetenz wird die Fähigkeit bezeichnet, Wissen über nachhaltige Entwicklung anwenden und Probleme nicht nachhaltiger Entwicklung erkennen zu können. Das heißt, aus Gegenwartsanalysen und Zukunftsstudien Schlussfolgerungen über ökologische, ökonomische und soziale Entwicklungen in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit ziehen und darauf basierende Entscheidungen treffen, verstehen und individuell, gemeinschaftlich und politisch umsetzen zu können, mit denen sich nachhaltige Entwicklungsprozesse verwirklichen lassen.“ (Haan, 2008, S. 31)*

Dieses sehr umfassende Gesamtbild der Gestaltungskompetenz wurde in zwölf Teilkompetenzen differenziert. Diese Teilkompetenzen wurden aus der Nachhaltigkeitswissenschaft sowie aus der sozialen Praxis und der Zukunftsforschung abgeleitet (Haan, 2009, S. 12). In Tabelle 2 werden diese Teilkompetenzen zusammengefasst und den drei Kategorien des Referenzrahmens der OECD zugeordnet.

Tabelle 2: Teilkompetenzen der Gestaltungskompetenz (i.A.a. Haan, 2009)

Interaktive Verwendung von Medien und Tools (T)	T.1 - Kompetenz zur Perspektivübernahme: Weltoffen und neue Perspektiven integrierend Wissen aufbauen
	T.2 - Kompetenz zur Antizipation: Vorausschauend Entwicklungen analysieren und beurteilen können
	T.3 - Kompetenz zur disziplinenübergreifenden Erkenntnisgewinnung: Interdisziplinär Erkenntnisse gewinnen und handeln
	T.4 - Kompetenz zum Umgang mit unvollständigen und überkomplexen Informationen: Risiken, Gefahren und Unsicherheiten erkennen und abwägen können
Interagieren in heterogenen Gruppen (G)	G.1 - Kompetenz zur Kooperation: Gemeinsam mit anderen planen und handeln können
	G.2 - Kompetenz zur Bewältigung individueller Entscheidungsdilemmata: Zielkonflikte bei der Reflexion über Handlungsstrategien berücksichtigen können
	G.3 - Kompetenz zur Partizipation: An kollektiven Entscheidungsprozessen teilhaben können
	G.4 - Kompetenz zur Motivation: Sich und andere motivieren können, aktiv zu werden
Eigenständiges Handeln (E)	E.1 - Kompetenz zur Reflexion auf Leitbilder: Die eigenen Leitbilder und die anderer reflektieren können
	E.2 - Kompetenz zum moralischen Handeln: Vorstellungen von Gerechtigkeit als Entscheidungs- und Handlungsgrundlage nutzen können
	E.3 - Kompetenz zum eigenständigen Handeln: Selbständig planen und handeln können
	E.4 - Kompetenz zur Unterstützung anderer: Empathie für andere zeigen können

Für jede dieser zwölf Teilkompetenzen wurden außerdem konkrete Zielsetzungen formuliert. Beispielsweise sollen Schüler\*innen mit dem mittleren Schulabschluss im Bereich ‚E.1 - Kompetenz zur Reflexion auf Leitbilder‘ die folgenden Lernziele erreichen:

„Die Schülerinnen und Schüler...

- ... beschreiben Lebensweisen, welche einen nachhaltigen Konsum, eine umwelt- und sozial verträgliche Mobilität und Freizeitgestaltung sowie die Gesundheit sichern und befördern (E.1.1).
- ... kennen und erörtern Kriterien der Produktion und des Kaufs von Produkten unter ökologischen, ökonomischen und sozialen Gesichtspunkten (E.1.2).
- ... ermitteln und beurteilen die Hintergründe, Formen und Auswirkungen des eigenen Lebensstils und des Lebensstils anderer Personen sowie Gesellschaften auf die Lebens- und Arbeitssituation anderer Menschen sowie auf die Biosphäre (E.1.3).“ (Haan et al., 2008, S. 241)

Im Rahmen des Modells der Gestaltungskompetenz wird BNE als „Handlungsfeld“ (Haan, 2009, S. 7) bezeichnet, um zu verdeutlichen, dass es sich nicht einem einzelnen Unterrichtsfach zuordnen lässt, sondern eher fächerübergreifend zu verstehen ist. Die beschriebenen Kompetenzen sind von allgemeiner und grundlegender Bedeutung für die schulische Bildung, jedoch gehen sie in dieser Form auch nicht über den allgemeinbildenden Bereich hinaus und bleiben, auch mit den formulierten Lernzielen, zu unspezifisch für den Bezug auf einen beruflichen Kontext und die hochschulische Bildung. Darüber hinaus wird häufig kritisiert, dass im Konstrukt der Gestaltungskompetenz nicht geklärt ist, wie sich die Teilkompetenzen zueinander verhalten, also „ob sie zusammenwirken oder kompensatorisch sind“ (Braßler, 2018, S. 88).

### 3.3.2 BNE-Kompetenzmodelle in der hochschulischen Bildung

Allgemeine Bildungsziele wie die Gestaltungskompetenz sind im Bereich der Sekundarstufe angemessen, jedoch scheint insbesondere für den hochschulischen Bereich eine stärkere Differenzierung sinnvoll. Mit dem Erheben, Ableiten und Beschreiben von Kompetenzen im Handlungsfeld der nachhaltigen Entwicklung in der hochschulischen Bildung hat sich in den vergangenen Jahren daher eine Vielzahl von Autor\*innen befasst (vgl. z.B. Crofton, 2000; Barth et al., 2007; Rowe, 2007; Shephard, 2008; Svanström et al., 2008 sowie Willard et al., 2010 und Wiek et al., 2011). Es wurden unterschiedlichste Kompetenzen, die zukünftige Fach- und Führungskräfte benötigen, um zu einer Transformation in Richtung Nachhaltigkeit beizutragen, benannt und skizziert. Im Detail zeigen sich zwar Unterschiede, jedoch gleichen sich die Beschreibungen auch in vielen Aspekten. Im Rahmen einer Synthese dieser verschiedenen Kompetenzmodelle konnten acht Kompetenzen identifiziert werden, die nach allgemeinem Verständnis von besonderer Bedeutung für das Denken und Handeln im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sind (Leicht et al., 2018, S. 44):

- *Systemdenken*  
die Fähigkeit, Zusammenhänge zu erkennen und zu erfassen, komplexe Systeme zu analysieren, die Einbettung dieser Systeme in verschiedene Domänen wahrzunehmen und mit Unsicherheit umzugehen
- *antizipatorische Kompetenz*  
die Fähigkeit, Zukunftsvisionen zu verstehen und zu bewerten und eigene Zukunftsvisionen

zu entwerfen, Folgen von Handlungen abzuschätzen und mit Risiken und Veränderungen umzugehen

- *normative Kompetenz*  
die Fähigkeit, Normen im eigenen Handeln zu erkennen, zu verstehen und zu reflektieren und Nachhaltigkeitswerte, -prinzipien, -ziele und -vorgaben in einem Kontext von Interessenkonflikten, Kompromissen und Widersprüchen auszuhandeln
- *strategische Kompetenz*  
die Fähigkeit, innovative Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen, die die Nachhaltigkeit auf lokaler und globaler Ebene fördern
- *Kollaborationskompetenz*  
die Fähigkeit, von anderen zu lernen und die Bedürfnisse, Perspektiven und Handlungen anderer zu verstehen und zu respektieren (Empathie), mit Konflikten in einer Gruppe umzugehen und kollaborative und partizipative Problemlösungen zu entwickeln
- *kritisches Denken*  
die Fähigkeit, Normen, Haltungen und Meinungen zu hinterfragen, die eigenen Werte, Wahrnehmungen und Handlungen zu reflektieren und eine begründete Meinung in den Nachhaltigkeitsdiskurs einzubringen
- *Selbsterkenntnis*  
die Fähigkeit, die eigene Rolle in der Gesellschaft und globalen Gemeinschaft zu reflektieren, das eigene Handeln kontinuierlich zu hinterfragen und mit den eigenen Gefühlen und Wünschen umzugehen
- *Problemlösungskompetenz*  
die Fähigkeit, verschiedene Problemlösungsansätze für komplexe Nachhaltigkeitsprobleme herzuleiten, anzuwenden und tragfähige, inklusive und gerechte Lösungen zu entwickeln, die eine nachhaltige Entwicklung fördern

Es wird deutlich, dass es sich hierbei um Kompetenzen handelt, die für das Realisieren einer nachhaltigen Entwicklung wesentlich, bisher jedoch nicht oder nur selten explizit Teil der formalen Ausbildung an Hochschulen sind. Im Vergleich zum Modell der Gestaltungskompetenz (Kapitel 3.3.1) erscheinen diese Kompetenzen zwar komplexer und eher einem hochschulischen Bildungsanspruch angemessen, dennoch bleiben auch sie auf der Ebene überfachlicher Schlüsselkompetenzen, die nicht unmittelbar mit einem konkreten beruflichen Handlungsfeld in Verbindung stehen. Auch hier besteht weiterhin die Kritik, dass sich der Versuch Kompetenzen als ‚didaktische Orientierungspunkte‘ zu bestimmen darauf beschränkt allgemeine Inhaltsdimensionen mit begrenzter Praxisrelevanz und -wirksamkeit zu beschreiben (vgl. Kastrup, 2013, S. 4).

Stärker auf konkrete fachliche und berufliche Handlungen bezogen ist das ‚Kompetenzprofil Nachhaltigkeit‘. Es wurde mit Hilfe von Beauftragten für BNE verschiedener Fakultäten der Hochschule München entwickelt. Dabei wurde das Verfahrenssystem ‚KompetenzDiagnostik und -Entwicklung‘ eingesetzt. Es basiert auf dem Kompetenzmodell von Erpenbeck und Heyse (2007, S. 159), in dem die Kompetenzklassen der Fach- und Methodenkompetenz, der sozial-kommunikativen Kompetenzen, der personalen Kompetenzen sowie der Aktivitäts- und Handlungskompetenzen unterschieden werden. 150 Personen aus den Bereichen der Personalführung, Erwachsenenbildung und



Lernpsychologie erhielten die Aufgabe etwa 300 kompetenzerfassende Begriffe (wie beispielsweise ergebnisorientiertes Handeln, Verhandlungsgeschick, Loyalität etc.) diesen Kompetenzklassen zuzuordnen. Entsprechend der Häufigkeit der Zuordnung wurden 64 kompetenzerfassende Begriffe als Kompetenzatlas in KODE zusammengestellt (vgl. Erpenbeck, 2007). Diese Begriffe wurden anschließend von den Beauftragten für BNE der Hochschule München hinsichtlich ihrer Bedeutung im (Berufs-) Leben für eine nachhaltige Entwicklung bewertet (Zinn, 2013, S. 134). So konnten die in Tabelle 3 dargestellten fünf Kernkompetenzen identifiziert werden, die von allen BNE-Beauftragten als besonders wichtig eingeschätzt wurden.

Tabelle 3: Kompetenzprofil Nachhaltigkeit der Hochschule München (i.A.a. Zinn, 2013)

<b>Ganzheitliches Denken</b>	<i>(Personale Kompetenz / Fach- und Methodenkompetenz)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Person bedenkt nicht nur fachlich-methodische Details der eigenen Arbeit, sondern auch deren umfassende Inhalte und Zusammenhänge</li> <li>• sie berücksichtigt nicht nur die im engeren Sinne fachlichen, sondern auch die ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Wechselbeziehungen des eigenen Handelns</li> </ul>	
<b>Folgebewusstsein</b>	<i>(Fach- und Methodenkompetenz / Sozialkompetenz)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Person besitzt ein hohes Maß an fachlichem und methodischem Wissen über wirkende Ursache-Folge-Beziehungen</li> <li>• sie ist sich der Folgen des Handelns und der Entscheidungen bewusst und fühlt sich dafür verantwortlich</li> </ul>	
<b>Fachübergreifende Kenntnisse</b>	<i>(Fach- und Methodenkompetenz)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Person verfügt über Kenntnisse, die über ihr Fach-/Spezialgebiet hinausgehen</li> <li>• sie nutzt aktiv verschiedene Möglichkeiten, die eigenen Kenntnisse zu erweitern</li> </ul>	
<b>Problemlösefähigkeit</b>	<i>(Sozialkompetenz / Aktivitäts- und Handlungskompetenz)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Person ist fähig, Kommunikations- und Leitungsstrukturen entsprechend dem erkannten Problem effektiv zu nutzen</li> <li>• sie initiiert Maßnahmen zur Lösung problematischer Situationen und bringt diese aktiv voran</li> </ul>	
<b>Analytische Fähigkeit</b>	<i>(Fach- und Methodenkompetenz / Personale Kompetenz)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Person besitzt eine rasche Auffassungsgabe, beherrscht Methoden des abstrakten Denkens und kann sich klar ausdrücken</li> <li>• sie kann Wesentliches von Unwesentlichem unterscheiden, die Informationsflut verdichten, Sachverhalte schnell auf den Punkt bringen, Tendenzen und Zusammenhänge erkennen und richtige Schlüsse und Strategien daraus ableiten</li> </ul>	

Auch wenn sich dieses Profil grundsätzlich an beruflichen Handlungen orientiert, ist es naheliegend, dass Kompetenzen nicht für alle Zielgruppen und alle Lernkontexte gleichermaßen formuliert werden können. Mit der Absicht, die domänen- bzw. berufsspezifische Gültigkeit solcher Kompetenzbeschreibungen zu schärfen, wurden aufbauend auf diese Modelle und Konzepte auch Kompetenzmodelle mit konkretem Bezug auf die Ingenieurwissenschaften und die hochschulische Ausbildung von Ingenieur\*innen entwickelt.

Eine erste Initiative zur Definition entsprechender nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen, die im ingenieurwissenschaftlichen Studium gefördert werden sollten, ist die sogenannte ‚Declaration of Barcelona‘, die 2004 im Rahmen der Konferenz zur Engineering Education for Sustainable Development verabschiedet wurde. Dabei wurden Kompetenzen formuliert, die in weiten Teilen mit den BNE-Kompetenzen übereinstimmen, die allgemein für die Hochschulbildung identifiziert wurden (unter anderem finden sich Analogien zum Systemdenken, dem kritischen Denken, den strategischen Kompetenzen und den Kollaborationskompetenzen). Ergänzt werden sie beispielsweise durch die Fähigkeit, in der ingenieurwissenschaftlichen Arbeit kulturelle und politische Kontexte zu berücksichtigen:

„Today’s engineers must be able to:

- *Understand how their work interacts with society and the environment, locally and globally, in order to identify potential challenges, risks, and impacts.*
- *Understand the contribution of their work in different cultural, social, and political contexts and take those differences into account.*
- *Work in multidisciplinary teams, in order to adapt current technology to the demands imposed by sustainable lifestyles, resource efficiency, pollution prevention and waste management.*
- *Apply a holistic and systemic approach to solving problems and the ability to move beyond the tradition of breaking reality down into disconnected parts.*
- *Participate actively in the discussion and definition of economic, social and technological policies, to help redirect society towards more sustainable development.*
- *Apply professional knowledge according to deontological principles and universal values and ethics.*
- *Listen closely to the demands of citizens and other stakeholders and let them have a say in the development of new technologies and infrastructures.” (Engineering Education in Sustainable Development [EESD], 2004)*

Diese Kompetenzliste zeichnet sich jedoch nicht durch einen besonders engen und direkten Bezug auf das Berufsfeld von zukünftigen Ingenieur\*innen aus. Die formulierten Fähigkeiten unterscheiden sich nur wenig von allgemeinen Schlüsselkompetenzen und bleiben damit weitgehend auf der Ebene kontextübergreifender Dispositionen, statt domänenspezifische Kompetenzen zu definieren.

Einen konkreteren Ansatz liefert Segalàs (2009b), der im Rahmen von Fallstudien an der Technischen Universität Delft (Niederlande), der Chalmers University of Technology (Schweden) und der Technischen Universität von Katalonien (Spanien) Kompetenzen von Studierenden analysierte. Dabei ließ er Lehrende, Studiengangskoordinator\*innen, Studierende und andere Personen aus der Bildungsorganisation der Hochschulen beschreiben, welche Kompetenzen in Bezug auf das Thema Nachhaltigkeit für Ingenieur\*innen relevant sind. Dabei wurden drei Ebenen unterschieden:

1. *Wissen und Verstehen*  
theoretisches Wissen und Verständnis über ein akademisches Feld
2. *Fertigkeiten und Fähigkeiten*  
praktische und operative Anwendungen von Wissen auf konkrete Situationen

### 3. Einstellungen

Werte als integraler Bestandteil der Art, andere in einem sozialen Kontext wahrzunehmen und mit ihnen zu interagieren

Es wurden relevante Schlüsselworte in den Beschreibungen identifiziert und anhand der analysierten Überschneidungen und Gemeinsamkeiten der in Tabelle 4 zusammengefasste Katalog nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen erstellt.

Tabelle 4: Nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen von Ingenieur\*innen (i.A.a. Segalàs, 2009a, S. 125)

Kenntnisse & Verständnis	Fertigkeiten & Fähigkeiten	Einstellungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zur aktuellen Situation in der Welt</li> <li>• zu Ursachen von Nicht-Nachhaltigkeit</li> <li>• über Grundlagen der Nachhaltigkeit</li> <li>• zu Wissenschaft, Technik und Gesellschaft</li> <li>• über Werkzeuge und nachhaltige Techniken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• selbstorganisiertes-Lernen</li> <li>• Kooperation, Trans- und Interdisziplinarität</li> <li>• Problemlösungsfähigkeit</li> <li>• systemisches Denken</li> <li>• kritisches Denken</li> <li>• soziale Interaktionsfähigkeit, Sozialkompetenz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verantwortung und Engagement</li> <li>• Respekt, ethischer Sinn und Friedenskultur</li> <li>• Vorsicht, Risikobewusstsein und Risikobereitschaft</li> </ul>

Insgesamt wird deutlich, dass auch dieser Kompetenzkatalog trotz des direkten Bezugs auf die Ingenieurwissenschaften weiterhin überwiegend fachunabhängige (Schlüssel-) Kompetenzen umfasst. Dies bietet zwar einen ersten Rahmen für die Konzeption entsprechender Lernszenarien, jedoch bleibt der Bedarf einer weitergehenden Definition von fachspezifischen Kompetenzen im Handlungsfeld der nachhaltigen Entwicklung.

*„Nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen sind damit nicht allgemein, sondern domänenabhängig an konkrete berufliche Handlungen und Tätigkeitsfelder geknüpft und werden als integraler Teil beruflicher Handlungskompetenz verstanden.“ (DUK, 2014, S. 3)*

Die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter, fachübergreifender Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Studium setzt somit auch das Vorhandensein gut ausgeprägter fachbezogener Kompetenzen voraus (Klieme et al., 2007, S. 75). Dabei besteht kein Zweifel, dass beide Formen im Rahmen einer hochschulischen Ausbildung zukünftiger Ingenieur\*innen gleichermaßen und unmittelbar miteinander verknüpft gefördert werden sollten.

---

## 4 Hochschulische Ausbildung von Ingenieur\*innen

Der allgemeine Trend zu mehr Effizienz, Effektivität und einem höheren Innovationsgrad prägt auch die Ausbildung von zukünftigen Ingenieur\*innen. Darüber hinaus nimmt die Arbeit von Ingenieur\*innen aber auch eine Schlüsselrolle bei der Bewältigung globaler Herausforderungen für Öko-, Sozial- und Wirtschaftssysteme ein. Zu diesen Herausforderungen zählen unter anderem die Versorgung mit Energie und Wasser, Transport, Mobilität und Infrastruktur sowie die Bewältigung des Klimawandels (vgl. z.B. UNESCO, 2010, S. 5). Zukünftige Ingenieur\*innen prägen entscheidend den technologischen Fortschritt und können so die Folgen der Globalisierung maßgeblich mitgestalten. Aus diesem Grund gewinnt neben innovativen und effizienten Problemlösungen insbesondere die verantwortungsvolle Entwicklung technischer Konzepte für die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung an Bedeutung (Kreutzer et al., 2020, S. 219).

Die inhaltliche bzw. curriculare Ausgestaltung der Studiengänge im Bereich des Maschinenbaus orientiert sich allgemein an typischen technischen Berufs- und Arbeitsfeldern von Ingenieur\*innen. Hier werden im Bereich der Produktionstechnik insbesondere die Entwicklung, die Konstruktion, die Produktionsplanung und die Arbeitsvorbereitung genannt (vgl. Technische Universität Dortmund, o.J., S. 36). Diese Arbeitsfelder zählen zum Bereich der Produktentstehung, die als Prozess der ganzheitlichen Planung und prototypischen Realisierung neuer technischer Systeme die zentrale Aufgabe bzw. das Haupttätigkeitsfeld von Ingenieur\*innen darstellt (vgl. z.B. DFG, 2004 und Skolaut, 2018). Studierende sollen daher lernen, neue Produkte zu entwickeln und bestehende Produkte vor allem technisch, aber auch betriebswirtschaftlich und hinsichtlich der Zielsetzung einer nachhaltigen Entwicklung zu optimieren.

### 4.1 Produktentstehungsprozess als Berufsfeld von Ingenieur\*innen

In der betrieblichen Praxis erfolgen die Entwicklung und die industrielle Herstellung von Produkten in der Regel arbeitsteilig. Die Produktentstehung besteht aus aufeinander folgenden Arbeitsschritten, die allgemein als (Teil-) Prozesse bezeichnet werden. Ein einheitliches Verständnis über die Reichweite und die Teilprozesse des Produktentstehungsprozesses [PEP] existiert bisher nicht. In einer frühen Beschreibung des PEP werden beispielsweise die zeitlich aufeinander folgenden Arbeitsschritte Produktplanung, Produktentwicklung und Produktgestaltung unterschieden (vgl. z.B. Opitz, 1971, S. 17). Andere Systematiken konzentrieren den PEP auf den Bereich der Konstruktion und damit den Bereich der Produktentwicklung, da diese als zentrales Element der Wertschöpfung gilt (Feldhusen et al., 2013, S. 5). Hier werden das Festlegen des ‚Was‘ (Definition der Funktionen des Produktes und Spezifikation), des ‚Wie‘ (Entwickeln von Bauteilen und Baugruppen sowie Bestimmung der Materialien) und des ‚Womit‘ (systematische und methodische Festlegung der Lösung) als Phasen der Produktentwicklung unterschieden (Feldhusen et al., 2013, S. 292). Eine Erweiterung der Produktentstehung um die Phasen der Produktherstellung erfolgt unter anderem in der VDI-Richtlinie 2221, in der als Phasen des PEP sowohl die Planung, Entwicklung und Konstruktion als auch die Fertigung und Montage genannt werden (Verein Deutscher Ingenieure, 1993, S. 8). Noch weiter greift eine Beschreibung des PEP sogar als „der gesamte Prozess, der abläuft, bis ein Produkt genutzt wird“ (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 1).

Es wird deutlich, dass es eine Vielzahl von Konzepten und unterschiedlichen Verständnissen gibt, welche Phasen oder Teilprozesse zur Produktentstehung gehören (vgl. dazu auch Burr, 2008). Gelegentlich werden dabei die Bezeichnung der Produktentwicklung und der Produktentstehung synonym verwendet, gleichzeitig erfolgen auch verschiedenste Abgrenzungen dieser Abschnitte zueinander. Zur Eingrenzung des Betrachtungsbereichs folgt die vorliegende Arbeit dem Verständnis, wonach die Entstehung eines Produktes, wie in Abbildung 9 dargestellt, sowohl die Produktentwicklung als auch die Produktherstellung umfasst. Dies entspricht somit den Prozessen im Lebenszyklus eines Produktes von der Produktidee bis zum vollständigen, realen Produkt.

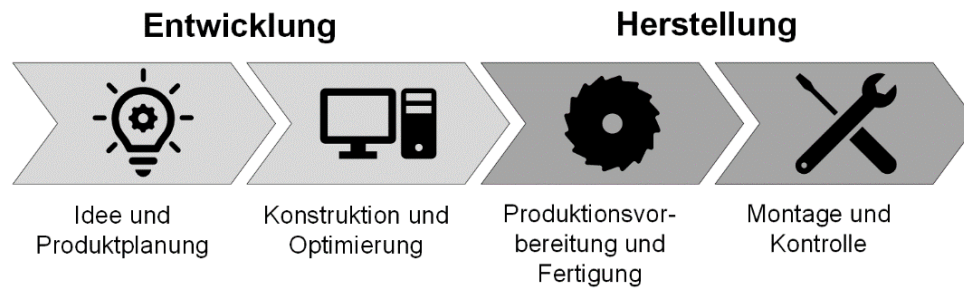


Abbildung 9: Phasen im Produktentstehungsprozess

#### 4.1.1 Produktentwicklung

Die Produktentwicklung umfasst den ersten Abschnitt im PEP, der von der initiativen Idee bis zur abschließenden Festlegung der Eigenschaften eines produzierbaren und funktionsfähigen Produktes reicht. In produzierenden Unternehmen stellen diese Phasen in der Regel einen wesentlichen Wertschöpfungsfaktor dar (WiGeP, 2014, S. 75). Dabei erfolgt im Rahmen der Produktplanung zunächst die Klärung der Funktionen und Eigenschaften des zu entwickelnden Produktes. In einem zweiten Schritt schließt sich die Konstruktion des Produktes und damit die Festlegung der konkreten Lösung bzw. Realisierung an.

Innovative Produkte zeichnen sich durch einen hohen Neuigkeitsgrad aus, der über das Etablierte und Bekannte hinausgeht (Grote et al., 2014, S. 1). Zuerst ist daher zu klären, ob in der Produktentwicklung radikale und risikoreiche neue Ideen erwünscht sind oder bestehende Lösungen überarbeitet werden sollen (Skolaut, 2018, S. 798). Dabei können verschiedene Stufen der Neuheit eines Produktes unterschieden werden (Feldhusen et al., 2013, S. 293):

- *Wiederholung*  
in Form einer erneuten Fertigung eines bereits bekannten und gefertigten Produktes
- *Variante*  
als Anpassung von beispielsweise der Größe und/ oder der Anordnung von Komponenten in einem bekannten Produkt
- *Anpassung*  
durch eine veränderte Gestaltung des Produktes bei einem gleichbleibenden grundsätzlichen Lösungsprinzip

- *Innovation*  
als vollkommen neue Lösung oder eine neue Kombination von bekannten Lösungsprinzipien

Häufig basieren Produktentwicklungen auf intuitiven Ideen, ohne dass dabei ein systematisches Vorgehen zugrunde liegt. Es existiert keine Methode, deren Anwendung das erfolgreiche Generieren von Produktideen garantiert. Dieser Prozess kann aber zum Beispiel durch Kreativitätstechniken unterstützt werden. Mit zunehmendem Wettbewerbsdruck steigt der Bedarf, bei der Entwicklung von Produktideen eine Struktur oder Systematik zu finden, um das Risiko einer Fehlentwicklung zu reduzieren (Feldhusen et al., 2013, S. 301). Eine solche strategische und organisatorische Systematik wird als Produktplanung bezeichnet und umfasst „die systematische Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produktideen und deren weitere Verfolgung“ (Verein Deutscher Ingenieure, 1980, S. 2). Im Zentrum steht dabei die Produktfindung, die in drei Phasen vollzogen wird (Verein Deutscher Ingenieure, 1980, S. 6):

- *Ideenfindung*  
Es werden zunächst neue Produktideen innerhalb abgegrenzter Aktionsbereiche (bestimmte Materialien, Verfahren, Trends oder Designs etc.) unter Berücksichtigung der gegebenen Möglichkeiten und Potenziale ermittelt. Dazu werden interne und externe Informationen gesammelt und ausgewertet. Ergebnis sind Vorschläge für neue Produkte, die strategisch und organisatorisch aussichtsreich und realisierbar sind.
- *Selektion*  
Nachdem neue Produktideen gefunden oder generiert wurden, müssen in der zweiten Phase die Produktideen, die den größten Erfolg versprechen, ausgewählt werden. Diese Auswahl sollte anhand einer kriteriengeleiteten Bewertung erfolgen.
- *Produktdefinition*  
Für die ausgewählte Produktidee erfolgt die Beschreibung der Funktionen, des Arbeitsprinzips und der charakteristischen Kennwerte als Ausgangspunkt für die anschließende konkrete Konstruktion.

Das Ergebnis der Produktfindung ist ein Realisierungsvorschlag für ein Produkt, der im Wesentlichen aus der Beschreibung der technischen Anforderungen besteht. Fällt die Entscheidung, dass dieses Produkt realisiert werden soll, geht daraus der Entwicklungsauftrag hervor, der die Aufgabenstellung für die Konstruktion darstellt (Verein Deutscher Ingenieure, 1980, S. 8).

## **Konstruktion und Optimierung**

Die Konstruktion entspricht einem Vorausdenken des Produktes in seinem funktionellen und strukturellem Aufbau, wobei weitreichende Entscheidungen getroffen werden, die sich auf alle nachfolgenden Arbeitsschritte und -prozesse auswirken (Verein Deutscher Ingenieure, 2004, S. 5). Dies gilt auch für die Berücksichtigung der beschriebenen ‚R-Strategien‘ (Kapitel 2.3.1). Eigenschaften wie beispielsweise die Möglichkeiten zur Wiederverwendung („Reuse“), zur Reparatur („Repair“) oder auch zum späteren ‚Recycling‘ werden im Rahmen der Konstruktion festgelegt.

Das systematische Konstruieren wird dabei in sieben Arbeitsschritte unterteilt, die zu vier Konstruktionsphasen zusammengefasst werden können. Diese Phasen sind jedoch nicht eindeutig

voneinander abzugrenzen und überschneiden sich in einigen Arbeitsschritten. Eine Übersicht der Arbeitsschritte und Phasen zeigt Abbildung 10.

Das Klären und Präzisieren der Problem- und Aufgabenstellung ist Inhalt der ersten, vorgeschalteten Phase des Konstruktionsprozesses. In der Regel wird in dieser Phase eine Anforderungsliste bzw. eine detaillierte Produktspezifikation erarbeitet. Diese umfasst neben den rein technischen und technologischen Angaben auch Informationen zu den zeitlichen und finanziellen Rahmenbedingungen sowie Anforderungen an das Ergebnis des Konstruktionsprozesses (Reuter, 2008, S. 513).

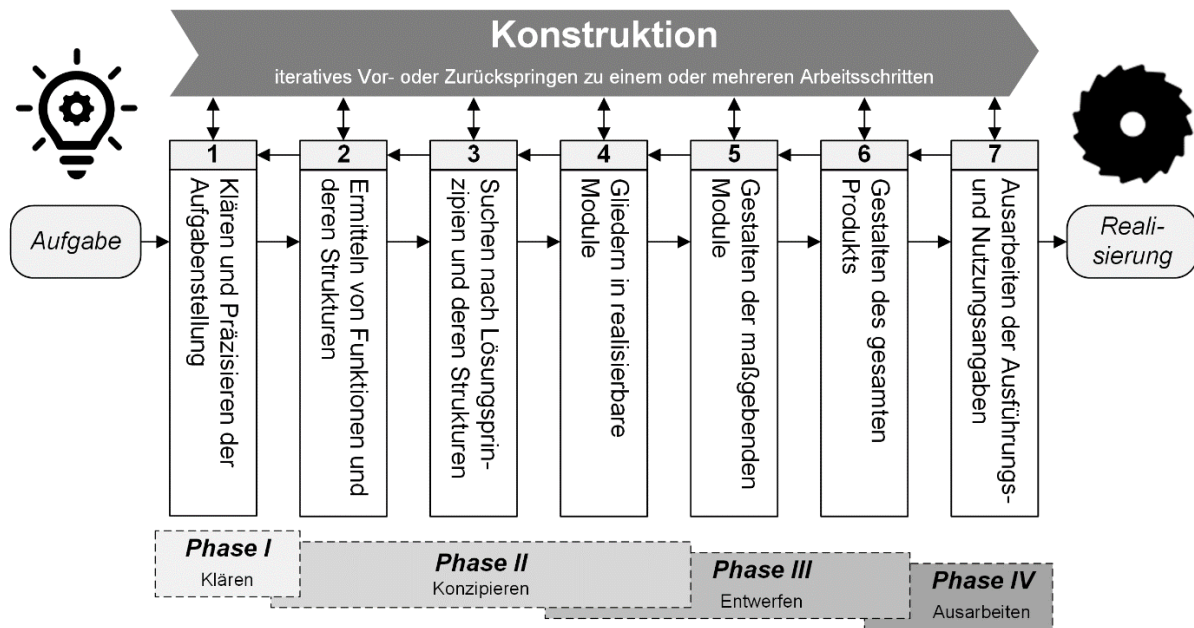


Abbildung 10: Arbeitsschritte und Phasen der Konstruktion (i.A.a. Verein Deutscher Ingenieure, 1993, S. 9)

Darüber hinaus sollten auch gesetzliche und normative Kriterien identifiziert und dokumentiert werden (Skolaut, 2018, S. 803). Die Anforderungsliste bildet die Zielsetzung für den gesamten Konstruktionsprozess ab und ist damit Ausgangspunkt für die Konzeption des Produktes.

Mit dem genauen Wissen darüber, was erreicht werden soll, beginnt die zweite Phase der Konstruktion, die Konzeption des Produktes. Das Konzipieren wird als komplexe Problemstellung zunächst in kleinere Teilprobleme zerlegt, die separat gelöst und anschließend zu einer Gesamtlösung zusammengefasst werden. Das Ermitteln der Funktionsstruktur leitet die Konzeptionsphase ein. Zunächst wird die Gesamtfunktion, also der eigentliche Zweck des Produktes, bestimmt. Ausgehend davon können Hauptfunktionen ermittelt werden, die unmittelbar zur Erfüllung der Hauptaufgabe beitragen. Diese werden ggf. in weitere Teil- oder Nebenfunktionen heruntergebrochen (vgl. z.B. Skolaut, 2018, S. 805). Im nächsten Arbeitsschritt beginnt die Lösungsfindung, indem für die Haupt- und Teilfunktionen erste Lösungsprinzipien gesucht und strukturiert werden. Nach dem Entwickeln der Produktidee stellt das Sammeln möglicher Lösungsvarianten die zweite maßgeblich kreative Aufgabe im PEP dar. Um die grundsätzliche Machbarkeit der Lösungsideen zu beurteilen, erfolgt danach ein Abgleich mit den Festforderungen aus der Anforderungsliste. Festforderungen sind sogenannte Muss-Kriterien, die zwingend zu erfüllen sind. Wird eine Lösungsidee diesen Anforderungen nicht gerecht, ist sie unmittelbar auszuschließen. Darüber hinaus werden die Wechselwirkungen und Verträglichkeiten der Teillösungen zueinander untersucht, diese nach dem Erfüllungsgrad der Wunsch- und Begeisterungsanforderungen gewichtet und abschließend die Favoriten

ausgewählt (Skolaut, 2018, S. 814). Die ausgewählten Lösungen werden als Konzept mit Hilfe von Skizzen umgesetzt. Dabei werden schrittweise Lösungen und Produktkomponenten zusammengeführt und das Produkt so *in realisierbare Module gegliedert* (Naefe, 2012, S. 36). Hierbei erfolgt eine weitere Überprüfung der gewählten Lösungsprinzipien hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit und ihres Nutzwertes. Das Ergebnis ist ein strukturiertes und visualisiertes Konzept, also eine ausgewählte prinzipielle Lösung für das Produkt, die die wichtigsten Funktionsanforderungen am wahrscheinlichsten und möglichst optimal erfüllt. Es handelt sich aber lediglich um eine wenig detaillierte Funktionsskizze. Die eigentliche Gestalt des Produktes wird erst in der folgenden Phase der Konstruktion festgelegt (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 264).

In der Entwurfsphase werden aus den Funktionsskizzen zunächst die einzelnen *Module mit ihren konkreten Einzelteilen gestaltet*. Dabei sind Regeln und Grundsätze zu befolgen, wonach die Funktionen des Produktes stets „eindeutig, einfach und sicher“ (Künne et al., 2007, S. 17) erfüllt werden müssen. Zur eindeutigen Konstruktion sind zum einen in der Funktion des Produktes undefinierte Systemzustände zu vermeiden, zum anderen sollte zur Erfüllung einer Funktion nur ein funktionales Element zugewiesen werden (Skolaut, 2018, S. 819). Um eine möglichst einfache Gestaltung zu erreichen, sollte die Lösung übersichtlich und mit einem leicht verständlichen Funktionsprinzip umgesetzt werden. So kann mit möglichst wenigen Einzelteilen eine wirtschaftliche und technisch stabile Lösung realisiert werden. Nicht zuletzt muss jede Konstruktion Sicherheitsstandards genügen. Es ist stets zu beachten, dass durch den Gebrauch des Produktes keine direkten Gefahren für den Menschen entstehen (Skolaut, 2018, S. 820). Das gesamte Vorgehen beim Gestalten ist durch die Zielsetzung der kontinuierlichen Optimierung stark iterativ geprägt. Bei der Gestaltung werden einzelne Bauteile ständig verändert und wieder überprüft. Schrittweise entstehen so zunächst maßstäbliche Zeichnungen als Vorentwürfe, die anschließend in der *Gestaltung des gesamten Produktes* zu einem Gesamtentwurf zusammengeführt werden. Diesen Zeichnungen kommt eine besondere Bedeutung zu. Sie sind elementar für alle folgenden Schritte der Produktentstehung:

„Die technische Zeichnung ist das wichtigste Verständigungsmittel zwischen den Abteilungen eines Unternehmens.“ (Künne, 2010, S. 1)

Im Rahmen der letzten Phase der Konstruktion wird der Lösungsentwurf final im Detail ausgearbeitet und das Produkt herstellungstechnisch festgelegt (Reuter, 2008, S. 518). Dabei werden auch die *Ausführungs- und Nutzungsangaben* definiert, die Grundlage der anschließenden Fertigung, aber auch der Nutzung des Produktes sind. Als Ergebnis des letzten Arbeitsschrittes liegen die vollständigen Einzelteil- und Gruppenzeichnungen sowie die Stücklisten, relevante Fertigungs- und Prüfunterlagen oder auch Dokumentationen für die Montage, den Transport, den Gebrauch und die Qualitätssicherung vor (Skolaut, 2018, S. 829). Ausgehend von dieser umfassenden Dokumentation der Produktentwicklung wird das Produkt in der Produktherstellung dann materiell realisiert.

#### 4.1.2 Produktherstellung

Die Produktherstellung ist der an die Produktentwicklung anschließende Abschnitt des PEP, dessen Ergebnis das physische Produkt ist. Aufgabe ist es dabei, die erforderlichen Fertigungsprozesse zu definieren und die dafür benötigten Ressourcen abzuleiten und gegebenenfalls zu entwickeln. Somit umfasst die Produktherstellung, die allgemein auch kurz als Produktion bezeichnet wird,



sowohl alle technischen als auch organisatorischen Prozesse zur Fertigung und Montage des Produktes (vgl. z.B. Westkämper, 2006, S. 24).

### **Produktionsvorbereitung und Fertigung**

Das konstruierte Produkt wird üblicherweise zunächst als Prototyp hergestellt, mit dem beispielsweise Funktionstests durchgeführt werden können, bevor in größerem Umfang Ressourcen für die Fertigung eingesetzt werden. Ausgehend von den realisierten Prototypen kann die abschließende Produktstruktur festgelegt werden. Dabei wird zwischen Zukaufteilen, Normteilen und Fertigungsteilen unterschieden (Skolaut, 2018, S. 1125). Wie die Zukaufteile werden auch die Normteile in der Regel nicht selbst produziert. Für die Herstellung der Fertigungsteile werden hingegen genaue Werkstückdaten und Arbeitspläne benötigt, die im Rahmen der Fertigungs- bzw. Arbeitsvorbereitung aus der Dokumentation der Konstruktion sowie den Ergebnissen der Untersuchung der Prototypen abgeleitet werden.

Die Produktionsvorbereitung bildet den Übergang zwischen der Konstruktion und der Fertigung des Produktes. Sie umfasst „alle Maßnahmen, einschließlich aller erforderlichen Unterlagen und Betriebsmittel, die zur wirtschaftlichen Produktion [...] erforderlich sind“ (Westkämper, 2006, S. 154). Dabei werden die einzusetzenden Fertigungsverfahren definiert und festgelegt, in welcher Abfolge mit welchen Betriebsmitteln gefertigt wird. Ausgehend vom gewählten Material eines Fertigungsteils oder Produktes werden die Verfahren so eingesetzt, dass die Fertigungsteile des Produktes wirtschaftlich, termingerecht und in der geforderten Qualität hergestellt werden können. Kriterien zur Auswahl der Verfahren sind dabei zum einen die geforderten Genauigkeiten (Toleranzen, Oberflächengüte etc.) und zum anderen die zu fertigende Stückzahl, da sich hieraus beispielsweise Anforderungen hinsichtlich der Automatisierung des Fertigungsverfahrens ergeben (vgl. z.B. Skolaut, 2018, S. 968).

Wurde festgelegt, welche Fertigungsverfahren zur Herstellung der Fertigungsteile eingesetzt werden, sind die entsprechenden Fertigungsmittel zuzuweisen. Als direkte Fertigungsmittel werden die benötigten Maschinen, Vorrichtungen und Spannmittel sowie Werk- und Messzeuge bezeichnet (Grote et al., 2014, S. 103). Ausgehend vom jeweiligen Fertigungsverfahren werden geeignete Maschinen entsprechend ihrer Leistungs- und Arbeitskennwerte (z.B. Arbeitsräume und Funktionen) ausgewählt und Werkzeuge und Vorrichtungen zugeordnet. Der Fertigungsprozess selbst besteht dann aus einer zeitlichen und räumlichen Abfolge von Arbeitsvorgängen bzw. -schritten, in denen diese Fertigungsmittel eingesetzt werden.

Nach dem Abschluss der Fertigung der Fertigungsteile müssen diese zusammen mit den Norm- und Zukaufteilen je nach Produktstruktur zu Baugruppen und schließlich zum funktionsfähigen Produkt zusammengesetzt, also montiert werden. Die Montage ist damit der zweite Abschnitt in der Produktion und der Abschluss des PEP, wie er im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird.

### **Montage und Kontrolle**

Produkte bestehen in der Regel aus einer definierten Anzahl von Einzelteilen, die getrennt voneinander mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren hergestellt werden. Diese Teile werden in der Montage zu einem Produkt mit geplanter Funktion zusammengeführt, es wird also die räumliche Anordnung der Komponenten im Gesamtsystem realisiert. Der Ablauf der Montage ergibt sich

unmittelbar aus der Struktur des Produktes. Einzelteile werden zu Baugruppen und Baugruppen werden zu Produkten zusammengefügt. Die Grundlage der Planung des Montageablaufs ist somit die Erzeugnisstruktur, die bereits im Rahmen der Konstruktion definiert wurde. Dargestellt wird diese Struktur über den gesamten PEP in Form der Stücklisten, die auch Grundlage der Planung des Montageablaufs sind.

Die Kontrolle ist in der Regel ein abschließendes Element im Bereich der Montage, da häufig erst vormontierte Baugruppen oder auch das vollständig montierte Endprodukt in ihrer Funktion überprüft und getestet werden können (Lotter & Wiendahl, 2006, S. 100). Im Rahmen der Kontrolle kann festgestellt werden, ob definierte Eigenschaften oder Zustände des Produktes erfüllt sind (Prüfen) oder es werden Eigenschaften und Zustände des Produktes mit vorgegebenen Bezugsgrößen verglichen (Messen) (Verein Deutscher Ingenieure, 1990, S. 7). Der Umfang der Kontrolle des Produktes variiert je nach Qualitätskonzept des Unternehmens. Im Abschnitt der Montage hat das Kontrollieren lediglich den Charakter einer Hilfsfunktion und bildet den Abschluss der Produktherstellung und damit des PEP im engeren Sinne.

Die beschriebenen Abschnitte des PEP stellen nicht nur die typischen Berufs- und Arbeitsfelder von Ingenieur\*innen dar, sondern sie bilden auch die Grundlage der curricularen Gestaltung ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge im Bereich des Maschinenbaus. Neben allgemeinen Grundlagenfächern (beispielsweise Mathematik, Chemie, Physik etc.) kann ein Großteil der Studienfächer unmittelbar den dargestellten Abschnitten des PEP zugeordnet werden. Im Sinne einer umfassenden und berufsbezogenen Ausbildung zukünftiger Ingenieur\*innen sollte daher der Gesamtprozess der Produktentstehung als zentrales und vor allem vernetztes und multidisziplinäres Arbeits- und Aufgabenfeld in der Hochschullehre abgebildet und in den einzelnen Fächern berücksichtigt werden (DFG, 2004, S. 23).

Neben dem PEP als inhaltliche Dimension (also dem ‚Was‘) spielt auch die methodisch-didaktische Dimension (also das ‚Wie‘) eine entscheidende Rolle in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulbildung. Damit Studierende die für ihr Berufsleben erforderlichen Kompetenzen zur Gestaltung komplexer Prozesse im Rahmen des PEP entwickeln können, bedarf es anwendungsbezogener Lernsituationen (vgl. DFG, 2004, S. 23) in denen nicht nur (fach-) theoretisch *gelehrt*, sondern vielmehr praktisch und handlungsbezogen *gelernt* werden kann - also ein ‚*shift from teaching to learning*‘ (Barr & Tagg, 1995).

## 4.2 ‚Employability‘ als Bildungs- und Leitziel der Hochschulbildung

Der Perspektivwechsel vom Lehren zum Lernen geht einher mit einer Diskussion über die Beziehung zwischen Hochschule und Berufswelt (Wildt, 2007, S. 45). Im Kern dieser Diskussion steht die Frage nach dem Bildungs- und Leitziel eines Studiums. Als grundlegend gilt, dass es das Ziel der Hochschulbildung ist, Studierende zum wissenschaftlichen Denken und Arbeiten zu befähigen. Sie sollen darauf vorbereitet werden, wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden anzuwenden. Doch nicht zuletzt im Rahmen der Bologna-Reform rückt darüber hinaus die Vorbereitung der Studierenden auf ein möglichst breites berufliches Tätigkeitsfeld (auch außerhalb der akademischen Welt) zunehmend in den Fokus (vgl. z.B. Schaper et al., 2012, S. 1). Geprägt wird hier das Ziel der ‚Employability‘, was häufig mit ‚Beschäftigungsfähigkeit‘ übersetzt wird:

„Unter ‚Employability‘ – als ein wesentliches Ziel eines wissenschaftlichen Studiums, das auch durch den Bologna-Prozess weiter an Bedeutung gewonnen hat – wird dabei der akademische Kompetenzerwerb für berufliche Handlungs- und Tätigkeitsfelder verstanden.“ (Schubarth, 2013, S. 162)

Dabei geht es nicht darum, Studierende für eine spezifische Berufsausübung zu qualifizieren. Es ist vielmehr das Ziel, neben reinem Fachwissen und wissenschaftlichen Theorien auch die Reflexion und Weiterentwicklung des erworbenen Wissens sowie dessen praktische Anwendung im Studium zu fördern (Schaper, 2012, S. 10). Wie dies im Rahmen eines Hochschulstudiums umgesetzt werden kann, beschreibt beispielsweise Schubarth (2013) mit Hilfe eines Modells aus sechs Komponenten, das in Abbildung 11 dargestellt ist.



Abbildung 11: Heuristisches Modell zur Förderung von Employability im Hochschulstudium (i.A.a.Schubarth, 2013, S. 162)

Als Basis wird in diesem Modell das anwendungs- und kompetenzorientierte Studium gesehen, bei dem die Verknüpfung von Theorie und Praxis sowie die Förderung berufsrelevanter und berufsfeldbezogener Schlüsselkompetenzen im Zentrum stehen. Aufbauend auf diese Basiskomponenten bedarf es entsprechender Lern- und Lehrformate, die fachspezifisch auszurprägen sind. Dies können Praktika und berufsorientierende Angebote wie Exkursionen oder auch das Einbeziehen von Alumni und Praxisvertretenden sein, aber auch die curriculare Einbindung von Forschungs- oder Praxisprojekten (Schubarth, 2013, S. 162). Die Komponenten des Modells stehen in direkter Beziehung miteinander und fördern in der Gesamtheit die Employability, doch:

„Den roten Faden eines an Employability orientierten Studiums bilden die Anwendungs- und Kompetenzorientierung sowie die Theorie-Praxis-Verzahnung im gesamten Studium.“ (Schubarth, 2013, S. 163)

#### 4.2.1 Kompetenzorientierung für eine berufsrelevante Hochschulbildung

Noch immer geht die fachsystematische Lehre an Hochschulen in der Regel von den Lehrenden aus. Sie bestimmen ausgehend von häufig wenig konkreten Modulbeschreibungen Lerninhalte und prüfen diese am Ende des Semesters ab. Seit Jahren stehen Hochschulen vor der Aufgabe, dieses übliche Muster zu brechen und aus der lehrendenzentrierten Input-Perspektive in die Output-Perspektive zu wechseln, in der die Studierenden und ihre Kompetenzen im Fokus stehen. Statt Vorlesungsinhalte sind Lernziele zu definieren und Planungsgrundlage einer Lehrveranstaltung ist der Workload der Studierenden und nicht die Zahl der Semesterwochenstunden für die Lehrenden. An die Stelle der Vorgabe, was die Studierenden wissen sollen, rücken ‚Learning-Outcomes‘, also

Formulierungen, was die Studierenden *können* sollen und damit ein unmittelbarer Bezug auf die Kompetenzen der Studierenden.

Im allgemeinen Sprachverständnis steht der Begriff *Kompetenz* für Sachverstand, Fähigkeiten und Zuständigkeiten oder im engeren Sinne für die Fähigkeit einer Person, bestimmten Anforderungen gewachsen zu sein (Duden, 2015). Darüber hinaus gibt es unterschiedliche Verständnisse des Kompetenzbegriffs in verschiedenen Fachdisziplinen. In der Soziologie wird Kompetenz als eine rational abgegrenzte sachliche Zuständigkeit und Befehlsgewalt beschrieben (vgl. z.B. Weber, 2002, S. 125). Die Betriebswirtschaft nutzt einerseits die individualisierte Perspektive der Kompetenz, die das subjektive Verhalten betrachtet, und andererseits die strategische Perspektive, die organisationale Kompetenzen als Bündel von Ressourcen zur Sicherung von Wettbewerbsvorteilen versteht (vgl. Arnold & Schüssler, 2001, S. 62). Das Können, im Sinne von Fähigkeiten und Wissen, in schwierigen Situationen effizient zu agieren, kennzeichnet die Kompetenz unter anderem aus der Sicht der Arbeitswissenschaften (vgl. z.B. Münchhausen, 2004, S. 78). Ganz ähnlich wird im Kontext von Bildung Kompetenz disziplinenübergreifend beschrieben 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“ (Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen, 2011, S. 4)*

Unabhängig von Disziplin oder einem konkreten Fachbezug können vier Grundmerkmale einer Kompetenz festgehalten werden, die in der wissenschaftlichen Diskussion mehrheitlich akzeptiert sind (Kaufhold, 2006, S. 4):

1. *Handlungsbezug*  
Kompetenzen haben einen konkreten Handlungsbezug und zeigen sich erst in der Bewältigung von Problemstellungen und Aufgaben.
2. *Situationsbezug*  
Ausgehend von einer konkreten Situation, die als Auslöser einer Handlung wirkt, erfolgt die Ausprägung der Kompetenz in Form der Performanz. Die Kompetenz als Handlungsdisposition einer Person wird dann in Abhängigkeit von den Anforderungen, die sich aus der Situation ergeben, aktiviert.
3. *Subjektivität und Subjektgebundenheit*  
Kompetenzen sind stets an Personen gebunden und bestimmen, was diese Person tatsächlich tun kann und nicht, was von der Person verlangt werden kann. Entsprechend kann eine Kompetenz nicht unmittelbar an objektiven Leistungsparametern gemessen werden.
4. *Veränderbarkeit*  
Eine Kompetenz ist keine statische Größe, sondern ein veränderliches Merkmal. Kompetenzen können sich sowohl im zeitlichen Verlauf biografisch entwickeln als auch gezielt gefördert werden.

Auch wenn diese Merkmale bereits das wesentliche Grundverständnis einer kompetenzorientierten Hochschulbildung aufspannen, erfordert eine differenziertere Beschreibung eine weitere Strukturierung, beispielweise in Form von Kompetenzmodellen, die unterschiedliche Kompetenzklassen oder -felder unterscheiden. Häufig (z.B. von Wildt, 2006 sowie Erpenbeck & Heyse, 2007 und auch Kauffeld et al., 2007) verwendet wird dabei eine Gliederung in:

- *Fachkompetenz*  
fach- und berufsbezogene, aufgabenspezifische Fertigkeiten und Kenntnisse, die es ermöglichen, sich Wissen für neue Aufgaben anzueignen, Probleme zu erkennen und Lösungen zu erarbeiten
- *Methodenkompetenz*  
Techniken und Vorgehensweisen, die es ermöglichen, kognitive Fähigkeiten zur Strukturierung von Aufgaben flexibel und zielgerichtet einzusetzen
- *Sozialkompetenz*  
kommunikative Fähigkeiten und soziales Interaktionsvermögen, die es ermöglichen, mit anderen Personen erfolgreich zu kooperieren
- *Selbstkompetenz*  
Einstellungen, Motive und Werte sowie Selbstwahrnehmung, -reflexion und -organisation

In anderen Modellen unterscheiden sich die Bezeichnungen der Kompetenzklassen oder es werden beispielsweise Fach- und Methodenkompetenz in einer Klasse zusammengefasst (vgl. Kapitel 3.3.2). Allen Modellen ist aber gemein, dass die Gesamtheit der Ausprägung dieser Kompetenzklassen oder -felder die berufliche Handlungskompetenz einer Person darstellt. Diese ist definiert als „die Kombination von Fähigkeiten, Fertigkeiten und Wissensbeständen, die bei der Bewältigung konkreter sowohl vertrauter als auch neuartiger Arbeitsaufgaben selbstorganisiert, aufgabengemäß, zielgerichtet, situationsbedingt und verantwortungsbewusst - oft in Kooperation mit anderen – handlungs- und reaktionsfähig machen und sich in der erfolgreichen Bewältigung konkreter Arbeitsanforderungen zeigen“ (Kauffeld, 2006, S. 19) und entspricht damit dem beschriebenen Bildungs- und Leitziel der Employability.

Um die Ausprägung von Kompetenzen einzuordnen, werden häufig Einstufungen in verschiedene Niveaus vorgenommen. Spencer et al. (1994, S. 6) schlagen beispielsweise eine zweistufige Klassifizierung in Schwellenkompetenzen und differenzierende Kompetenzen vor. Schwellenkompetenzen befähigen demnach gerade ausreichend dazu, eine Aufgabe gut zu erfüllen. Befähigungen, die über ein Grundniveau hinausgehen und eine Person somit über den Durchschnitt heben, werden als differenzierende Kompetenzen bewertet. Eine dreistufige Klassifikation beschreiben North und Reinhardt (2005, S. 52) mit den Stufen „Kenner, Könner und Experte“ und Rauner (2002, S. 118) definiert in Anlehnung an Dreyfus und Dreyfus (1987, S. 41) ein fünfstufiges Modell, das vom „Novizen“ bis zum „Experten“ reicht. Eine differenziertere Kategorisierung liefern Bloom et al. (1974). Sie unterscheiden zunächst die Ausprägung von Kompetenzen als Lernergebnisse in drei Bereichen. Der *kognitive Bereich* umfasst Fähigkeiten wie das Wahrnehmen, Denken oder Erkennen, Einstellungen und Werte bilden den *affektiven Bereich* und motorische Fertigkeiten werden dem *psychomotorischen Bereich* zugeordnet. Für jeden dieser Bereiche wurden, wie in Abbildung 12 dargestellt, mehrstufige Taxonomien entwickelt, mit denen Niveaus und Tiefe von Kompetenzen als Lernergebnisse beschrieben werden können (vgl. z.B. Wildt & Wildt, 2011). Dabei schließt das Erreichen einer höheren Stufe immer auch die darunter liegenden Stufen mit ein.

Unabhängig von der Anzahl der definierten Niveaus setzt eine Differenzierung voraus, dass Kompetenzen grundsätzlich entwicklungsfähig sind, was dem Grundmerkmal der Veränderbarkeit entspricht.

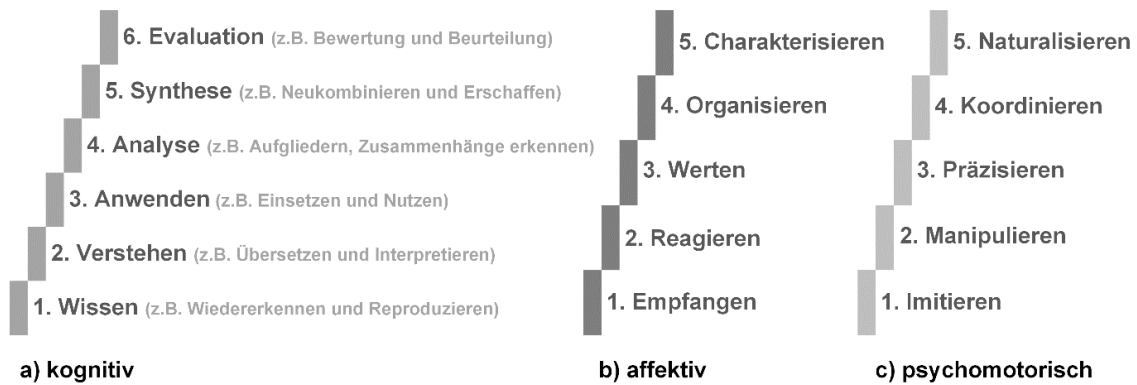


Abbildung 12: Lernzieltaxonomien (i.A.a. Bloom et al., 1974)

Da die Kompetenzentwicklung und damit das Lernen als subjektiver Prozess im Menschen stattfindet, kann er nicht direkt gesteuert werden. Elsholz (2002, S. 35) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass Kompetenzen somit zwar ‚erlernbar‘, aber nicht in klassischer Form ‚lehrbar‘ sind. Die Entwicklung von Kompetenzen ist ein stetiges Verändern, Umgestalten und Bilden von Erklärungs- und Problemlösemustern. Ausschlaggebend für die Anregung und Aktivierung dieses Prozesses ist die Gestaltung der Rahmenbedingungen, die ein aktives Lernen ermöglichen (vgl. Bergmann & Daub, 2008, S. 90).

#### 4.2.2 Konzeption und Gestaltung kompetenzorientierter Lernsettings

Ein in der Hochschuldidaktik verbreitetes und etabliertes Vorgehensmodell zur Konzeption und Gestaltung kompetenzorientierter Lernsettings ist das *Constructive Alignment* (Biggs, 1996).

*“The concept of constructive alignment is based on the twin principles of constructivism in learning and alignment in the design of teaching and assessment.” (Biggs & Tang, 2011, S. 52)*

Grundannahme sind selbstgesteuerte Lernprozesse entsprechend konstruktivistischen Lerntheorien. Der Konstruktivismus bezieht sich darauf, dass Wissen und Kompetenzen individuelle und aktive Konstruktionen von Lernenden sind und bei der Aneignung von Wissen immer Bezug auf vorhandenes Vorwissen genommen wird. Somit gibt es keine optimale allgemeingültige Lernstrategie oder Darstellungsweise, da kein direkter ‚Wissenstransfer‘ von Lehrenden zu Lernenden möglich ist (vgl. z.B. Meixner & Müller, 2004). Lehre wird damit nur als Anregung von Lernprozessen verstanden, keinesfalls aber als das ‚Erzeugen‘ von Kenntnissen, Fähigkeiten und Kompetenzen. Lernende entwickeln individuelle Vorgehensweisen und Strategien zur Problemlösung und leiten dadurch den Lernprozess selbst ein.

*„The word constructionism is a mnemonic for two aspects of the theory of science education underlying this project. From constructivist theories of psychology we take a view of learning as a reconstruction rather than as a transmission of knowledge. Then we extend the idea of manipulative materials to the idea that learning is most effective when part of an activity the learner experiences as constructing a meaningful product.“ (Papert, 1987)*

Das Modell des *Constructive Alignment* umfasst dabei wie in Abbildung 13 dargestellt die Elemente der Lernergebnisse, der Lehr- und Lernaktivitäten sowie der Prüfung und verdeutlicht deren direkte Abhängigkeiten und Wechselbeziehungen. Für ein kompetenzorientiertes Lernsetting müssen diese Elemente aufeinander abgestimmt (also ‚aligned‘) sein.

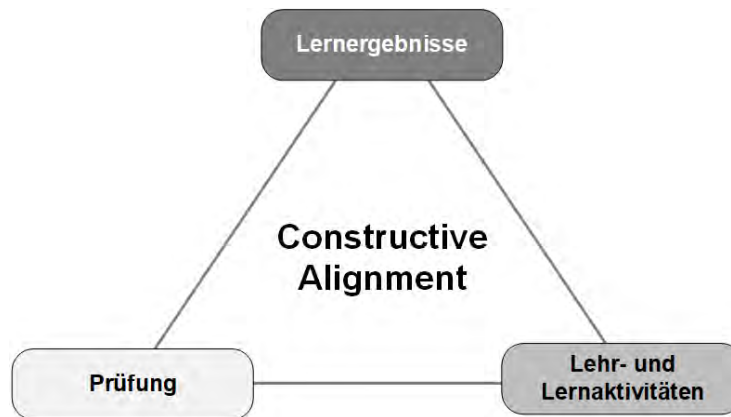


Abbildung 13: Modell des Constructive Alignment (i.A.a. Biggs, 1996)

Mit den Lernergebnissen werden die Kompetenzen beschrieben, die die Studierenden entwickeln sollen. Diese Ziele müssen zunächst explizit formuliert werden. Dabei finden die beschriebenen Kompetenzklassen und vor allem Taxonomien Anwendung. Für eine eindeutige Formulierung des Lernziels sollten ein von außen erkennbares und überprüfbares Verhalten (in Form eines ‚aktiven‘ Verbs) sowie der entsprechende Kontext der Handlung beschrieben werden.

*Beispiel: Nach der Teilnahme an der Lehrveranstaltung sind die Studierenden in der Lage, die technische Zeichnung eines einfachen Werkstücks selbständig zu erstellen.*

Bei diesem einfachen Beispiel handelt es sich um ein kognitives Lernziel, das über das verwendete Verb ‚erstellen‘ in der Taxonomie der Stufe ‚Anwenden‘ zugeordnet werden kann. Im nächsten Schritt ist dann festzulegen, wie das Erreichen dieser Ziele in einer Prüfung nachgewiesen bzw. erkannt werden kann. Das gewählte Verb deutet dabei ebenfalls auf den geeigneten Nachweis hin. Studierende können für die Lehrenden direkt beobachtbar zeigen, dass sie über diese Kompetenz verfügen, indem sie in der Prüfung selbständig die Zeichnung eines einfachen Werkstücks erstellen. Als dritter Schritt in der Planung des Lernsettings erfolgt dann eine Konzeption der Lehr- und Lernaktivitäten, in denen die Studierenden die in den Lernzielen definierten Kompetenzen entwickeln können. Diese sind dabei so auszulegen, dass die Studierenden unmittelbar die Möglichkeit erhalten, die in den Lernzielen formulierten Kompetenzen auch zu erreichen. In Bezug auf das genannte Beispiel ist es dabei wesentlich, dass das Erstellen einer Zeichnung durch die Studierenden selbst auch aktiver Teil der Lehrveranstaltung ist. Es ist im Sinne des Constructive Alignment nicht ausreichend, dass Studierenden eine Zeichnung erklärt oder das Zeichnen durch Lehrende ‚vorgeführt‘ wird.

Das Modell des Constructive Alignment macht unmittelbar deutlich, dass kompetenzorientierte Lernsettings in der Regel auch (studierenden) aktive Lernsettings sind. Lehrendenzentrierte und ausschließlich ‚frontale‘ Formate wie klassische Vorlesungen bieten nach diesem Verständnis kaum Möglichkeiten, Lernziele zu erreichen, die über die Stufen ‚Wissen‘ und ‚Verstehen‘ der Taxonomie für kognitive Lernziele hinaus gehen.

---

## 5 Zwischenfazit zur Relevanz des Themas Nachhaltigkeit für eine zeitgemäße und zukunftsorientierte Ausbildung von Ingenieur\*innen

Der erste Teil der vorliegenden Arbeit zeigt die gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung des Themas Nachhaltigkeit auf und gibt einen Überblick darüber, welche Ansätze von Bildung für eine nachhaltige Entwicklung bereits bestehen und mehr oder weniger im Bildungssystem etabliert sind. Es wurde außerdem die unmittelbare Verbindung des Themas mit den zentralen Aufgaben und Handlungsfeldern von Ingenieur\*innen als Gestaltende des technologischen Fortschritts deutlich gemacht.

Als zentrale Aufgabe und Haupttätigkeitsfeld von Ingenieur\*innen gelten die Planung und Realisierung neuer technischer Systeme und Produkte sowie deren Weiterentwicklung und Optimierung. Dies umfasst sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Zieldimensionen sowie im zunehmenden Bewusstsein für den Bedarf an nachhaltiger Produktion und nachhaltigem Konsum insbesondere die Zieldimension einer nachhaltigen Entwicklung. Daraus ergeben sich neue Anforderungen an Ingenieur\*innen. Die Entwicklung nachhaltiger Produkte wird für sie zu einem komplexen Problem, in dem ein kontinuierliches Abwägen zwischen den oft in Konflikt stehenden ökologischen, sozialen und ökonomischen Anforderungen erforderlich ist. Und auf diese Herausforderung und Komplexität müssen angehende Ingenieur\*innen in ihrer Ausbildung vorbereitet werden, wenn Hochschulen dem Anspruch der Employability als Bildungs- und Leitziel gerecht werden wollen.

Somit beantwortet der erste Teil dieser Arbeit die Frage nach der Relevanz des Themas Nachhaltigkeit für eine zeitgemäße und zukunftsorientierte Ausbildung von Ingenieur\*innen. Gleichzeitig zeigt dies auch den Handlungsbedarf für eine Anpassung und Weiterentwicklung der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulbildung auf.

*„Moreover, such values-based engineering has yet to be incorporated into the engineering curriculum of most educational institutions.” (UNESCO, 2021b, S. 20)*

Dieser identifizierte Handlungsbedarf initiiert entsprechend des der Arbeit zugrundeliegenden Zyklusmodells des Design Based Research im Folgenden eine Analyse der relevanten und erforderlichen nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen von Ingenieur\*innen, der sich daraus ergebenden Anforderungen an eine ingenieurwissenschaftliche Bildung für nachhaltige Entwicklung sowie ausgehend davon die bedarfsgerechte und theoriegeleitete Gestaltung und Evaluation eines exemplarischen Lernsettings.



---

## 6 Anforderungsanalyse und Ableitung des Entwicklungsziels

Die ersten Kapitel der vorliegenden Arbeit haben allgemein die Relevanz des Themas Nachhaltigkeit für eine zeitgemäße und zukunftsorientierte Ausbildung von Ingenieur\*innen verdeutlicht und den Handlungsbedarf hinsichtlich einer curricularen Verankerung von ingenieurwissenschaftlicher (Aus-) Bildung für nachhaltige Entwicklung aufgezeigt. Entsprechend des Zyklusmodells des Design Based Research (vgl. Kapitel 1) steht am Anfang eines Entwicklungs(forschungs)prozesses nun die Analyse des spezifischen Kontextes und der geltenden Rahmenbedingungen. Dabei wird die relevante Problemstellung aus unterschiedlichen Perspektiven identifiziert und eingeordnet. Dies erfolgt unter Berücksichtigung und Einbeziehung der Erkenntnisse aus dem ersten Teil der Arbeit. Aus dieser Analyse ergibt sich das Entwicklungsziel, also eine Beschreibung zu realisierender Rahmenbedingungen und nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen von Ingenieur\*innen, aus denen der Entwurf für ein korrespondierendes Lern- und Lehrkonzept entstehen kann.

### 6.1 Identifikation relevanter Perspektiven

Um eine Analyse der Anforderungen an eine ingenieurwissenschaftliche Bildung für nachhaltige Entwicklung durchführen zu können, müssen zunächst die verschiedenen Perspektiven ermittelt werden, aus denen dieses Thema zu betrachten ist. Hierfür eignet sich in Anlehnung an etablierte Methoden des Projektmanagements die Stakeholderanalyse. Dabei sind Stakeholder Personen oder Gruppen, die durch ein Projekt tangiert werden oder ein Projekt selbst tangieren und die so in gewisser Art Einfluss auf das Projekt nehmen (Krips, 2017, S. 1).

Die relevanten Personen und Interessengruppen werden zunächst identifiziert und ihre Anspruchsgrundlagen und Motive erfasst. Es gilt somit herauszufinden, wer welches einflussgebende Interesse an der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung hat. Hier sind zunächst die internen Stakeholder zu nennen, die unmittelbar am (Bildungs-) Prozess beteiligt sind. Dies sind zum einen die Hochschulen und zum anderen die Studierenden. Für die Hochschulen ergibt sich der Bezug direkt aus der Beschreibung ihrer Aufgaben:

*„Sie bereiten auf berufliche Tätigkeiten vor, die die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse und wissenschaftlicher Methoden oder die Fähigkeit zu künstlerischer Gestaltung erfordern.“ (HRG 2019, §2 (1))*

Diese Zieldimension der Employability wurde bereits in Kapitel 4.2 erläutert. Dem gegenüber stehen die Erwartungen der Studierenden an ihre hochschulische Ausbildung. Laut Studierendensurvey (BMBF, 2017) sind dies insbesondere die Vorbereitung und Qualifizierung für eine interessante berufliche Tätigkeit und eine gute wissenschaftliche Ausbildung, aber auch das Entwickeln eigener Ideen. Hinzu kommen mit stark zunehmender Bedeutung sozial-altruistische Vorstellungen wie die Absicht, anderen helfen oder die Gesellschaft verbessern zu können. Gleichzeitig halten etwa 43% der Studierenden an Universitäten einen stärkeren Praxisbezug im Studium für dringend notwendig (BMBF, 2017, S. 92). Die Erwartungen der Studierenden können so als Operationalisierung der Aufgaben der Hochschule im Hinblick auf die Lehre verstanden werden (vgl. Fraune, 2012, S. 15).

Als externe Stakeholder mit nur indirekter Beteiligung sind insbesondere Unternehmen als zukünftige Arbeitgeber\*innen der Studierenden zu sehen. Dabei nimmt ihre Bedeutung jedoch stetig zu, da das Ziel der beruflichen Qualifizierung durch das Studium einen immer höheren Stellenwert

erlangt. Aus dem Wunsch nach einer bedarfsgerechten und praxisnahen Ausbildung ergeben sich unter anderem Anforderungen an die inhaltliche Gestaltung von Studiengängen und eventuellen Praxisanteilen aber beispielsweise auch der Wunsch nach einer stärkeren Internationalisierung des Studiums (Frank et al., 2007, S. 10). Die Bedeutung der Erwartungen und Wünsche von Unternehmen wird auch durch Bundes- und Landesregierungen als den Hochschulen übergeordnete, regulierende Instanzen gestützt. Sie erwarten von den Hochschulen das Schaffen und Etablieren eines international anschluss- und wettbewerbsfähigen Studien- und Wissenschaftsstandorts und eben die Stärkung der Wirtschaft durch innovative Forschung und vor allem exzellent ausgebildete Fachkräfte (Fraune, 2012, S. 23).

Von weiteren bekannten Stakeholdern wie beispielsweise Akkreditierungsagenturen, nicht-staatlichen Instanzen im deutschen Hochschulsystem wie dem Zentrum für Hochschulentwicklung (CHE) oder auch öffentlich geförderte Drittmittelgebern (vgl. Fraune, 2012) ist in Bezug auf den gesamten Analysebereich nur ein geringer (gestaltender) Einfluss auf eine ingenieurwissenschaftliche Bildung für nachhaltige Entwicklung zu erwarten. Aus diesem Grund werden sie in der weiteren Analyse nicht betrachtet.

Somit ergeben sich durch die Identifikation der zentralen Stakeholder drei Perspektiven, die im Folgenden in der Anforderungsanalyse zu berücksichtigen sind: Die Perspektiven der Hochschulen, der Studierenden und der Unternehmen.

## **6.2 Perspektive Hochschulen – Ökologisierung und Flexibilität**

Bei einem von der Hochschulrektorenkonferenz [HRK], der Körber-Stiftung und der Universität Hamburg alle zwei Jahre organisierten Forum, dem Global University Leaders Council Hamburg diskutieren Hochschulleitungen globale Herausforderungen der internationalen Hochschulsysteme (HRK, 2021). Hier einigten sich 45 Hochschulleitungen aus 27 Ländern auf das Ziel, dass alle Studierenden in ihrem Studium mit den Herausforderungen des Klimawandels und Fragen der Nachhaltigkeit vertraut gemacht werden (Global University Leaders Council, 2021). Gleichzeitig müssen solche ambitionierten internationalen Programme immer auch lokal umgesetzt werden. Und so werden Verantwortliche in Leitungspositionen von Universitäten und Hochschulen im Rahmen der ‚Dekade des Handelns‘ im UNESCO-Weltaktionsprogramm BNE 2030 als wichtigste Akteur\*innen sowohl zur Förderung nachhaltiger Entwicklung auf lokaler Ebene als auch bei einer ganzheitlichen Transformation von Lern- und Lehrumgebungen benannt (UNESCO, 2020).

Dennoch steht die Hochschulbildung für eine nachhaltige Entwicklung allgemein erst am Anfang einer theoretischen Beschreibung und vor allem politischen Umsetzung (Singer-Brodowski, 2016, S. 1). Denn bei der Auseinandersetzung mit dem Thema der nachhaltigen Entwicklung steht in der Regel die „Ökologisierung der Hochschulen“ (BMBF, 2004, S. 15) im Vordergrund. Dies gilt auch für die Technische Universität Dortmund, die im Folgenden exemplarisch betrachtet wird, da die vorliegende Forschungsarbeit an dieser Hochschule durchgeführt wurde.

Im Mai 2021 wurde die ‚Nachhaltigkeitsstrategie der TU Dortmund‘ veröffentlicht, in der nachhaltiges Handeln als operatives und strategisches Ziel definiert wird (Technische Universität Dortmund, 2021d). Dabei wird ein Verständnis von Nachhaltigkeit in der Forschung, in der Lehre, in Transfer, im Diversitätsmanagement sowie in Management und Betrieb beschrieben und erläutert, wie

dieses bereits umgesetzt wird bzw. umgesetzt werden soll. Auf einer Website der Technischen Universität Dortmund findet sich dazu eine Liste bereits durchgeführter Projekte. Hier werden unter anderem aufgeführt (Technische Universität Dortmund, 2021a):

- „Nachhaltige Fernleihe – Die Universitätsbibliothek setzt bei der Fernleihe auf wiederverwendbare Verpackungsmaterialien.“
- „Regenwasserversickerung – Das Regenwasser von einigen Dachflächen versickert in einem angelegten Teich auf natürliche Weise.“
- „Energiesparchallenge – In einer Energiesparchallenge versuchen die Fakultäten 2017 ihren Umgang mit Energieressourcen zu verbessern.“
- „Insektenhotels – Für die Artenvielfalt wurden auf dem Campus selbstgebaute Insektenhotels aufgestellt.“

Insgesamt werden elf Projekte vorgestellt, von denen neun schwerpunktgemäß dem Bereich der „Ökologisierung“ zugeordnet werden können. Lediglich in einem Projekt wird ein Bezug auf den Bereich der Lehre ausgewiesen:

- „Papiereinsatz – Zur Reduktion von Papier werden Verwaltung und Lehre digitalisiert.“

Inhaltliche Bezüge zur Lehre, zu einer Lern- oder Lehrstrategie, zu curricularen Einbindungen und Anknüpfungen oder allgemein zur BNE fehlen jedoch. Auch in der Nachhaltigkeitsstrategie der TU Dortmund kommt dem Aspekt der Nachhaltigkeit in der Lehre nur ein kurzer Abschnitt zu. Hier wird angeführt:

*„Studierende werden durch ein Studium an der TU Dortmund befähigt, in Forschung und Praxis, in disziplinären und interdisziplinären Arbeitsfeldern und in nationalen und internationalen Kontexten verantwortungsvoll und nachhaltig die Zukunft mitzugestalten.“ (Technische Universität Dortmund, 2021d, S. 3)*

Dies werde erreicht, indem bereits viele Studiengänge auf Nachhaltigkeitsthemen eingehen. Als Beispiele werden „Lehrangebote zu nachhaltiger Raumentwicklung, ressourceneffizientem Bauen, Energieeffizienz, Elektromobilität sowie zu Teilhabe, Inklusion und Diversität“ (Technische Universität Dortmund, 2021d, S. 2) genannt. Inwieweit dies auch für den im Rahmen dieser Arbeit exemplarisch für die Ingenieurwissenschaften ausgewählten Studiengang Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund gilt, wird anhand einer Sichtung der relevanten Modulhandbücher überprüft. Zur Einordnung in ein Gesamtbild sowie einen Überblick über den Status quo der ingenieurwissenschaftlichen Bildung für nachhaltige Entwicklung insgesamt werden ergänzend auch die Modulhandbücher der Studiengänge im Fach Maschinenbau der regionalen Partneruniversitäten der Universitätsallianz Ruhr<sup>1</sup> sowie der deutschen TU9-Universitäten<sup>2</sup> analysiert. Diese stehen für die in den Ingenieurwissenschaften in Forschung und Lehre deutschlandweit führenden Universitäten. Insgesamt bilden somit die Modulhandbücher der Bachelor-, Master- und Diplomstudiengänge an 12 deutschen Universitäten die Datenbasis der folgenden Untersuchung. In dieser themengeleiteten Textanalyse wird das schriftsprachliche Material systematisch und regelbasiert eng am Text analysiert. Dabei wird die Datenbasis hinsichtlich bestimmter Themen untersucht, wobei diese

---

<sup>1</sup> <https://www.uaruhr.de/>

<sup>2</sup> <https://www.tu9.de/>

Themen stellvertretend durch definierte Codes oder Schlüsselwörter identifiziert werden (vgl. zur Methodik May et al., 2016).

Ziel der Untersuchung ist es herauszufinden, inwieweit Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung als fachliche Ausbildungsinhalte in den offiziellen und zugänglichen Modulbeschreibungen der ausgewählten Hochschulen aufgenommen wurden. Es gilt dabei die Annahme, dass bei Berücksichtigung dieser Themen entsprechende Schlüsselwörter in den Modulbeschreibungen und -titeln zu finden sind. Die Schlüsselwörter folgen unmittelbar aus dem beschriebenen Verständnis sowie den bekannten Definitionen von Nachhaltigkeit und nachhaltiger Entwicklung (vgl. Kapitel 2). In Tabelle 5 werden diesen Schlüsselwörtern vereinfachte Suchphrasen zugeordnet, die dann zur Analyse der Textdokumente genutzt werden.

Tabelle 5: Schlüsselwörter/ Codes zur Analyse der Modulhandbücher

Schlüsselwörter/ Codes	Suchphrase	Schlüsselwörter/ Codes	Suchphrase
Nachhaltigkeit, nachhaltig, nachhaltige, nachhaltiges, nachhaltiger, nachhaltigkeitsorientiert, ...	<b>nachhaltig*</b>	Sustainability, sustainable, ...	<b>sustainab*</b>
Ökologisch, ökologische, ökologischer, ökologisches, Ökologie, ...	<b>ökolog*</b>	Ökonomisch, ökonomische, ökonomischer, ökonomisches, Ökonomie, ...	<b>ökonom*</b>
sozial, soziale, sozialer, soziales, Soziales, ...	<b>sozial*</b>	Umwelt, Umweltschutz, Umweltisiko, Umweltverträglichkeit, umweltgerecht, umweltfreundlich, umweltschädlich, ...	<b>Umwelt*</b>
Klima, Klimaschutz, Klimawandel, Klimaziele, ...	<b>Klima*</b>	Kreislaufwirtschaft, Materialkreislauf, Stoffkreislauf, ...	<b>Kreislauf*</b>

Bei der Analyse wurden ausschließlich die konkreten Modulbeschreibungen und -titel berücksichtigt. (Inhalts-) Verzeichnisse, zusätzliche Erläuterungen oder weitere Ergänzungen wurden nicht analysiert. In einem ersten Schritt erfolgten das Markieren und Zählen der Suchtreffer in den Dokumenten. In einem zweiten Schritt schloss sich eine Bereinigung der Suchergebnisse an, in dem die Treffer auf einen thematisch korrekten Bezug überprüft wurden. So wurden beispielsweise bei den Ergebnissen zur Suchphrase **Klima\*** Treffer wie „Lern**klima**“ (RWTH Aachen University, 2021, S. 452) und „Fahrzeug**klimatisierung**“ (Technische Universität Braunschweig, 2021, S. 276) oder bei der Suchphrase **sozial\*** Treffer wie „Methoden empirischer **Sozialforschung**“ (Technische Universität Dresden, 2020, S. 56) aussortiert und bei der folgenden Auswertung entsprechend nicht weiter berücksichtigt.

Insgesamt wurden 1.354 Modulbeschreibungen und -titel in Bachelor- und 3.038 in Masterstudiengängen sowie 216 in einem Diplomstudiengang des Fachs Maschinenbau untersucht. Dabei wurden sowohl Pflicht- als auch Wahlmodule berücksichtigt. Die vollständigen Ergebnisse der Analyse können im Detail dem Anhang A1 dieser Arbeit entnommen werden.

Insgesamt wurden 1.051 Fundstellen identifiziert, bei denen ausgehend von den Suchphrasen ein thematischer Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gegeben ist. Eine Übersicht über die Anzahl der Fundstellen und Anteile der jeweiligen Treffer zu den Suchphrasen zeigt Abbildung 14.

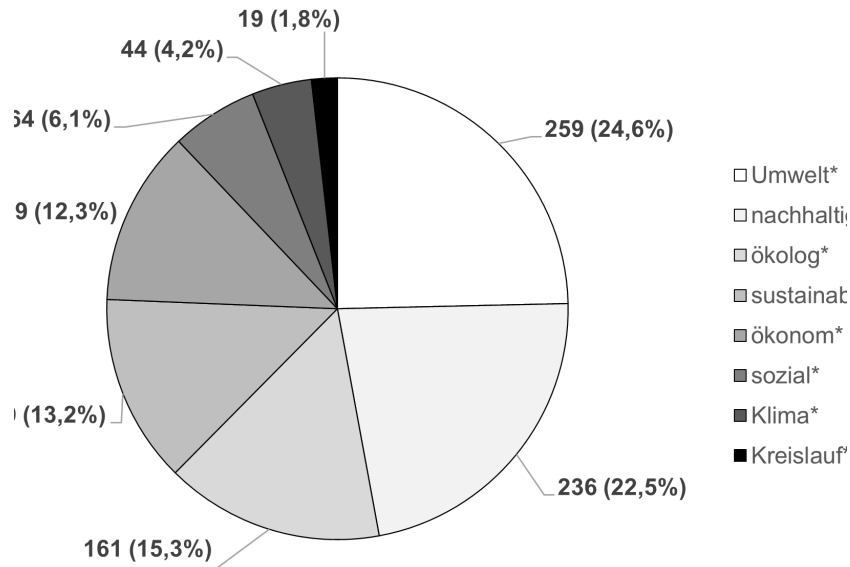


Abbildung 14: Fundstellen der Suchphrasen in der Analyse der Modulhandbücher

Mit 259 Treffern führte die Suchphrase ‚Umwelt\*‘ zu den meisten Ergebnissen. Es folgten die Suchphrasen ‚nachhaltig\*‘ mit 236 Treffern, ‚ökolog\*‘ mit 161 und ‚sustainab\*‘ mit 139 Fundstellen. Diese Ergebnisse stützen den Hinweis darauf, dass Nachhaltigkeit eng mit einer „Ökologisierung“ in Verbindung gebracht wird, denn auf die Suchphrasen ‚Umwelt\*‘ und ‚ökolog\*‘ entfallen zusammen 39,9% der gesamten Fundstellen. Die wenigsten Treffer lieferte hingegen die Suchphrase ‚Kreislauf\*‘, mit der stärker fachbezogene Schlagworte wie Kreislaufwirtschaft, Material- oder auch Stoffkreislauf repräsentiert werden. Obwohl diese naheliegenden Verbindungen und Bezugsthemen im Bereich der Nachhaltigkeit in den Ingenieurwissenschaften darstellen, ergab die Analyse von insgesamt 4.608 Modulen lediglich 19 Fundstellen.

Für eine Einschätzung über den Umfang der curricularen Implementierung des Themenbereichs Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung wurde zudem ausgewertet, in wie vielen Modulen ein thematischer Bezug hergestellt wird. Mit den gewählten Suchphrasen konnten in insgesamt 393 Modulen thematische Bezüge oder Verweise identifiziert werden, dies entspricht einem Anteil von 8,5%. In 347 Modulen befanden sich die Treffer dabei in der Modulbeschreibung. Einen expliziten Fokus auf die Themenbereiche, der durch einen Bezug im Modultitel abgebildet wird, legten nur 46 Module, was einem Anteil von 1,0% entspricht. Wird ausschließlich betrachtet, wie oft konkret der Begriff ‚Nachhaltigkeit‘ oder das englische Pendant ‚sustainability‘ in den Modulbeschreibungen und -titeln zu finden ist, so reduziert sich die Zahl der Module auf nur noch 95 (4,7% der analysierten Module), wobei davon 32 (0,7%) diese Begriffe im Titel führen. Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht sowie eine Untergliederung hinsichtlich der Bachelor-, Master- und Diplomstudiengänge.

Im Vergleich der verschiedenen Hochschulen zeigen sich deutliche Unterschiede. Den größten Anteil an Modulen mit allgemeinem Bezug zum Themenbereich Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung gibt es mit insgesamt 15,4% an der Technischen Universität Berlin, gefolgt von der Ruhr-Universität Bochum mit 15,2%. Der größte Anteil an Modulen mit direktem Bezug zeichnet die Ruhr-Universität Bochum aus. In 5,7% der Module wird hier der Begriff ‚Nachhaltigkeit‘ (bzw. ‚sustainability‘) im Titel genannt. Es folgt die Leibniz Universität Hannover mit 5,4% der Module.

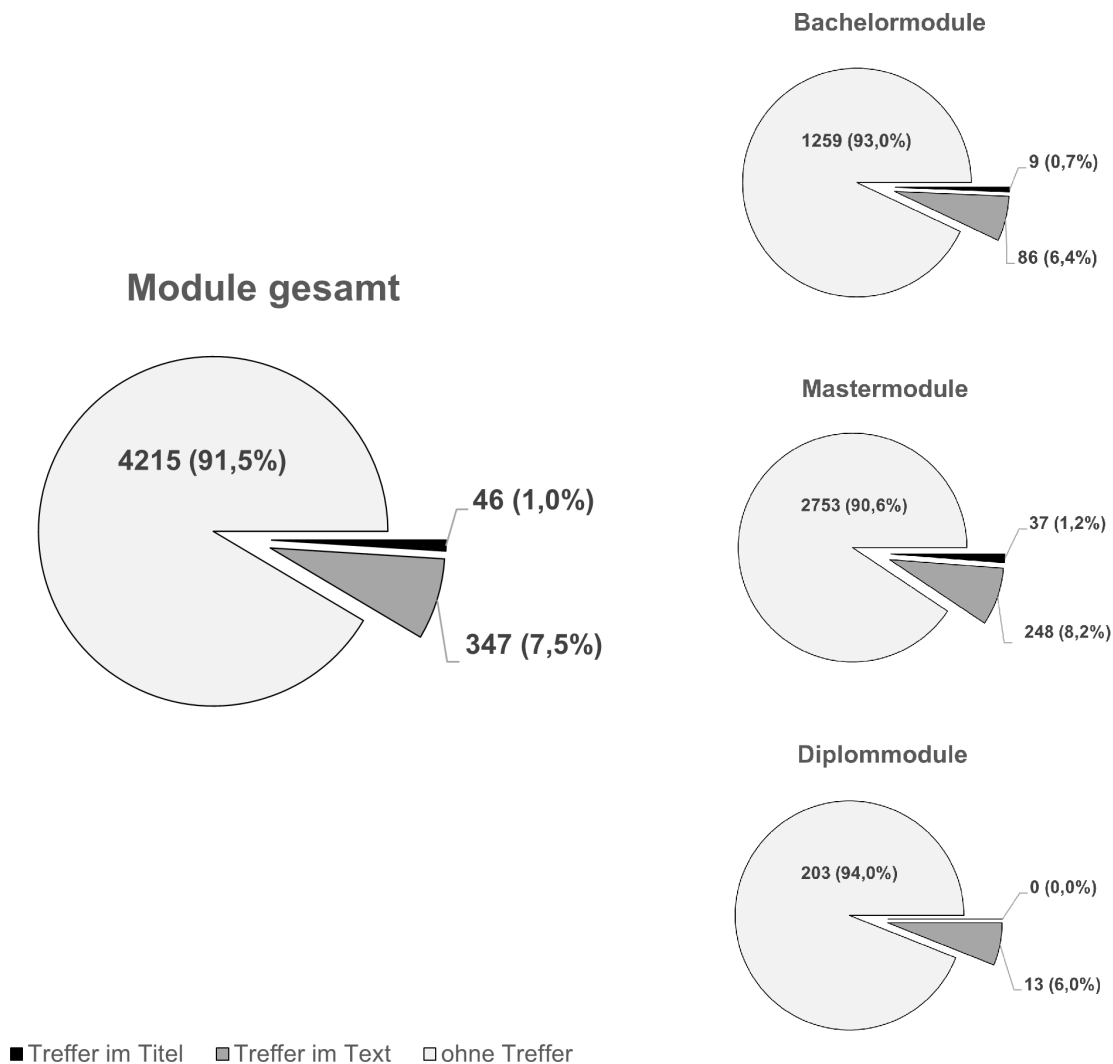


Abbildung 15: Module mit Bezug zu Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung

Das Schlusslicht bildet sowohl im regionalen als auch deutschlandweiten Vergleich jeweils die Technische Universität Dortmund. Lediglich 2,8% (4 von 145) der Module weisen Fundstellen zu den Suchphrasen auf, keines davon jedoch im Titel. Die Begriffe ‚Nachhaltigkeit‘ oder ‚sustainability‘ finden sich in keinem der Module.

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass der Anteil der Module, die Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung mit ingenieurwissenschaftlichen Kontexten in Verbindung bringen und entsprechende nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen adressieren, insgesamt sehr gering ist und es kaum einen erkennbaren fachlichen Bezug zur Nachhaltigkeit in den Studiengängen gibt. Insbesondere vor der erläuterten Bedeutung des Themas im öffentlichen, wirtschaftlichen, wissenschaftlichen und auch hochschulpolitischen Diskurs überrascht dieses Ergebnis und lässt unterschiedliche Schlussfolgerungen zu. Sollte der Bezug zur Nachhaltigkeit in der praktischen Hochschullehre trotz der Ergebnisse dieser Analyse doch bereits umfassender thematisiert werden, so zeigt dies eine fehlende curriculare Verankerung, die eine entsprechende Verbindlichkeit sicherstellen und die Berücksichtigung von den individuellen Präferenzen der Lehrenden unabhängiger machen könnte. Wahrscheinlicher ist es jedoch, dass Nachhaltigkeit noch immer zu einem Thema ohne konkreten

Fachbezug reduziert wird und keine Berücksichtigung bei der Studiengangsentwicklung und damit in den Fachcurricula findet.

Obwohl die Technische Universität Dortmund beispielsweise anführt, Studierende bereits zu befähigen „in disziplinären und interdisziplinären Arbeitsfeldern“ (Technische Universität Dortmund, 2021d, S. 3) nachhaltig zu agieren, fehlt ein curricularer Bezug im Fach Maschinenbau jedoch annähernd vollständig. Im Modulhandbuch des Bachelorstudiengangs findet sich einzig ein Bezug auf die soziale Dimension von Nachhaltigkeit, indem auf „Standards sozialer Angemessenheit hinsichtlich Arbeitsinhalt, Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung sowie Entlohnung und Kooperation“ (Technische Universität Dortmund, 2021b, S. 41) verwiesen wird. Im Masterstudiengang gibt es an zwei Stellen eher allgemeine Bezüge zum Thema Umwelt und Umweltschutz. Eine Formulierung wie „Darüber hinaus werden aktuelle Themen des Arbeits- und Umweltschutzes, der Qualitätssicherung und der instandhaltungsgerechten Konstruktion erarbeitet.“ (Technische Universität Dortmund, 2021c, S. 64) zeigt dabei jedoch eher einen geringen Stellenwert in der Auflistung der Lerninhalte. In einem Modul wird hingegen vergleichsweise konkret die ökologische Dimension von Nachhaltigkeit adressiert, indem „die ökologische Wirkung und Verantwortung des Verkehrs“ (Technische Universität Dortmund, 2021c, S. 70) als Lerninhalt ausgewiesen wird. Insgesamt zeigt sich aber weder in den beschriebenen Lerninhalten noch in den formulierten Lernzielen der Anspruch, nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden zu fördern. Ist also in der Nachhaltigkeitsstrategie von der Befähigung der Studierenden in ‚disziplinären Arbeitsfeldern‘ die Rede, gilt dies somit nachgewiesen nicht für alle Disziplinen.

Im Bereich der ‚interdisziplinären Arbeitsfelder‘ setzt die Technische Universität Dortmund seit dem Wintersemester [WiSe] 2021/22 auf ein ‚studium oecologicum‘, ein Nachhaltigkeitszertifikat, das Studierende zusätzlich zu ihrem Studium erlangen können (Technische Universität Dortmund, 2021e). Sie müssen dazu drei Module mit einem Umfang von 10 Leistungspunkten erfolgreich abschließen. Dazu zählen ein interdisziplinäres Grundlagenmodul, ein Vertiefungsmodul aus dem eigenen Fachbereich sowie ein fachfremdes Vertiefungsmodul. Diese Module können aus einem „dynamischen Modulhandbuch, welches semesterweise aktualisiert wird“ (Technische Universität Dortmund, 2021e, S. 3) gewählt werden. Lehrende der Hochschule sind aufgefordert, ihre Lehrveranstaltungen für dieses Angebot zu melden und zu öffnen. Das Grundlagenmodul bildet aktuell eine öffentliche Ringvorlesung „Klima: Wandel, Werte, Wissenschaft“, die zu wählenden Vertiefungsmodulen sind reguläre Lehrveranstaltungen aus verschiedenen Regelstudiengängen, die von den Lehrenden gemeldet und geöffnet werden. Im Wintersemester 2021/22 umfasst der Bereich ‚Naturwissenschaft und Technik‘, dem auch die Ingenieurwissenschaften zuzuordnen sind, mit 20 Veranstaltungen bzw. 13 Modulen (sechs Einzelangebote und sieben Kombinationen aus jeweils Vorlesung und Übung) das größte Angebot. Zwei Module stammen hierbei aus dem Lehrportfolio der Fakultät Maschinenbau, eines ist auch Teil des analysierten Modulhandbuchs für den Masterstudiengang Maschinenbau, zeigt in der Analyse jedoch keinen erkennbar formulierten Bezug zum Thema Nachhaltigkeit. Im Wintersemester 2021/22 stehen 17 weitere Vertiefungsmodulen aus unterschiedlichen Fachbereichen zur Auswahl. Insgesamt kann das ‚studium oecologicum‘ je nach Wahl der Vertiefungsmodulen somit Bezüge zum Studienfach der Studierenden haben, muss es aber nicht.

Freiwillige Angebote und zusätzliche Zertifikatsprogramme sind ein erster Schritt, Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung in der hochschulischen Bildung zu implementieren. Verbleiben

Hochschulen jedoch bei solchen eher unverbindlichen und überfachlichen Angeboten und fehlen konkrete fach- und berufsfeldbezogene Lernangebote, verfehlen die Hochschulen das Bildungsziel der „Sustainemployability“ (DUK, 2014, S. 6), die Fähigkeit der Studierenden, Ideen und Prinzipien von nachhaltiger Entwicklung in ihrem beruflichen Handeln anzuwenden.

Welche Anforderungen an eine ingenieurwissenschaftliche Bildung für nachhaltige Entwicklung folgen nun aus der dargestellten Perspektive der Hochschulen? Die Hochschulen zeigen zunehmend Offenheit und ein Problembewusstsein. Sie unterstützen daher durchaus aktiv ergänzende überfachliche Lehr- und Lernangebote und es entstehen neue ‚Nachhaltigkeitsstudiengänge‘ wie der Masterstudiengang ‚Angewandte Nachhaltigkeit‘ der Hochschule Bochum oder der Bachelorstudiengang ‚Wirtschaftsingenieur\*in Umwelt und Nachhaltigkeit‘ an der Berliner Hochschule für Technik. Jedoch finden Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung weiterhin keinen verbindlichen Einzug in bestehende Fachcurricula.

*„Eine Intensivierung der Bemühungen um die Integration des Nachhaltigkeitsparadigmas in die Hochschullehre und wissenschaftliche Weiterbildung erfordert zum einen die Bereitschaft der Hochschulangehörigen, die fachliche Lehre im Hinblick auf Nachhaltigkeit nicht nur zu ergänzen, sondern im Hinblick auf die Ziele des Studiums und den zukünftigen Berufsalltag neu zu strukturieren oder flexibler zu handhaben, zum andern deren Fähigkeit, den interdisziplinären Charakter nachhaltiger Entwicklung in der Lehre und Weiterbildung adäquat zu vertreten.“ (BMBF, 2004, S. 33)*

Die wesentliche Anforderung aus der Perspektive der Hochschulen ist somit Flexibilität. Dadurch kann das Prinzip der Nachhaltigkeit besser Eingang in die Hochschullehre finden (BMBF, 2004, S. 16). Ingenieurwissenschaftliche Bildung für nachhaltige Entwicklung sollte so flexibel gestaltet sein, dass sie sowohl eine überfachliche Umsetzung als auch eine fachspezifische Konkretisierung ermöglicht. Dies erleichtert die Akzeptanz, da Bezüge hergestellt werden können, ohne unmittelbar etablierte Fachstrukturen und -inhalte in Frage zu stellen. Lernangebote sollten daher so konzipiert sein, dass das Thema Nachhaltigkeit als gewinnbringendes ‚Add on‘ erscheint, also keine etablierten Fachinhalte verdrängt, sondern diese aufgreift, nutzt und ergänzt.

### **6.3 Perspektive Studierende – Niederschwellige und praxisorientierte Formate**

Im Mittelpunkt einer Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung stehen die Studierenden. Diese zeichnen sich in den vergangenen Jahren durch ein wieder deutlich zunehmendes (gesellschafts-) politisches Interesse aus. Im Rahmen des Studierenden surveys gaben 42% der Studierenden an Universitäten ein ausgeprägtes politisches Interesse an (BMBF, 2017, S. 21). Und nach Ergebnissen der aktuellen Shell-Jugendstudie ist jede\*r zweite Abiturient\*in politisch stark interessiert. Auch die relevanten Probleme und politischen Ziele der Jugendlichen und Studierenden wandeln sich zunehmend. Im Jahr 2010 waren die wirtschaftliche Lage, steigende Armut und die Angst vor Arbeitslosigkeit oder davor, keinen Ausbildungsplatz zu finden, die am häufigsten genannten Probleme. Aktuell geben fast 3 von 4 Jugendlichen Umweltverschmutzung als größte Sorge an, es folgen mit 66% die Angst vor Terroranschlägen und mit 65% der Klimawandel (Albert et al., 2019, S. 15). Im Studierenden survey ist beispielsweise die völlige Zustimmung der Studierenden zur Priorisierung von Umweltschutz vor wirtschaftlichem Wachstum von 46% im Jahr 2004 auf 56% im Jahr 2016 gestiegen (BMBF, 2017, S. 22).



Dieses steigende gesellschafts- und umweltpolitische Interesse zeigt sich auch in der Bewegung ‚Fridays for Future‘, die 2018 von Greta Thunberg initiiert wurde, auf die Folgen des Klimawandels aufmerksam macht und die Politik zum Handeln auffordert. 2019 schlossen sich auch in Deutschland Schüler\*innen der inzwischen weltweiten Bewegung an und begannen, für das Klima zu streiken. Daraus entstanden sind auch hochschulnahe Initiativen wie ‚Students für Future‘ (beispielsweise die Hochschulgruppe ‚Campus for Future‘ aus Studierenden und Mitarbeitenden der Technischen Universität Dortmund) oder ‚Scientists for Future‘.

*„Umwelt und Nachhaltigkeit sind Themen, die für Jugendliche und junge Erwachsene einen hohen Stellenwert haben, wenn sie darüber nachdenken – oder angestoßen werden, darüber nachzudenken.“ (BMU, 2018, S. 24)*

Dabei scheint Nachhaltigkeit dennoch ein Thema zu sein, das stark durch den ‚intellektuellen Mainstream‘ geprägt ist. „Der sozialen Norm folgend sind zwar vordergründig so gut wie alle der befragten Jugendlichen von der Relevanz des Klima- und Umweltschutzes überzeugt, eine genauere Auseinandersetzung damit findet jedoch vor allem in der bildungsnahen Gruppe der gesellschaftlichen Mitte statt“ (Calmbach et al., 2020, S. 39). Gleichzeitig geben viele Jugendliche an, dass ihr schulisches Wissen über den Klimawandel nur sehr schwach bis rudimentär sei (Herzog, 2021, S. 39). In einer Studie, in der 2.564 Personen im Alter von 14 bis 24 Jahre befragt wurden, bewerteten die Teilnehmenden das eigene Wissen zu den Themen Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung lediglich mit der Schulnote 3, also nur als ‚befriedigend‘ (Grund & Brock, 2018, S. 3).

*„Mit „Nachhaltigkeit“ verbinden die Befragten vor allem einen sparsamen Umgang mit Ressourcen. Der Begriff steht in enger Beziehung zu umweltschonenden Aktivitäten in den Bereichen Mobilität, Energie, Entsorgung und Alltagskonsum. Ökonomische oder soziale Aspekte des Nachhaltigkeitsbegriffs sind bei jungen Menschen wenig präsent.“ (BMU, 2018, S. 28)*

In diversen Studien wurde unter anderem erhoben, über welches Wissen Studierende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen über Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung verfügen. Azapagic et al. (2005) führten beispielsweise eine weltweite Umfrage unter Studierenden in ingenieurwissenschaftlichen Fächern an insgesamt 40 Universitäten durch. Dabei stellten sie fest, dass das Wissen und das Verständnis der Studierenden zur Nachhaltigkeit und nachhaltigen Entwicklung insgesamt nur gering ausgeprägt war. Während die Studierenden im Mittel aber noch vergleichsweise gut über Umweltthemen informiert zu sein schienen, zeigten sich erhebliche Defizite in Bezug auf die soziale und wirtschaftliche Dimension der nachhaltigen Entwicklung. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam Kagawa (2007) in einer Online-Befragung an der University of Plymouth. Auch hier konnte festgestellt werden, dass die befragten Studierenden ein eher eindimensionales, auf Umweltaspekte begrenztes Verständnis von Nachhaltigkeit hatten. Weitere Studien zeigen, dass sich auch in unterschiedlichen Studienabschnitten diesbezüglich keine wesentlichen Veränderungen ergeben. Während Azapagic et al. Ihre Erhebungen insbesondere mit Studienanfänger\*innen durchführten, befragten Carew und Mitchell (2002) Studierende im dritten Studienjahr, Flament und Kövesi (2020) führten eine Online-Befragung von Studierenden im ersten Jahr des Masterstudiums durch und Nicolaou und Conlon (2012) befragten Studierende in ihrem letzten Studienjahr. Alle fanden heraus, dass auch in diesen Gruppen kaum Wissen in Bezug auf Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung bestand, was zeigt, dass das ingenieurwissenschaftliche Studium diese Themen nicht adressiert und die Studierenden darüber hinaus auch nicht in ihrem Studium angeregt werden, sich mit nachhaltigkeitsrelevanten Problemstellungen auseinanderzusetzen. In einer

studiengangübergreifenden Befragung ermittelten Grund und Brock beispielsweise, dass die Bezüge zum Thema Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung etwa 8,3% der Lehr- und Lernzeit an Hochschulen einnehmen (2018, S. 3). In der gleichen Befragung wurden die Studierenden gebeten anzugeben, wie hoch der Anteil der Lehr- und Lernzeit mit Bezug zu Themen der Nachhaltigkeit ihrer Meinung nach sein sollte. Der Wunsch der Studierenden lag hier sogar bei einem Anteil von 34% (Grund & Brock, 2018, S. 4). Denn, das zeigen die angeführten Studien ebenfalls, Studierende schätzen nachhaltige Entwicklung sowohl für sich persönlich als insbesondere auch für ihr zukünftiges Berufsbild als Ingenieur\*innen als sehr wichtig ein (Azapagic et al., 2005, S. 16; Flament & Kövesi, 2020, S. 6; Kagawa, 2007, S. 327).

*„Eine erfolgreiche Umsetzung des Weltaktionsprogramms Bildung für nachhaltige Entwicklung in einer Hochschule erfordert im Wesentlichen zwei Dinge:*

- 1) eine curriculare Einbindung des Lehr-Lern-Gegenstands Nachhaltigkeit, also die Möglichkeit [sic!] über Nachhaltigkeit zu lernen (inhaltlich-thematischer Aspekt), und*
- 2) eine wirksame Ausgestaltung von Lehre, die es Studierenden ermöglicht, jetzt und in Zukunft die Welt nachhaltig zu gestalten, [sic!] und dies auch zeitlich überdauernd zu lernen (Qualitätsaspekt).“ (Braßler, 2018, S. 82)*

Studierendenvertretungen wie der ‚Freie Zusammenschluss von Student\*innenschaften‘, der etwa ein Drittel der 3 Mio. Studierenden in Deutschland vertritt, fordern, dass durch das Studium die Möglichkeit gegeben wird, sich mit Themen der nachhaltigen Entwicklung auseinanderzusetzen. Dabei sollte die Auseinandersetzung mit diesen Themen aber mehr als eine reine ‚Wissensvermittlung‘ sein, sie sollte vielmehr ‚kritisch, praktisch, fachbezogen und interdisziplinär‘ erfolgen (Freier Zusammenschluss von Student\*innenschaften [fzs], 2018). Dies entspricht auch dem häufig geforderten stärkeren Praxisbezug im Studium (vgl. z.B. BMBF, 2017, S. 92). Es wird gefordert, dass Studierende die Möglichkeit erhalten, ihre Lernprozesse selbst zu gestalten und diese auch nutzen. Zudem wird durch die Vertreter\*innen der Studierendenschaften die praktische Auseinandersetzung mit entsprechenden Problemstellungen in interdisziplinären Teams als wesentliche Anforderung für eine hochschulische Bildung für nachhaltige Entwicklung formuliert (fzs, 2018).

Zusammenfassend zeigt die Perspektive der Studierenden als Zielgruppe einer ingenieurwissenschaftlichen Bildung für nachhaltige Entwicklung somit, dass die Studierenden das Thema Nachhaltigkeit privat und in ihrer beruflichen Zukunft für wichtig erachten. Sie wünschen sich eine deutlich stärkere Thematisierung und eine fachbezogene Verknüpfung in ihrer hochschulischen Ausbildung. Gleichzeitig verfügen sie häufig über wenig Vorbildung in Bezug auf nachhaltige Entwicklung, so dass sich die Anforderungen ergeben, entsprechende Lehr- und Lernangebote mit einem niederschweligen Einstieg zu konzipieren und eine praktische und praxisbezogene Auseinandersetzung mit dem Themenbereich zu ermöglichen.

## **6.4 Perspektive Unternehmen – Generalist\*innen mit transformativen Kompetenzen**

Im Bereich der Ausbildung von Ingenieur\*innen kommt den Anforderungen des zukünftigen Berufsfeldes eine besondere Bedeutung zu. Studierende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen werden nicht nur als Fachexpert\*innen mit dem Anspruch auf eine hohe wissenschaftliche

Expertise ausgebildet. Zunehmend besteht der Anspruch, dass Hochschulabsolvent\*innen bedarfsgerechte Fachkräfte sind, um die Produktivität und Innovationskraft der deutschen Wirtschaft zu stärken (Fraune, 2012, S. 23). Und insbesondere in den Ingenieurwissenschaften wählt ein Großteil der Studierenden nach dem Abschluss den Weg in die Industrie. Im Jahr 2017 waren von 1,1 Mio. ausgebildeten Ingenieur\*innen 818.000 in den Bereichen Entwicklung, Konstruktion und Produktion in wirtschaftlichen Unternehmen tätig (Bundesagentur für Arbeit, 2019, S. 5). Die Zieldimension der Employability (vgl. Kapitel 4.2) ist im Bereich der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulbildung somit besonders deutlich mit den Anforderungen und Erwartungen von Unternehmen als berufliches Handlungsfeld verbunden.

Unternehmen erkennen, dass globale gesellschaftliche Herausforderungen und ökologische Krisen wie der Klimawandel auch einen industriellen Transformationsprozess unumgänglich machen (Stifterverband für die deutsche Wirtschaft, 2021, S. 7). Während es vor wenigen Jahren schon als „vorbildlich“ (Kunzlmann & Schilcher, 2021, S. 8) galt, wenn Unternehmen ihre Mitarbeitenden gerecht entlohnten und in Nachhaltigkeitsberichten ihre Bemühungen dokumentierten, stehen heute umfassend nachhaltige Geschäftsmodelle im Fokus. So weist auch die Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik darauf hin, dass es einer industriellen Produktion bedarf, „die nicht nur auf hohe Produktivität und niedrige Stückkosten bei gehobener Qualität ausgerichtet ist, sondern auch auf ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit“ (Schmitz, 2021). Nachhaltigkeit und die damit verbundenen neuen Technologien und Innovationspotenziale werden zunehmend als Wachstumschance verstanden (Kunzlmann & Schilcher, 2021, S. 16).

Dieser Wandel prägt auch das aktuelle und zukünftige Anforderungsprofil von Ingenieur\*innen. Es wird erwartet, dass sie nicht nur in der Lage sind, die Fachexpertise ihrer technischen Ausbildung umzusetzen, sondern dass sie auch ein Verständnis für soziale, kulturelle und ökologische Kontexte mitbringen, um sich von traditionellen und konventionellen Vorgehensweisen zu lösen und innovative und nachhaltige Lösungen zu entwickeln (vgl. Boyle, 2004).

Diese Bedarfe stellen auch Interessenverbände wie der Verein Deutscher Ingenieure [VDI] heraus. Im Rahmen des Weltingenieurtags stellte sich Fuchs, ehemaliger Direktor des VDI, hinter die Annahme, dass Nachhaltigkeit zukünftig zum „Kerngeschäft der Unternehmen, des Kapitalmarktes, der technischen Innovation und natürlich der Politik“ (INGENIEUR.de, 2011) gehören werde.

*„Um diese Zielsetzung erfolgreich verfolgen zu können, müssen wir die Ingenieurausbildung so reformieren, dass die verstärkte Nutzung der erneuerbaren Energien, die Ressourceneffizienz und das Recycling sowie die ökonomischen, ökologischen, sozialen, soziologischen und gesellschaftspolitischen Gesichtspunkte des wirtschaftlichen Handelns zu einem integralen Bestandteil der Ingenieurausbildung werden. [...] Ziel muss es sein, dass jeder Ingenieur eine internationale Perspektive bekommt, damit er seinen Beitrag zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen weltweit leisten kann. Der Erwerb dieser „ganzheitlichen Kompetenzen“ hilft dem Ingenieur interdisziplinär zu denken und zu lernen sowie Produkte zu entwickeln, die den gesamtgesellschaftlichen und globalen Anforderungen gerecht werden.“ (INGENIEUR.de, 2011)*

In einer Stellungnahme zum aktuellen Stand der hochschulischen Ausbildung von Ingenieur\*innen betont der VDI zudem zukünftig erforderliche Kompetenzen in den Bereichen Ethik und Nachhaltigkeit und fordert, dass Ingenieur\*innen sich ihrer „neuen Rolle bei der Lösung zentraler Probleme der Menschheit und der Umsetzung der UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung bewusst werden“ (Verein Deutscher Ingenieure, 2019, S. 10). Hinsichtlich der daraus resultierenden zunehmenden

Verantwortung von Ingenieur\*innen in der Technikfolgenabschätzung formuliert der VDI sogar explizit ‚ethische Grundsätze‘, um bei der Beurteilung von Verantwortungskonflikten zu unterstützen (Verein Deutscher Ingenieure, 2021). Ausgehend von diesen Forderungen und Annahmen stellt sich die Frage, welche Kompetenzen Unternehmen konkret fordern bzw. von Absolvent\*innen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge erwarten.

Mit Blick auf die aktuell großen gesellschaftlichen Herausforderungen wie den Klimawandel und auch die COVID-19 Pandemie wurde vom Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft in Zusammenarbeit mit McKinsey & Company eine Analyse zu branchenübergreifenden Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften, die aktuell und in den nächsten fünf Jahren in allen Bereichen des Berufslebens wichtig werden, durchgeführt (Stifterverband für die deutsche Wirtschaft, 2021). Bereits 2018 hatte der Stifterverband das in Abbildung 16 dargestellte Framework der sogenannten ‚Future-Skills‘ (Stifterverband für die deutsche Wirtschaft, 2018) vorgestellt.

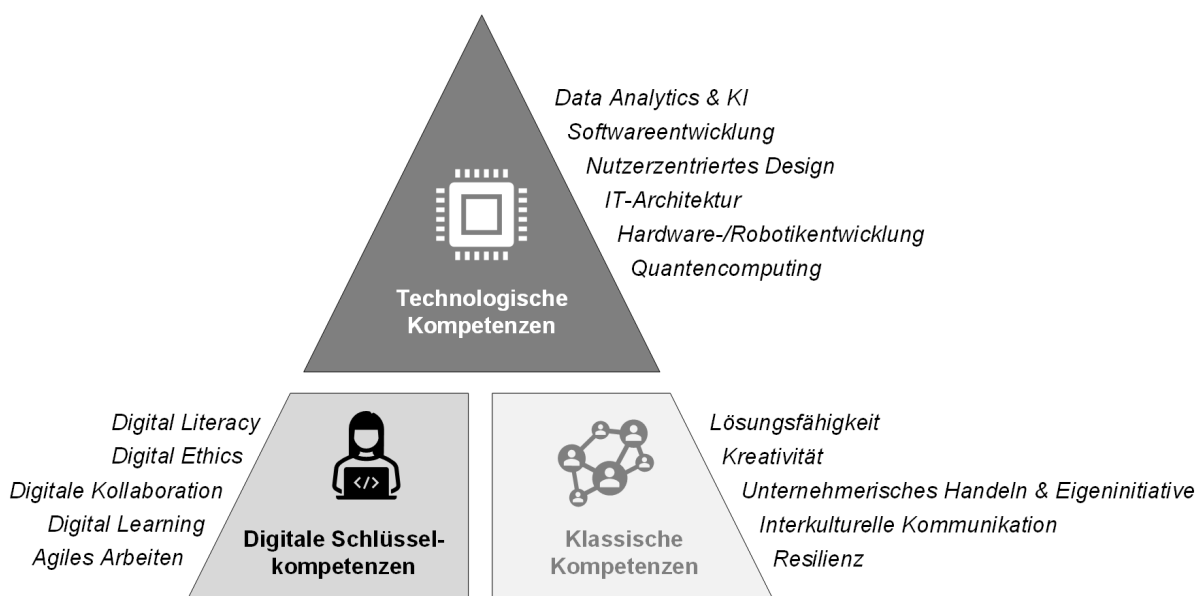


Abbildung 16: Framework mit 16 'Future Skills' (i.A.a. Stifterverband für die deutsche Wirtschaft, 2018)

Ausgehend davon, dass Herausforderungen wie der Klimawandel sowie ökologische und globale Krisen nun einen gesellschaftlichen und industriellen Transformationsprozess unabdingbar machen, wurde dieses Modell gemeinsam mit Expert\*innen aus Wirtschaft und Wissenschaft und im Kontext internationaler Wissensressourcen um eine vierte Kategorie der ‚transformativen Kompetenzen‘ erweitert (Stifterverband für die deutsche Wirtschaft, 2021, S. 5). Diese Kompetenzen ermöglichen es Personen, sich gesellschaftlicher Herausforderungen bewusst zu werden und visionäre Lösungen zu entwickeln. Sie werden in fünf ‚Skills‘ konkretisiert:

- **Urteilsfähigkeit**  
Reflexion von gesellschaftlichen Herausforderungen (ökologische, soziale, demokratische Ziele, UN Sustainable Development Goals, nachhaltige bzw. Kreislaufwirtschaft, Energy Literacy); bewerten wissenschaftlicher Erkenntnisse und medialer Berichterstattung
- **Innovationskompetenz**  
Generieren von Innovationen (Produkten, Dienstleistungen, Prozesse, Aktivitäten) im beruflichen oder privaten Kontext, um zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen beizutragen und damit auch Unabhängigkeit sicherzustellen (z.B. bei Cyberangriffen oder

Änderungen an bestimmten Lieferketten usw.), Hinterfragen des Status quo und Umsetzen neuer Ideen

- *Missionsorientierung*  
Entwicklung einer Mission; Schaffung eines Missionsnarrativs; Fähigkeit, Menschen zu inspirieren zu überzeugen und zu bewegen
- *Veränderungskompetenz*  
Entwicklung von Strategien für die Umsetzung von Veränderungszielen; Verständnis für die Dynamiken von Gruppen, Institutionen, Netzwerken und Systemen; Akzeptanz nachhaltiger, kultureller Veränderungen
- *Dialog- und Konfliktfähigkeit*  
Überwindung disziplinärer und funktionaler Silos. Ausgleichen von Spannungen und Lösen von Dilemmata; Verständnis für widersprüchliche Perspektiven und Umgang mit Ambiguitäten; Mut zur offenen Debatte und Meinungsäußerung

In einer Umfrage wurden leitende Angestellte und Personalverantwortliche von 377 Unternehmen und 123 Behörden aufgefordert zu bewerten, wie wichtig diese Skills sowie die 16 weiteren ‚Future Skills‘ aus den Kategorien der ‚technologischen Kompetenzen‘, ‚digitalen Schlüsselkompetenzen‘ und ‚klassischen Kompetenzen‘ heute und in den kommenden fünf Jahren in allen Bereichen des Berufslebens sein werden (Stifterverband für die deutsche Wirtschaft, 2021, S. 6). Die zweithöchste Bedeutung über alle insgesamt 21 Skills wird hierbei der Dialog- und Konfliktfähigkeit zugesprochen. 92% der Befragten ordneten diese Kompetenz als aktuell sehr wichtig ein, 98% schätzen sie als sehr wichtig innerhalb der nächsten fünf Jahre. Mehr Zustimmung erreicht nur die (Problem-) Lösungsfähigkeit mit 95% bzw. 99% innerhalb der nächsten 5 Jahre. Urteilsfähigkeit, Innovationskompetenz und Veränderungsfähigkeit werden von mehr als 80% schon heute als wichtig eingestuft, innerhalb der nächsten fünf Jahre steigt diese Einordnung hierbei sogar auf jeweils mehr als 90%. Die Missionsorientierung erhält im Vergleich nur von 65% der befragten Personen eine Einordnung als wichtige Kompetenz (Stifterverband für die deutsche Wirtschaft, 2021, S. 8). Somit konnten Dialog- und Konfliktfähigkeit, Urteilsfähigkeit, Innovationskompetenz und Veränderungskompetenz als wesentliche überfachliche Kompetenzen zukünftiger Arbeitnehmer\*innen identifiziert werden.

Um konkret fachbezogene Anforderungen an Ingenieur\*innen herauszustellen, führten Hanning und Priem Abelsson (2012; 2010) Interviews und Diskussionen in Fokusgruppen mit 38 Vertreter\*innen von 16 in Schweden ansässigen nationalen und internationalen technisch orientierten Unternehmen durch. 14 der 16 Unternehmen sprachen sich hierbei dafür aus, dass Hochschulen eine grundlegende Ausbildung der Ingenieur\*innen im Bereich der nachhaltigen Entwicklung sicherstellen sollten. Dabei ging es der Mehrheit um ein grundlegendes Wissen und Verständnis von Nachhaltigkeit (im Sinne nachhaltigkeitsorientierter ‚Basiskompetenzen‘) und explizit nicht um die konkrete Ausbildung aller Studierenden zu ‚Nachhaltigkeitsspezialist\*innen‘:

*„We need engineers to be engineers, but we also need them to be engineers that can do things in a sustainable way, a green way, an ethical way and a safe way. /.../ If they are not educated about how to do this, then they would be educated for the past, not the future.” (Hanning & Priem Abelsson, 2010, S. 40)*

Die Unternehmensvertreter\*innen stellten heraus, dass Ingenieur\*innen gut darin seien, Probleme zu finden und spezifische Probleme zu lösen. Es fehle mit Blick auf die Anforderungen einer nachhaltigen Entwicklung aber häufig die Fähigkeit, Probleme nicht nur aus der technischen Perspektive zu betrachten und zu bewerten (Hanning & Priem Abelsson, 2010, S. 74). Um die Perspektive der Unternehmen zu erweitern, wurden in der Forschungsarbeit zusätzlich Absolvent\*innen, die seit drei bis fünf Jahren als Ingenieur\*innen in Unternehmen tätig waren, dazu befragt, inwieweit sie ihr Studium auf die beruflichen Anforderungen in Bezug auf nachhaltige Entwicklung vorbereitet habe und welche Kompetenzen ihnen bei ihrem beruflichen Einstieg in diesem Bereich fehlten. 52% der Befragten bestätigten, in ihrer täglichen Arbeit mit Fragen und Problemen der Nachhaltigkeit in Kontakt zu kommen und zum Teil auch dafür verantwortlich zu sein (Hanning & Priem Abelsson, 2010, S. 75). Zudem verwiesen 63% darauf, dass sie bei ihrem Berufseinstieg nicht oder nur unzureichend auf die Entwicklung von Produkten, Prozessen und Technologien im Hinblick auf Nachhaltigkeit vorbereitet waren und es insbesondere Defizite in ihrer Ausbildung in den Bereichen „economics“, „social impacts“ und „green technologies“ gab (Hanning & Priem Abelsson, 2010, S. 65). Die Befragten bestätigten somit das Defizit in den von den Unternehmensvertreter\*innen beschriebenen nachhaltigkeitsorientierten (Basis-) Kompetenzen mit Bezug auf die ingenieurwissenschaftliche Fachdisziplin.

Die Perspektive der Unternehmen konkretisiert somit auch die geforderten Kompetenzen, die im Rahmen einer ingenieurwissenschaftlichen (Aus-) Bildung für nachhaltige Entwicklung gefördert werden sollten. Dies sind zum einen fachübergreifende transformative Kompetenzen wie die Dialog- und Konfliktfähigkeit, die Urteilsfähigkeit, die Innovationsfähigkeit und die Veränderungskompetenz. Zum anderen wünschen sich Unternehmen zukünftig Generalist\*innen mit nachhaltigkeitsorientierten (Basis-) Kompetenzen, also einem Grundverständnis des komplexen Konzepts von nachhaltiger Entwicklung und den verschiedenen Dimensionen von Nachhaltigkeit, die in der Lage sind, technische Produkte und Prozesse hinsichtlich des Anspruchs der Nachhaltigkeit zu bewerten.

## 6.5 Resultierende Elemente des Entwicklungsziels im DBR

Der Anspruch, das von Ingenieur\*innen zukünftig nicht allein innovative und kreative technische Problemlösungen erwartet werden, sondern auch ein Verständnis von Nachhaltigkeit und ein Bewusstsein, welchen Einfluss ihr berufliches Handeln auf nachhaltige Entwicklung hat, stellt neue Herausforderung an die Profession und damit zentrale Implikationen für die Ausbildung dar. Um diese möglichst umfassend aufzunehmen, wurden in der Analyse die Perspektiven der Hochschulen, der Studierenden und der Unternehmen berücksichtigt. Ergebnisse dieser Analyse sind wesentliche Rahmenbedingungen für mögliche Lehr- und Lernkonzepte und -settings, aber auch konkrete Kompetenzerwartungen als Zieldimensionen.

Ziel einer ingenieurwissenschaftlichen (Aus-) Bildung für nachhaltige Entwicklung ist es, dass Studierende lernen, verschiedene Sichtweisen und Dimensionen zu berücksichtigen und über die eigene Fachdisziplin hinaus zu denken. Die Perspektive der Hochschulen zeigt dazu einige *strukturelle bzw. organisatorische Rahmenbedingungen* auf:

1. Für eine umfassende Akzeptanz ist eine **Flexibilität** zur überfachlichen Umsetzung und/oder fachspezifischen Konkretisierung des Konzepts erforderlich.

2. Eng definierte Fachcurricula ermöglichen eine fachbezogene Integration des Themenbereichs Nachhaltigkeit nur als **ergänzendes Element**, das an den traditionellen Fächer- und Themenkanon anschließt.

Unabhängig von dieser Eingrenzung wünschen sich Studierende Lehr- und Lerninhalte mit Bezug zu nachhaltiger Entwicklung, da sie die persönliche und berufliche Bedeutung als hoch einschätzen. Ihre Anforderungen und Erwartungen definieren einige *didaktische und methodische Rahmenbedingungen* für die Konzeption eines entsprechenden Lernangebots:

3. Es ist von einer Heterogenität der Studierenden hinsichtlich ihrer Vorbildung im Bereich der Nachhaltigkeit auszugehen, so dass Lernangebote möglichst **niederschwellig** gestaltet werden müssen, um eine erfolgreiche Teilnahme für alle sicherstellen zu können.
4. Studierende wünschen sich einen stärkeren **Praxisbezug** im Studium und fordern insbesondere für komplexe Querschnittsthemen wie nachhaltige Entwicklung **aktive und diskursive Lehr- und Lernformate**.

Die Perspektive der Unternehmen zeigt auf, welche Anforderungen sich aus dem aktuellen industriellen Transformationsprozess ergeben und welche Fähigkeiten und Kompetenzen dafür von zukünftigen Ingenieur\*innen erwartet werden. Diese Erwartungen und Anforderungen definieren somit die *inhaltlichen Zieldimensionen*:

5. Für Gestaltung und Realisierung von nachhaltiger Entwicklung in Unternehmen benötigen Fachkräfte fachübergreifend **transformative Kompetenzen**, um sich gesellschaftlichen Herausforderungen bewusst zu werden und visionäre Lösungen entwickeln zu können.
6. Ingenieur\*innen sollen weiterhin hauptsächlich Technikexpert\*innen sein, die aber im Sinne **nachhaltigkeitsorientierter (Basis-) Kompetenzen** über ein Grundverständnis des Konzepts von nachhaltiger Entwicklung verfügen und bewerten können, in welchen Bezug technische Produkte und Prozesse zur ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit stehen.

Im Phasenmodell des DBR schließt sich an diese Analyse im Folgenden die Entwicklung und Gestaltung der Intervention an, die auf diesen Zielkontext abgestimmt wird. Die beschriebenen sechs Elemente stellen somit das Entwicklungsziel für den Entwicklungs- und Gestaltungsprozess eines korrespondierenden Lernangebots dar. Zudem liefert die Analyse eine Antwort auf die im Rahmen dieser Arbeit zentrale Frage, welche Kompetenzen in Bezug auf das Thema Nachhaltigkeit zukünftige Ingenieur\*innen im Rahmen ihres Studiums entwickeln müssen.

---

## 7 Entwicklung und Gestaltung des Lernangebots

Die aus der Analyse hervorgehenden Elemente des Entwicklungsziels erfordern ein besonderes Format als Lehr- und Lernsetting, das sowohl den definierten Rahmenbedingungen als auch den inhaltlichen Zieldimensionen gerecht wird. Dabei soll eine ingenieurwissenschaftliche Bildung für nachhaltige Entwicklung dazu führen, dass Studierende über die eigene Fachdisziplin hinausdenken und verschiedene Perspektiven berücksichtigen, indem sie beispielsweise bei der Entwicklung oder Herstellung von Produkten auch die Folgen für Menschen und Natur bewerten und in ihren Entscheidungen berücksichtigen (Aufenanger, 2011, S. 25). Um den Umgang mit solchen konfliktreichen Entscheidungsprozessen zu erlernen, eignen sich insbesondere konkrete Probleme als Lernanlässe (Braßler, 2018, S. 84). Den Lernprozess von Studierenden mit realen und dazu noch gemeinnützigen Problemstellungen zu verbinden, entspricht dem Modell des ‚Service-Learning‘. Dieses bezieht sich auf drei wesentliche Bausteine (vgl. Gerholz et al., 2015):

1. *Realität*

Die Problemstellung entspricht einem realen Bedürfnis und ermöglicht dabei eine Verbindung zu den curricularen Inhalten. Bei der Bearbeitung sollten die Studierenden mit verschiedenen sozialen Herausforderungen konfrontiert werden, um die „Widersprüchlichkeiten und Vielfältigkeit von Wertefragen in der Zivilgesellschaft“ (Gerholz et al., 2015, S. 3) zu erfahren.

2. *Reflexion*

Über Reflexionsprozesse sollen Studierende angeregt werden, die Beziehungen zwischen Handlungen und deren Folgen kritisch zu betrachten und immer wieder zu hinterfragen. Dabei sollen sie nicht nur die Verbindung zu den Inhalten ihres Studiums erkennen, sondern auch ihre persönliche Einstellung bewusst wahrnehmen und hinterfragen.

3. *Gegenseitigkeit*

Die Bearbeitung der Problemstellung soll partnerschaftlich zwischen Studierenden und gemeinnützigen Organisationen erfolgen, da beide Seiten unterschiedliche Kompetenzen und Wissensbestände einbringen und die gegenseitige Bezugnahme viel Potenzial bietet.

Entwickeln die Studierenden aus der Problemstellung heraus selbst ihr Handlungsziel und setzen Sie dieses in einem realen (und ggf. technischen) Projekt um, so wird dies auch als ‚projektbasiertes Service-Learning‘ bezeichnet (Hemmati et al., 2017, S. 1). Ein Format, das dieser Idee folgt und das sich der hochschulischen Ausbildung von Ingenieur\*innen bereits bewährt hat, ist die ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘, die die Grundlage für die folgende Konzeption des Lernangebots darstellt.

### 7.1 Die ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘

Die ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘ [IoGC] basiert auf dem internationalen Konzept der ‚Engineers without Borders Challenge‘ und wurde ihm Rahmen des durch das Bundesministerium für



Bildung und Forschung geförderten Projekts ‚ELLI - Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften‘<sup>3</sup> entwickelt und erprobt.

‚Engineers without Borders‘ [EwB] ist eine Nichtregierungsorganisation, die im Bereich der technischen Entwicklungszusammenarbeit in benachteiligten Regionen aktiv ist. Dabei besteht EwB aus unabhängigen nationalen Mitgliedergruppen, die sich in einem internationalen Netzwerk zusammengeschlossen haben. Die erste nationale Gruppe wurde 1980 in Frankreich gegründet, die deutsche Mitgliedergruppe entstand 2003 als ‚Ingenieure ohne Grenzen e.V.‘ und umfasst aktuell 33 Regionalgruppen. Ein großer Teil aller EwB-Gruppen sind eng mit der akademischen Welt und Hochschulen verbunden und werden oft auch von Studierenden geleitet (Shamsi et al., 2013, S. 438).

Das Konzept der EwB-Challenge entstand 2007 in Australien als nationaler Wettbewerb für Studierende im ersten Studienjahr. Die Idee ist es, dass Studierende ausgehend von ihren eigenen fachlichen Hintergründen Lösungen für reale Problemstellungen aus der Entwicklungszusammenarbeit (unter anderem in den Bereichen Frischwasserversorgung, Basisinfrastruktur oder Wohnraum) entwickeln. Sie arbeiten dabei in Teams und treten mit ihren Lösungsideen in einem Wettbewerb gegeneinander an (vgl. z.B. Buys et al., 2013; Cook et al., 2017; Jolly et al., 2011; Schönefeld et al., 2019; Siller et al., 2016). Im Jahr 2011 schlossen sich Universitäten in Großbritannien und Neuseeland dem Format an und seit 2017 ist die Challenge in Australien, Neuseeland, dem Vereinigten Königreich, Irland, Malaysia und Dubai fester Bestandteil der Universitätsprogramme und an 52 Hochschulen nehmen seither jährlich mehr als 10.000 Studierende daran teil (Cook et al., 2017, S. 2).

In Deutschland wurde das Konzept als ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘ zum ersten Mal 2012 an der RWTH Aachen University umgesetzt. Seit 2017 beteiligt sich die Technische Universität Dortmund als zweite deutsche Hochschule an der Challenge und ist seither auch an der Leitung und Organisation beteiligt. In den folgenden Jahren schlossen sich weitere Hochschulen an, so dass im Wintersemester 2021/22 mehr als 1.400 Studierende an 11 Hochschulen am deutschen Wettbewerb teilnehmen. Während sich das australische Original ausschließlich an Studierende im ersten Studienjahr richtet, können an der IoGC Studierende in allen Studienphasen teilnehmen. Zudem erfolgt die Umsetzung an deutschen Hochschulen in einem breiten Portfolio von unterschiedlichen Lehr- und Lernszenarien. Die IoGC stellt kein verbindlich definiertes Lehrkonzept dar, sondern zeichnet sich insbesondere durch einen großen individuellen Gestaltungsspielraum für die Lehrenden aus und kann hinsichtlich Leistungsumfang, Zeitaufwand, Prüfungsform und -inhalt und Bewertungskriterien an bestehende Lehr- und Lernsettings sowie durch individuelle Lernziele und Arbeits- und Lernmaterialien an die jeweilige Zielgruppe angepasst werden. Um den interdisziplinären Charakter zu stärken, werden dabei bewusst nicht ausschließlich Studierende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen adressiert, auch wenn diese den größten Anteil der Teilnehmenden bilden (Kreutzer et al., 2020, S. 224).

Für den jährlichen Wettbewerb werden zunächst geeignete technische Problemstellungen und Strukturprobleme aus Entwicklungsregionen in der praktischen Arbeit von Ingenieure ohne Grenzen identifiziert (Schritt 1). Für den Einsatz in der Hochschullehre werden diese Problemstellungen

---

<sup>3</sup> Verbundprojekt der RWTH Aachen University, der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität Dortmund, Laufzeit; 2011-2020. <https://www.elli-online.net>

didaktisch reduziert, mit relevanten technischen, geografischen und organisatorischen Informationen und Rahmenbedingungen ergänzt und als Aufgabenstellungen in einem sogenannten ‚Fact Sheet‘ aufbereitet (Schritt 2). Dieses wird den teilnehmenden Lehrenden zur Verfügung gestellt, die dieses als initiierende Problemstellung und anwendungsbezogenes Szenario in ihren Lehrveranstaltungen einsetzen (Schritt 3). Die Studierenden entwickeln dann innerhalb des jeweiligen, standortindividuellen Lehr- und Lernsettings in Teams eine nachhaltige, praktikable und kulturell angepasste Lösung und setzen diese in einem einfachen Modell praktisch um (Schritt 4). Dabei stehen Expert\*innen von Ingenieure ohne Grenzen und ggf. auch Vertreter\*innen von eingebundenen Umsetzungsorganisationen in den Zielregionen für Fragen zu lokalen Gegebenheiten sowie zu organisatorischen und kulturellen Rahmenbedingungen in Online-Sprechstunden zur Verfügung. Als Abschluss der IoGC findet die Präsentation der erarbeiteten Konzepte in Form einer hochschulübergreifenden studentischen Konferenz statt. Die Studierenden treten hier in einem Wettbewerb gegeneinander an und die Teams mit den besten Problemlösungen werden von einer Fachjury ausgezeichnet (Schritt 5). Geeignete, erfolgsversprechende Lösungskonzepte werden dann ggf. von Ingenieure ohne Grenzen in Zusammenarbeit mit den beteiligten Umsetzungsorganisationen in die Zielregionen transferiert und umgesetzt (Schritt 6) (vgl. Kreuzer et al., 2020; Schönefeld et al., 2019). Diesen Ablauf der IoGC zeigt Abbildung 17 in der Übersicht.



Schritt 1: loG e.V. identifiziert Fragestellungen in der Zielregion



Schritt 2: Fact Sheets werden zu den Problemstellungen erstellt



Schritt 3: Lehrende integrieren Themen in ihrer Lehre



Schritt 4: Studierende entwickeln Lösungen und Modelle



Schritt 5: Küren der Sieger\*innen auf der Abschlusskonferenz



Schritt 6: loG implementiert die Lösungen in ihrer Projektarbeit

Abbildung 17: Ablauf der Ingenieure ohne Grenzen Challenge (Kreuzer et al., 2020, S. 222)

Der Ablauf der IoGC entspricht somit dem Format des ‚projektbasierten Service-Learning‘ und wird auch den in Kapitel 6.5 formulierten Elementen des Entwicklungsziels gerecht. Sie bietet ein hohes Maß an *Flexibilität* in der Ausgestaltung und liefert als *ergänzendes Element* vielfältige Anwendungsszenarien für fachbezogene Inhalte und Themen. Der unmittelbare *Praxisbezug* durch die realen Problemstellungen aus der Entwicklungszusammenarbeit und die Möglichkeit für Lösungsansätze auf allen Komplexitätsebenen stellt einen *niederschweligen* Zugang sicher. Zudem fordert die Erarbeitung von Lösungen in Teams die *aktive und diskursive Auseinandersetzung* mit der Problemstel-

lung. Die IoGC adressiert unmittelbar ein breites Spektrum *transformativer Kompetenzen*. Durch die aktive Auseinandersetzung mit den Rahmenbedingungen und der Lebenswirklichkeit von Menschen in den Zielregionen werden Studierende hinsichtlich ihrer technikethischen und sozialen Verantwortung sensibilisiert und durch die kulturelle Einbettung der Problemlösungen erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem Thema Interkulturalität. Dabei sind die Studierenden gefordert, kreativ innovative Lösungen zu entwickeln und diese immer wieder aus unterschiedlichen Perspektiven hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu hinterfragen. Die Anforderung, eine nachhaltige, praktikable und kulturell angepasste technische Problemlösung zu entwickeln, stärkt zudem den Projektcharakter und ermöglicht es so, zur Förderung *nachhaltigkeitsorientierter (Basis-) Kompetenzen* an die ‚zentrale Ingenieuraufgabe‘, also die Entwicklung und Herstellung von Produkten, anzuknüpfen.

Crosthwaite et al. (2012) evaluierten den Einsatz der EwB Challenge an 13 australischen Universitäten und identifizierten dabei einige generelle, dem Format immanente Wirkungsmechanismen, die das Engagement der Studierenden und ihr Technikfolgenbewusstsein verstärken (Crosthwaite et al., 2012, S. 4):

- ‚*making something*‘: durch den Bau eines Modells/ Prototyps wird die Idee Realität
- ‚*real engineering*‘: Studierende erleben einen Bezug zur beruflichen Praxis.
- ‚*responsibility*‘: reale Probleme adressieren Verantwortungs- und Folgenbewusstsein
- ‚*doing good*‘: Absicht anderen zu helfen stärkt Motivation und Verbindlichkeit

Genauso konnten aber auch hemmende Mechanismen abgegrenzt werden, die diese Wirkungen im Gegenzug konterkarieren (Crosthwaite et al., 2012, S. 4):

- ‚*mark chasing*‘: opportunistische Lösungen im Hinblick auf Leistungsbeurteilung
- ‚*nothing you can take away*‘: fehlender Bezug zur individuellen beruflichen Zukunft

Es wird deutlich, dass das Format der IoGC allein nicht garantieren kann, dass Studierende die gewünschten Kompetenzen entwickeln. Vielmehr gibt es in der Umsetzung eine Vielzahl an Gestaltungsparametern, die die Lernergebnisse beeinflussen. Dazu zählen Crosthwaite et al. (2012) beispielsweise den institutionellen Kontext und die Art der Lehrveranstaltung. Weitere Parameter sind die Erfahrungen, Haltung und das Verhalten der beteiligten Lehrenden und Studierenden. Insbesondere im Hinblick auf die hemmenden Wirkmechanismen kommt zudem dem konkreten Design, also der didaktischen und methodischen Konzeption des Lernangebots, in dem die Challenge eingebunden wird, eine große Bedeutung zu (Crosthwaite et al., 2012, S. 3).

## 7.2 Didaktische und methodische Konzeption des Lernangebots

Während die bisherigen Ausführungen auf einer Metaebene allgemeine Möglichkeiten für die Umsetzung einer ingenieurwissenschaftlichen Bildung für nachhaltige Entwicklung betrachten, erfolgt im nächsten Schritt die exemplarische Übertragung in ein konkretes Lernangebot.

Zielgruppe für das zu konzipierende Lernangebot sind dabei Studierende der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Logistik. In allen drei Studiengängen gibt es sowohl

im Bachelor- als auch im Masterstudiengang jeweils ein Modul mit dem Titel ‚Außerfachliche Kompetenz‘. In den Bachelorstudiengängen ist dabei ein Umfang von 5 Leistungspunkten vorgesehen, in den Masterstudiengängen beträgt der Umfang 4 Leistungspunkte. Die Studierenden haben innerhalb dieses Moduls die Möglichkeit, Lernangebote aus dem gesamten Angebot der Technischen Universität Dortmund zu wählen. Ausgeschlossen sind lediglich reguläre Lehrveranstaltungen, die Teil des Modulhandbuchs des jeweiligen Studiengangs sind. Damit wird die Zielsetzung verfolgt, die Perspektive der Studierenden über das rein Fachliche hinaus zu erweitern:

*„Die Außerfachliche Kompetenz zielt darauf ab, Studierende zu befähigen, sich mit Studierenden und Lehrenden anderer Fächer über die eigene Fachkultur zu verständigen und das Eigene im Kontext des Anderen sehen und einordnen zu können. Es liefert Denkanstöße und ermöglicht ein tiefer gehendes Verständnis für Problemstellungen, Erkenntnisinteressen und Lösungsansätze der eigenen Fachdisziplin wie für andere Wissenschaftskulturen.“ (Technische Universität Dortmund, 2021b, S. 85)*

Da die im vorhergehenden Kapitel definierte inhaltliche Zieldimension, also die Förderung transformativer und nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen, mit dieser Zielsetzung korrespondiert und die Analyse der Modulhandbücher keine weiteren Anknüpfungspunkte in anderen Modulen gezeigt hat (vgl. Kapitel 6.2), wird ein Lernangebot für das Modul ‚Außerfachliche Kompetenzen‘ entwickelt. In Bezug auf das Modell des projektbasierten Service-Learning erfolgt dabei die naheliegende Verknüpfung der IoGC mit einem Lernangebot zum Thema ‚Projektmanagement‘. Neben der Bedeutung des Projektmanagements als elementarer Baustein der aktuellen Berufspraxis von Ingenieur\*innen zeichnet sich dieser Themenbereich dadurch aus, dass er per se nicht in der reinen Fachsystematik ansetzt, sondern fachlich-inhaltliche und fachübergreifende Kompetenzen adressiert. Wesentlich sind bei der Konzeption auch die didaktischen und methodischen Rahmenbedingungen, die in der Analyse ermittelt wurden: Der Anspruch eines niederschweligen Zugangs, die Forderung des Praxisbezugs sowie der Wunsch nach einer aktiven und diskursiven Gestaltung. Diese Rahmenbedingungen korrespondieren unmittelbar mit den Anforderungen an ein modernes Design von Lehr- und Lernsettings, wie es sich aus den Bedarfen einer zeitgemäßen und kompetenzorientierten Hochschullehre ergibt: Anwendungs- und Kompetenzorientierung sowie Theorie-Praxis Verzahnung (vgl. Kapitel 4.2). Um diese Anforderungen konsequent umzusetzen, folgen die weiteren Schritte in der didaktischen und methodischen Konzeption dem Vorgehensmodell des Constructive Alignment (vgl. Kapitel 4.2.2).

### 7.2.1 Lernergebnisse als Lernziele definieren

Das übergeordnete, fachbezogene Ziel des Lernangebots ist die Erarbeitung praxisrelevanter Methoden und Tools des Projektmanagements in einem handlungsorientierten Setting und ihre Anwendung in praktischen Projekten im Rahmen der IoGC. Vor diesem Hintergrund sind konkrete, kompetenzbezogene Lernziele zu definieren, die sich an den erläuterten Zieldimensionen orientieren. In Bezug auf die gewünschte Zieldimension der *transformativen Kompetenzen* können unter Anwendung der vorgestellten Lernzieltaxonomien (Kapitel 4.2.1, Abbildung 12) die folgenden Lernziele definiert werden:

Nach erfolgreicher Teilnahme am Lernangebot sind die Studierenden in der Lage, ...

- ... gesellschaftliche Herausforderungen in Bezug auf wissenschaftliche Erkenntnisse und mediale Berichterstattungen zu bewerten. (*Urteilsfähigkeit*)

- ... innovative Lösungsideen zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen zu generieren und umzusetzen. (*Innovationskompetenz*)
- ... Strategien für die Umsetzung von Veränderungszielen zu entwickeln. (*Veränderungskompetenz*)
- ... nachhaltige, kulturelle Veränderungen zu akzeptieren. (*Veränderungskompetenz*)
- ... widersprüchliche Perspektiven abzuwägen und mit Unsicherheiten umzugehen. (*Dialog- und Konfliktfähigkeit*)
- ... eine Wertehaltung zu entwickeln und in offenen Debatten ihre Meinung zu begründen. (*Dialog- und Konfliktfähigkeit*)

Es wird deutlich, dass diese Lernziele eher dem *affektiven Bereich* zuzuordnen sind, da sie sich stark auf das Entwickeln von Einstellungen und Werten beziehen. Sie werden über die Reflexion, den Austausch und die praktische Anwendung gefördert und beinhalten normative Prinzipien.

In der Zieldimension der *nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen* sollen die Studierenden nachhaltige Entwicklung und ihr berufliches Handeln als zukünftige Ingenieur\*innen in Verbindung bringen. Das heißt, sie sollen die verschiedenen Dimensionen von Nachhaltigkeit (vgl. Kapitel 2.2.1) als Anforderungen bei der Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte und Prozesse definieren sowie die Auswirkungen von Entwicklung und Herstellung in diesem Kontext kritisch bewerten können. Zur Verdeutlichung können die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen wie in Abbildung 18 dargestellt in einer Matrix zusammengefasst werden, wobei eine Achse den Phasen des Produktentstehungsprozess entspricht und die andere Achse den Dimensionen der Nachhaltigkeit.

<b>Phasen im Produktentstehungsprozess</b>	<b>ökologische</b> Anforderungen und Auswirkungen in der <b>Produktherstellung</b> (z.B. Energieeffizienz, Materialeinsatz, Abfälle)	<b>soziale</b> Anforderungen und Auswirkungen in der <b>Produktherstellung</b> (z.B. Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitsorganisation, -form)	<b>ökonomische</b> Anforderungen und Auswirkungen in der <b>Produktherstellung</b> (z.B. Effizienz und Effektivität)
	<b>ökologische</b> Anforderungen und Auswirkungen in der <b>Produktentwicklung</b> (z.B. Ressourceneinsatz, Entsorgung, Recycling)	<b>soziale</b> Anforderungen und Auswirkungen in der <b>Produktentwicklung</b> (z.B. Bedürfnisse Nutzender, gesellschaftliche Bedeutung)	<b>ökonomische</b> Anforderungen und Auswirkungen in der <b>Produktentwicklung</b> (z.B. Aufwand und Nutzen)
	<b>Dimensionen von Nachhaltigkeit</b>		

Abbildung 18: Matrix nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen

Für die verschiedenen Felder dieser Matrix können entsprechende Lernziele definiert werden:

Nach erfolgreicher Teilnahme am Lernangebot sind die Studierenden in der Lage, ...

- ... bei der *Entwicklung* eines Produktes *ökologische* Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten.

- ... bei der *Entwicklung* eines Produktes *soziale* Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten.
- ... bei der *Entwicklung* eines Produktes *ökonomische* Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten.
- ... bei der *Herstellung* eines Produktes *ökologische* Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten.
- ... bei der *Herstellung* eines Produktes *soziale* Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten.
- ... bei der *Herstellung* eines Produktes *ökonomische* Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten.

Diese Lernziele können dem *kognitiven Bereich* zugeordnet werden. Sie beziehen sich auf Fachkenntnisse zur Produktentstehung und zu den Dimensionen von Nachhaltigkeit. Das Ziel des ‚Bewertens‘ steht für die höchste Stufe in der Taxonomie nach Bloom et al. (1974) und schließt somit auch das Wissen über nachhaltige Entwicklung, das Verstehen und Anwenden des Konzepts der Dimensionen von Nachhaltigkeit, das Erkennen von Zusammenhängen zwischen Produktentstehung und nachhaltiger Entwicklung sowie das in Beziehung Setzen von Anforderungen und Auswirkungen mit ein.

### **7.2.2 Lernergebnisse erkennen und prüfen**

Die Überprüfung und Bewertung der Lernergebnisse stellt hinsichtlich der beschriebenen Zieldimensionen eine besondere Herausforderung in der Gestaltung des Lernangebots dar. Ein „Nachhaltigkeitsbewusstsein“ (vgl. Michelsen et al., 2015, S. 66) umfasst wie beschrieben sowohl affektive Komponenten wie Werte, Einstellungen, Verhaltensintentionen und normative Prinzipien als auch kognitive Komponenten wie Wissen und rationale Bewertungen. Dabei zeigt sich die Schwierigkeit, dass normative Prinzipien in der Regel widerspruchsvoll, ambivalent und voller Umsetzungskonflikte sind (vgl. u.a. Singer-Brodowski, 2016, S. 205). Es ist kaum zu entscheiden, wann die formulierten Lernziele wirklich erreicht wurden, da eine eindeutige ‚Erkennbarkeit‘ häufig nicht gegeben ist. Aus diesem Grund werden affektive Lernziele nur selten explizit dargelegt und überprüft, sondern in der Regel eher implizit mitverfolgt. Die kognitiven Komponenten sind hingegen trennschärfer zu erkennen und zu beurteilen. Hinsichtlich der adressierten nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen ist hier jedoch auch der beschriebene hemmende Mechanismus des „mark chasing“ (Crosthwaite et al., 2012, S. 4) zu berücksichtigen. Wird die entwickelte Lösungsidee in der IoGC unmittelbar mit der Benotung verbunden, so kann dies dazu führen, dass Studierende eher auf opportunistische Lösungen setzen, um eine möglichst gute Bewertung zu erreichen. Andererseits laufen die formulierten Lernziele nach dem Modell des Constructive Alignment ins Leere, wenn keine Überprüfung und Beurteilung erfolgt. Aus diesem Grund erfolgt im Rahmen des Lernangebots eine Trennung von zwei Beurteilungsebenen: Die Ebene ‚Projektmanagement‘ und die Ebene ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘.

Die Beschreibung des Moduls ‚Außerfachliche Kompetenzen‘ gibt eine „benotete Modulprüfung oder benotete Teilleistungen“ (Technische Universität Dortmund, 2021b, S. 84) vor. Diese Benotung wird im gestalteten Lernangebot mit der Bewertungsebene ‚Projektmanagement‘

verbunden. Es erfolgt also eine Bewertung in Bezug auf das übergeordnete, fachbezogene Ziel des Lernangebots – die Anwendung praxisrelevanter Methoden und Tools des Projektmanagements. Die Studierenden dokumentieren in einem Bericht ihr Vorgehen in den einzelnen Phasen des Projekts, die Anwendung verschiedener Tools sowie Meilensteine und Projektergebnisse. Die Benotung dieses Berichts erfolgt unter Betrachtung der Umsetzung und Abwicklung des Projekts, aber nicht dessen konkreten Inhalts, also der Entwicklung der Lösungsidee in der IoGC. Die zweite Beurteilungsebene bezieht sich entkoppelt von der Benotung auf den Projektinhalt. Abschluss der Challenge ist eine hochschulübergreifende studentische Konferenz. Die Studierenden stellen hier ihre erarbeiteten Lösungsideen in kurzen Präsentationen vor, sie vergleichen ihre Ansätze miteinander und diskutieren diese kritisch. Sie erhalten so ein sehr direktes Feedback und eine umfassende Beurteilung durch die Peers. Zusätzlich erfolgt im Rahmen des Wettbewerbs der IoGC eine sehr konkrete und kriteriengeleitete Bewertung der Lösungsideen durch die Fachjury. An die Stelle einer Note tritt für die Studierenden auf dieser Beurteilungsebene somit die individuelle Platzierung im Wettbewerb.

### 7.2.3 Lehr- und Lernaktivitäten gestalten

Entsprechend dem Modell des Constructive Alignment erfolgt im nächsten Schritt die Gestaltung der Lehr- und Lernaktivitäten auf Basis der formulierten Lernziele und mit Blick auf die beschriebene Überprüfung der Lernergebnisse. Diese Gestaltung umfasst sowohl das Format und die methodische Gestaltung des Lernangebots als auch die inhaltliche und zeitliche Strukturierung.<sup>4</sup>

Das Lernangebot wird mit dem Ziel, aktives und selbstgesteuertes Lernen zu initiieren, als *Blended-Learning-Seminar*, also als eine Kombination aus E-Learning und Präsenzphasen, konzipiert. Dieses Format bietet sich insbesondere mit Blick auf die Verbindung von Projektmanagement und der IoGC als zwei Ebenen des Lernangebots an. Die Studierenden haben in den Präsenzphasen die Möglichkeit für handlungsorientierte ‚hands on‘ Lernerfahrungen, insbesondere bei der Herstellung ihres Modells oder Prototyps. Gleichzeitig schaffen die E-Learning-Elemente Freiraum für selbstorganisierte Lernphasen, in denen die Studierenden ihren Lernprozess individuell gestalten können. Die E-Learning-Elemente beziehen sich dabei auf die Lerninhalte in Bezug auf das Projektmanagement. Informationen zu Methoden und Arbeitstechniken werden den Studierenden als interaktive Lerneinheiten, Informations- und Leittexte, Videos, Links und Literaturempfehlungen sowie Quizfragen zur individuellen Lernstandskontrolle zur Verfügung gestellt. Die Studierenden können frei entscheiden, ob und welche dieser Inhalte sie nutzen oder ob sie vollkommen eigenständig arbeiten und recherchieren.

Die Gestaltung der selbstorganisierten Lernphasen wird insbesondere durch die Lernaktivierung der Studierenden determiniert. Da sich diese Phasen zum Teil über mehrere Wochen erstrecken, ist eine regelmäßige Aktivierung der Studierenden sinnvoll. Diese erfolgt durch terminierte Arbeitsaufträge, die den typischen Aufgaben und Arbeitsschritten bei der Planung und Umsetzung eines

---

<sup>4</sup> Teile dieses Kapitels wurden bereits unter Schönefeld et al. (2019) und Kreutzer et al. (2020) vorveröffentlicht. Eine entsprechende Genehmigung zur Vorveröffentlichung liegt vor.

Projekts entsprechen. Sie sind wie die Problemstellung der IoGC auch ergebnisoffen gestaltet, um individuelle Lernpfade zu ermöglichen.

Der Aufbau des Lernangebots orientiert sich inhaltlich und strukturell an den typischen Phasen eines Projekts nach DIN 69901 (2009a) und DIN ISO 21500 (2016): Projektdefinition, Projektplanung, Projektsteuerung und Projektabschluss. Diese aufeinander aufbauenden Phasen werden zeitlich definiert und strukturieren so, wie in Abbildung 19 dargestellt, den Ablauf des Lernangebots über das komplette Semester. Ein klarer zeitlicher Ablauf und die übersichtliche Struktur dieser Phasen unterstützen die Studierenden bei der Gestaltung ihres Lernprozesses.

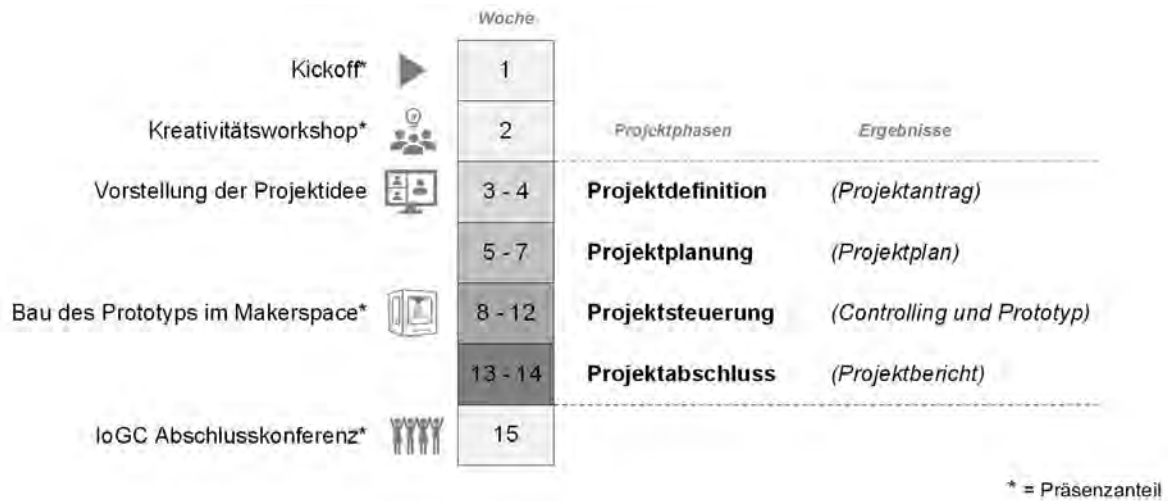


Abbildung 19: Ablauf und Struktur des Lernangebots

Das Lernangebot beginnt mit einer Einführungsveranstaltung, in der die Studierenden zunächst Informationen über die Inhalte und den Ablauf erhalten. Zudem lernen sie das Format der IoGC sowie die zu bearbeitende Problemstellung kennen und erhalten einen Überblick über die zeitliche Planung und die Lernziele.

Nach diesem gemeinsamen ‚Kickoff‘ findet ein Kreativitätsworkshop statt, in dem die Studierenden (zum Teil digital umgesetzte) Kreativitätstechniken kennenlernen und anwenden (vgl. Haertel & Terkowsky, 2021). Ein Beispiel dafür ist die Kreativitätstechnik der ‚Denkhüte‘ (vgl. z.B. Knieß, 2006), bei denen die Studierenden sich im Wechsel in verschiedene Rollen versetzen, die durch verschiedenfarbige Hüte symbolisiert werden. Solange sie einen Hut tragen, bleiben sie in der entsprechenden Rolle und betrachten die Problemstellung aus eben dieser Perspektive und setzen sich intensiv mit dieser Perspektive auseinander. Abbildung 20 zeigt eine Gruppe von Studierenden bei der Umsetzung dieser Kreativitätstechnik.

Mit diesem Workshop werden im Konzept drei grundlegende Ziele verfolgt:

1. Die Studierenden lernen sich kennen und bilden Teams, in denen sie ihr Projekt im Rahmen der IoGC entwickeln und bearbeiten.
2. Die Studierenden erkennen sich als kreative Persönlichkeiten und werden in die Lage versetzt, ihre eigene Kreativität zu fördern.
3. Die Studierenden entwickeln mit Hilfe von Kreativitätstechniken erste originelle Ideen zur Lösung der Problemstellungen der IoGC.





Abbildung 20: Anwendung der Kreativitätstechnik 'Denkhüte'

Danach beginnt die eigentliche Be- und Erarbeitung des Projekts. In der ersten Phase, der *Projektdefinition*, konkretisieren die Teams ihre Projektidee. Mit einem ‚Pitch‘, also einer Kurzpräsentation, stellen sie diese Idee in einer Videokonferenz vor. Hierzu vereinbaren die Teams individuelle Termine mit der oder dem Lehrenden und gelangen so in einen ersten und durch die kleine Personenzahl sehr direkten Austausch. Dieser direkte Austausch ist wichtig, um den Studierenden die Sicherheit zu geben, dass sie wirklich frei und kreativ ohne vorgegebene Lösung ihre eigenen Ideen entwickeln und realisieren können. Im Rahmen der didaktischen Konzeption stellt die soziale Einbettung des Lernens insgesamt eine besondere Herausforderung dar. Die Studierenden erhalten daher zu allen Zwischenergebnissen und Arbeitsaufträgen ausführliche Rückmeldungen in Form eines informativen tutoriellen Feedbacks. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass es „strategische Informationen zur Korrektur von Fehlern oder zur Überwindung von Hürden im Lernprozess liefert, ohne unmittelbar die Lösung anzubieten“ (Narciss, 2006, S. 12). So wird die aktive und kritische Auseinandersetzung mit den Inhalten gefördert und eine Reflexion unterstützt. Darüber hinaus entsteht durch die individuellen Rückmeldungen auch im Rahmen eines selbstgesteuerten Lernprozesses und jenseits der Präsenztermine eine persönliche Interaktion mit den Studierenden. Zum Abschluss dieser Projektphase erstellen die Teams einen kurzen Projektantrag, in dem sie ihre Idee grob beschreiben und ihre Projektziele definieren. Mit der Ideenfindung, der Selektion und der Produktdefinition wird so bereits der erste Abschnitt der Produktentwicklung realisiert (vgl. Kapitel 4.1.1).

Die nächste Phase ist die *Projektplanung*, in der die Studierenden ihre Idee im Detail ausarbeiten. In dieser Phase finden in der Regel zwei IoGC-Sprechstunden statt, in denen die Studierenden die Möglichkeit haben, Vertreter\*innen von Ingenieure ohne Grenzen oder auch direkt den Umsetzungspartner\*innen in den Zielregionen Fragen zu stellen. Ausgehend von den erhaltenen Informationen zu den Realisierungsmöglichkeiten (beispielsweise verfügbare Materialien und Fertigungsmöglichkeiten in der Zielregion) erfolgt eine Klärung und Präzisierung der Problem- und Aufgabenstellung als erste Phase im Konstruktionsprozess. Ausgehend davon erfolgt eine Gliederung in Teilprobleme und -aufgaben und ausgehend davon definieren die Teams in einem Projektplan die erforderlichen Arbeitspakete und Ressourcen im Hinblick auf ihre Projektziele.

Die Realisierung des Projektplans erfolgt in der umfangreichen Phase der *Projektsteuerung*. Die Umsetzung umfasst als Teil des Projekts sowohl den konkreten Entwurf und die Ausarbeitung des Prototypens als auch dessen Fertigung und Montage (vgl. Kapitel 4.1.2). Dazu nutzen die Studierenden

einen Makerspace als kreative Werkstatt- und Laborumgebung, in der sie die Möglichkeit haben, digital gestützt und kollaborativ ihre eigenen technischen Projekte umzusetzen und die Prototypen oder Modelle zu ihrer Projektidee herzustellen (vgl. Haertel et al., 2017). Die Studierenden haben so die Möglichkeit, ihr im Studium erworbenes Fachwissen in der Praxis anzuwenden, verschiedene technische Lösungen auszuprobieren und aus Erfahrungen, Erfolg und Misserfolg zu lernen. Dabei erhalten sie auch die Aufgabe, ihren Projektverlauf mit üblichen Controlling-Instrumenten zu überwachen und zu steuern. Dazu melden sie stichtagsbezogenen Ergebnisse der Termin- und Kostenkontrolle und erfassen in Listen ihre ‚Arbeitszeiten‘, um den Arbeitsaufwand im Projekt zu dokumentieren. Zeichnet sich beispielsweise ein deutlicher Verzug in der Zeitplanung ab, wird das Team zu einer Rücksprache gebeten und nach einer gemeinsamen Ursachenanalyse wählen die Studierenden geeignete Steuerungsinstrumente und wenden diese an. Innerhalb dieser Projektphase findet eine dritte IoGC-Sprechstunde statt, in der Rückfragen zu letzten Details von den Studierenden an die Expert\*innen gestellt werden können. Ergebnis dieser Projektphase sind die Ausarbeitung der Lösungsidee für die Problemstellung der IoGC und der fertige Prototyp.

Im Rahmen des *Projektabschluss* führen die Studierenden eine Projektabrechnung durch und dokumentieren und reflektieren in ihrem Projektbericht, inwieweit sie ihre geplanten Projektziele erreicht haben. Am Ende dieser letzten Projektphase steht außerdem der Abschluss der IoGC mit einer Abschlussveranstaltung, auf der Studierende aller an der IoGC teilnehmenden Hochschulen im Wettbewerb gegeneinander antreten. Zunächst werden die Lösungen und Prototypen in kurzen Präsentationen und im Rahmen eines ‚Ideen-Marktplatzes‘ vorgestellt und mit den anderen Teilnehmenden diskutiert. Anschließend findet eine erste Abstimmung durch die teilnehmenden Studierenden als Vorrunde statt, mit der die zehn besten Ideen ermittelt werden. Diese Teams erhalten dann die Möglichkeit, ihre Lösungsideen vor einer Fachjury zu präsentieren. Die Jury, bestehend aus Experten\*innen der Entwicklungszusammenarbeit, aus der Wissenschaft und der Industrie, ermittelt die drei besten Lösungen anhand der folgenden Bewertungskriterien:

- Kosten-Nutzen-Relation in der realen Umsetzung
- Fehler-Toleranz und Robustheit der Lösung
- ethische Relevanz/ kulturelle Akzeptanz des Konzepts
- Präsentationsfähigkeit/ Kommunikation in der Vorstellung und Erläuterung der Lösung

Neben dem Ermitteln der besten Ideen ist auch die Vernetzung der Studierenden untereinander ein zentrales Ziel der Abschlusskonferenz. Durch die Teilnahme verschiedener Hochschulen und Fachbereiche lernen die Studierenden die Herangehensweise anderer Disziplinen kennen, kommen in den Diskurs und stärken ihr interdisziplinäres Denken. Bei der gesamten Konzeption und Gestaltung des Lernangebots stehen der Praxisbezug und die praktische Anwendung im Fokus. Ziel ist es, ein möglichst realitätsnahes (in Bezug auf die spätere Berufspraxis) Management des Projekts abzubilden. Aus diesem Grund beziehen sich alle Arbeitsaufträge und Aufgaben auf praxisübliche Dokumente und Arbeitsmittel. Mit der Anforderung, einen Prototypen bzw. ein Modell zur entwickelten Lösungsidee herzustellen, gelingt es außerdem, einen einfachen, aber vollständigen Produktentstehungsprozess im Lernangebot abzubilden. Ob diese Verknüpfung gelingen kann, zeigt sich in der praktischen Erprobung, die die nächste Phase im Modell des DBR darstellt. Inwiefern sich die getroffenen Annahmen als valide zeigen und ob das entwickelte Lernangebot geeignet ist, um die intendierten Lernziele zu erreichen, wird zudem in einer umfassenden Evaluation überprüft.

---

## 8 Erprobung und Evaluation des entwickelten Lernangebots

An die Entwicklung und Gestaltung des Lernangebots schließt sich die Erprobung in der Praxis, also in einem ‚natürlichen Setting‘, an. Dabei ist im Sinne des DBR die forschende auch die ausführende, also ‚lehrende‘ Person. Eine authentische Situation der Lehr- und Lernpraxis ist stets komplex und von einer Vielzahl verschiedener Parameter beeinflusst. Da diese in der Praxis nur begrenzt zu identifizieren und kaum zu kontrollieren sind, zielt die Erprobung und Evaluation nicht auf das Aufzeigen einer verallgemeinerbaren Ursache-Wirkungsbeziehung:

*„Design-basierte Forschung hat nicht den Anspruch, sämtliche Interdependenzen umfassend zu analysieren, sondern kann bestenfalls kritische Elemente des Designs herauskristallisieren oder Wirkweisen von Kombinationen der Merkmale in ihrem Resultat beschreiben.“ (Jahn, 2014, S. 11)*

Grundlage dafür ist die systematische Beobachtung der Erprobung. Dabei ist der Erprobungskontext möglichst konkret zu beschreiben, um das Abschätzen einer Vergleichbarkeit mit anderen Settings zu ermöglichen. Prozesse und Ergebnisse der Erprobung werden dokumentiert und bewertet, also evaluiert. Dabei sind die eingesetzten Instrumente nicht spezifisch, sondern es ist eines der zentralen Merkmale des DBR, dass unterschiedliche Forschungsmethoden kombiniert werden. Die aufgenommenen Daten werden dann ausgewertet und mit Blick auf die zentralen Fragen dieser Arbeit reflektiert.

### 8.1 Praktische Erprobung des Lernangebots im Wintersemester 2019/20

Die praktische Erprobung des entwickelten Lernangebots erfolgte im Wintersemester 2019/20 an der Technischen Universität Dortmund. Wie geplant wurde es als Seminar mit dem Titel ‚Projektmanagement (IoGC)‘ im Wahlbereich für das Modul ‚Außerfachliche Kompetenz‘ für die Studierenden der Fakultät Maschinenbau in den Fächern Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Logistik angeboten. Der Umfang des Seminars wurde mit 4 Leistungspunkten (entsprechend einem Workload von 120 Stunden) und 3 Semesterwochenstunden angesetzt.

Aufgrund des Aufwands für die Betreuung der Teams, das informative tutorielle Feedback und die praktischen Arbeiten im Makerspace wurde die Teilnehmendenzahl auf 82 Personen begrenzt. Die Studierenden konnten sich in einem Zeitraum von zwei Wochen (09. bis 22.09.2019) für das Seminar anmelden. Im Anschluss wurden auf Grundlage der Vergabeordnung der Fakultät die Plätze im Seminar zugewiesen. Tabelle 6 zeigt die Zahl der teilnehmenden Studierenden differenziert nach Fach und Studiengang.

Tabelle 6: Teilnehmende Studierende nach Fach und Studiengang

Maschinenbau		Wirtschaftsingenieurwesen		Logistik	
Bachelor	Master	Bachelor	Master	Bachelor	Master
5	20	12	27	10	8

Das Kickoff zum Seminar fand am 09.10.2019 statt und am 17. oder 18.10.2019 nahmen die Studierenden an einem Kreativitätsworkshop teil. Danach begann die Arbeit in den Teams an den individuellen Projekten.

Die Aufgabenstellung der IoGC bezog sich in diesem Semester auf durch mechanisches Pressen verfestigte Ziegel, sog. ‚Interlocking Stabilised Soil Blocks‘ [ISSB], die unter anderem zum Bau von Zisternen eingesetzt werden. Den Studierenden wurden drei Problemstellungen angeboten, von denen sie im Team eine bearbeiteten:

1. Entwicklung einer Steinpresse, mit der ISSB einfacher, sicherer und flexibler hergestellt werden können, um eine höhere Akzeptanz im Vergleich zu gebrannten Ziegeln zu erreichen.
2. Entwicklung von ISSB mit verbesserten thermischen Eigenschaften, um eine bessere Isolierung der Zisternen und somit eine bessere Wasserqualität zu erreichen.
3. Entwicklung von ISSB mit verbesserter Beständigkeit gegen Wasserschlag, so dass weniger Zement zugegeben und weniger Putz auf der Innenseite der Zisternen aufgebracht werden muss.

Die vollständige Aufgabenstellung der IoGC befindet sich im Anhang A2 der vorliegenden Arbeit. Insgesamt beteiligten sich an der Challenge mehr als 300 Studierende. Neben den Studierenden im Seminar ‚Projektmanagement‘ nahmen auch Studierende in den technischen Lehramtsstudiengängen der Technischen Universität Dortmund in Kooperation mit Studierenden der University of Georgia in Athens (USA) teil sowie Studierende der Ruhr-Universität Bochum, der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg und der Technischen Hochschule Köln.

Die Abschlussveranstaltung der IoGC fand am 04.02.2020 in Dortmund statt. Hier stellten, wie in Abbildung 21 beispielhaft zu sehen, insgesamt 64 Teams ihre Lösungsideen vor und traten im Wettbewerb gegeneinander an. Als Fachjury bewerteten Vertreter\*innen der Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit, des VDI, von Ingenieure ohne Grenzen sowie aus Wissenschaft und Wirtschaft die Lösungsideen und zeichneten die besten Konzepte aus.



Abbildung 21: Studierende präsentieren ihre Lösungen beim Abschluss der IoGC

Die Studierenden, die im Rahmen des Seminars ‚Projektmanagement‘ an der IoGC teilnahmen, waren dabei sehr erfolgreich und wurden von der Jury mit den Plätzen eins, zwei und drei ausgezeichnet.

Die praktische Erprobung des Lernangebots wurde systematisch evaluiert, um am Ende der Laufzeit der Intervention eine Bewertung des Konzepts vorzunehmen und Maßnahmen zur Verbesserung des Konzepts abzuleiten.

## 8.2 Evaluation der Erprobung des Lernangebots im Wintersemester 2019/20

Die Durchführung einer systematischen Evaluation im Rahmen der Erprobung der entwickelten Intervention ist ein wesentliches Element des DBR. Ziel ist die Überprüfung des entwickelten Konzepts hinsichtlich der intendierten Wirkung, in diesem Fall der Förderung von Kompetenzen, und das Ableiten von Optimierungsmöglichkeiten und -bedarfen für weitere Realisierungen (Euler & Sloane, 2014, S. 28).

### 8.2.1 Evaluationskonzept und Untersuchungsdesign

Im Fokus der Evaluation stehen die Validierung der Annahmen und des entwickelten Konzepts sowie die Frage, ob das umgesetzte Lernangebot Wirkung auf die Studierenden und ihre Kompetenzentwicklung zeigt. Dabei umfasst die Evaluation mehrere Ebenen:

1. *Ebene der Vorannahmen* bzgl. des Vorwissens der Studierenden, der Bedeutung, die sie dem Thema Nachhaltigkeit einräumen, und der Berücksichtigung des Themas im Studium.
2. *Ebene des allgemeinen Einflusses* der Teilnahme an der IoGC auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen von Studierenden.
3. *Ebene des konkreten Einflusses* der Teilnahme am entwickelten Lernangebot auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden.

Für diese Ebenen sind jeweils entsprechende Zieldimensionen und Forschungshypothesen zu formulieren und ein korrespondierendes Design für die Erhebungsmethodik zu entwickeln.

### Zielsystem und Forschungshypothesen

Unter Berücksichtigung der theoretischen Vorarbeiten und der Ergebnisse der Analyse (Kapitel 6) werden zunächst Ziele und daraus folgend Forschungshypothesen abgeleitet, die im Rahmen der Evaluation überprüft werden.

#### ***Ebene der Vorannahmen***

Das Konzept des entwickelten Lernangebots beruht auf verschiedenen Annahmen, die aus der Analyse im Rahmen des DBR resultieren und die im Rahmen der Evaluation zu überprüfen sind. Der Gestaltungsanspruch eines besonders niederschweligen Konzepts beruht auf der Annahme, dass Studierende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen unabhängig von ihrem Studienfortschritt nur über wenig Vorwissen zu Nachhaltigkeit und nachhaltiger Entwicklung verfügen. Als weitere Annahme gilt, dass Studierende den Themenbereich Nachhaltigkeit sowohl persönlich als insbesondere auch in Bezug auf ihre berufliche Zukunft als wichtig erachten (vgl. Kapitel 6.3). Die dritte Annahme bezieht sich darauf, dass Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung bisher keine ausgeprägte Berücksichtigung im Studium finden (vgl. Kapitel 6.2). Diese Annahmen sollen im Rahmen der Evaluation auf Ihre Gültigkeit überprüft werden. Es können somit die folgenden Hypothesen formuliert werden:

- H1.1: Die Studierenden verfügen über wenig Vorwissen zum Thema Nachhaltigkeit.
- H1.2: Die Studierenden räumen dem Thema Nachhaltigkeit persönlich einen hohen Stellenwert ein.

- H1.3: Die Studierenden sehen für das Thema Nachhaltigkeit in ihrer zukünftigen beruflichen Arbeit als Ingenieur\*in eine große Bedeutung.
- H1.4: Das Thema Nachhaltigkeit findet im ingenieurwissenschaftlichen Studium keine Berücksichtigung.

### ***Ebene des allgemeinen Einflusses der IoGC***

Im Rahmen der IoGC setzen sich die Studierenden ausgehend von der initiierten Problemstellung aktiv und diskursiv mit den verschiedenen Dimensionen von Nachhaltigkeit auseinander. Diese Auseinandersetzung ist in der Regel die Grundlage der Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden. Gleichzeitig erfolgt die Einbindung der IoGC sehr individuell durch verschiedene Lehrende in Lehrveranstaltungen an diversen Hochschulen. Es ist daher davon auszugehen, dass die konkreten Settings somit hinsichtlich der formulierten Lernziele und damit auch hinsichtlich der didaktischen und methodischen Einbindung sehr heterogen sind. Daher ist zu überprüfen, inwieweit die Teilnahme an der IoGC allein, ohne Berücksichtigung des konkreten Setting, nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen bei den Studierenden fördert. Somit kann die folgende Hypothese formuliert werden:

- H2: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden.

Diese Hypothese ist in weitere Teilhypothesen zu untergliedern, die sich an den in Kapitel 7.2.1 formulierten Lernzielen und den damit abgebildeten Teilkompetenzen orientieren:

- H2\_1: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktentwicklung.
- H2\_2: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktentwicklung.
- H2\_3: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktentwicklung.
- H2\_4: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktherstellung.
- H2\_5: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktherstellung.
- H2\_6: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktherstellung.

### ***Ebene des konkreten Einflusses des Lernangebots***

Mit Bezug auf die in der Analyse identifizierten Rahmenbedingungen und inhaltlichen Zieldimensionen erfolgte die Entwicklung eines konkreten Lernangebots anhand des Vorgehensmodells des Constructive Alignment. In der Evaluation ist zu überprüfen, ob mit dem entwickelten Lernangebot nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden über den Einfluss der Teilnahme an der IoGC (H2) hinaus gefördert werden. Es kann somit die folgende Hypothese formuliert werden:

- H3: Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden.

Analog zu H2 ist auch Hypothese H3 in weitere Teilhypothesen zu untergliedern, die sich an den in Kapitel 7.2.1 formulierten Lernzielen und den damit abgebildeten Teilkompetenzen orientieren:

- H3\_1: Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktentwicklung.
- H3\_2: Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktentwicklung.
- H3\_3: Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktentwicklung.
- H3\_4: Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktherstellung.
- H3\_5: Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktherstellung.
- H3\_6: Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktherstellung.

Die verschiedenen Ebenen und die jeweils formulierten Hypothesen beschreiben das Zielsystem der Evaluation. Entlang dieses Zielsystems sind angemessene Evaluationsmethoden auszuwählen und geeignete Werkzeuge zu definieren.

### **Erhebungsmethodik**

Im Rahmen des DBR existiert keine Vorgabe von spezifischen Methoden, die im Rahmen einer Evaluation einzusetzen sind. In jeder Erhebung ist vielmehr individuell zu bestimmen, welche Methoden zielführend sind und den zyklischen Verlauf des DBR zulassen und unterstützen. Häufig ist dabei die Kombination verschiedener Methoden sinnvoll, um unterschiedliche Faktoren zu untersuchen. Die Auswahl richtet sich dabei nach dem beschriebenen Zielsystem und kann sowohl quantitative als auch qualitative Methoden umfassen.

Ein wesentliches Ziel der Evaluation ist es, die Veränderung der Kompetenzen von Studierenden zu untersuchen. Zur empirischen Erhebung von Lernerfolgen in einer Evaluation ist ein *Pretest-Posttest-Design* geeignet und üblich, um die Wirksamkeit didaktischer und methodischer Konzepte in der Praxis zu überprüfen (Pissarek & Wild, 2019, S. 233). Dabei wird das Niveau von Kompetenzen vor und nach der Teilnahme an einem Lernangebot mit entsprechenden Instrumenten erhoben und verglichen. Aus den Veränderungen erfolgt ein Rückschluss auf die Wirksamkeit der Intervention.

Im Rahmen der IoGC wurde bereits im Vorfeld dieser Arbeit jeweils eine Vor- und Nachbefragung der teilnehmenden Studierenden durchgeführt. Dafür wurde ein standardisierter Paper-Pencil-Fragebogen entwickelt, um auch größere Gruppen mit geringem Aufwand befragen zu können. Die Befragung erfolgt anonym, über einen individuell generierten Code kann aber der Fragebogen im Pretest mit dem Fragebogen der gleichen Person im Posttest in Verbindung gebracht werden (vgl. Schönefeld et al., 2019). Um eine mehrfache Befragung der an der IoGC teilnehmenden Studierenden mit unterschiedlichen Instrumenten zu vermeiden wird der bestehende Fragebogen als Basis genutzt und entsprechend dem aufgestellten Zielsystem der Evaluation erweitert.

### **Ebene der Vorannahmen**

Die für diese Ebene aufgestellten Hypothesen beziehen sich anders als in den beiden anderen Ebenen nicht auf die Änderung von Kompetenzniveaus im Sinne eines Lernerfolgs. Es geht vielmehr um die Überprüfung getroffener Annahmen auf ihre Gültigkeit.

H1.1 bezieht sich auf das Vorwissen der Studierenden zum Thema Nachhaltigkeit. Um dieses zu ermitteln, wird ein von Carew und Mitchell (2002) entwickelter qualitativer Ansatz genutzt. Sie forderten Studierende auf, in eigenen Worten zu beschreiben, was Nachhaltigkeit bedeutet. Die Antworten wurden analysiert und interpretiert und daraus eine Kategorisierung auf Basis der sogenannten ‚SOLO-Taxonomie‘ (Biggs & Tang, 2011) abgeleitet. Dabei werden, wie in Tabelle 7 dargestellt, jeder Stufe typische Merkmale der Nachhaltigkeitserklärungen zugeordnet.

Tabelle 7: Nachhaltigkeitserklärungen in der SOLO-Taxonomie (i.A.a. Carew & Mitchell, 2002)

SOLO-Taxonomie	Typische Merkmale der Nachhaltigkeitserklärung
<b>‘prästrukturell’</b>	Die Studierenden wissen nicht, was Nachhaltigkeit ist, oder geben eine sehr allgemeine, unspezifische Antwort.
<b>‘unistrukturell’</b>	Die Studierenden nennen ein konkretes oder abstraktes Beispiel für etwas, das Bezug zur Nachhaltigkeit hat.
<b>‘multistrukturell’</b>	Die Studierenden geben zwei oder mehr qualitativ unterschiedliche Beispiele für konkrete und/oder abstrakte Aspekte, die in Bezug auf Nachhaltigkeit relevant sind.
<b>‘relational’</b>	Die Studierenden formulieren eine zusammenhängende, in sich konsistente Aussage über zwei oder mehr konkrete und/ oder abstrakte Aspekte, die in Bezug auf Nachhaltigkeit relevant sind.
<b>‘erweitert abstrakt’</b>	Die Studierenden machen eine zusammenhängende, in sich konsistente Aussage über zwei oder mehr konkrete und/ oder abstrakte Aspekte, die in Bezug auf Nachhaltigkeit relevant sind und setzen diese miteinander in Beziehung. Sie zeigen dabei Belege für kritisches Denken und ethisches Urteilsvermögen, berücksichtigen den Kontext und zeigen kreatives/ originelles Denken mit Bezug zur Nachhaltigkeit.

Eine Zuordnung in die verschiedenen Stufen erfordert eine Interpretation und bringt daher eine gewisse Unschärfe mit sich. Es geht dabei auch weniger um eine stringente Einstufung, sondern vielmehr um einen strukturellen Vergleich und eine tendenzielle Einordnung:



*“We contend that logical hierarchies and stage theory have considerable utility if viewed less definitively and more as imparting insights into the variation in structure and content of disciplinary knowledge which may exist within a group of students.” (Carew & Mitchell, 2002, S. 354)*

Nicolaou und Conlon (2012) setzten dieses Instrument ebenfalls erfolgreich ein, um das Wissen über Nachhaltigkeit von Studierenden in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen zu beurteilen. Die Eignung des Verfahrens für die ingenieurwissenschaftliche Domäne scheint somit gegeben. Das Instrument wird daher übernommen und der Fragebogen für den Pretest um eine offene Frage ergänzt:

- I1: „Nachhaltigkeit“ bedeutet für mich ...

Durch den hohen interpretativen Einfluss eignet sich der Ansatz zwar für eine Einordnung des Vorwissens der Studierenden, jedoch nicht für einen direkten Vorher-Nachher-Vergleich. Daher ist dieses Item nicht im Posttest enthalten.

Zusätzlich umfasst diese Ebene der Evaluation die Überprüfung der Annahmen bezüglich der Bewertung des Themas für die Studierenden und im Rahmen des Studiums (H1.2 - H1.4). Dafür wird der Fragebogen des Pre- und des Posttests um folgende Items erweitert, zu denen die Studierenden jeweils eine Bewertung vornehmen sollen:

- I2/2\*: Das Thema „Nachhaltigkeit“ hat für mich persönlich einen hohen Stellenwert.
- I3/3\*: Das Thema „Nachhaltigkeit“ hat in meiner zukünftigen beruflichen Arbeit als Ingenieur\*in eine Bedeutung.
- I4/4\*: Das Thema „Nachhaltigkeit“ spielt in meinem Studium eine Rolle.

Im Rahmen standardisierter Fragebögen eignet sich für Bewertungen insbesondere die Verwendung einer Ratingskala. Sie weist verschiedene Benennungen der abgebildeten Kategorien oder Abstufungen aus und eignet sich so für eine quantitative Beurteilung von Eigenschaftsausprägungen (Bühner, 2011, S. 110). Wesentlich ist hierbei die Entscheidung, wie differenziert die Antwortkategorien abgestuft werden sollen. Eine große Anzahl an Abstufungen ermöglicht eine vermeintlich genauere Erfassung, gleichzeitig ist aber in Frage zu stellen, wie genau und differenziert eine Bewertung durch die Befragten wirklich möglich ist und wie sehr die verschiedenen Abstufungen subjektiv unterschiedlich aufgefasst werden können (Bühner, 2011, S. 115). In der Praxis hat sich eine Stufenzahl zwischen fünf und sieben bewährt und liefert psychometrisch die besten Validitäten und Reliabilitäten (Döring & Bortz, 2016, S. 249). Um eine ausreichend gute Unterscheidbarkeit der Abstufungen für die Studierenden sicherzustellen, wird im Rahmen der Evaluation daher eine fünfstufige Ordinalskala (,Trifft zu‘ – ,Trifft eher zu‘ – ,Weder noch‘ – ,Trifft eher nicht zu‘ – ,Trifft nicht zu‘) verwendet.

### **Ebene des allgemeinen Einflusses der IoGC**

Um den Einfluss der IoGC auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden (H2) in der Evaluation zu erheben wird ein Instrument benötigt, mit dem die Kompetenzniveaus bewertet und verglichen werden können. Ein entsprechender Ansatz wurde von Raupach et al. (2011) entwickelt. Demnach besteht eine Möglichkeit für eine reproduzierbare und valide Erfassung eines Leistungs- oder Kompetenzstandes darin, Studierende vor und nach der Teilnahme an einem Lernangebot um eine (vergleichende) Selbsteinschätzung hinsichtlich spezifischer

Lernziele zu bitten. Dazu werden die Lernziele, die Grundlage des Lernangebots sind, als Items in einem Pretest-Posttest-Design angewendet (vgl. Raupach et al., 2011). Entwickelt, erprobt und validiert wurde dieser Ansatz im Rahmen medizinischer Studiengänge. Baier (2019) konnte ihn bereits erfolgreich auf den Bereich der ingenieurwissenschaftlichen Bildung für nachhaltige Entwicklung übertragen. Entsprechend werden die Fragebögen des Pre- und des Posttests auf Grundlage der formulierten Lernziele (Kapitel 7.2.1) um folgende Items erweitert, zu denen die Studierenden jeweils wieder Bewertungen auf der bereits definierten fünfstufigen Ordinalskala vornehmen sollen:

*„Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage, ...“ (Pretest) bzw.*

*„Nachdem ich an der IoGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage, ...“ (Posttest\*)*

- *15/5\*: ... bei der Entwicklung eines Produktes ökologische Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Ressourceneinsatz, Entsorgung und Recycling) zu bewerten.*
- *16/6\*: ... bei der Entwicklung eines Produktes soziale Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Bedürfnisse der Nutzenden und gesellschaftliche Bedeutung) zu bewerten.*
- *17/7\*: ... bei der Entwicklung eines Produktes ökonomische Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Aufwand und Nutzen) zu bewerten.*
- *18/8\*: ... bei der Herstellung eines Produktes ökologische Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Energieeffizienz, Materialeinsatz und Abfallprodukte) zu bewerten.*
- *19/9\*: ... bei der Herstellung eines Produktes soziale Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und -formen) zu bewerten.*
- *110/10\*: ... bei der Herstellung eines Produktes ökonomische Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Effizienz und Effektivität) zu bewerten.*

In Pre- und Posttest werden identische Items verwendet. Es erfolgt lediglich die oben dargestellte Umformulierung des ersten Satzteils, um den zeitlichen Bezug deutlicher zu machen.

### **Ebene des konkreten Einflusses des Lernangebots**

Zur Differenzierung des allgemeinen Einflusses der IoGC und des konkreten Einflusses des entwickelten Lernangebots ist es lediglich erforderlich, im Pre- und/ oder Posttest zu erheben, an welcher Hochschule die Studierenden an der IoGC teilnehmen. Da das entwickelte Lernangebot ausschließlich an der Technischen Universität Dortmund umgesetzt wird ist die Zuordnung dadurch eindeutig möglich.

Der vollständige Fragebogen, der im Rahmen des Pretests eingesetzt wurde, ist im Anhang A3 dieser Arbeit beigefügt. Der vollständige im Posttest eingesetzte Fragebogen befindet sich im Anhang A4.

### **Grundgesamtheit und Stichprobe**

Aus dem Forschungsinteresse ergibt sich die angestrebte Grundgesamtheit oder Zielpopulation einer Erhebung. Zur Definition dieser relevanten Grundgesamtheit sollten leicht operationalisierbare Merkmale verwendet werden, die eine eindeutige Abgrenzung ermöglichen (Döring & Bortz, 2016, S. 292). Im Rahmen dieser Evaluation ist das operationalisierbare Merkmal die Teilnahme an der IoGC. Die relevante Grundgesamtheit der Untersuchung sind somit alle Studierenden, die im

Wintersemester 2019/20 an der IoGC teilgenommen haben. Beteiligt waren dabei neben der Technischen Universität Dortmund die Nordakademie – Hochschule der Wirtschaft, die Technische Hochschule Köln, die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg sowie die Ruhr-Universität Bochum. Eine genaue Anzahl der teilnehmenden Studierenden ist nicht bekannt, da keine exakten Meldungen durch die verschiedenen Hochschulen erfolgten. Insgesamt kann die Zahl auf etwa 300 Studierende geschätzt werden. Der Einsatz der Fragebögen im Pretest und Posttest wurde als Vollerhebung geplant, das heißt alle Studierenden wurden befragt, es fand keine gesteuerte Auswahl einer Stichprobe statt. Die Teilnahme an der Befragung erfolgte auf freiwilliger Basis, die Fragebögen wurden durch die Lehrenden an den verschiedenen Standorten an alle teilnehmenden Studierenden ausgegeben.

Im Rahmen des Pretests erfolgte ein Rücklauf von insgesamt 254 Fragebögen. Da Fragebögen von allen beteiligten Hochschulen übermittelt wurden und die Anzahl der Rückläufer jeweils in einem realistischen Verhältnis zur geschätzten Teilnehmendenzahl der einzelnen Hochschulen steht, ist nicht von einer Selektion auszugehen, so dass die zufällige Stichprobe, die sich aus dem Rücklauf ergibt als repräsentativ für die Grundgesamtheit zu betrachten ist. Tabelle 8 zeigt, ausgewertet aus den Rückläufern im Pretest, die Anzahl der Studierenden je Hochschule sowie jeweils eine Aufgliederung in Bachelor und Masterstudiengänge.

Tabelle 8: Charakterisierung der Stichprobe

Hochschule	Teilnehmende gesamt			Bachelor			Master		
	weibl.	männl.	k.A.	weibl.	männl.	k.A.	weibl.	männl.	k.A.
Technische Universität Dortmund	82			27			55		
	13	69	1	2	25	1	11	44	0
Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft	11			11			0		
	2	9	0	2	9	0	0	0	0
Technische Hochschule Köln	48			48			0		
	9	36	3	9	36	3	0	0	0
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg	6			6			0		
	1	5	0	1	5	0	0	0	0
Ruhr-Universität Bochum	107			99			8		
	22	81	4	22	74	3	0	7	1
<b>Gesamt</b>	254			191			63		

Alle Studierenden ordneten ihren Studiengang dem Bereich Ingenieurwissenschaften (und/ oder Wirtschaft mit Hinweis auf das Fach Wirtschaftsingenieurwesen) zu. Die Studierenden in den Bachelorstudiengängen gaben im Mittel (Median) an, dass sie sich zum Zeitpunkt der Befragung im 5ten Fachsemester befanden, bei den Studierenden in den Masterstudiengängen war es im Mittel (Median) das 2te Fachsemester.

Die vollständigen Daten befinden sich im Anhang A5. Bei der Durchführung des Posttests, der im Rahmen der Abschlussveranstaltung der IoGC durchgeführt wurde, reduzierte sich der Rücklauf auf 124 Fragebögen, bei denen wieder keine Selektion vorliegt und sie somit repräsentativ für die Grundgesamtheit sind.

## 8.2.2 Daten und Ergebnisse der Evaluation

Die erhobenen Daten werden im Folgenden ausgewertet und interpretiert, um Aussagen zur Annahme oder Ablehnung der formulierten Forschungshypothesen in den verschiedenen Ebenen der Evaluation zu machen. Während Hypothese H1.1 mit einem qualitativen Ansatz überprüft wird, wird zur Überprüfung der übrigen Hypothesen eine quantitative Methodik angewendet. Die Daten aus diesen Erhebungen werden im Folgenden sowohl deskriptiv als auch inferenzstatistisch ausgewertet.

### **Ebene der Vorannahmen**

Eine Annahme bei der Konzeption des Lernangebots war, dass die Studierenden unabhängig von ihrem Studienfortschritt über wenig Vorwissen zum Thema Nachhaltigkeit verfügen (H1.1). Um diese Annahme zu überprüfen, wurden die Studierenden im Rahmen des Pretests aufgefordert, mit eigenen Worten zu beschreiben, was Nachhaltigkeit für sie bedeutet. Um eine Einschätzung des Vorwissens der Studierenden vorzunehmen, erfolgt anhand der von Carew und Mitchell (2002) aufgestellten Merkmale eine Zuordnung zu den Stufen der SOLO-Taxonomie. Die vollständige Auflistung der durch die Studierenden angegebenen Definitionen sowie die jeweilige Zuordnung der Stufen ist Teil des Anhangs A4.

Aus den 254 Rückläufern konnten insgesamt 194 Definitionen ausgewertet werden, 60 Fragebögen enthielten keine Nachhaltigkeitsbeschreibung. Da fehlende Definitionen nicht zwingend aussagen, dass die Studierenden nichts über Nachhaltigkeit wissen, werden diese bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Ein Großteil der Erklärungen (58,8%) weist auf ein lediglich unistrukturelles Wissen der Studierenden hin. Sie beziehen sich auf einzelne Aspekte von Nachhaltigkeit und stellen einfache, offensichtliche Verbindungen her, denen sie aber keine tieferen Bedeutungen zuordnen:

- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „der Umgang mit Ressourcen auf eine die Zukunft berücksichtigende Weise.“ (# 33)*
- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „ein Leben auf der Erde mit einem möglichst geringen negativen Einfluss auf diese.“ (# 47)*

42 Definitionen (21,7%) zeigen sogar ein nur prästrukturelles Verständnis von Nachhaltigkeit. Diese Studierenden scheinen die Kernidee von Nachhaltigkeit nicht verstanden zu haben, denn sie nutzen irrelevante Informationen oder geben keine sinnvollen Antworten:

- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „das Ende im Blick zu haben.“ (# 40)*
- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „vegane Ernährung und laktosefreie Milch.“ (# 43)*

15,0% der Studierenden verweisen in ihren Nachhaltigkeitserklärungen auf mehrere Aspekte von Nachhaltigkeit. Diese werden jedoch eher unabhängig voneinander dargestellt und nicht in einen übergeordneten Zusammenhang gebracht. Ihre Erklärungen weisen auf ein multistrukturelles Verständnis hin - die Studierenden verfügen über Faktenwissen zu Nachhaltigkeit, vernetzen dieses aber kaum:

- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „Materialschonend, Langlebig, Umweltbewusst.“ (# 16)*
- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „Vermeidung von Verschwendung und Ausbeutung.“ (# 230)*

Die Nachhaltigkeitserklärungen von nur 9 Studierenden (4,6%) lassen ein relationales Verständnis erkennen. Sie bringen verschiedene Aspekte in ihre Definition ein, führen diese zu einem kohärenten Ganzen zusammen und ziehen individuelle, logisch begründete Schlüsse:

- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „sozial und ökologisch verantwortungsvoll zu handeln und zu leben und bei allen Tätigkeiten den Einfluss auf Umwelt und Mitmenschen im Blick zu haben.“ (# 34)*

Die höchste Stufe der Taxonomie, also ein erweitert abstraktes Verständnis, ist in keiner der Nachhaltigkeitserklärungen der Studierenden erkennbar. Abbildung 22 zeigt die Verteilung der untersuchten Erklärungen auf den Stufen der SOLO-Taxonomie in der Übersicht.

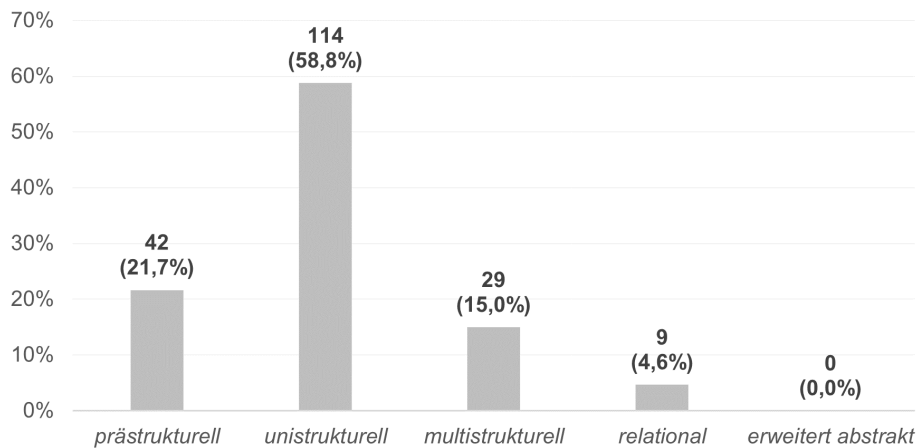


Abbildung 22: Kategorisierte Nachhaltigkeitserklärungen (WiSe 19/20)

Es ist deutlich zu erkennen, dass annähernd alle Studierenden kein oder ein nur rudimentäres Vorwissen und Verständnis von Nachhaltigkeit zeigen. Die Ergebnisse entsprechen so auch dem Muster der Erhebungen von Carew und Mitchell (2002) sowie Nicolaou und Conlon (2012) und bestätigen die im Rahmen der Analyse aufgestellte Annahme.

In einem nächsten Schritt wird betrachtet, auf welche Aspekte bzw. Dimensionen von Nachhaltigkeit (ökologisch, sozial, ökonomisch) die Studierenden in ihren Erklärungen Bezug nehmen. Dabei fällt auf, dass, wie in Abbildung 23 (links) dargestellt, fast zwei Drittel der Studierenden (63%) in ihrer Definition keine der drei Dimensionen von Nachhaltigkeit aufgreifen. 25% der Studierenden beziehen sich auf eine der Dimensionen, wobei dies in der Regel die ökologische Dimension ist (42 von 49). Nur 7% der Studierenden nennen zwei Dimensionen, Bezug auf alle drei Dimensionen von Nachhaltigkeit nehmen nur zehn Studierende.

Abbildung 23 (rechts) zeigt, wie häufig die ökologische, soziale und ökonomische Dimension in den Erklärungen aufgegriffen wird. Die Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass das Verständnis von Nachhaltigkeit noch immer sehr eng mit ökologischen Aspekten in Verbindung steht. Etwa ein Drittel der Studierenden (33,5%) bezieht sich in ihrer Beschreibung von Nachhaltigkeit darauf. Auffällig ist, dass die Studierenden fast genauso häufig (33,0%) einen Bezug zum Thema Ressourcen in ihren Nachhaltigkeitserklärungen aufgreifen:

- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „Ressourcen schonen & verwerten, auch wenn es nicht der ökonomische [sic!] weg [sic!] ist.“ (# 246)*

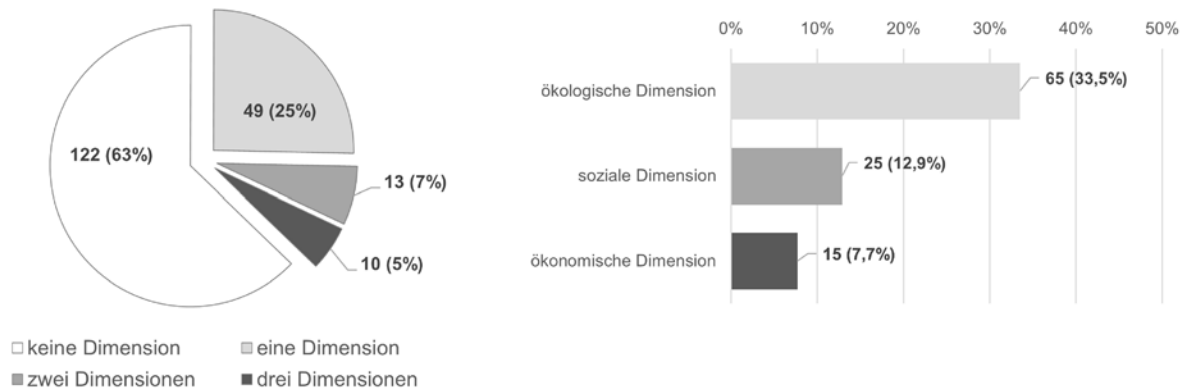


Abbildung 23: Vorwissen zu den Dimensionen von Nachhaltigkeit (WiSe 19/20)

Weitere Annahmen, die überprüft werden, sind der persönliche Stellenwert des Themas Nachhaltigkeit für die Studierenden (H1.2) und die Bedeutung des Themas für die zukünftige berufliche Arbeit als Ingenieur\*in (H1.3). Die Zustimmung oder Ablehnung wurde auf einer fünfstufigen Ratingskala zwischen ‚Trifft zu‘ und ‚Trifft nicht zu‘ abgefragt. Für einen Vergleich der Ausprägungen können diese kategorialen Merkmale der Ordinalskala in metrische Variablen übertragen werden (‚Trifft zu‘ = 5, ‚Trifft eher zu‘ = 4 usw.). Eine solche Übertragung ermöglicht vergleichende Aussagen über Maße der zentralen Tendenz wie den Mittelwert ( $\bar{x}$ ) oder Streuungsmaße wie die Standardabweichung ( $s$ ). Die Ergebnisse zeigt Abbildung 24 in der Übersicht. Diesen Ergebnissen sollte jedoch keine absolute Aussagekraft zugemessen werden, da zwar eine eindeutige Rangordnung der Stufen gegeben ist, aber keine regelmäßigen und objektiven Abstände bestehen. Mehr als drei Viertel der Studierenden (79,8%) ordnen Nachhaltigkeit persönlich einen hohen oder eher hohen Stellenwert zu. Eine hohe oder eher hohe Bedeutung für Ihre berufliche Zukunft als Ingenieur\*in sprechen dem Thema Nachhaltigkeit 73,3% der Studierenden zu. Das Mittel (Median  $M_d$ ) entspricht in beiden Fällen Stufe 4. Insgesamt zeigen sich somit nur wenig Unterschiede in der Bewertung des Stellenwerts, also der Bedeutung im privaten und im beruflichen Bereich.

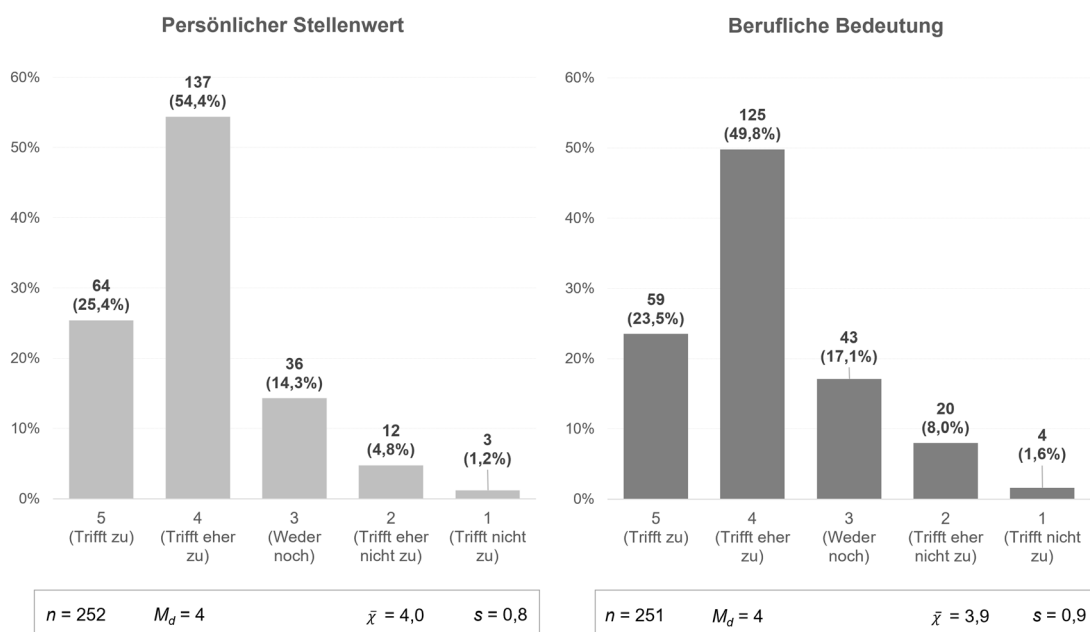


Abbildung 24: Persönliche und berufliche Bedeutung von Nachhaltigkeit (WiSe 19/20)

Die letzte zu überprüfende Annahme richtete sich auf die bestehende Einbindung des Themas Nachhaltigkeit in das Studium. Auf Grundlage der Ergebnisse einer Analyse von Modulhandbüchern (vgl. Kapitel 6.2) wurde die Annahme getroffen, dass Nachhaltigkeit bisher keine Rolle im ingenieurwissenschaftlichen Studium spielt. Hier zeigt sich jedoch, wie in Abbildung 25 dargestellt, eine andere Einschätzung der Studierenden.

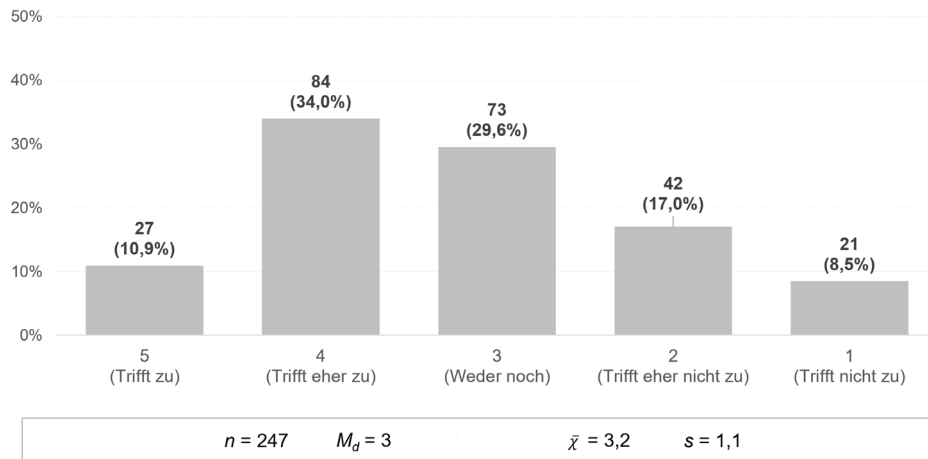


Abbildung 25: Thematisierung von Nachhaltigkeit im Studium (WiSe 19/20)

Nur etwa ein Viertel der Studierenden (25,5%) gibt an, dass Nachhaltigkeit keine oder eher keine Rolle in ihrem Studium spielt. 44,9% bestätigen hingegen, dass das Thema in ihrem Studium relevant ist. Das Mittel (Median  $M_d$ ) liegt hier jedoch bei Stufe 3 ('Weder noch'), was zeigt, dass die Studierenden insgesamt eher unschlüssig zu sein scheinen, inwieweit Nachhaltigkeit eine Rolle in ihrem Studium spielt.

### **Ebene des allgemeinen Einflusses der IoGC**

Um den Einfluss der Teilnahme an der IoGC auf die Ausprägung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen zu untersuchen, erfolgt ein Vergleich der Selbsteinschätzungen der Studierenden im Pre- und Posttest. Durch die persönliche Codierung der Fragebögen ist es möglich, diese einer Person zuzuordnen, die dabei aber anonym bleibt. Da über die angegebene Codierung nicht alle Fragebögen des Pretests auch einem Fragebogen des Posttests eindeutig zuzuordnen waren, reduziert sich die Anzahl der auszuwertenden Fragebögen auf 95. Die vollständigen gegenübergestellten Daten der relevanten Fragebögen aus dem Pre- und Posttest können im Anhang A6 eingesehen werden.

Um zu überprüfen, ob die Teilnahme an der IoGC einen Einfluss auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden hat und diese dadurch gefördert werden ( $H_2$ ), sind zunächst die Teilhypothesen zu betrachten. Dabei werden entsprechend der Phasen im Produktentstehungsprozess und der Dimensionen von Nachhaltigkeit insgesamt sechs Teilkompetenzen aufgedgliedert (vgl. Matrix der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen, Abbildung 18). Abbildung 26 zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Pre- und Posttest für jede dieser Teilkompetenzen.

■ (Pre) Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage ...

■ (Post) Nachdem ich an der loGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage ...

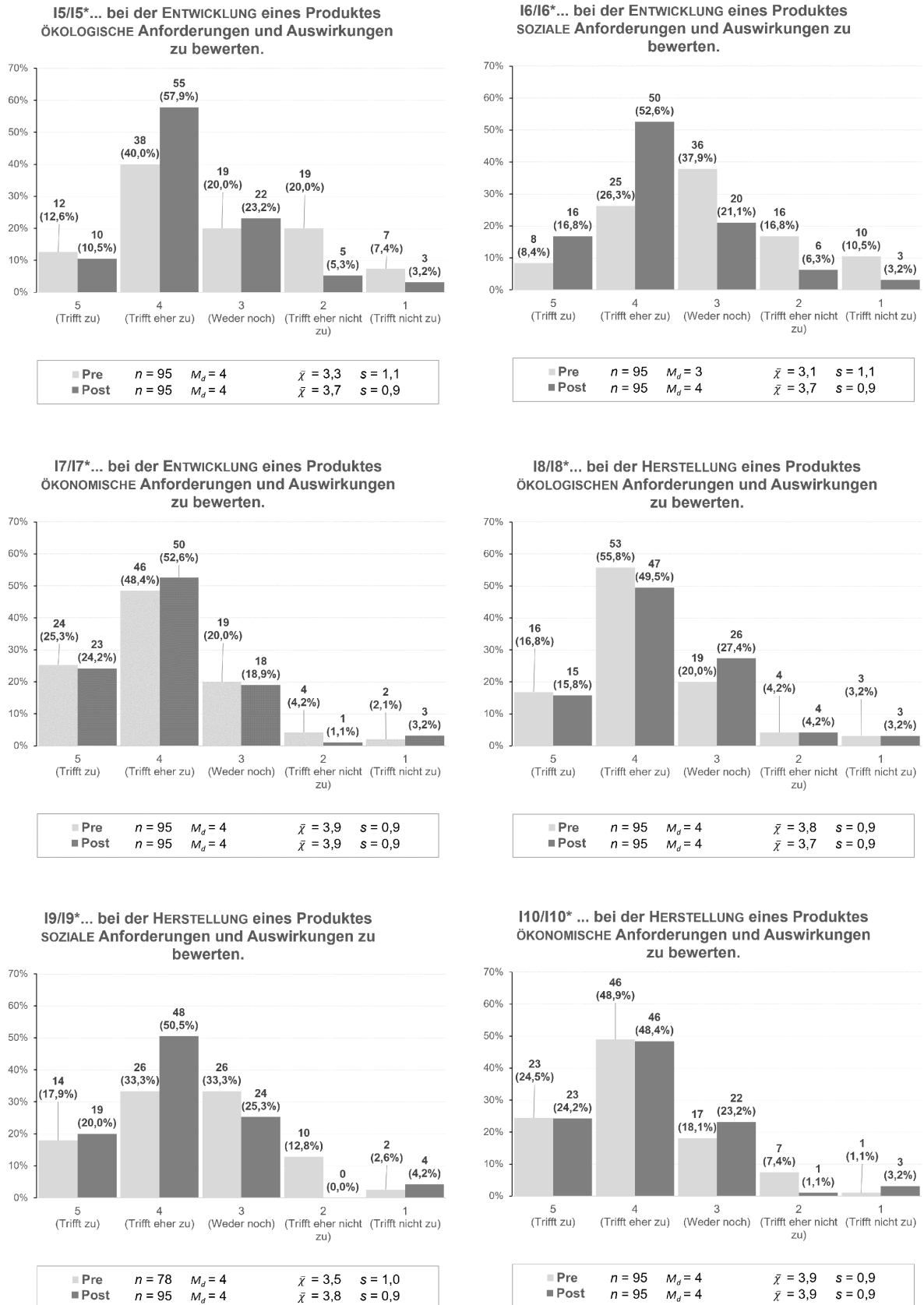


Abbildung 26: Selbsteinschätzungen in Pre- und Posttest (WiSe 19/20)



Insgesamt zeigt sich, dass die Studierenden ihre Kompetenzen bereits im Pretest vergleichsweise hoch einschätzen. In allen Teilkompetenzen wählen die Studierenden im Mittel (Median  $M_d$ ) Stufe 4, also eine weitgehende Zustimmung dazu, dass sie in der Lage sind, die Anforderungen und Auswirkungen in Bezug auf die jeweilige Dimension von Nachhaltigkeit bei der Produktentwicklung und -herstellung zu bewerten. Lediglich hinsichtlich der sozialen Dimension bei der Produktentwicklung schätzen sie sich im Mittel (Median  $M_d$ ) etwas schwächer ein. Ausgehend von dieser hohen Selbsteinschätzung vor der Teilnahme an der IoGC zeigen sich gemittelt über alle beteiligten Hochschulen nur geringe Veränderungen der Selbsteinschätzungen im Posttest.

Nach der Teilnahme an der IoGC ordnen die Studierenden ihre Kompetenzen im Mittel (Median  $M_d$ ) bei allen Teilkompetenzbereichen in Stufe 4 (,Trifft eher zu') ein. Für einen Vergleich können auch hier der Mittelwert ( $\bar{x}$ ) als Maße für die zentralen Tendenz und die Standardabweichung ( $s$ ) als Streuungsmaß betrachtet werden. Hierbei zeigt sich, dass hinsichtlich der ökologischen Dimension in der Produktentwicklung, insbesondere aber bei der sozialen Dimension sowohl in der Phase der Produktentwicklung als auch der Produktherstellung, ein steigender Mittelwert auf eine leicht steigende Tendenz hinweist. Unter Berücksichtigung der Variabilität der Werte ( $s$  liegt zwischen 0,9 und 1,1) ist aber keine eindeutige Tendenz erkennbar. Daher werden im nächsten Schritt die konkreten Differenzen zwischen den beiden Selbsteinschätzungen betrachtet. Dabei besteht die Möglichkeit einer zunehmendem Einschätzung (gewählte Stufe im Posttest liegt über der gewählten Stufe im Pretest), einer gleichbleibenden Einschätzung (gewählte Stufe im Posttest entspricht der gewählten Stufe im Pretest) und einer abnehmenden Einschätzung (gewählte Stufe im Posttest liegt unter der gewählten Stufe im Pretest). Abbildung 27 zeigt, wie häufig Zu- und Abnahmen in den unterschiedlichen Umfängen festzustellen sind.

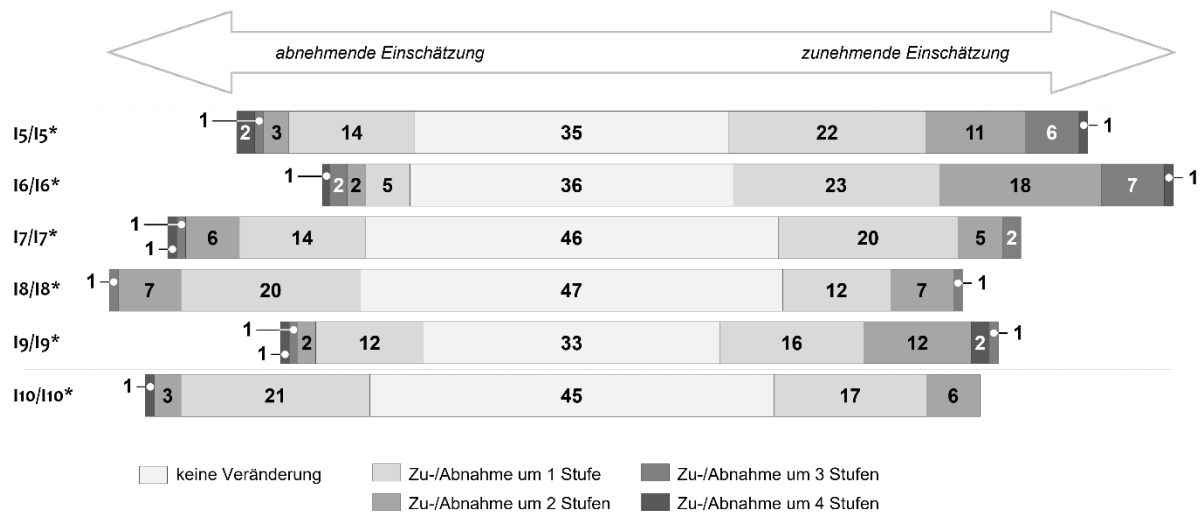


Abbildung 27: Zu- und Abnahme der Selbsteinschätzungen von Pre- zu Posttest

Es wird deutlich, dass in allen Teilkompetenzen ein vergleichsweise hoher Anteil der Studierenden (ein Drittel bis die Hälfte) keine Veränderungen der Selbsteinschätzung von Pre- zu Posttest zeigt. Während in Bezug auf die Produktentwicklung hinsichtlich aller drei Dimensionen von Nachhaltigkeit mehr Studierende eine zunehmende als eine abnehmende Einschätzung vornehmen, ist dies in Bezug auf die Produktherstellung nur in Bezug auf die soziale Dimension der Fall. Hinsichtlich der ökologischen und ökonomischen Dimension kommen mehr Studierende zu einer abnehmenden als

zu einer zunehmenden Einschätzung. Für eine detaillierte Betrachtung dieser Ergebnisse schließt sich eine inferenzstatistische Auswertung der Daten an.

Bei der durchgeführten Evaluation handelt es sich um eine Studie im sogenannten ‚Mixed Design‘, bei der ein ‚within-Faktor‘ (der Zeitpunkt der Befragung) und ein ‚between-Faktor‘ (Hochschulstandort) als unabhängige Variablen betrachtet werden. Eine abhängige Variable ist dabei die Ausprägung der Selbsteinschätzung der Kompetenzen der Studierenden. Mit Vorausblick auf die folgende Ebene der Evaluation, also die Unterscheidung zwischen den Ergebnissen an der Technischen Universität Dortmund und den anderen Standorten, eignet sich zur effizienten Überprüfung der formulierten Hypothesen H<sub>2</sub> und H<sub>3</sub> in diesem Fall eine *Mixed ANOVA* (engl. Analysis of Variance, Varianzanalyse). Im Rahmen dieser Analyse können Unterschiedshypothesen über drei Effekte geprüft werden: Haupteffekt A (hier der Zeitpunkt der Befragung, H<sub>2</sub>), Haupteffekt B (hier der Hochschulstandort) und die Interaktion erster Ordnung A x B (hier die Interaktion von Standort und Zeitpunkt) (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 711). Dabei wird der Faktor Standort zur Vereinfachung auf zwei Ausprägungen (‚Technische Universität Dortmund‘ und ‚andere‘) reduziert und vereinfacht als ‚Gruppe‘ bezeichnet. Gruppe 1 umfasst alle Studierenden der TU Dortmund und somit alle Studierenden, die am entwickelten Lernangebot teilgenommen haben. Gruppe 0 sind hingegen die Studierenden der anderen Standorte, die zwar an der IoGC, aber nicht am Lernangebot beteiligt waren.

Eine Varianzanalyse testet, ob eine Nullhypothese (H<sub>20</sub>: ‚Es gibt keinen Unterschied in den Kompetenzen der Studierenden an den verschiedenen Zeitpunkten der Befragung‘ bzw. H<sub>30</sub>: ‚Es gibt keinen Unterschied in den Kompetenzen der Studierenden an den verschiedenen Standorten‘) zutrifft oder ausgeschlossen werden kann. Ein signifikantes Ergebnis führt zur Ablehnung der Nullhypothese und zur Annahme der Alternativhypothese – diese umfasst zunächst alle Optionen, die nicht der Nullhypothese entsprechen (Rasch et al., 2014b, S. 79). Der sogenannte  $\alpha$ -Fehler (Fehler erster Art) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Nullhypothese abgelehnt wird, obwohl sie eigentlich gültig ist. Dieses akzeptierte Fehlerniveau wird vor der Durchführung der Analyse festgelegt. Dabei ist die Wahl dieses Niveaus grundsätzlich willkürlich. Je nach Fragestellung kann ein hohes oder strenges Fehlerniveau sinnvoll sein. Per Konvention liegt es in der Regel bei  $\alpha = 0,05$  bzw. 5%. Tabelle 9 zeigt die üblichen Abstufungen der Irrtumswahrscheinlichkeiten (falsche Ablehnung der Nullhypothese) mit den zugeordneten *Signifikanzniveaus* (vgl. z.B. Döring & Bortz, 2016, S. 666). Ein Hypothesentest ist dann signifikant, wenn die ermittelte Wahrscheinlichkeit geringer ist als das akzeptierte Fehlerniveau.

Tabelle 9: Irrtumswahrscheinlichkeit und Signifikanzniveau

Irrtumswahrscheinlichkeit	$p > 0,100$	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,010$	$p \leq 0,001$
<b>Signifikanzniveau</b>	nicht signifikant	signifikant	hoch signifikant	höchst signifikant
<b>Kennzeichen</b>	n.s.	*	**	***

Die Bedeutungsstärke des Ergebnisses in dieser Analyse wird durch die *Effektstärke* ( $\eta^2_p$ ) abgebildet. Sie beschreibt den Anteil der Varianz der abhängigen Variable (also der Kompetenzausprägung der Studierenden), der jeweils durch die betrachtete unabhängige Variable (Zeitpunkt oder Gruppe) verursacht wird. Der Wertebereich liegt dabei zwischen 0 und 1, also zwischen 0% und 100%.

Üblicherweise wird eine Effektstärke von  $\eta^2_p < 0,06$  als kleiner Effekt, mit  $\eta^2_p$  zwischen 0,06 und 0,14 als mittlerer Effekt und bei  $\eta^2_p > 0,14$  als großer Effekt bezeichnet (vgl. z.B. Döring & Bortz, 2016, S. 820).

Für die Anwendung einer ANOVA mit Messwiederholung, also mit einem Vergleich zwischen Pre- und Posttest, gelten drei grundlegende Voraussetzungen (Rasch et al., 2014b, S. 30): Die abhängige Variable ist intervallskaliert, es besteht eine Normalverteilung der untersuchten Merkmale in der Stichprobe und die Varianzen der Populationen der untersuchten Gruppen sind homogen. Die abhängige Variable ist in dieser ANOVA das von den Studierenden eingeschätzte Kompetenzniveau auf einer fünfstufigen Ratingskala. Die erste Bedingung kann somit als erfüllt betrachtet werden. Hinsichtlich der Normalverteilung erfolgt im Rahmen dieser statistischen Analyse unter Bezug auf den zentralen Grenzwertsatz keine explizite Überprüfung. Der zentrale Grenzwertsatz besagt, dass die Verteilung von Mittelwerten in Stichproben, die einer beliebig verteilten Grundgesamtheit entnommen wurden, einer Normalverteilung entspricht, wenn die Anzahl hinreichend groß ist. Als Grenze gilt hier die Anzahl  $n = 30$  (Döring & Bortz, 2016, S. 641). In allen Test wird diese Anzahl überschritten, so dass eine Normalverteilung angenommen werden kann. Somit ist auch die zweite Bedingung erfüllt. Für die Überprüfung der dritten Bedingung, also der Varianzhomogenität, eignet sich der sogenannte Levene-Test. Dieser wird zusammen mit der ANOVA ausgeführt und im Rahmen der anschließenden Ergebnisdarstellung erläutert. Die statistischen Analysen wurden mit der Software SPSS (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0.1.1) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 10 in der Übersicht.

Tabelle 10: Levene-Test und Mixed ANOVA – Erster Haupteffekt

Item	Levene	Effekt	Ergebnisse der Effekte		
			F	p	$\eta^2_p$
15 15*	pre 0,120 post <0,001***	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 93) = 4,97	0,028*	0,051
		Haupteffekt Gruppe	(1, 93) = 4,96	0,028*	0,051
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	(1, 93) = 3,56	0,062	0,037
16 16*	pre 0,468 post <0,001***	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 93) = 20,67	<0,001***	0,182
		Haupteffekt Gruppe	(1, 93) = 1,79	0,184	0,019
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	(1, 93) = 5,70	0,019*	0,058
17 17*	pre 0,358 post 0,029*	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 93) = 0,03	0,863	<0,001
		Haupteffekt Gruppe	(1, 93) = 4,52	0,036*	0,046
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	(1, 93) = 0,36	0,553	0,004
18 18*	pre 0,550 post 0,005**	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 93) = 0,71	0,401	0,008
		Haupteffekt Gruppe	(1, 93) = 4,12	0,045*	0,042
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	(1, 93) = 0,27	0,608	0,003
19 19*	pre 0,584 post 0,060	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 76) = 3,39	0,069	0,043
		Haupteffekt Gruppe	(1, 76) = 4,24	0,043*	0,053
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	(1, 76) = 4,15	0,045*	0,052
110 110*	pre 0,534 post <0,001***	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 92) = 0,04	0,852	<0,001
		Haupteffekt Gruppe	(1, 92) = 8,72	0,004**	0,087
		Interaktion Zeitpunkt*Gruppe	(1, 92) = 3,74	0,056	0,039

Es zeigt sich, dass jeweils beim ersten Befragungszeitpunkt (pre) das Ergebnis des Levene-Tests nicht signifikant ist und die Daten somit den Anspruch der Varianzhomogenität erfüllen. Anders beim zweiten Befragungszeitpunkt (post), hier zeigt der Levene-Tests bei annähernd allen Items (außer I9\*) signifikante Ergebnisse. Dies bedeutet, dass das Kriterium der Varianzhomogenität hier nicht erfüllt ist. Generell gilt die Varianzanalyse gegen eine Inhomogenität der Varianzen als robust bei einer hinreichenden Stichprobengröße und etwa gleich großen Gruppen. Dieser Anspruch ist im Rahmen der Evaluation ausreichend erfüllt. Es ist aber zu berücksichtigen, dass als Folge der fehlenden Varianzhomogenität leichte Verzerrungen des  $p$ -Wertes in der ANOVA auftreten können.

Relevant für die Evaluationsebene des allgemeinen Einflusses der Teilnahme an der IoGC sind die Ergebnisse hinsichtlich des Haupteffekts des Zeitpunkts – also die Frage, ob es einen Unterschied zwischen den Befragungszeitpunkten ‚pre‘ und ‚post‘ gibt. Hier zeigen zwei Teilkompetenzen signifikante Veränderungen. Dies ist zum einen die Fähigkeit, im Rahmen der Produktentwicklung ökologische Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten (I5/I5\*) mit  $F(1, 93) = 4,97, p = 0,028^*$  und einer kleinen Effektstärke von  $\eta^2_p = 0,051$ . Deutlicher ist das Ergebnis hinsichtlich der Fähigkeit, im Rahmen der Produktentwicklung soziale Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten (I6/I6\*). Hier zeigt sich ein höchstsignifikantes Ergebnis mit  $F(1, 93) = 20,67, p = 0,001^{***}$  und einer großen Effektstärke mit  $\eta^2_p = 0,182$ . Bei allen anderen Teilkompetenzen zeigt sich kein signifikanter Einfluss allein durch die Teilnahme an der IoGC. Die weiteren Ergebnisse der ANOVA beziehen sich auf den Einfluss des Standorts und damit auf die folgende Ebene der Evaluation.

### ***Ebene des konkreten Einflusses des Lernangebots***

Die Ergebnisse der vorhergehenden Ebene der Evaluation sind dadurch geprägt, dass die Teilnahme an der IoGC an den verschiedenen Hochschulen in unterschiedlichen Settings und Konzepten erfolgt. Es ist zu erwarten, dass hierbei eine Vielzahl unterschiedlichster Parameter Einfluss auf die resultierende Selbsteinschätzung der Studierenden hat. Wie die vorhergehenden Ergebnisse zeigen, ist eine allgemeine Aussage dazu, dass die Teilnahme an der IoGC nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen fördert, nicht möglich, sondern nur auf einzelne Teilkompetenzen begrenzt. Aus diesem Grund erfolgt auf dieser Ebene der Evaluation eine Eingrenzung des Betrachtungsbereichs auf die Ergebnisse der Studierenden, die an der Technischen Universität Dortmund am entwickelten Lernangebot teilgenommen haben. Die konkreten didaktischen und methodischen Parameter und das realisierte Setting sind für diese Gruppe definiert worden und es sind daher weniger unbekannte Einflüsse zu erwarten.

Um zu überprüfen, ob die Teilnahme am entwickelten Lernangebot einen Einfluss auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden hat und diese dadurch gefördert werden (H3), sind zunächst wieder die Teilhypothesen zu betrachten. Abbildung 28 zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Pre- und Posttest für jede dieser Teilkompetenzen, hier jedoch ausschließlich für die Studierenden der Technischen Universität Dortmund (Gruppe 1). Auch in Gruppe 1 zeigt sich als Teilmenge bereits im Pretest eine hohe Selbsteinschätzung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen. In allen Teilkompetenzen wählen die Studierenden im Mittel (Median  $M_d$ ) Stufe 4, also eine weitgehende Zustimmung dazu, dass sie in der Lage sind, die Anforderungen und Auswirkungen in Bezug auf die verschiedenen Dimensionen von Nachhaltigkeit bei der Produktentwicklung und -herstellung zu bewerten. Wie in der Gesamtheit gibt es nur in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktentwicklung im Mittel (Median  $M_d$ ) eine niedrigere Selbsteinschätzung.

■ (Pre) Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage ...

■ (Post) Nachdem ich an der IoGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage ...

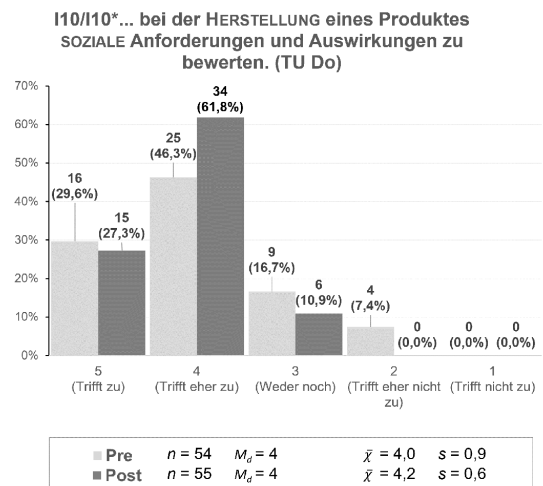
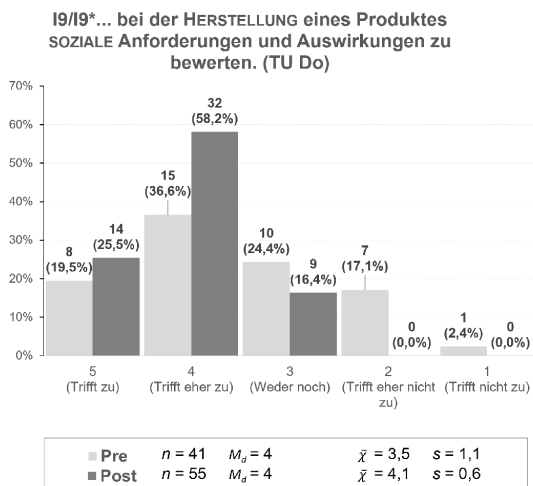
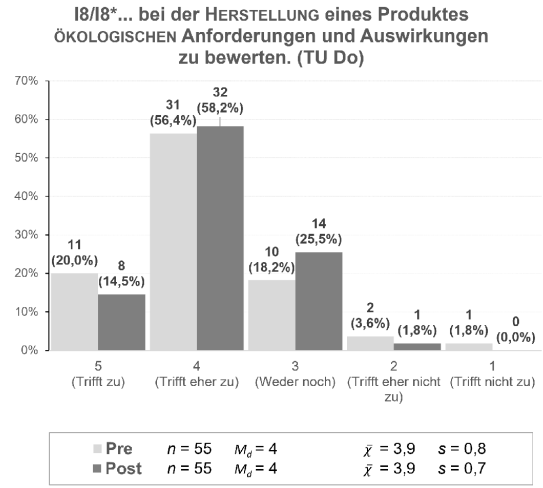
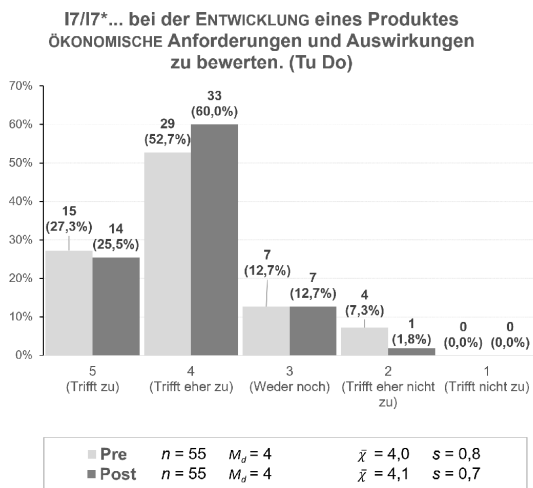
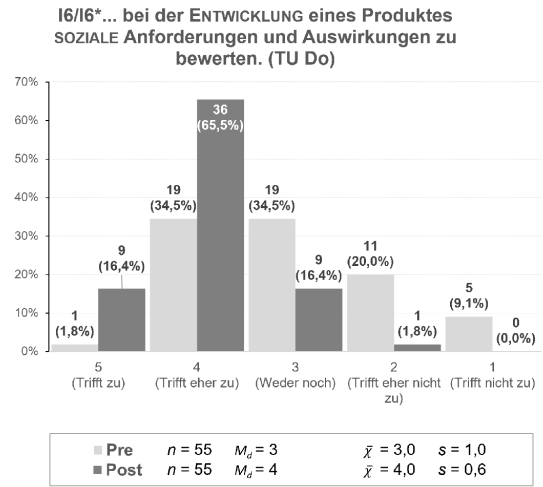
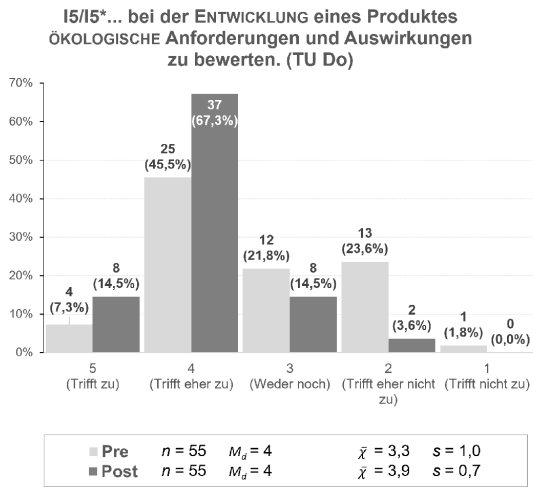


Abbildung 28: Selbsteinschätzung in Pre- und Posttest (WiSe 19/20, TU Dortmund)

Im Pretest beurteilen die Studierenden der Gruppe 1 ihre Kompetenzen in allen Bereichen im Mittel (Median  $M_d$ ) auf Stufe 4 (,Trifft eher zu'). Im Vergleich der Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) mit denen von Gruppe 0 zeigen sich stärkere Veränderungen der Selbsteinschätzungen im Posttest (siehe Abbildung 29).

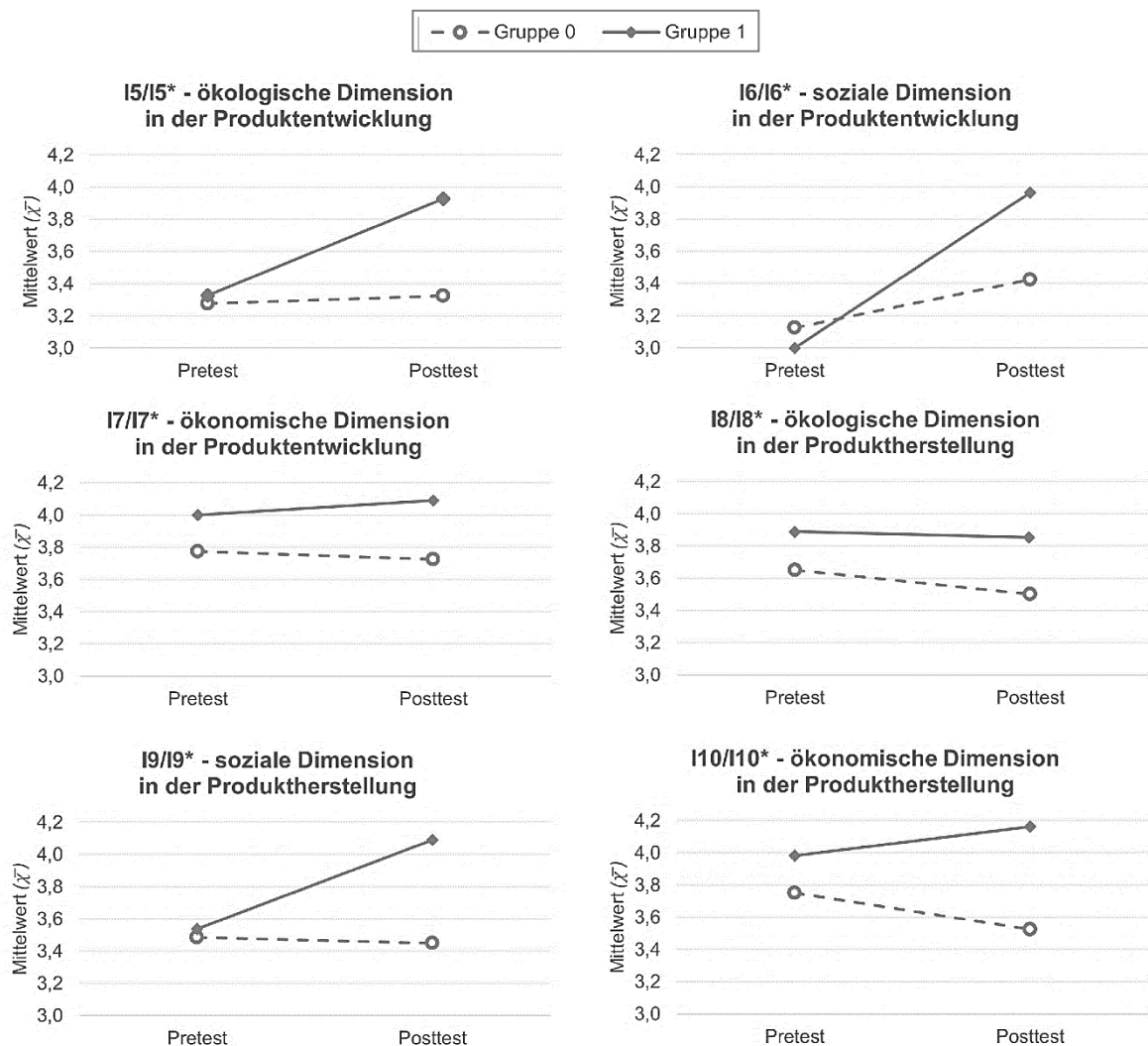


Abbildung 29: Gruppenbezogener Vergleich der Mittelwerte in Pre- und Posttest

Die Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) von Gruppe 1 zeigen in fünf der sechs Teilkompetenzen eine leicht bis deutlich steigende Tendenz. Besonders deutlich zeigt sich dies hinsichtlich der sozialen Dimension von Nachhaltigkeit (16/16\* und 19/19\*). In Bezug auf die Produktentwicklung ist hier der Mittelwert sogar um 1,0 höher, was einer kompletten Stufe der Ratingsskala entspricht. Im direkten Vergleich liegen zudem in allen Teilkompetenzen die Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) von Gruppe 0 im Posttest deutlich unter denen von Gruppe 1.

Auch die konkreten Differenzen der Einschätzungen in Pre- und Posttest werden nur für Gruppe 1, also die Studierenden der Technischen Universität Dortmund, betrachtet. Abbildung 30 zeigt, wie häufig Zu- und Abnahmen der Selbsteinschätzungen in den unterschiedlichen Umfängen in dieser Gruppe festzustellen sind.

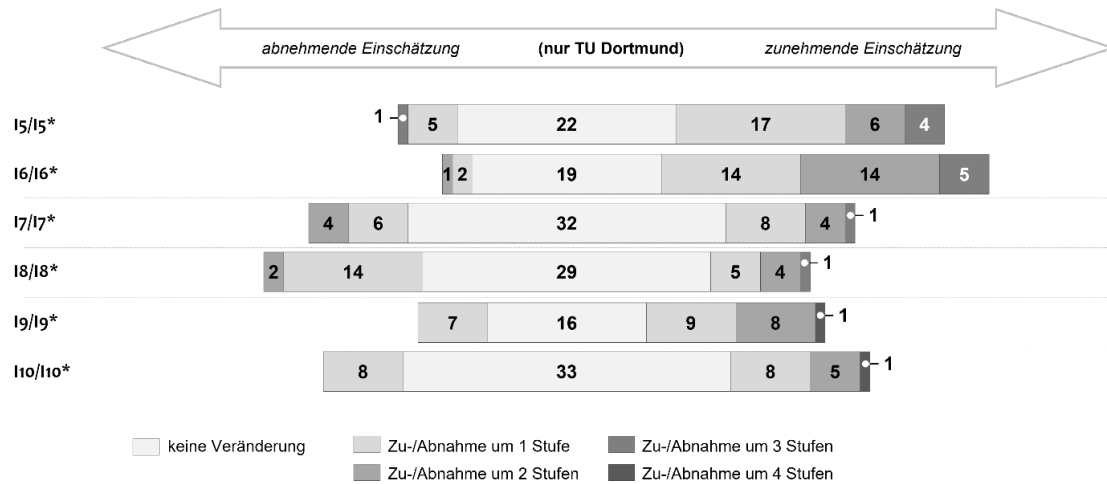


Abbildung 30: Zu-/ Abnahme der Selbsteinschätzungen in Pre- und Posttest (TU Dortmund)

Im Vergleich ist erkennbar, dass der Anteil positiver Differenzen insgesamt höher ist als in der Gesamtheit. In allen Teilkompetenzen zeigen sich bei den Studierenden der Technischen Universität Dortmund deutlich mehr zunehmende als abnehmende Einschätzungen. Insbesondere in Bezug auf die Phase der Produktentwicklung sind Zuwächse in den Selbsteinschätzungen erkennbar. Hinsichtlich der ökologischen Dimension geben 27 Studierende eine höhere Einschätzung an, in Bezug auf die soziale Dimension sind es sogar 33 Studierende. Für eine detaillierte Analyse erfolgt wieder eine inferenzstatistische Auswertung der Daten. Dazu werden im Rahmen der bereits durchgeführten Mixed ANOVA in dieser Ebene der Evaluation zum einen der Haupteffekt der Gruppe und zum anderen die Interaktion von Zeitpunkt und Gruppe betrachtet (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Levene-Test und Mixed ANOVA – Zweiter Haupteffekt und Interaktion

Item	Levene	Effekt	Ergebnisse der Effekte		
			F	p	$\eta^2_p$
I5 I5*	pre 0,120 post <0,001***	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 93) = 4,97	0,028*	0,051
		Haupteffekt Gruppe	<b>(1, 93) = 4,96</b>	<b>0,028*</b>	<b>0,051</b>
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	(1, 93) = 3,56	0,062	0,037
I6 I6*	pre 0,468 post <0,001***	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 93) = 20,67	<0,001***	0,182
		Haupteffekt Gruppe	(1, 93) = 1,79	0,184	0,019
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	<b>(1, 93) = 5,70</b>	<b>0,019*</b>	<b>0,058</b>
I7 I7*	pre 0,358 post 0,029*	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 93) = 0,03	0,863	<0,001
		Haupteffekt Gruppe	<b>(1, 93) = 4,52</b>	<b>0,036*</b>	<b>0,046</b>
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	(1, 93) = 0,36	0,553	0,004
I8 I8*	pre 0,550 post 0,005**	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 93) = 0,71	0,401	0,008
		Haupteffekt Gruppe	<b>(1, 93) = 4,12</b>	<b>0,045*</b>	<b>0,042</b>
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	(1, 93) = 0,27	0,608	0,003
I9 I9*	pre 0,584 post 0,060	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 76) = 3,39	0,069	0,043
		Haupteffekt Gruppe	<b>(1, 76) = 4,24</b>	<b>0,043*</b>	<b>0,053</b>
		Interaktion Zeitpunkt* Gruppe	<b>(1, 76) = 4,15</b>	<b>0,045*</b>	<b>0,052</b>
I10 I10*	pre 0,534 post <0,001***	Haupteffekt Zeitpunkt	(1, 92) = 0,04	0,852	<0,001
		Haupteffekt Gruppe	<b>(1, 92) = 8,72</b>	<b>0,004**</b>	<b>0,087</b>
		Interaktion Zeitpunkt*Gruppe	(1, 92) = 3,74	0,056	0,039

Der Haupteffekt der Gruppe zeigt, ob es Unterschiede in den Kompetenzausprägungen zwischen den Gruppen unabhängig vom Erhebungszeitpunkt gibt. Dabei wird deutlich, dass für annähernd alle Teilkompetenzen signifikante Unterschiede zwischen den Studierenden der Technischen Universität Dortmund und den anderen Standorten bestehen. Lediglich hinsichtlich der Fähigkeit, im Rahmen der Produktentwicklung soziale Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten, zeigt sich mit  $F(1, 93) = 1,79, p = 0,184$  keine Signifikanz. Insgesamt sind alle Effektstärken nur als klein zu bewerten. Hinsichtlich der Hypothese, dass die Teilnahme am entwickelten Lernangebot die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden verstärkt (H3), ist der Haupteffekt jedoch nicht aussagekräftig. Hier ist die Interaktion von Zeitpunkt und Gruppe zu betrachten, um zu bewerten, ob es einen Unterschied zwischen der Kompetenzentwicklung der Studierenden an der Technischen Universität Dortmund und den anderen Standorten gibt. Dabei zeigen sich signifikante Ergebnisse sowohl hinsichtlich der sozialen Dimension in der Produktentwicklung mit  $F(1, 93) = 5,70, p = 0,019^*$  als auch der sozialen Dimension in der Produktherstellung mit  $F(1, 76) = 4,15, p = 0,045^*$ , jeweils mit kleiner bis mittlerer Effektstärke  $\eta^2_{p.} = 0,06$  und  $\eta^2_{p.} = 0,05$ .

Bei der durchgeführten Mixed ANOVA handelt es sich um eine sogenannte ‚omnibus-Untersuchung‘ (Döring & Bortz, 2016, S. 299). Es wird also lediglich überprüft, ob es Unterschiede zwischen den Gruppen gibt. Der Test liefert aber keine direkte Auskunft darüber, welche der beiden Gruppen für den Unterschied verantwortlich ist. Um diese zu konkretisieren ist es erforderlich, *post-hoc-Tests* durchzuführen. Im Rahmen dieser Evaluation eignen sich dazu *t-Tests*. Ein *t-Test* untersucht, ob sich zwei empirisch gefundene Mittelwerte systematisch voneinander unterscheiden. Das akzeptierte Fehlerniveau wird auch bei diesen Tests üblicherweise mit  $\alpha = 0,05$  bzw. 5% festgelegt. Im Rahmen von *post-hoc-Tests* ist aber die Kumulierung des akzeptierten  $\alpha$ -Fehlers zu beachten, so dass eine Anpassung der Signifikanzniveaus erforderlich ist. In vereinfachter Form kann bei einem zweifachen Test das akzeptierte Fehlerniveau halbiert werden, so dass eine Signifikanz bei  $p \leq 0,025$  vorliegt. Die relevanten *post-hoc-Tests* werden ebenfalls mit der Software SPSS (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0.1.1) durchgeführt.

Zunächst erfolgt eine Überprüfung der Unterschiede zwischen den Gruppen. Erwartet wird, dass im Pretest keine Unterschiede zwischen der Kompetenzausprägung der Studierenden in den beiden Gruppen bestehen, beim Posttest aber die Studierenden der Technischen Universität Dortmund höhere Kompetenzniveaus zeigen. Zur Überprüfung eignet sich ein *t-Test mit unabhängiger Stichprobe*. Voraussetzung für diesen Test ist neben der Normalverteilung wieder die Varianzhomogenität. Ist diese nicht gegeben, erfolgt die Durchführung eines *t-Tests mit Welch-Korrektur*. Bei der Bewertung der Unterschiede im Pretest wird der zweiseitige *p*-Wert herangezogen, da das Kompetenzniveau der Studierenden der Technischen Universität Dortmund kleiner oder größer sein könnte als das Kompetenzniveau der Studierenden der anderen Gruppe. Die Entwicklungen des Mittelwerts ( $\bar{x}$ ) und der Standardabweichung (*s*) zeigen an, dass im Posttest die Ergebnisse der Studierenden der TU Dortmund höher liegen werden als die der anderen Standorte, daher kann die Bewertung hier auf Basis des einseitigen *p*-Wertes erfolgen. Zur Einschätzung der Effektstärke wird das *d*-Maß von Cohen herangezogen (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 822). Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse des Tests.



Tabelle 12: Post-hoc-Tests zur Überprüfung des Unterschieds zwischen den Standorten

Item	Gruppe	$(\bar{x})$	s	Levene	t	p	d
I6	0	3,13	1,223	pre: $p = 0,294$	(93) = 0,55	0,586 (zweiseitig)	0,114
	1	3,00	1,000				
I6*	0	3,43	1,152	post: $p = <0,001^{**}$ (Welch-Korr.)	(93) = -2,67	0,005** (einseitig)	0,605
	1	3,96	0,637				
I9	0	3,49	0,961	pre: $p = 0,353$	(76) = 0,22	0,829 (zweiseitig)	0,049
	1	3,54	1,075				
I9*	0	3,45	1,061	post: $p = 0,002^{**}$ (Welch-Korr.)	(93) = 3,39	< 0,001*** (einseitig)	0,758
	1	4,09	0,646				

Die Ergebnisse zeigen, dass es hinsichtlich der sozialen Dimension sowohl in Bezug auf die Produktentwicklung (I6) als auch auf die Produktherstellung (I9) im Pretest keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kompetenzniveaus beider Gruppen gibt. Im Posttest ist hinsichtlich der sozialen Dimension in der Produktentwicklung (I6\*) das durchschnittliche Kompetenzniveau in Gruppe 0 ( $\bar{x} = 3,43, s = 1,15$ ) niedriger als das der Gruppe 1 ( $\bar{x} = 3,96, s = 0,64$ ). Diese Differenz ist hoch signifikant:  $t(93) = -2,67, p = 0,005^{**}$ . Die Differenz in der Ausprägung der sozialen Dimension in der Produktherstellung (I9\*) von Gruppe 0 ( $\bar{x} = 3,45, s = 1,06$ ) und Gruppe 1 ( $\bar{x} = 4,09, s = 0,65$ ) ist sogar höchst signifikant:  $t(93) = 3,39, p = < 0,001^{***}$ . Hinsichtlich der Effektstärken von  $|d| = 0,605$  und  $|d| = 0,758$  zeigen sich bei beiden Teilkompetenzen mittlere Effekte (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 820).

In einem zweiten post-hoc-Test werden zusätzlich die Unterschiede innerhalb der Gruppe 1 und innerhalb der Gruppe 0 überprüft. Dazu eignet sich ein *t-Test bei Stichproben mit paarigen Werten*. Hierbei werden die Differenzen der Selbsteinschätzungen der Studierenden im Pre- und Posttest für die verschiedenen Gruppen getrennt analysiert. Die Anforderung der Normalverteilung besteht auch bei diesem Test, die Homogenität der Varianzen ist hingegen nicht relevant. Bei der Bewertung der Unterschiede innerhalb der Gruppen wird wieder der zweiseitige *p*-Wert herangezogen, da die verschiedenen Kompetenzeinschätzungen sowohl höher als auch geringer sein können. Alle weiteren Annahmen gelten analog zum vorhergehend beschriebenen Test. Tabelle 13 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

Tabelle 13: Post-hoc-Tests zur Überprüfung des Unterschieds innerhalb der Gruppen

Gruppe	Item	$(\bar{x})$	s	t	p	d
0 (andere)	I6	3,13	1,223	(39) = -1,207	0,235 (zweiseitig)	0,191
	I6*	3,43	1,152			
	I9	3,49	0,961	(36) = 0,126	0,900 (zweiseitig)	0,021
	I9*	3,46	0,989			
1 (TU Dortmund)	I6	3,00	1,000	(54) = -6,280	< 0,001*** (zweiseitig)	0,847
	I6*	3,96	0,637			
	I9	3,54	1,075	(40) = -3,008	0,005** (zweiseitig)	0,470
	I9*	4,07	0,685			

Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Gruppe 0, sowohl in der sozialen Dimension der Produktentwicklung (I6/I6\*) als auch der Produktherstellung (I9/I9\*). Im Rahmen der Produktherstellung zeigt die geschätzte Effektstärke  $|d| = 0,021$  sogar, dass quasi kein Effekt nachzuweisen ist. Der in der ANOVA festgestellte Effekt kann also allein auf die Kompetenzentwicklung der Studierenden der Technischen Universität Dortmund zurückgeführt werden.

In Gruppe 1 ist hinsichtlich der sozialen Dimension in der Produktentwicklung (I6/I6\*) das Kompetenzniveau im Posttest ( $\bar{x} = 3,96$ ,  $s = 0,64$ ) höher als im Pretest ( $\bar{x} = 3,00$ ,  $s = 1,00$ ). Diese Differenz ist höchst signifikant:  $t(54) = -6,28$ ,  $p = < 0,001^{***}$  und zeigt mit  $|d| = 0,84$  eine große Effektstärke. Hinsichtlich der sozialen Dimension in der Produktherstellung (I9/I9\*) ist die Differenz der Kompetenzniveaus zwischen Pretest ( $\bar{x} = 3,54$ ,  $s = 1,08$ ) und Posttest ( $\bar{x} = 4,07$ ,  $s = 0,69$ ) hoch signifikant:  $t(40) = -3,01$ ,  $p = 0,005^{**}$ . Hier zeigt sich mit  $|d| = 0,47$  ein mittlerer Effekt.

### 8.2.3 Diskussion der Ergebnisse

Ziel der Evaluation war es zum einen, die aus der Anforderungsanalyse abgeleiteten Annahmen, die Grundlage für die didaktische und methodische Gestaltung des entwickelten Lernangebots sind, zu validieren. Zum anderen wurde die Wirksamkeit des entwickelten Lernangebots hinsichtlich der Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen von Studierenden in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen überprüft, um im Sinne des DBR im Anschluss verallgemeinerbare Erkenntnisse sowie Optimierungsmöglichkeiten und -bedarfe abzuleiten. Dazu werden im Folgenden die Ergebnisse in den verschiedenen Ebenen der Evaluation zusammengefasst und eingeordnet.

#### **Ebene der Vorannahmen**

Ausgangspunkt des Konzepts des Lernangebots war die Annahme, dass Studierende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen nur über wenig Vorwissen zum Thema Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung verfügen. Diese Hypothese (H1.1) wurde mit einem qualitativen Ansatz von Carew und Mitchell (2002) überprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass bei etwa 80% der Studierenden kein oder ein nur rudimentäres Vorwissen und Verständnis von Nachhaltigkeit zu erkennen ist. Auch wenn dieses Ergebnis durch einen hohen interpretativen Einfluss bei der Auswertung und eine begrenzte Objektivität in der Zuordnung der Ausprägungsstufen zu relativieren ist, ist es so deutlich, dass diese Hypothese im Rahmen der Evaluation als bestätigt gelten kann.

Die Legitimation des Themas Nachhaltigkeit oder nachhaltige Entwicklung als relevanter Lerninhalt in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung erfolgte unter anderem durch die Annahme, dass Nachhaltigkeit für die Studierenden sowohl im persönlichen Bereich (H1.2) als auch hinsichtlich ihrer beruflichen Zukunft (H1.3) als wichtig und relevant wahrgenommen und eingeschätzt wird. Diese Annahmen wurden im Rahmen der durchgeführten Befragung jeweils von etwa  $\frac{3}{4}$  der Studierenden als zutreffend eingeordnet, was beide formulierten Hypothesen bestätigt. Gleichzeitig sind diese Einschätzungen aber mit Blick auf das geringe Vorwissen der Studierenden ebenfalls zu relativieren. Ohne ein grundlegendes Verständnis für Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung ist insbesondere eine Übertragung auf das zukünftige berufliche Handlungsfeld sicher nur eingeschränkt möglich. Zudem ist hinsichtlich dieser Fragestellungen auch ein Effekt der ‚sozialen Erwünschtheit‘ zu erwarten. Dieser Effekt beschreibt ein Antwortverhalten, dass durch die Angst vor sozialer Verurteilung dazu neigt, sich an verbreiteten gesellschaftlichen Normen und Erwartungen zu orientieren (vgl. z.B. Döring & Bortz, 2016, S. 437).

Die Hypothese, dass Nachhaltigkeit im Studium bisher keine Berücksichtigung findet (H1.4), konnte im Rahmen der durchgeführten empirischen Erhebung nicht bestätigt werden. Etwa 45% der befragten Studierenden gaben an, dass das Thema in ihrem Studium eine Rolle spielt, und nur etwa 25% der Studierenden sagten aus, dass dies nicht der Fall ist. Dieses Ergebnis zeigt ein grundlegend anderes Bild als die durchgeführte Analyse der Modulhandbücher (Kapitel 6.2). Dies spricht dafür, dass in den fachwissenschaftlichen Lehrveranstaltungen zwar bereits Bezüge zum Thema Nachhaltigkeit hergestellt werden, diese jedoch noch auf individuellen Präferenzen von Lehrenden beruhen und bisher keine offizielle Berücksichtigung im Curriculum finden. Gleichzeitig gilt aber auch in diesem Punkt wieder die Relativierung der Einschätzung der Studierenden durch das fehlende Vorwissen, so dass eine objektive und verlässliche Einschätzung schwierig erscheint. Für eine verlässlichere Bewertung wäre es zielführend, zukünftig auch konkrete Beispiele für die Berücksichtigung des Themas in der Lehre durch die Studierenden nennen zu lassen. Unabhängig davon ist festzuhalten, dass Hypothese 1.4 im Rahmen der durchgeführten Evaluation nicht bestätigt werden konnte und daher abzulehnen ist. In Tabelle 14 sind diese Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung zusammengefasst.

Tabelle 14: Hypothesenüberprüfung - Ebene der Vorannahmen (WiSe 19/20)

Bez.	Hypothese	Ergebnis
H1.1	Die Studierenden verfügen über wenig Vorwissen zum Thema Nachhaltigkeit.	<b>bestätigt</b>
H1.2	Die Studierenden räumen dem Thema Nachhaltigkeit persönlich einen hohen Stellenwert ein.	<b>bestätigt</b>
H1.3	Die Studierenden sehen für das Thema Nachhaltigkeit in ihrer zukünftigen beruflichen Arbeit als Ingenieur*in eine große Bedeutung.	<b>bestätigt</b>
H1.4	Das Thema Nachhaltigkeit findet im ingenieurwissenschaftlichen Studium keine Berücksichtigung.	<i>abgelehnt</i>

Insgesamt konnten die getroffenen Annahmen als Ausgangspunkt für die didaktische und methodische Gestaltung des entwickelten Lernangebots weitgehend bestätigt werden. Es zeigt sich aber Potenzial zur Optimierung hinsichtlich der Verbindung zur bereits erfolgenden Thematisierung von Nachhaltigkeit in den fachwissenschaftlichen Lehrveranstaltungen.

### **Ebene des allgemeinen Einflusses der IoGC**

Elementarer Bestandteil des entwickelten Lernangebots ist die Teilnahme an der IoGC. Die intensive Auseinandersetzung mit einer Problemstellung aus der Entwicklungszusammenarbeit adressiert ökologische, soziale und ökonomische Themenbereiche und Herausforderungen, die in einen unmittelbaren Zusammenhang mit der Entwicklung und Herstellung eines Produktes, also der Realisierung der Lösungsidee der Studierenden, gebracht werden. Es wurde daher erwartet, dass dieses projektbasierte Service-Learning unabhängig von der konkreten Einbindung in ein umfassendes Lehr- und Lernkonzept die Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen von Studierenden unterstützt (H2). Diese Hypothese wurde in Teilhypothesen untergliedert, die den entsprechenden Teilkompetenzen zuzuordnen sind. Im Rahmen der inferenzstatistischen Analysen konnten ausgehend von den Selbsteinschätzungen der Studierenden aber nur wenige Veränderungen festgestellt werden, die allein auf die Teilnahme an der IoGC zurückgeführt werden können. Signifikant sind lediglich die Unterschiede in den Selbsteinschätzungen zur ökologischen und zur

sozialen Dimension von Nachhaltigkeit im Kontext der Produktentwicklung. Die Veränderung im Bereich der sozialen Dimension zeigt sich dabei besonders deutlich. Die Teilhypothesen H2\_1 und H2\_2 können somit bestätigt werden. Die Unterschiede der Selbsteinschätzungen in den anderen Bereichen der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen sind aber deutlich von einer Signifikanz entfernt. Die Teilhypothesen H2\_3 bis H2\_6 können daher nicht bestätigt werden und sind im Rahmen dieser Evaluation abzulehnen. Tabelle 15 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Überprüfung der Teilhypothesen.

Tabelle 15: Hypothesenüberprüfung - Ebene des allgemeinen Einflusses der IoGC

Bez.	Hypothese	Ergebnis
H2_1	Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H2_2	Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H2_3	Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktentwicklung.	<i>abgelehnt</i>
H2_4	Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktherstellung.	<i>abgelehnt</i>
H2_5	Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktherstellung.	<i>abgelehnt</i>
H2_6	Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktherstellung.	<i>abgelehnt</i>

Während in der Lehre in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen in der Regel das fachgerechte und technologisch möglichst perfekte Lösen technischer Probleme im Fokus steht, beschäftigen sich Studierende in der IoGC damit, technische Lösungen für Menschen zu entwickeln. Dies stellt den Kern der IoGC dar und zeigt sich in der Kompetenzentwicklung der Studierenden. Und auch wenn nicht alle Teilkompetenzen unmittelbar durch die Teilnahme an der IoGC gefördert werden, kann somit Hypothese H2 (eingeschränkt) bestätigt werden, da es zu einer Förderung von (Teil-) Kompetenzen kommt. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse aber auch, dass für eine ganzheitliche Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen eine umfassende didaktische und methodische Gestaltung und Einbettung der IoGC erforderlich ist und eine Vielzahl weiterer Parameter den Lernerfolg der Studierenden determinieren.

Darüber hinaus ist die Wirkung der IoGC insbesondere hinsichtlich der transformativen Kompetenzen (vgl. Kapitel 6.4) als hoch einzuschätzen. Urteilsfähigkeit, Innovations- und Veränderungskompetenz sowie Dialog und Konfliktfähigkeit werden in diesem Format deutlich adressiert. Diese Kompetenzen wurden aber aufgrund der begrenzten Erkennbarkeit, möglicher Umsetzungskonflikte und des hohen Einflusses normativer Prinzipien nicht im Rahmen der Evaluation berücksichtigt.

**Ebene des konkreten Einflusses des Lernangebots**

Die Bewertung der Wirksamkeit des entwickelten Lernangebots, in das die IoGC an der Technischen Universität Dortmund eingebunden ist, baut unmittelbar auf die vorhergehend dargestellten Erkenntnisse auf. Während zunächst die Selbsteinschätzungen der Studierenden aller Standorte gemeinsam betrachtet wurden, erfolgte eine Unterscheidung von zwei Gruppen: Die Gruppe der Studierenden, die an der Technischen Universität Dortmund am entwickelten Lernangebot teilgenommen haben, und die ‚Vergleichsgruppe‘, die alle Studierenden der anderen Standorte umfasst. So kann herausgestellt werden, ob die Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen durch das Lernangebot verstärkt wird (H3). Im direkten Vergleich zeigt sich, dass die Selbsteinschätzungen der Studierenden der Technischen Universität Dortmund nach der Teilnahme in allen Teilkompetenzen deutlich über denen der Studierenden in der Vergleichsgruppe liegen. Signifikante Unterschiede zeigen sich aber nur in Bezug auf die soziale Dimension, sowohl in der Produktentwicklung (H3\_2) als auch in der Produktherstellung (H3\_5). Hier weisen beide Gruppen im Pretest ein vergleichbares Kompetenzniveau auf, im Posttest liegt die Selbsteinschätzung der Studierenden der Technischen Universität Dortmund aber deutlich über der der übrigen Studierenden. Es zeigt sich dabei sowohl ein signifikanter Unterschied zu den Studierenden der anderen Standorte als auch ein signifikanter Anstieg der Einschätzungen vor und nach der Teilnahme am Lernangebot. In den übrigen Teilkompetenzen konnte jedoch kein signifikanter Interaktionseffekt festgestellt werden, obwohl es einen signifikanten Haupteffekt der Gruppe gibt. Dies weist darauf hin, dass eine größere Stichprobe voraussichtlich dazu führen würde, dass sich ebenfalls signifikante Ergebnisse zeigen. Dennoch können die Teilhypothesen H3\_1, H3\_3, H3\_4 und H3\_6 nicht bestätigt werden und sind daher abzulehnen. Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse dieser Hypothesenüberprüfung in der Übersicht.

Tabelle 16: Hypothesenüberprüfung - Ebene des konkreten Einflusses des Lernangebots

Bez.	Hypothese	Ergebnis
H3_1	Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktentwicklung.	<i>abgelehnt</i>
H3_2	Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H3_3	Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktentwicklung.	<i>abgelehnt</i>
H3_4	Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktherstellung.	<i>abgelehnt</i>
H3_5	Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktherstellung.	<b>bestätigt</b>
H3_6	Die Teilnahme am entwickelten Lernangebot verstärkt die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktherstellung.	<i>abgelehnt</i>

Eine besondere Stärke des entwickelten Lernangebots liegt somit offensichtlich in der Förderung der Teilkompetenzen der sozialen Dimension. Neben dem bereits in Bezug auf die IoGC erläuterten Umstand, dass die Studierenden sich in diesem Kontext häufig zum ersten Mal damit auseinandersetzen, dass sie eine technische Lösung nicht nur zur Behebung eines Problems entwickeln, sondern für Menschen, kann hier sicher auch ein Einfluss des Kreativitätsworkshop vermutet werden, der Teil des Lernangebots ist. Hier spielt insbesondere die soziale Dimension der Lösungsidee eine wichtige Rolle und die Studierenden setzen sich besonders intensiv damit auseinander. Ein Beispiel dafür ist die angewendete Kreativitätstechnik der ‚Denkhüte‘ (vgl. Kapitel 7.2.3), bei denen die Studierenden sich im Wechsel in verschiedene Rollen versetzen. Eine dieser Rollen steht dabei für die Menschen vor Ort. Die Studierenden werden gezielt aufgefordert, nicht nur über die Situation in der Zielregion der IoGC nachzudenken, sondern sich auch in die Menschen vor Ort hineinzusetzen. Zusätzlich wird in dem Feedback, das die Studierenden zu den verschiedenen Projektabschnitten im Lernangebot erhalten, immer wieder Bezug auf die soziale Dimension genommen und die Studierenden werden immer wieder daran erinnert, soziale und ethische Aspekte und Auswirkungen ihrer Lösungsansätze zu bedenken und zu reflektieren. Dieser kontinuierliche und breite Bezug scheint sich positiv auf die Entwicklung der entsprechenden Kompetenzen der Studierenden auszuwirken.

Somit kann Hypothese H3 ebenfalls (eingeschränkt) bestätigt werden, da es zu einer signifikanten Verstärkung der Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen in der sozialen Dimension kommt. Die Ergebnisse machen auch deutlich, dass in den übrigen Kompetenzbereichen nur geringe Effekte auftreten. Hier zeigt sich somit der Bedarf zur Anpassung des Lernangebots, um eine möglichst ganzheitliche Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen zu erreichen.

Insgesamt zeigt die Evaluation, dass das Lernangebot unter weitgehend korrekten Annahmen entwickelt wurde und einen positiven Einfluss auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden hat. Diese lassen sich zwar nicht alle mit Hilfe inferenzstatistischer Methoden bestätigen, aber die erkennbaren Tendenzen sind eine gute Grundlage für die Weiterentwicklung des Lernangebots. Dabei muss aber wie bei jeder empirischen Studie auch auf die Limitationen im Forschungsdesign hingewiesen werden. So können zwar Aussagen über Wirkungen des Lernangebots gemacht werden, aber nicht darüber, welche konkreten Elemente des Lernangebots kompetenzförderlich wirken. Hier sind lediglich begründete Vermutungen möglich, es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere Maßnahmen denselben Effekt hervorrufen.

---

## 9 Zwischenfazit zur Entwicklung und Erprobung des Lernangebots zur Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen

In den Kapiteln 6 bis 8 stand die Entwicklung eines Lernangebots zur Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung im Fokus. Ausgangspunkt ist dabei eine umfassende Anforderungsanalyse, die die Perspektiven der Hochschulen, der Studierenden und von Unternehmen als zentrale Stakeholder berücksichtigt. Insbesondere die Perspektive der Unternehmen konkretisierte dabei die fachbezogenen Kompetenzen, die hinsichtlich des Ziels einer „Sustainemployability“ (DUK, 2014, S. 6) für zukünftige Ingenieur\*innen wesentlich sind. Diese wurden in einer Matrix aus den Phasen des Produktentstehungsprozesses und den Dimensionen der Nachhaltigkeit beschrieben und liefern so die Antwort auf die zweite zentrale Frage, die im Rahmen dieser Arbeit betrachtet und untersucht wurde: *Welche Kompetenzen in Bezug auf das Thema Nachhaltigkeit müssen zukünftige Ingenieur\*innen im Rahmen ihres Studiums entwickeln?*

Ausgehend davon wurde ein Lernangebot konzipiert, das diese Kompetenzen als Lernziele adressiert. Dabei wird die Ingenieure ohne Grenzen Challenge, bei der Studierende technische Lösungs-ideen für Problemstellungen aus der Entwicklungszusammenarbeit entwickeln, als Grundbaustein für ein Format des projektbasierten Service-Learning genutzt. Anhand des Vorgehensmodells des Constructive Alignment wurden ausgehend von den Lernzielen Beurteilungsebenen definiert und Lehr- und Lernaktivitäten didaktisch und methodisch konzipiert. Es folgte eine Erprobung dieses Konzepts und eine begleitende Evaluation, die Aussagen über die Wirksamkeit des Lernangebots ermöglicht. Hierbei zeigte sich, dass eine deutliche Zunahme einiger Teilkompetenzen erreicht werden kann, es aber nicht zu einer ganzheitlichen Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen kommt. Damit kann in diesem Teil der Arbeit die zentrale Frage danach, wie die Entwicklung dieser Kompetenzen im Rahmen der fachbezogenen, ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre gefördert werden kann, zwar noch nicht vollständig beantwortet werden, aber es wurden Ansätze zur Erweiterung und Optimierung des Lernangebots identifiziert, die im Sinne des DBR in einer Modifikation einen neuen Durchlauf im Zyklusmodell initiieren.

Zusammenfassend kann aber festgehalten werden, dass das projektbasierte Lernen und die Verantwortung, die die Studierenden für ihre eigenen Projekte innerhalb des Lernangebots übernehmen, einen geeigneten Rahmen für die Entwicklung und Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen darstellen. Durch den Freiraum der Studierenden bei der Gestaltung und Realisierung der eigenen Lösungsideen in einem authentischen Setting entsteht eine hohe Identifikation der Studierenden mit ihrem Projekt und daraus folgend eine hohe Motivation zur Lösung der Problemstellung.

*„Die Forschung zum Service Learning zeigt, dass neben dieser Persönlichkeitsentwicklung auch die berufliche Orientierung und Professionalisierung sowie die akademische Performance der Studierenden von dem verantwortungsvollen Lernen in Projekten profitiert.“ (Singer-Brodowski, 2016, S. 226–227)*

Um zudem eine ganzheitliche Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen zu erreichen, schließt sich eine Anpassung und Erweiterung des entwickelten Lernangebots an.

---

## 10 Anpassung und Optimierung des Lernangebots

In den vorhergehenden Kapiteln wurde das Lernangebot beschrieben, das entwickelt wurde, um die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen von Studierenden in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen zu fördern. Ein wesentliches Element in diesem Lernangebot ist die ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘ und im Rahmen der Evaluation wurde überprüft, ob die Teilnahme an dieser Challenge sich positiv auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden auswirkt. Ergänzend wurde untersucht, ob das entwickelte Lernangebot diesen Einfluss zusätzlich unterstützt. Es zeigten sich einige Erfolge, aber auch Optimierungsbedarfe für das Lernangebot. Entsprechend dem Zyklusmodell des DBR führen diese Ergebnisse der Evaluation zu einer Revision und Modifikation des Konzepts und einer entsprechenden didaktischen und methodischen Umgestaltung der Intervention.

### 10.1 Revision und Modifikation des entwickelten Konzepts

Die Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass sowohl die IoGC als auch das entwickelte Lernangebot grundsätzlich dazu geeignet sind, die Kompetenzentwicklung der Studierenden zu unterstützen. Sie lassen aber auch darauf schließen, dass die Teilnahme an der IoGC nicht per se zu einer Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen führt. Vielmehr bestimmt eine Vielzahl unterschiedlicher Parameter den Lernerfolg. Beeinflussbare und gestaltbare Einflussfaktoren sind hierbei die didaktische und methodische Einbettung der IoGC in einem übergreifenden Lernangebot.

Im entwickelten Lernangebot stehen der Praxisbezug und eine aktive und diskursive Auseinandersetzung mit der Problemstellung der IoGC und damit verbunden auch mit den verschiedenen Aspekten von Nachhaltigkeit im Fokus. Im Rahmen von selbstgesteuerten Lernprozessen ist es dem Verständnis der konstruktivistischen Lerntheorie folgend das Ziel, dass die Studierenden Wissen und Kompetenzen individuell konstruieren. Dabei soll das Setting ihre individuellen Lernprozesse so anregen, dass sie geeignete Vorgehensweisen und Strategien zur Problemlösung entwickeln. Neu aufgebautes Wissen schließt immer an biographische Erfahrungen, persönliche Werte und Überzeugungen, sozialen Kontext und vor allem an das jeweilige Vorwissen an (vgl. z.B. Kron et al., 2014, S. 179). Und hier wird ein Problem im entwickelten Lernangebot deutlich. Als Schlüsselement, dass eine Reihe weiterer Wirkmechanismen im Setting maßgeblich beeinflusst, zeigt sich das geringe Vorwissen der Studierenden über nachhaltige Entwicklung und das daraus folgende mangelnde Verständnis des komplexen Themas Nachhaltigkeit. Diese fehlende Basis erschwert den Studierenden das Einordnen und Herstellen von Bezügen. Sie erkennen den Zusammenhang zwischen ihrem praktischen Handeln im Rahmen der IoGC und dem Thema Nachhaltigkeit nicht in ausreichendem Maße, um daran anzuknüpfen und umfassend Wissen, Fähigkeiten und Kompetenzen zu entwickeln. Als eine erforderliche Modifikation des Lernangebots folgt somit, dass diese Verbindung für die Studierenden deutlicher werden muss und ihre Aufmerksamkeit stärker auf das Thema Nachhaltigkeit zu lenken ist.

Ein weiterer Punkt, der im Rahmen der Evaluation des Konzepts deutlich geworden ist, ist die unzutreffende Vorannahme, dass Nachhaltigkeit im Studium bisher nicht thematisiert wird. Die Antworten der Studierenden zeigten ein Bild, das nicht den Erwartungen und Annahmen entspricht. Um in diesem Punkt validere Rückmeldungen zu erhalten und um mögliche Anknüpfungspunkte an



fachwissenschaftliche Lehrinhalte zu identifizieren und zu stärken folgt als zweite erforderliche Modifikation des Lernangebots, dass eine Präzisierung durch das Nennen von Beispielen durch die Studierenden erfolgen sollte und die Anknüpfung an bestehende fachwissenschaftliche Lerninhalte und Themen insgesamt zu verstärken ist.

## 10.2 Optimieren der methodischen und didaktischen Gestaltung

Die grundlegende Gestaltung des entwickelten Lernangebots wird beibehalten, da es sich grundsätzlich eignet, um nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden zu fördern. Die formulierten Lernziele bilden die angestrebten Zieldimensionen umfassend ab und haben sich in der Erprobung des Lernangebots als angemessen und erreichbar erwiesen. Aus diesem Grund erfolgen lediglich Anpassungen und Erweiterungen hinsichtlich des Erkennens und Prüfens der Lernergebnisse und insbesondere der Gestaltung der Lehr- und Lernaktivitäten. Da sich durch die Anpassungen auch der Arbeitsaufwand für die Studierenden erhöht, wurde der Umfang des Seminars in den folgenden Durchgängen auf 5 Leistungspunkte (entsprechend einem Workload von 150 Stunden) angepasst.

### 10.2.1 Anpassungen zum Erkennen und Prüfen der Lernergebnisse

Im Lernangebot wurden zwei getrennte Beurteilungsebenen implementiert und erfolgreich umgesetzt. Eine Ebene bezieht sich dabei auf das entwickelte Lösungskonzept im Rahmen der IoGC, die andere Ebene richtet sich auf die Bewertung des Projektmanagements und wird für die Benotung der Modulleistung herangezogen. Grundlage für die Benotung ist dabei der Projektbericht, in dem die Studierenden die Organisation und Abwicklung ihres konkreten Projekts beschreiben.

Um die Verknüpfung des Themas Nachhaltigkeit mit dem praktischen Handeln zu verstärken und die Aufmerksamkeit der Studierenden zusätzlich auf den Bezug zur nachhaltigen Entwicklung zu lenken, wird der abschließende Arbeitsauftrag um eine Leitfrage ergänzt, die die Studierenden in ihrem Bericht beantworten sollen:

- *Welche Elemente von Nachhaltigkeit haben in Eurem Projekt in der IoGC eine Rolle gespielt - und wie habt Ihr sie umgesetzt/ berücksichtigt?*

Durch die Einbindung in den Bericht wird die Bedeutung des Themas hervorgehoben. Zudem werden die Studierenden aufgefordert mit dem ‚Blick zurück‘ nochmals aktiv Verbindungen herzustellen, zu explizieren und zu reflektieren.

### 10.2.2 Anpassungen in der Gestaltung der Lehr- und Lernaktivitäten

Das geringe Vorwissen der Studierenden und ihr fehlendes Verständnis für das Thema Nachhaltigkeit hemmt die Möglichkeiten im Lernprozess und in der Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen. Im entwickelten Lernangebot war der Bezug zum Thema lediglich durch den Kontext gegeben und wurde nur in den formulierten Lernzielen konkret benannt. Dies scheint jedoch nicht auszureichen, um die Aufmerksamkeit der Studierenden auf das Thema Nachhaltigkeit zu lenken und eine aktive und diskursive Auseinandersetzung damit zu erreichen. Aus diesem Grund wird

das Lernangebot um eine interaktive Lerneinheit zu Nachhaltigkeit und nachhaltiger Entwicklung als E-Learning-Element erweitert. Ziele dieser Lerneinheit sind:

- Grundlegende Informationen zum Thema Nachhaltigkeit zur Verfügung zu stellen. Dies umfasst insbesondere die Dimensionen von Nachhaltigkeit und die 17 SDG.
- Einen Bezug des Handlungs- und Arbeitsfelds von Ingenieur\*innen zur nachhaltigen Entwicklung zu verdeutlichen.
- Beispiele für die Bedeutung der verschiedenen Dimensionen von Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung und -herstellung aufzuzeigen.
- Anregungen für eine weitere Auseinandersetzung mit dem Thema Nachhaltigkeit in Bezug auf fachliche, ingenieurwissenschaftliche Kontexte zu geben.

Da im gesamten Lernangebot die Eigenständigkeit und Individualität im Lernprozess der Studierenden im Vordergrund steht, wird auch bei der ergänzenden Lerneinheit das Aufzeigen von Perspektiven und Optionen und nicht die Demonstration und Vorgabe von Handlungs- und Lösungswegen umgesetzt. Um dies zu erreichen, erfolgt kein linear durchstrukturierter ‚Input‘, sondern es wird dem bestehenden Konzept des Lernangebots folgend jeweils eine Auswahl von verschiedenen Informationsquellen und -medien angeboten. Die Studierenden können frei entscheiden, ob und welche dieser Inhalte sie nutzen. Abbildung 31 zeigt exemplarisch eine Ansicht der Lerneinheit, die mit H5P, einer freien und quelloffenen Editorumgebung erstellt wurde, die im verwendeten Learning Management System Moodle integriert ist.



Abbildung 31: Beispielansicht der interaktiven Lerneinheit zum Thema Nachhaltigkeit

Im begleitenden Audiokommentar zu dieser Ansicht wird erläutert, dass es eine Vielzahl verschiedener Beschreibungen und Modelle von Nachhaltigkeit gibt, die alle Vor- und Nachteile mit sich bringen und oft unterschiedliche Schwerpunkte setzen. Zudem werden die Studierenden aufgefordert, sich über diese Modelle zu informieren. Als eine Möglichkeit dazu sind Videos eingebunden und Inhalte verknüpft, in denen unterschiedliche Modelle sowie die verschiedenen Dimensionen

vorgestellt und diskutiert werden. Ergänzend ist ein Video mit einem Interview mit Gro Harlem Brundtlandt eingebunden, in dem sie als Zeitzeugin einen Einblick in die politische und historische Perspektive gibt und ihr persönliches Verständnis von Nachhaltigkeit erläutert. Den Studierenden soll so ein möglichst breiter und offener Impuls gegeben werden, sich mit den Inhalten zu befassen. Ziel ist eine kognitive Aktivierung, also die Anregung der Studierenden zur aktiven und möglichst tiefen Auseinandersetzung mit den Inhalten:

*„Da Lernen ein aktiver Prozess ist, bei dem die Lernenden ihre Aufmerksamkeit auf das Lernmaterial richten, neue Informationen mit bereits vorhandenem Wissen angleichen, aktiv Probleme lösen und somit ihre Wissensstrukturen ausbauen und erweitern, bedarf es einer aktiven Auseinandersetzung mit den Lerninhalten. [...] Die kognitive Aktivierung beschreibt einen lernintensiven Umgang mit den Inhalten, der grundsätzlich unabhängig vom jeweiligen Schwierigkeitsgrad ist.“ (Lehner, 2019, S. 87)*

Begleitend zur Lerneinheit erhalten die Studierenden die Aufgabe, die folgenden (offenen) Fragen zu beantworten:

- Bitte beschreibe in Deinen eigenen Worten, was Nachhaltigkeit bedeutet.
- Wurde das Thema Nachhaltigkeit in einer Lehrveranstaltung in Deinem Studium hier an der TU Dortmund thematisiert? Wenn ja, in welcher Veranstaltung oder in welchem Fach?
- Fallen Dir weitere Fächer oder Lehrveranstaltungen ein, in denen das Thema Nachhaltigkeit gut und sinnvoll aufgegriffen werden kann?
  - In welcher oder in welchen Lehrveranstaltungen oder Fächern könnten Deiner Meinung nach ökologische Aspekte der Nachhaltigkeit im Rahmen der Produktentwicklung -und/ oder -herstellung thematisiert werden und warum?
  - In welcher oder in welchen Lehrveranstaltungen oder Fächern könnten Deiner Meinung nach soziale Aspekte der Nachhaltigkeit im Rahmen der Produktentwicklung und/ oder -herstellung thematisiert werden und warum?
  - In welcher oder in welchen Lehrveranstaltungen oder Fächern könnten Deiner Meinung nach ökonomische Aspekte der Nachhaltigkeit im Rahmen der Produktentwicklung -und/ oder -herstellung thematisiert werden und warum?

Diese Fragen zielen darauf, die aktive Auseinandersetzung mit dem Thema anzuregen. Die Studierenden sollen ihr individuelles Konzept nachhaltiger Entwicklung und der verschiedenen Dimensionen von Nachhaltigkeit mit der ingenieurwissenschaftlichen Domäne und ihren fachlichen Studieninhalten in Verbindung bringen. Gleichzeitig ermöglichen die Antworten auf diese Fragen auch einen Abgleich im Sinne einer Validierung hinsichtlich der Vorannahme, dass Nachhaltigkeit im ingenieurwissenschaftlichen Studium bisher keine Rolle spielt.

Die beschriebenen Anpassungen können als Ergänzungen in das bestehende Konzept integriert werden, ohne zu umfangreichen Änderungen in Ablauf und Struktur des Lernangebots zu führen (vgl. Kapitel 7.2.3). Um die kreative Ideenfindung und Entwicklung der Lösungsidee nicht zu beeinflussen, wird die zusätzliche Lerneinheit in die Phase der Projektplanung integriert und nicht dem gesamten Projekt vorangestellt. Dem Modell des DBR folgend schließen sich an die Modifikation und Anpassung der methodischen und didaktischen Gestaltung nun erneut eine Erprobung und Evaluation des Lernangebots an, um die Zielerreichung der Revision und Modifikation zu überprüfen.

---

## 11 Erprobung und Evaluation des optimierten Lernangebots

Auch an die Überarbeitung und Anpassung des entwickelten Lernangebots schließt sich eine praktische Erprobung an. Im Rahmen dieser Erprobung erfolgt erneut eine systematische und strukturierte Evaluation, mit der überprüft wird, ob mit Hilfe der vorgenommenen Änderungen eine ganzheitliche Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen im Lernangebot erreicht werden kann.

### 11.1 Zweifache Erprobung des angepassten Lernangebots

Die Erprobung des angepassten Lernangebots erfolgte zunächst im Wintersemester 2020/21. Das Lernangebot wurde wieder als Seminar mit dem Titel ‚Projektmanagement (IoGC)‘ im Wahlbereich für das Modul ‚Außerfachliche Kompetenz‘ für die Studierenden der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund angeboten. Es konnten Studierende der Fächer Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Logistik sowohl in den Bachelor- als auch den Masterstudiengängen daran teilnehmen.

Aufgrund der beschriebenen Erweiterungen der Arbeitsaufträge für die Studierenden im Rahmen der Optimierung erfolgte eine Anhebung des Umfangs des Seminars auf 5 Leistungspunkte. Aus den Erfahrungen hinsichtlich des erheblichen Betreuungsaufwandes insbesondere für das informative tutorielle Feedback wurde die Teilnehmendenzahl auf 40 Personen begrenzt. Die Studierenden konnten sich innerhalb eines Zeitraums von zwei Wochen (28.09. – 22.10.2020) für das Seminar anmelden. Innerhalb dieses Zeitraums gingen 83 Anmeldungen ein. Die 40 verfügbaren Plätze im Seminar wurden anhand der Vergabeordnung der Fakultät Maschinenbau zugewiesen. Tabelle 17 zeigt die Verteilung der zugelassenen Studierenden in den verschiedenen Fächern und Studiengängen in der Übersicht.

Tabelle 17: Teilnehmende Studierende nach Fach und Studiengang (WiSe 20/21)

Maschinenbau		Wirtschaftsingenieurwesen		Logistik	
Bachelor	Master	Bachelor	Master	Bachelor	Master
8	4	12	9	0	7

Im Wintersemester 2020/21 galten aufgrund der COVID-19 Pandemie besondere Vorgaben und Hygienekonzepte, um Studierende und Lehrende vor Infektionen zu schützen. Diese Vorgaben führten zu einigen ungeplanten, aber zwingenden Veränderungen des Lernangebots in der praktischen Umsetzung:

- Die Abschlussveranstaltung der IoGC wurde als Online-Termin umgesetzt, in der die Studierenden in Form einer Videokonferenz teilnehmen konnten. Leider war der direkte Austausch der Studierenden untereinander in diesem Format nur begrenzt möglich.
- Das Lernangebot wurde von einem Blended-Learning-Seminar auf ein reines E-Learning-Seminar umgestellt. Sowohl das Kickoff als auch die Kreativitätsworkshops fanden online in Videokonferenzen und mit Unterstützung verschiedener Online-Tools statt.
- Die praktische Arbeit im Makerspace war aufgrund restriktiver Hygienekonzepte nicht möglich und die Studierenden konnten somit keine Prototypen bzw. Modelle ihrer

Lösungsideen herstellen. Die Vorstellung der Lösungen erfolgte mit Hilfe kurzer Videos, in denen die Studierenden ihre Idee präsentierten und mit Animationen verdeutlichten.

Zusätzlich erfolgte im Wintersemester 2020/21 ein verspäteter Start der Vorlesungszeit, so dass der zur Verfügung stehende Zeitraum für das Lernangebot von geplanten 15 auf 13 Wochen verkürzt wurde. Durch den Wegfall der praktischen Arbeit im Makerspace und eine kompaktere Gestaltung der Einführungsphase (Kickoff und Kreativitätsworkshop) konnte der Ablauf des Lernangebots ohne eine maßgebliche Änderung der Struktur entsprechend verkürzt werden. Das Kickoff zum Seminar fand am 02.11.2020 statt und am 12. oder 13.11.2020 nahmen die Studierenden an der Online-Version des Kreativitätswshops teil.

Die Aufgabenstellung der IoGC bezog sich im Wintersemester 2020/21 auf sogenannte ‚Community Forrests‘ in Nepal. Etwa ein Viertel des nationalen Waldgebietes wird in Nepal durch Gemeinden bewirtschaftet und die Menschen haben so die Möglichkeit, durch den Verkauf von Brennholz oder Futterstoffen ein Einkommen zu generieren. Eine besondere Herausforderung der Bewirtschaftung der Waldgebiete sind das Bereinigen, Beschneiden und Jäten sowie das Entfernen von Rest- und Totholz, um die Gefahr von Waldbränden zu verringern. Zum Schneiden des Holzes werden in der Regel einfache Sichel oder Messer verwendet. Das geschnittene Holz bleibt zum Trocknen auf dem Waldboden liegen, wird dann aufgelesen und aus den Wäldern getragen, um in einfachen Öfen zu Holzkohle gebrannt zu werden. Den Studierenden wurden dazu drei Problemstellungen angeboten, von denen sie im Team eine zur Bearbeitung auswählten:

- Entwicklung eines einfachen Werkzeuges, mit dem die Arbeit leichter und sicherer möglich ist und das die Effizienz der Ernte des Holzes steigert.
- Entwicklung einer Transportmöglichkeit für die lose Biomasse. Das Transportsystem sollte vor Ort hergestellt werden können und den Transport effektiver gestalten.
- Entwicklung eines sicheren und umweltfreundlicheren Verkohlungssofens mit einer höheren Produktionskapazität und einem besseren Wirkungsgrad.

Die vollständige Aufgabenstellung kann im Anhang A7 dieser Arbeit eingesehen werden. Insgesamt beteiligten sich an der Challenge im Wintersemester 2020/21 mehr als 1.200 Studierende an neun deutschen Hochschulen. Die Abschlussveranstaltung fand am 16.02.2020 als Online-Event statt. Als Fachjury bewerteten wieder Vertreter\*innen aus der Wissenschaft, der Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit, des VDI, von Ingenieure ohne Grenzen sowie der in Nepal beteiligten Umsetzungsorganisation Minergy die Lösungsideen und zeichneten die besten Konzepte aus.

Da die Umsetzung des entwickelten Konzepts aufgrund der COVID-19 Pandemie und die dadurch begrenzten Möglichkeiten deutlich eingeschränkt war und so ungeplant Elemente des Lernangebots verändert werden mussten, erfolgte eine zweite Erprobung im Wintersemester 2021/22. Dabei wurden keine weiteren Anpassungen des Lernangebots vorgenommen, so dass das optimierte Konzept weitgehend in der geplanten Form umgesetzt wurde. Das Kickoff, die Kreativitätswshops und die Abschlussveranstaltung der IoGC fanden auch in dieser zweiten Erprobung online statt, die praktische Arbeit im Makerspace war für die Studierenden aber wieder möglich, so dass das Herstellen des Modells oder Prototyps der Lösungsidee wieder Teil des Lernangebots war.

Auch für die zweite Erprobung im Wintersemester 2021/22 wurde die Teilnehmendenzahl für das Seminar auf 40 Personen begrenzt, um eine optimale Betreuung der Studierenden sicherstellen zu

können. Innerhalb des Anmeldezeitraums von zwei Wochen (13. bis 26.09.2021) lagen 91 Anmeldungen vor. Die Zuweisung der Seminarplätze erfolgte wieder auf Grundlage der Vergabeordnung der Fakultät Maschinenbau. Tabelle 18 zeigt die Verteilung der teilnehmenden Studierenden in den Fächern und Studiengängen.

Tabelle 18: Teilnehmende Studierende nach Fach und Studiengang (WiSe 21/22)

Maschinenbau		Wirtschaftsingenieurwesen		Logistik	
Bachelor	Master	Bachelor	Master	Bachelor	Master
2	5	12	11	2	8

Das Kickoff zum Seminar fand am 11.10.2021 statt, die Kreativitätsworkshops wurden am 21. und 22.10.2021 online im Rahmen von interaktiven Videokonferenzen durchgeführt.

Die Aufgabenstellung der IoGC bezog sich in diesem Semester auf solarbetriebene Wasserpumpen, die in Nepal zur Bewässerung von Feldern verwendet werden. Diese Pumpen werden in unterschiedlichen Größen für Einzelhaushalte oder ganze Dorfgemeinschaften eingesetzt. Sie werden jedoch nicht dauerhaft für die Bewässerung benötigt, so dass es Aufgabe der Studierenden in der IoGC war, alternative Nutzungskonzepte für die freien Kapazitäten der Pumpen oder der über die Solarpanels verfügbaren elektrischen Energie zu entwickeln. Die vollständige Aufgabenstellung kann im Anhang A10 eingesehen werden. Insgesamt nahmen mehr als 1.400 Studierende an elf deutschen Hochschulen im Wintersemester 2021/22 an der IoGC teil. Die Abschlussveranstaltung fand mit Beteiligung der gleichen Fachjury wie im vorhergehenden Semester am 11.02.2022 als Online-Event statt.

Die praktische Erprobung des optimierten Lernangebots wurde sowohl im Wintersemester 2020/21 als auch im Wintersemester 2021/22 systematisch evaluiert, um einen Vergleich der Erprobungen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu ermöglichen und um zu überprüfen, ob die Ziele der Optimierung des Lernangebots insgesamt erreicht wurden.

## 11.2 Evaluation der Erprobungen des angepassten Lernangebots

Wie bereits im ersten Zyklus des DBR erfolgt auch im zweiten Zyklus eine systematische Evaluation der Erprobung. In diesem Fall umfasst dies zwei aufeinander folgende Erprobungen des angepassten Lernangebots unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen. Auf Basis der Erfahrungen und Ergebnisse der Erprobung der ersten Version des Lernangebots wurde nicht nur die Intervention, also das Lernangebot, modifiziert, sondern auch die Evaluationsmaßnahmen entsprechend angepasst.

### 11.2.1 Evaluationskonzept und angepasstes Untersuchungsdesign

Im Fokus der Evaluation des optimierten Lernangebots steht die Überprüfung der Wirksamkeit hinsichtlich der ganzheitlichen Förderung von nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen und somit der Auswirkungen der vorgenommenen Anpassungen in der didaktischen und methodischen Konzeption. Die Evaluation bezieht sich dabei auf drei Ebenen:

1. *Ebene der Vorannahmen* in Bezug auf das Vorwissen der Studierenden, der Bedeutung, die sie dem Thema Nachhaltigkeit einräumen, und der Berücksichtigung des Themas im Studium.
2. *Ebene der Wirksamkeit des Lernangebots* hinsichtlich der Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden.
3. *Ebene des Einflusses der Optimierung* des Lernangebots auf den Umfang des Lernerfolgs, also die Stärke der Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen.

Die Ebene der Vorannahmen entspricht unverändert dem Evaluationskonzept der Erprobung der ersten Version. Die zweite Ebene richtet sich konkret auf die Bewertung der Wirksamkeit des umfassenden Lernangebots, das an der TU Dortmund durchgeführt wird. Es werden daher keine Daten von Studierenden anderer Hochschulen mehr erhoben und ausgewertet. Die dritte Ebene bezieht sich auf einen Vergleich der Ergebnisse aus den verschiedenen Erprobungen. Für die definierten Ebenen sind wieder entsprechende Zieldimensionen und Forschungshypothesen zu formulieren auf deren Basis das Design der Erhebungsmethodik überprüft und angepasst wird.

### **Zielsystem und Forschungshypothesen**

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Erprobung der ersten Version des Lernangebots und der daraus abgeleiteten Erweiterungen werden erneut Forschungshypothesen abgeleitet, die im Rahmen der Evaluation überprüft werden.

#### ***Ebene der Vorannahmen***

Das grundlegende Konzept des entwickelten Lernangebots wurde bei der Anpassung und Optimierung nicht verändert. Es gilt weiterhin der Anspruch eines niederschweligen Zugangs, da angenommen wird, dass die teilnehmenden Studierenden nicht über ein ausgeprägtes Vorwissen verfügen. Ebenso gelten weiterhin die Annahmen, dass die Studierenden dem Thema Nachhaltigkeit sowohl persönlich als auch in Bezug auf ihre berufliche Zukunft eine hohe Bedeutung beimessen. Weiterhin gilt die Annahme, dass Nachhaltigkeit und Themen der nachhaltigen Entwicklung bisher keine umfassende Berücksichtigung im Studium finden. Zur Überprüfung dieser Annahmen werden die Hypothesen übernommen, die bereits im Rahmen der Evaluation der ersten Version des Lernangebots formuliert wurden (vgl. Kapitel 8.2.1):

- H1.1: Die Studierenden verfügen über wenig Vorwissen zum Thema Nachhaltigkeit.
- H1.2: Die Studierenden räumen dem Thema Nachhaltigkeit persönlich einen hohen Stellenwert ein.
- H1.3: Die Studierenden sehen für das Thema Nachhaltigkeit in ihrer zukünftigen beruflichen Arbeit als Ingenieur\*in eine große Bedeutung.
- H1.4: Das Thema Nachhaltigkeit findet im ingenieurwissenschaftlichen Studium keine Berücksichtigung.

#### ***Ebene der Wirksamkeit des Lernangebots***

Ziel der Anpassung und Erweiterung des Lernangebots ist es, eine ganzheitliche Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen zu erreichen. Im Rahmen der ersten Version des

Konzepts konnten Lernerfolge in einzelnen Teilkompetenzen, insbesondere in Bezug auf die soziale Dimension von Nachhaltigkeit erreicht werden. Mit dem erweiterten Konzept wird durch die gezielte kognitive Aktivierung der Studierenden eine breitere Wirksamkeit angestrebt. Dabei beinhaltet das Lernangebot auch die Teilnahme an der IoGC, die weiterhin Kernbaustein des Konzepts ist. Es kann somit die folgende Hypothese formuliert werden:

- H2: Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden ganzheitlich.

Diese Hypothese muss ausgehend von den Lernzielen und den damit abgebildeten Teilkompetenzen wieder in Teilhypothesen untergliedert werden, um die ganzheitliche Förderung abzubilden:

- H2\_1: Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension in der Produktentwicklung.
- H2\_2: Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension in der Produktentwicklung.
- H2\_3: Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension in der Produktentwicklung.
- H2\_4: Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension in der Produktherstellung.
- H2\_5: Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension in der Produktherstellung.
- H2\_6: Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension in der Produktherstellung.

### ***Ebene des Effekts der Optimierung***

Ergänzend zur Beurteilung der Wirksamkeit des Lernangebots wird überprüft, ob die Optimierung zu einer positiven Veränderung gegenüber der ersten Version des Lernangebots führt und mit dem optimierten Konzept eine stärkere Förderung der Kompetenzen erreicht werden kann. Daraus resultiert als weitere Hypothese:

- H3: Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden.

Auch diese Hypothese ist entsprechend der adressierten Teilkompetenzen in Teilhypothesen zu untergliedern:

- H3\_1: Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension in der Produktentwicklung.



- H3\_2: Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension in der Produktentwicklung.
- H3\_3: Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension in der Produktentwicklung.
- H3\_4: Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension in der Produktherstellung.
- H3\_5: Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension in der Produktherstellung.
- H3\_6: Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension in der Produktherstellung.

Die beschriebenen Ebenen und die formulierten Hypothesen beschreiben das Zielsystem der Evaluation des angepassten Lernangebots. Entlang dieses Zielsystems werden die bisher eingesetzten Evaluationsmethoden auf ihre Eignung überprüft und entsprechend erweitert sowie geeignete Werkzeuge definiert.

### **Erhebungsmethodik**

Auch in der Evaluation des erweiterten Lernangebots erfolgt im Wesentlichen eine empirische Erhebung von Lernerfolgen, so dass weiterhin ein klassisches Pretest-Posttest-Design üblich und geeignet ist. Dieses wird aber nicht mehr als standardisierter Paper-Pencil-Fragebogen, sondern in Form einer Online-Befragung umgesetzt und über das verwendete Learning-Management System Moodle realisiert. Die Befragung erfolgt dabei weiterhin freiwillig und anonym. Über einen individuellen Code können auch in der digitalen Version des Fragebogens die Ergebnisse von Pre- und Posttest einer Person in Verbindung gebracht werden.

Auf Ebene der Vorannahmen werden die Forschungshypothesen der Evaluation der ersten Version des Lernangebots unverändert übernommen, so dass auch die entsprechenden Items (I1 bis I4/4\*) übertragen werden können:

- I1: „Nachhaltigkeit“ bedeutet für mich ...
- I2/2\*: Das Thema „Nachhaltigkeit“ hat für mich persönlich einen hohen Stellenwert.
- I3/3\*: Das Thema „Nachhaltigkeit“ hat in meiner zukünftigen beruflichen Arbeit als Ingenieur\*in eine Bedeutung.
- I4/4\*: Das Thema „Nachhaltigkeit“ spielt in meinem Studium eine Rolle.

Eine Wirksamkeit des optimierten Lernangebots zeigt sich durch eine Zunahme der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden (H2). Um dies zu erheben, eignet sich ein Vergleich der Kompetenzniveaus der Studierenden vor und nach der Teilnahme am Lernangebot. Wie in der

Evaluation der ersten Version des Lernangebots werden die Studierenden dazu aufgefordert, im Pre- und Posttest eine Selbsteinschätzung in Bezug auf die Lernziele vorzunehmen. Da der Abschluss der IoGC auch den Abschluss des gesamten Lernangebots bildet, können die folgenden Items aus der Evaluation der ersten Version des Lernangebots unverändert übertragen werden:

*„Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage, ...“ (Pretest) bzw.*

*„Nachdem ich an der IoGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage, ...“ (Posttest\*)*

- *I5/5\*: ... bei der Entwicklung eines Produktes ökologische Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Ressourceneinsatz, Entsorgung und Recycling) zu bewerten.*
- *I6/6\*: ... bei der Entwicklung eines Produktes soziale Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Bedürfnisse der Nutzenden und gesellschaftliche Bedeutung) zu bewerten.*
- *I7/7\*: ... bei der Entwicklung eines Produktes ökonomische Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Aufwand und Nutzen) zu bewerten.*
- *I8/8\*: ... bei der Herstellung eines Produktes ökologische Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Energieeffizienz, Materialeinsatz und Abfallprodukte) zu bewerten.*
- *I9/9\*: ... bei der Herstellung eines Produktes soziale Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und -formen) zu bewerten.*
- *I10/10\*: ... bei der Herstellung eines Produktes ökonomische Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Effizienz und Effektivität) zu bewerten.*

In Pre- und Posttest werden wieder identische Items verwendet. Es erfolgt lediglich die oben dargestellte Anpassung des ersten Satzteils.

Zusätzlich soll im Rahmen der Evaluation überprüft werden, ob durch die Optimierung des Lernangebots eine stärkere Förderung der Kompetenzen der Studierenden erreicht wird (H3). Um dies zu beurteilen, kann ein Vergleich von Veränderungen der Selbsteinschätzungen im Rahmen der ersten Version des Lernangebots mit den Veränderungen im Rahmen des optimierten Konzepts erfolgen. Um dies zu analysieren, ist keine Erweiterung der Befragung um weitere Items erforderlich.

## **Grundgesamtheit und Stichprobe**

In dieser Evaluation wird der Einfluss der Anpassung des Lernangebots als Ganzes betrachtet. Aus diesem Grund bilden die am Lernangebot teilnehmenden Studierenden die relevante Grundgesamtheit der Untersuchung und ein Vergleich mit anderen Hochschulstandorten ist nicht relevant. Der Einsatz der digitalen Befragung im Pre- und Posttest wurde daher im Wintersemester 2020/21 und 2021/22 als Vollerhebung für die jeweilige Grundgesamtheit geplant, es fand keine gesteuerte Auswahl einer Stichprobe statt. Da die Teilnahme auf freiwilliger Basis erfolgte, ergab sich durch die Beteiligung der Studierenden in allen Befragungsdurchgängen jeweils eine zufällige Stichprobe. Tabelle 19 gibt einen Überblick über die Stichproben der verschiedenen Evaluationsdurchgänge.

Alle Studierenden befanden sich zu den verschiedenen Befragungszeitpunkten in einem ingenieurwissenschaftlichen Studiengang (Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen oder Logistik). Die vollständigen Daten der Befragten im Wintersemester 2020/21 sind im Anhang A8 einzusehen, die Daten der Befragten im Wintersemester 2021/22 im Anhang A11.

Tabelle 19: Charakterisierung der Stichproben der Evaluationsdurchgänge

Semester	Teilnehmende gesamt			Bachelor			Master		
	weibl.	männl.	k.A.	weibl.	männl.	k.A.	weibl.	männl.	k.A.
Wintersemester 2019/20	82			27			55		
	13	69	1	2	25	1	11	44	0
Wintersemester 2020/21	36			15			21		
	16	20	0	7	8	0	9	12	0
Wintersemester 2021/22	34			11			23		
	12	22	0	4	7	0	8	15	0

### 11.2.2 Daten und Ergebnisse der Evaluation

Es erfolgt eine Auswertung und Interpretation der in zwei aufeinander folgenden Evaluationsdurchgängen erhobenen Daten, um Aussagen zur Annahme oder Ablehnung der formulierten Hypothesen ableiten zu können. Dabei erfolgt hinsichtlich Hypothese H1.1 eine qualitative Auswertung, zur Überprüfung der anderen Hypothesen wird eine quantitative Auswertung vorgenommen. Diese umfasst sowohl eine deskriptive als auch eine inferenzstatistische Analyse der Daten.

#### **Ebene der Vorannahmen**

Wie bereits bei der initialen Konzeption gilt auch für das optimierte Lernangebot die Annahme, dass die teilnehmenden Studierenden nur über ein geringes Vorwissen zu nachhaltiger Entwicklung und daraus folgend über ein begrenztes Verständnis des Begriffs Nachhaltigkeit verfügen. Zur Überprüfung dieser Annahme (H1.1) wird wie in der Evaluation der ersten Version des Lernangebots der Ansatz von Carew und Mitchell (2002) angewendet. Die Studierenden wurden im Rahmen des Pretests aufgefordert, in eigenen Worten zu beschreiben, was für sie Nachhaltigkeit bedeutet. Diese Beschreibungen wurden dann anhand der von Carew und Mitchell definierten Merkmale den Stufen der SOLO-Taxonomie zugeordnet (vgl. Kapitel 8.2.1). Eine vollständige Auflistung der Nachhaltigkeitsdefinitionen der Studierenden und die jeweilige Einstufung sind in den Anhängen A8 (Wintersemester 2020/21) und A11 (Wintersemester 2021/22) einzusehen.

Es können in der Evaluation der Erprobung im Wintersemester 2020/21 insgesamt 35 Definitionen ausgewertet werden, im Rahmen der Evaluation der Erprobung im Wintersemester 2021/22 sind es 32 auswertbare Definitionen. Abbildung 32 zeigt, welche Verteilung sich hinsichtlich der zuzuordnenden Stufen der SOLO-Taxonomie ergeben.

Es zeigt sich in den Evaluationen beider Erprobungen ein sehr ähnliches Bild. Mehr als jeweils die Hälfte der Erklärungen (51,4% und 53,1%) deutet auf ein lediglich unstrukturelles Wissen der Studierenden hin. Sie beziehen sich auf einzelne Aspekte oder einfache Verbindungen ohne tiefere Bedeutung:

- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „so zu agieren, dass Ökosysteme nicht unnötigerweise beschädigt werden.“ (WiSe 20/21, #17)*
- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „den persönlichen ökologischen Fußabdruck möglichst gering zu halten.“ (WiSe 21/22, #4)*

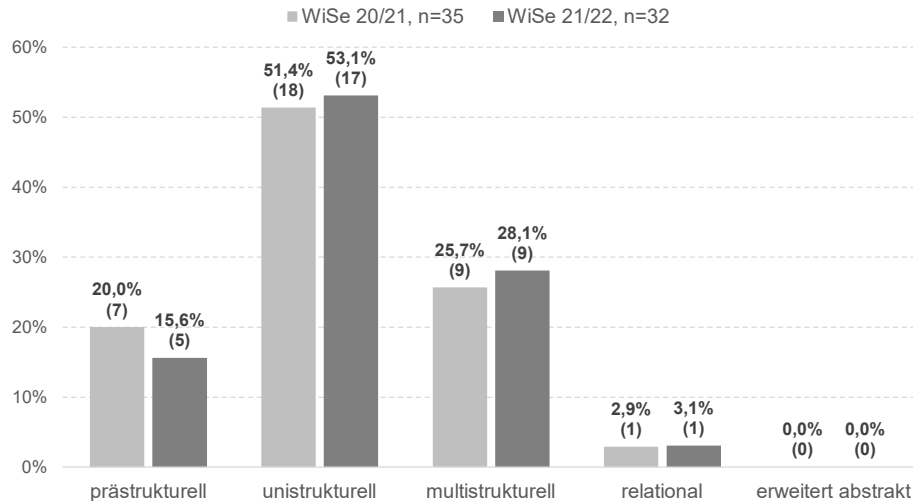


Abbildung 32: Kategorisierte Nachhaltigkeitserklärungen (WiSe 20/21 & 21/22)

Sogar ein nur prästrukturelles Verständnis von Nachhaltigkeit zeigen 20,0% bzw. 15,6% der Studierenden. Ihre Erklärungen deuten darauf hin, dass sie das Grundprinzip Nachhaltigkeit nicht umreißen können, da sie irrelevante Antworten ohne unmittelbar erkennbaren Bezug zum Thema geben:

- Nachhaltigkeit bedeutet für mich „Thema, das ganz viel diskutiert wird, Fridays for future“ (WiSe 20/21, #33)
- Nachhaltigkeit bedeutet für mich „Planung“ (WiSe 21/22, #25)

Etwa jeweils ein Viertel der Erklärungen (25,7% und 28,1%) benennt mehrere Aspekte von Nachhaltigkeit, ohne diese jedoch miteinander in Beziehung zu setzen. Dies deutet auf ein multistrukturelles Wissen hin, die Studierenden verfügen über nicht verknüpftes Faktenwissen:

- Nachhaltigkeit bedeutet für mich „keine Umweltverschmutzung, weniger Fleisch essen, vernünftig leben, Energie sparen und kein Atomstrom“ (WiSe 20/21, #35)
- Nachhaltigkeit bedeutet für mich „verlässliche bzw. logisch nachvollziehbare Informationen und Verfahren, Umweltschutz, Energiesparen“ (WiSe 21/22, #24)

In beiden Durchgängen weist jeweils nur eine einzige Erklärung von Nachhaltigkeit darauf hin, dass ein relationales Verständnis vorliegt. Diese Studierenden benennen unterschiedliche Aspekte, bringen diese in einen logischen Zusammenhang und leiten daraus eigene Schlüsse ab:

- Nachhaltigkeit bedeutet für mich „allgemein, dass das Handeln eine langfristig bestehende Auswirkung hat. Im engeren Sinne müssen meiner Meinung nach verschiedene Aspekte getrennt werden. Aktuell wird Nachhaltigkeit in den Medien hauptsächlich mit dem Klima in Verbindung gebracht. Dies ist für mich allerdings nur ein - wenngleich ein sehr wichtiger - Aspekt von Nachhaltigkeit. U.a. bedeutet Nachhaltigkeit für mich bestimmte Bedingungen langfristig zu verbessern. So ist es für mich bspw. nachhaltig, wenn im Rahmen von Projekten mit Entwicklungsländern bessere Bedingungen für die Menschen vor Ort geschaffen werden können. Sofern diese den richtigen Zugang zu den Veränderungen erhalten und diese auch annehmen. Es ist für mich aber auch nachhaltig, wenn bestimmte Gesetze dahingehend geändert werden, dass eine langfristige Veränderung hervorgerufen wird, die das Leben von Menschen, das Klima, die Natur oder ähnliches langfristig positiv beeinflusst.“ (WiSe 20/21, #8)

- *Nachhaltigkeit bedeutet für mich „durch Innovation und auch persönliche Entwicklung gut mit der Umwelt umzugehen und sie nicht egoistisch zu beanspruchen, sondern sich im Klaren zu sein, dass wir nicht die einzigen Lebewesen auf dieser Welt sind und wir nur eine Welt haben, die wir mit Respekt behandeln müssen. Aufbauend darauf bedeutet es für mich auch eine Zukunft in der auch die Menschen nach mir ohne Probleme leben können.“ (WiSe 21/22, #13)*

Ein erweitert abstraktes Verständnis von Nachhaltigkeit, was der höchsten Stufe der SOLO-Taxonomie entsprechen würde, zeigt sich in keiner Definition der Studierenden. In beiden Durchgängen wird deutlich, dass ein Großteil der Studierenden über kein oder ein nur sehr bruchstückhaftes Vorwissen zu Nachhaltigkeit verfügen. Die Ergebnisse entsprechen im Wesentlichen dem Muster der Evaluationsergebnisse zur ersten Version des Lernangebots und bestätigen auch dieses Mal die aufgestellte Annahme.

Deutlichere Unterschiede zeigen sich hingegen bei der Analyse, auf wie viele und welche Dimensionen von Nachhaltigkeit die Studierenden in ihren Definitionen Bezug nehmen. Abbildung 33 zeigt, dass im Wintersemester 2021/22 etwa doppelt so viele Studierende eine Dimension aufgreifen wie im vorhergehenden Semester.

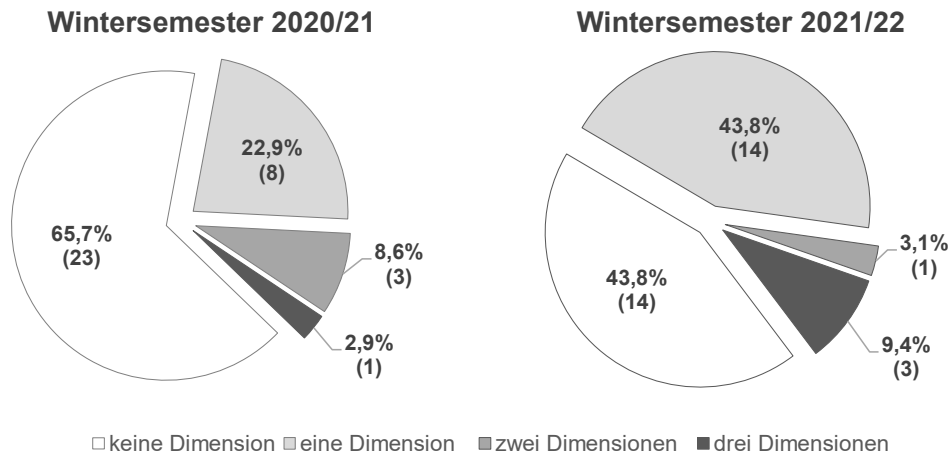


Abbildung 33: Bezug auf die Dimensionen von Nachhaltigkeit

Dabei wird mit deutlichem Abstand weiterhin am häufigsten die ökologische Dimension aufgegriffen. Wie in Abbildung 34 dargestellt, nimmt im Wintersemester 2020/21 etwa ein Drittel der Studierenden (34,3%) darauf Bezug, um Wintersemester 2021/22 ist es sogar mehr als die Hälfte (53,1%).

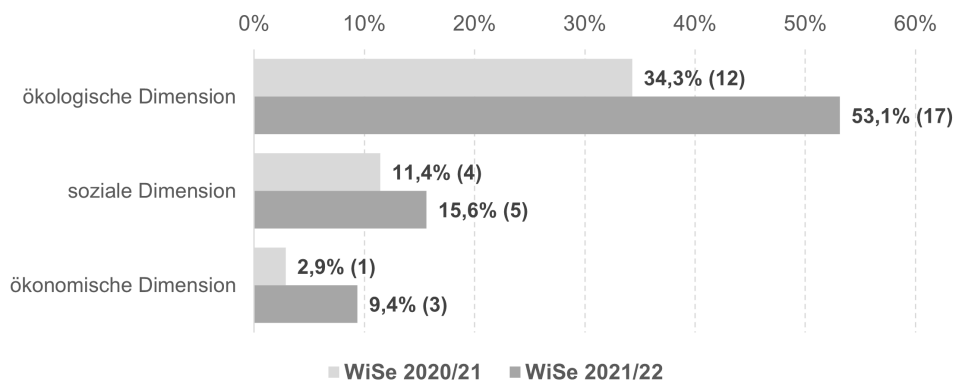


Abbildung 34: Anteil der Dimensionen von Nachhaltigkeit in den Definitionen

Diese Ergebnisse zeigen, wie eng die Studierenden Nachhaltigkeit weiterhin mit ökologischen Aspekten in Verbindung bringen und wie wenig bewusst ihnen die soziale und die ökonomische Dimension sind.

Weitere Annahmen, die im Rahmen der Evaluationen überprüft wurden, beziehen sich auf den Stellenwert des Themas Nachhaltigkeit für die Studierenden persönlich (H1.2) und auf ihre Einschätzung zur Bedeutung des Themas für ihr späteres berufliches Arbeitsfeld (H1.3). Die Studierenden gaben ihre Zustimmung auf einer fünfstufigen Ratingskala von ‚Trifft zu‘ bis ‚Trifft nicht zu‘ an. Abbildung 35 zeigt die Ergebnisse aus beiden Evaluationsdurchgängen in der Übersicht.

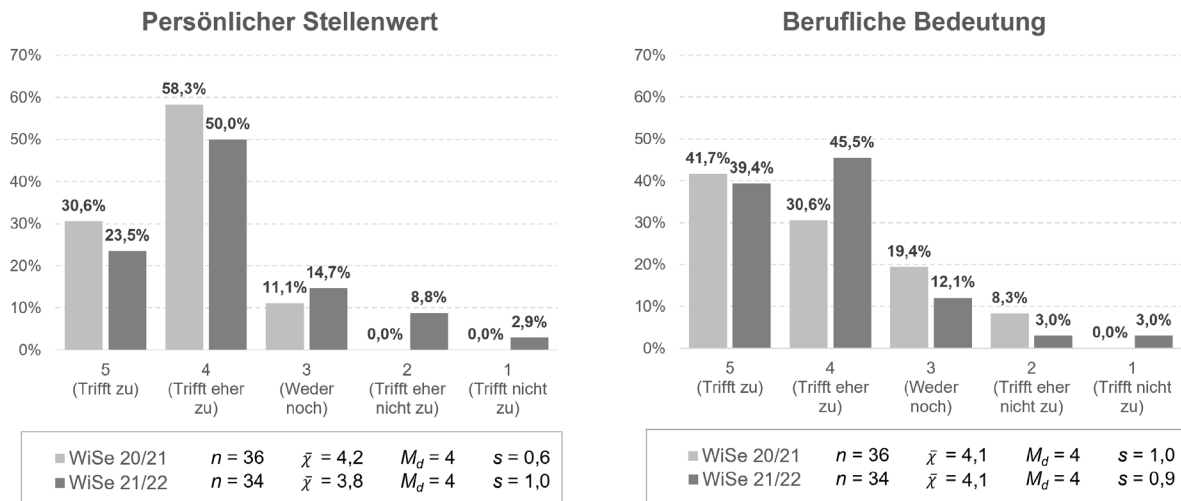


Abbildung 35: Persönliche und berufliche Bedeutung von Nachhaltigkeit (WiSe 20/21 & 21/22)

Im Wintersemester 2020/21 ordnen etwa 89% der Studierenden dem Thema Nachhaltigkeit persönlich eine hohe oder eher hohe Bedeutung zu. Im Wintersemester 2021/22 sinkt dieser Anteil leicht auf etwa 73%. Umgekehrt verhält es sich bei der Einschätzung der Bedeutung von Nachhaltigkeit in der beruflichen Zukunft. Im Wintersemester 2020/21 schätzen hier ca. 72% der Studierenden die Bedeutung als hoch oder eher hoch ein, im Wintersemester 2021/22 steigt dieser Anteil auf etwa 85%. Mit Blick auf die geringe Anzahl der Antworten ( $n = 36$  und  $n = 34$ ) sind diese Unterschiede aber als kaum relevant einzuschätzen. Das Mittel (Median  $M_d$ ) liegt in allen Fällen bei Stufe 4 (‚Trifft eher zu‘). Dies zeigt, dass die Bedeutung von Nachhaltigkeit von den Studierenden generell als hoch eingeschätzt wird, sowohl im privaten als auch im beruflichen Bereich.

Die vierte zu überprüfende Annahme bezieht sich auf die Berücksichtigung des Themas Nachhaltigkeit im Studium. Hier wurde weiterhin die Annahme getroffen, dass Nachhaltigkeit keine Rolle im ingenieurwissenschaftlichen Studium spielt. Im Rahmen der Evaluation der ersten Version des Lernangebots zeigten die Einschätzungen der Studierenden jedoch ein anderes Bild. Die Ergebnisse aus der Evaluation der beiden Erprobungen des angepassten Lernangebots zeigt Abbildung 36.

In beiden Semestern geben etwa 40% der Studierenden an, dass Nachhaltigkeit bereits eine Rolle in ihrem Studium spielt. Ein ähnlich großer Anteil (44,4% im Wintersemester 2020/21 und 30,3% im Wintersemester 2021/22) gibt an, dass dies nicht der Fall ist. Das Mittel (Median  $M_d$ ) liegt in beiden Befragungen bei Stufe 3 (‚Weder noch‘) was zeigt, dass sich die Studierenden insgesamt eher unsicher zu sein scheinen, inwieweit Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung bereits im Rahmen des Studiums thematisiert werden.

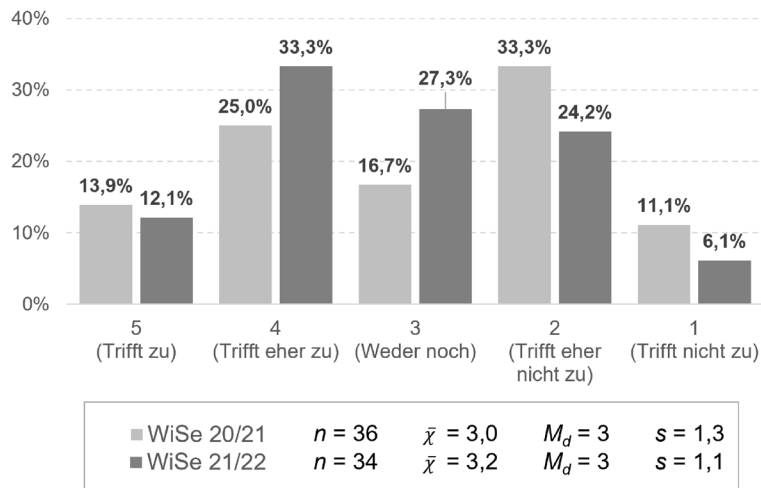


Abbildung 36: Thematisierung von Nachhaltigkeit im Studium (WiSe 20/21 &amp; 21/22)

### Ebene der Wirksamkeit des Lernangebots

Um zu überprüfen, ob das optimierte Lernangebot die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden fördert (H<sub>2</sub>), erfolgt ein Vergleich der Selbsteinschätzungen, die die Studierenden im Pre- und Posttest vorgenommen haben. Durch die Verwendung des individuellen Codes ist es dabei möglich, die Antworten einer Person in Pre- und Posttest miteinander in Verbindung zu bringen. Die vollständigen Daten der Befragungen können in den Anhängen A8, A9, A11 und A12 eingesehen werden.

Um den Einfluss des optimierten Lernangebots auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden zu beurteilen, sind in einem ersten Schritt die Teilhypothesen zu betrachten. Dies erfolgt zunächst für die Evaluation der Erprobung im Wintersemester 2020/21. In diesem ‚Corona-Semester‘ wurde das Lernangebot mit besonderen Restriktionen umgesetzt. Sämtliche Präsenzanteile (vgl. Kapitel 7.2.3) wie das Kickoff, der Kreativitätsworkshop und auch die IoGC-Abschlusskonferenz wurden mit Hilfe von Videokonferenzen online umgesetzt. Der Bau des Prototyps oder Modells im Makerspace konnte nicht stattfinden. Die Studierenden arbeiteten ihre Lösungsideen als Konzepte aus und stellten diese in Form von Abbildungen und Animationen in kurzen Videos vor. Abbildung 37 zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Pre- und Posttest im Wintersemester 2020/21 für alle Teilkompetenzen.

Die Studierenden schätzen ihre Kompetenzen im Pretest wieder relativ hoch ein. Im Mittel (Median  $M_d$ ) wählen sie die Stufe 4, also eine weitgehende Zustimmung dazu, dass sie in der Lage sind, die Anforderungen und Auswirkungen in Bezug auf die jeweilige Dimension von Nachhaltigkeit bei der Produktentwicklung und -herstellung zu bewerten. Lediglich in Bezug auf die ökologische und die soziale Dimension in der Produktentwicklung sehen sie sich im Mittel (Median  $M_d$ ) bei Stufe 3, sind also eher unentschlossen, ob sie in der Lage sind, die Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten. Im Vergleich zeigen sich bei allen Teilkompetenzen im Posttest leichte bis deutliche Anstiege des Mittelwertes ( $\bar{x}$ ) als Maß für die zentrale Tendenz. Im Mittel (Median  $M_d$ ) ordnen die Studierenden nach der Teilnahme am Lernangebot ihre Kompetenzen in allen Bereichen in Stufe 4 ein.

■ (Pre) Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage ...

■ (Post) Nachdem ich an der loGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage ...

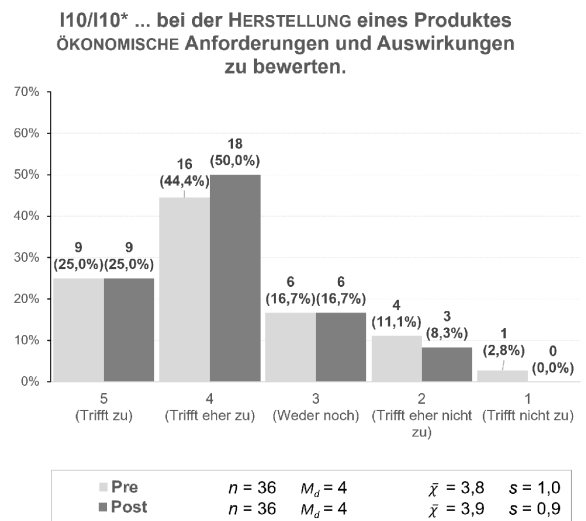
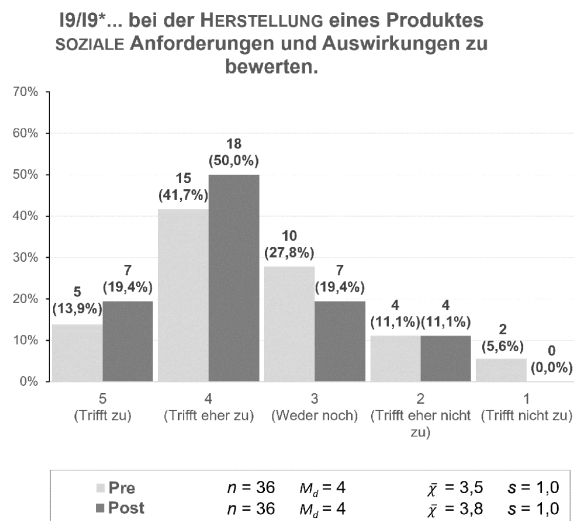
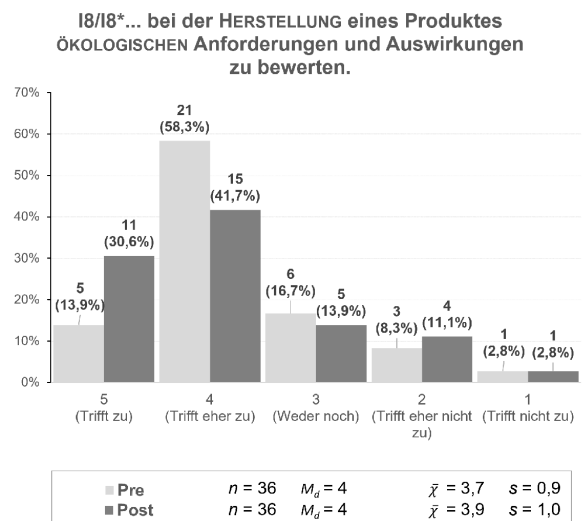
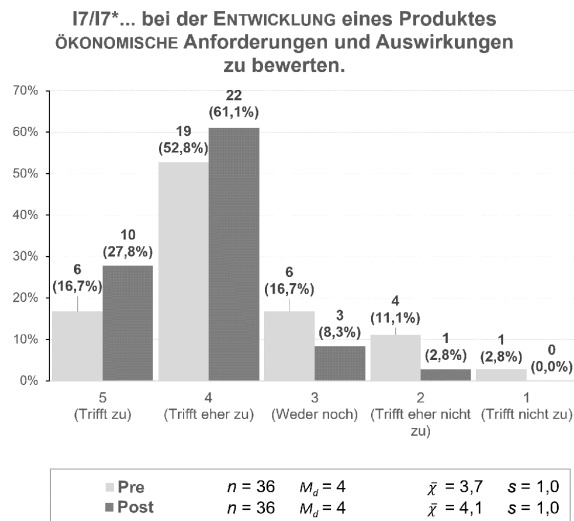
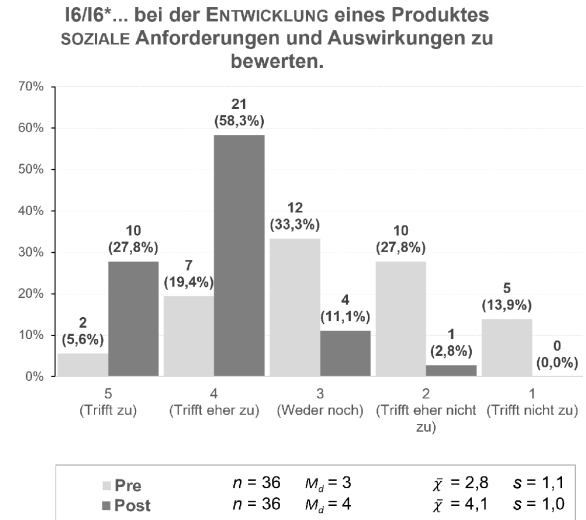
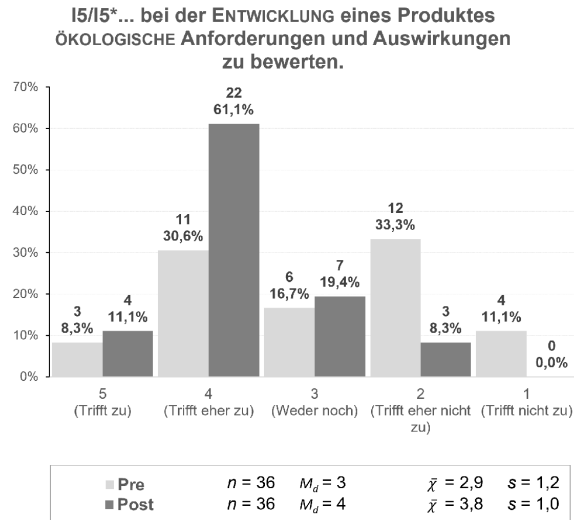


Abbildung 37: Selbsteinschätzungen in Pre- und Posttest (WiSe 20/21)



Für eine detaillierte Betrachtung der Ergebnisse erfolgt eine inferenzstatistische Analyse der Daten. Um zu überprüfen, ob sich die empirisch gefundenen Mittelwerte der einzelnen Teilkompetenzen in Pre- und Posttest systematisch unterscheiden, wird ein Hypothesentest mit Hilfe eines t-Tests (mit paarigen Werten) durchgeführt. Das akzeptierte Fehlerniveau wird wieder als  $\alpha = 0,05$  bzw. 5% definiert. Es werden die bekannten Abstufungen der Irrtumswahrscheinlichkeiten und Signifikanzniveaus angewendet (vgl. Kapitel 8.2.2, Tabelle 9). Der Hypothesentest ist dann signifikant, wenn die ermittelte Wahrscheinlichkeit geringer ist als das akzeptierte Fehlerniveau ( $p \leq 0,05$ ). Die beschriebenen Entwicklungen der Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und der Standardabweichungen ( $s$ ) zeigen an, dass die Ergebnisse der Studierenden im Posttest höher liegen als im Pretest, daher kann die Bewertung auf Basis des einseitigen p-Wertes erfolgen. Zur Einschätzung der Effektstärke wird das d-Maß von Cohen herangezogen (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 822). Voraussetzung für den t-Test mit paarigen Werten ist die Normalverteilung der Daten. Diese Voraussetzung kann unter Bezug auf den zentralen Grenzwertsatz ohne explizite Überprüfung als erfüllt betrachtet werden, da die Anzahl  $n$  in allen Settings  $> 30$  ist (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 641). Die Tests werden mit der Software SPSS (IBM SPSS Statistics für Windows, Version 28.0.1.1) durchgeführt.

Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse für die Überprüfung der Kompetenzentwicklung der Studierenden im Rahmen der Erprobung des optimierten Lernangebots im Wintersemester 2020/21, unter den beschriebenen Einschränkungen aufgrund der geltenden COVID-19 Schutzmaßnahmen.

Tabelle 20: Überprüfung der Differenzen mittels t-Test (WiSe 20/21)

	I5	I5*	I6	I6*	I7	I7*	I8	I8*	I9	I9*	I10	I10*
$(\bar{x})$	2,92	3,75	2,75	4,11	3,69	4,14	3,72	3,86	3,47	3,78	3,78	3,92
$s$	1,204	0,770	1,105	0,708	0,980	0,683	0,914	1,073	1,055	0,898	1,045	0,874
$t$	(35) = -4,511		(35) = -7,100		(35) = -2,935		(35) = -0,625		(35) = -1,339		(35) = -0,588	
$p$	< 0,001***		< 0,001***		0,003**		0,268		0,095		0,280	
$ d $	0,752		1,183		0,489		0,104		0,223		0,098	

Deutlich erkennbar ist eine Zweiteilung der Ergebnisse. In Bezug auf die Items 8 bis 10 zeigt sich keine Signifikanz. Diese Items bilden die Teilkompetenzen ab, die sich auf die Phase der Produktherstellung beziehen. Auf die Phase der Produktentwicklung beziehen sich die Items 5 bis 7, bei denen deutliche Unterschiede bestehen. Die Selbsteinschätzungen in Bezug auf die soziale Dimension in der Produktentwicklung zeigen höchst signifikante Unterschiede zwischen Pretest (I6) und Posttest (I6\*):  $t(35) = -7,10$ ,  $p < 0,001***$ . Die Effektstärke ist mit  $|d| = 1,18$  als groß zu bewerten. Auch die Differenzen der Kompetenzniveaus hinsichtlich der ökologischen Dimension in der Produktentwicklung im Pretest (I3) und im Posttest (I3\*) sind höchst signifikant:  $t(35) = -4,51$ ,  $p < 0,001***$  mit einer mittleren Effektstärke von  $|d| = 0,75$ . Der Anstieg des Kompetenzniveaus im Bereich der ökonomischen Dimension im Rahmen der Produktentwicklung (I7/I7\*) ist hoch signifikant:  $t(35) = -2,94$ ,  $p = 0,003**$ , es zeigt sich hier aber lediglich eine kleine Effektstärke mit  $|d| = 0,49$ .

Im Wintersemester 2021/22 erfolgte eine zweite Erprobung des optimierten Lernangebots. In diesem Semester war es für die Studierenden wieder möglich, im Makerspace ihre Lösungsidee als Modell oder Prototyp praktisch herzustellen. Abbildung 38 zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Pre- und Posttest im Wintersemester 2021/22 für alle Teilkompetenzen.

■ (Pre) Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage ...

■ (Post) Nachdem ich an der loGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage ...

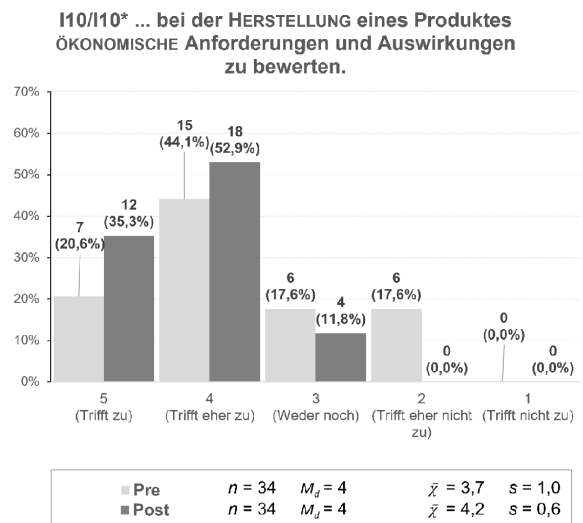
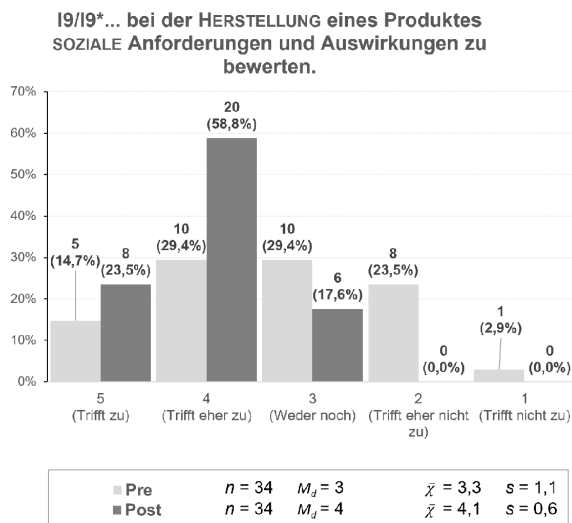
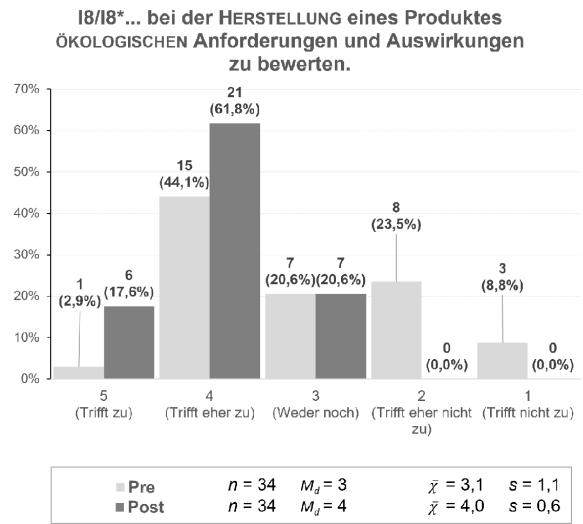
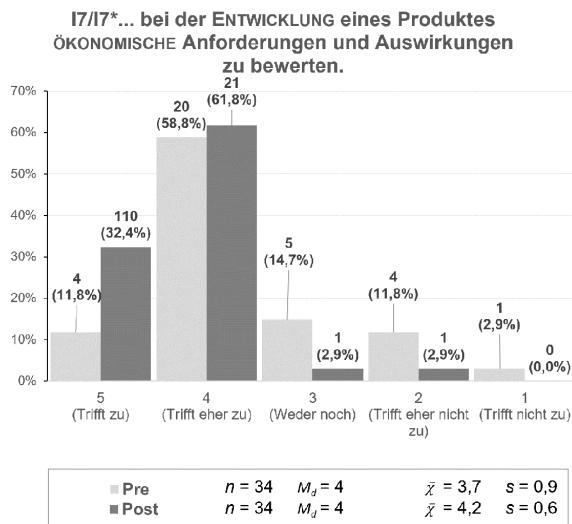
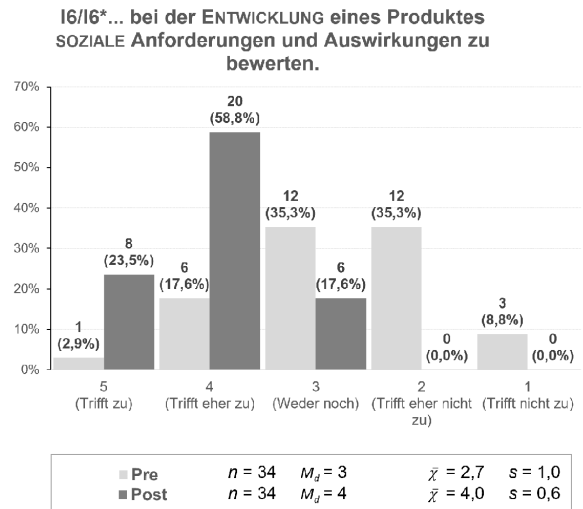
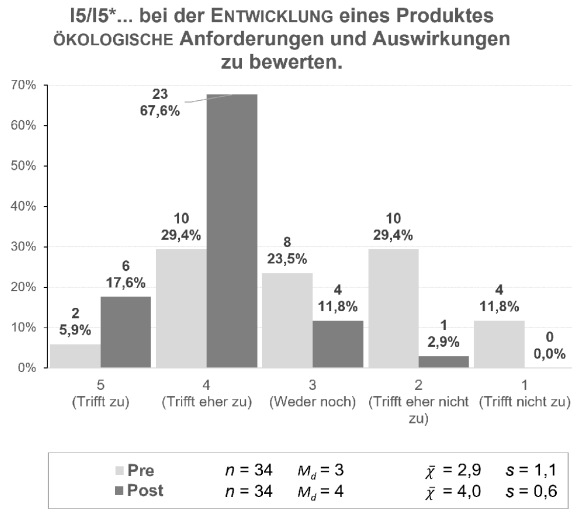


Abbildung 38: Selbsteinschätzungen in Pre- und Posttest (WiSe 21/22)

Die Ergebnisse der Überprüfung der Differenzen in den Selbsteinschätzungen im Pre- und Posttest im Rahmen dieser Erprobung mit Hilfe des t-Tests zeigt Tabelle 21.

Tabelle 21: Überprüfung der Differenzen mittels t-Test (WiSe 21/22)

	I5	I5*	I6	I6*	I7	I7*	I8	I8*	I9	I9*	I10	I10*
$(\bar{x})$	2,88	4,00	2,71	4,06	3,65	4,24	3,09	3,97	3,29	4,06	3,68	4,24
s	1,149	0,651	0,970	0,649	0,950	0,654	1,083	0,627	1,088	0,649	1,007	0,654
t	(33) = -5,117		(33) = -7,578		(33) = -3,847		(33) = -4,380		(33) = -4,667		(33) = -3,103	
p	< 0,001***		< 0,001***		< 0,001***		< 0,001***		< 0,001***		0,002**	
d	0,878		1,300		0,660		0,751		0,800		0,532	

Hier wird deutlich, dass die Veränderungen der Kompetenzniveaus in allen sechs Teilkompetenzen, also hinsichtlich der ökologischen, sozialen und ökonomischen Dimension in der Produktentwicklung sowie in der Produktherstellung, höchst oder hoch signifikant sind. Die größte Veränderung zeigt sich hinsichtlich der Bewertung der sozialen Dimension von Nachhaltigkeit im Rahmen der Produktentwicklung. Hier ist der Anstieg der Selbsteinschätzungen höchst signifikant:  $t(33) = -7,58$ ,  $p < 0,001***$  mit einer Effektstärke von  $|d| = 1,30$ . Mit einer Effektstärke von  $|d| = 0,53$  zeigt sich in Bezug auf die ökonomische Dimension in der Produktherstellung die geringste Veränderung, die aber dennoch auch hoch signifikant ist:  $t(33) = -3,10$ ,  $p = 0,002**$ .

### **Ebene des Effekts der Optimierung**

Abschließend wird zudem überprüft, ob die Optimierung zu einer positiven Veränderung gegenüber der ersten Version des Lernangebots führt und mit dem optimierten Konzept eine stärkere und ganzheitliche Förderung der Kompetenzen erreicht werden kann (H3). Dazu erfolgt ein Vergleich der Ergebnisse aus der Erprobung der ersten Version mit den Ergebnissen der Erprobungen der optimierten Version. Als Grundlage für diesen Vergleich werden zunächst nochmals die Ergebnisse der Evaluation der ersten Version (Wintersemester 2019/20) betrachtet. Auch für diesen ersten Durchgang des Lernangebots werden die Unterschiede der Kompetenzniveaus der Studierenden mit Hilfe des t-Tests mit paarigen Werten analysiert. Dies erfolgte bereits im Rahmen der post-hoc-Tests der ersten Evaluation für die Teilkompetenzen im Bereich der sozialen Dimension von Nachhaltigkeit in Bezug auf die Produktentwicklung und -herstellung (vgl. Kapitel 8.2.1), wird nun aber auf alle Teilkompetenzen erweitert. Um die Vergleichbarkeit herzustellen, werden dabei nur die Kompetenzniveaus der Studierenden betrachtet, die am Lernangebot teilgenommen haben, also den Standort Dortmund angaben und damit der Interventionsgruppe 1 zugeordnet wurden. Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse für die Überprüfung der Kompetenzentwicklung der Studierenden in der ersten Version des Lernangebots, also vor der Optimierung.

Tabelle 22: Überprüfung der Differenzen mittels t-Test (WiSe 19/20)

	I5	I5*	I6	I6*	I7	I7*	I8	I8*	I9	I9*	I10	I10*
$(\bar{x})$	3,33	3,93	3,00	3,96	4,00	4,09	3,89	3,85	3,54	4,07	3,98	4,17
s	0,982	0,663	1,000	0,637	0,839	0,674	0,832	0,678	1,075	0,685	0,879	0,607
t	(54) = -3,875		(54) = -6,280		(54) = -0,671		(54) = -0,275		(40) = -3,008		(53) = -1,695	
p	< 0,001***		< 0,001***		0,253		0,362		0,002**		0,048*	
d	0,523		0,847		0,090		0,037		0,470		0,231	

Um zu beurteilen, ob das Lernangebot nach der Anpassung zu einer stärkeren Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen führt als vorher, reicht es nicht aus, die Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und die Signifikanz ( $s$ ) zu betrachten. Auch allein aus der Signifikanz kann kein Rückschluss auf die Stärke der Kompetenzförderung gezogen werden, da der ermittelte  $p$ -Wert sowohl von der Größe des Effekts als auch von der Größe der Stichprobe abhängt. Aus diesem Grund wird zum Vergleich die Effektstärke herangezogen, da sie die Größe des Effektes quantifiziert und standardisiert (vgl. z.B. Rasch et al., 2014a, S. 49).

Im Rahmen der durchgeführten  $t$ -Tests wurde für die Einordnung der Effektstärke das  $d$ -Maß von Cohen ermittelt. Dieses Maß ist geeignet, um über verschiedene Studien hinweg Effekte zu vergleichen. Das  $d$ -Maß bezieht die Größe eines Effektes auf die Standardabweichung. Eine Effektstärke von  $|d| = 0,8$  bedeutet demnach, dass der betrachtete Effekt 80% einer Standardabweichung entspricht. Je größer der Betrag der Effektstärke, desto größer ist somit auch der Effekt. Das  $d$ -Maß von Cohen ist definiert von  $-\infty$  bis  $+\infty$  und kann somit auch negative Werte annehmen. Dies bedeutet lediglich, dass der Effekt in die umgekehrte Richtung wirkt. Für die Größe des Effektes ist dies aber nicht relevant, so dass in der Regel der Betrag des  $d$ -Maßes betrachtet wird. Für eine einfachere Interpretation der Effektstärke ist es üblich, diese in drei Stufen zu unterteilen. Eine Effektstärke ab  $|d| = 0,2$  wird als kleiner Effekt bezeichnet, ab  $|d| = 0,5$  handelt es sich um einen mittleren Effekt und ab  $|d| = 0,8$  um einen großen Effekt (vgl. z.B. Döring & Bortz, 2016, S. 822).

Abbildung 39 zeigt die ermittelten Effektstärken aus den verschiedenen Erprobungen, also sowohl für die erste als auch für die optimierte Version des entwickelten Lernangebots im Vergleich, aufgliedert in die Teilkompetenzen.

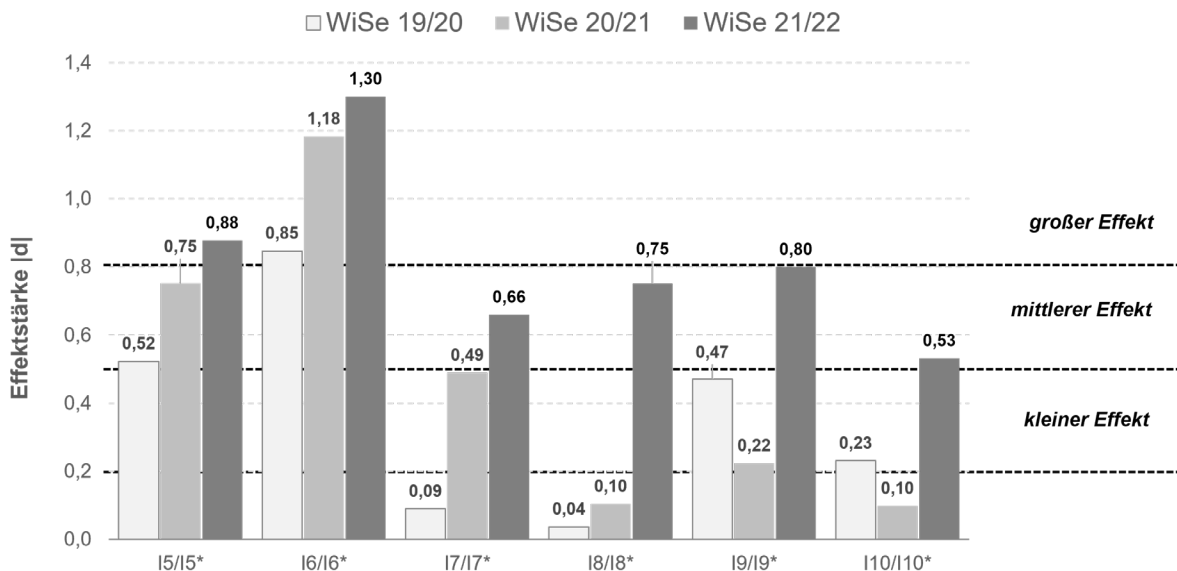


Abbildung 39: Vergleich der ermittelten Effektstärken aus den Erprobungen

Es fällt auf, dass in den ersten drei dargestellten Teilkompetenzen (Items 5 bis 7) in jeder Erprobung eine deutliche Zunahme der Effektstärke entstanden ist. Diese Items bilden die ökologische, soziale und ökonomische Dimension von Nachhaltigkeit in Bezug auf die Produktentwicklung ab. Item 8, also die ökologische Dimension in der Produktherstellung, zeigt in der ersten Erprobung nach der Anpassung noch einen sehr kleinen Anstieg der Effektstärke, in der zweiten Erprobung dann ebenfalls eine sehr deutliche Zunahme. Die soziale und die ökonomische Dimension in Bezug auf die

Produktherstellung (Items 9 und 10) zeigen nach der Optimierung zunächst sogar eine Abnahme der Effektstärke, in der zweiten Erprobung dann aber auch einen deutlichen Anstieg. Insgesamt ist bei allen Teilkompetenzen von der ersten Version des Lernangebots zur zweiten Erprobung der optimierten Version ein starker Anstieg der Effektstärken erkennbar. Diese sind im Rahmen der zweiten Erprobung alle als mittlere oder sogar große Effekte einzuordnen.

### **11.2.3 Diskussion der Ergebnisse und Bewertung der Optimierung**

Ziel der Evaluation war es einerseits, die Annahmen, auf denen das Lernangebot konzipiert wurde, erneut zu validieren und andererseits zu überprüfen, ob mit der optimierten Version des entwickelten Lernangebots eine ganzheitliche Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen erreicht werden konnte. Im Verständnis des DBR steht dahinter die Absicht, verallgemeinerbare Erkenntnisse oder weitere Optimierungsmöglichkeiten und -bedarfe abzuleiten. Um dies zu erreichen, werden die Ergebnisse der verschiedenen Ebenen der Evaluation zusammengefasst, diskutiert und eine Gesamtbewertung der Optimierung vorgenommen.

#### ***Ebene der Vorannahmen***

Bei der Konzeption des Lernangebots wurde der Anspruch verfolgt, einen möglichst niederschweligen Zugang zum Thema zu gewährleisten. Auf diesen Bedarf wurde aufgrund der Annahme geschlossen, dass Studierende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen unabhängig von ihrem Studienfortschritt über sehr wenig Vorwissen zu nachhaltiger Entwicklung und dem komplexen Themenfeld der Nachhaltigkeit verfügen (H1.1). Im Rahmen der Erprobung der ersten Version des entwickelten Lernangebots wurde diese Annahme voll bestätigt. Um zu überprüfen, ob sie weiterhin Gültigkeit besitzt und diesbezüglich vergleichbare Ausgangsvoraussetzungen bei der Realisierung des Lernangebots bestehen, erfolgte eine Überprüfung auch in den beiden Erprobungen des optimierten Lernangebots, ebenfalls unter Anwendung des qualitativen Ansatzes nach Carew und Mitchell (2002). Die Ergebnisse unterscheiden sich in den verschiedenen Erprobungen nur geringfügig. Während in der ersten Evaluation festgestellt wurde, dass bei etwa 80% der Studierenden kein oder ein nur rudimentäres Vorwissen und Verständnis von Nachhaltigkeit zu erkennen ist, erfolgte diese Einordnung in der folgenden Evaluation bei ca. 70% der Studierenden. Im Gegenzug nahm der Anteil der Studierenden, bei denen zumindest ein multistrukturelles Verständnis zu erkennen war, im Vergleich von der ersten Evaluation zu den folgenden um etwa 10% zu. Bei einer Beurteilung dieser Ergebnisse ist zum einen zu berücksichtigen, dass die Anzahl der ausgewerteten Definitionen in den Erprobungen des optimierten Lernangebots deutlich geringer ist. Zum anderen enthält die Zuordnung der Definitionen zu den verschiedenen Stufen der Taxonomie einen hohen interpretativen Einfluss und dadurch eine begrenzte Objektivität. Dennoch wird deutlich, dass das Vorwissen und Verständnis der Studierenden als stark begrenzt einzuordnen ist und die Hypothese im Rahmen der Evaluation erneut als bestätigt gelten kann.

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich hinsichtlich der Annahme, dass Studierende dem Thema Nachhaltigkeit sowohl in ihrem persönlichen Bereich (H1.2) als auch in Bezug auf ihre berufliche Zukunft (H1.3) eine hohe Relevanz zuordnen. Diese Vorannahme wurde unter anderem zur Legitimation des Themas als relevanter Lerninhalt im Rahmen der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung herangezogen. Auch diese Annahme wurde in allen erfolgten Erprobungen überprüft, um die Vergleichbarkeit der Voraussetzungen bei der Realisierung sicherzustellen. In der ersten Erprobung des

optimierten Lernangebots ordneten etwa 89% der Studierenden Nachhaltigkeit einen hohen persönlichen Stellenwert zu, in der zweiten Erprobung waren es etwa 74%. Eine hohe Bedeutung von Nachhaltigkeit in der beruflichen Zukunft bestätigten in der ersten Erprobung 73% der Studierenden, in der zweiten Erprobung waren es etwa 85%. Mit kleinen Abweichungen, die aufgrund der geringen Zahl der befragten Personen zu relativieren sind, entsprechen diese Ergebnisse weitgehend denen der ersten Evaluation und bestätigen, mit den gleichen Einschränkungen der Aussagekraft in Rückschluss auf das begrenzte Vorwissen und den möglichen Effekt der sozialen Erwünschtheit (vgl. Kapitel 8.2.3), die beiden formulierten Hypothesen.

Die vierte Forschungshypothese dieser Ebene der Evaluation bezieht sich auf die Berücksichtigung des Themas Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung im ingenieurwissenschaftlichen Studium. Hier gilt die Annahme, dass das Thema bisher keine Berücksichtigung findet. Die Angaben der Studierenden in den Erhebungen sind dazu jedoch nicht eindeutig. Im Rahmen der ersten Erprobung des optimierten Lernangebots gaben etwa 39% der Studierenden an, dass Nachhaltigkeit ein relevantes Thema im Studium ist. Etwa 44% der Studierenden sagten aus, dass dies nicht so sei. In der zweiten Erprobung stimmten ca. 45% der Studierenden zu, dass das Thema eine Rolle spiele, ca. 31% stimmten nicht zu. Wie bereits in der ersten Evaluation festgestellt wurde, erscheint hinsichtlich dieser ambivalenten Ergebnisse eine objektive Einordnung schwierig. Basierend auf dieser Feststellung wurde bei der Optimierung des Lernangebots im Rahmen der zusätzlichen Lerneinheit zum Thema Nachhaltigkeit die Frage an die Studierenden aufgenommen, ob das Thema Nachhaltigkeit in einer Lehrveranstaltung thematisiert wurde und wenn ja, in welcher. Mit Hilfe dieser Frage soll die Verknüpfung von Nachhaltigkeit mit den Studieninhalten bewusster reflektiert werden, und gleichzeitig ermöglicht die Analyse der Antworten auch einen Abgleich und eine Validierung der Angaben zu dieser Vorannahme. Im Wintersemester 2020/21 beantworteten die Frage 24 Studierende mit ‚nein‘, 12 Studierende mit ‚ja‘, im Wintersemester 2021/22 wählten 22 Studierende ‚nein‘ und 12 Studierende ‚ja‘. Nach der Lerneinheit und der expliziten Auseinandersetzung mit dem Nachhaltigkeitsbegriff geben also jeweils etwa 2/3 der Studierenden an, dass Nachhaltigkeit bisher keine Rolle in ihrem Studium spielte. Die Studierenden, die mit ‚ja‘ antworteten, also angaben, dass Nachhaltigkeit thematisiert wurde, nannten als Lehrveranstaltungen/ Fächer, in denen dies der Fall sei, insbesondere ‚Supply Chain Management‘ (5x im WiSe 20/21, 4x im WiSe 21/22), ‚Verpackungs- und Entsorgungslogistik‘ (3x im WiSe 20/21, 4x im WiSe 21/22), ‚Fertigungslehre‘ (2x im WiSe 20/21, 2x im WiSe 21/22) sowie jeweils als Einzelnennungen ‚Unternehmenslogistik‘, ‚Materialflusssysteme‘ und ‚Elektrizitätswirtschaft‘. Eine Person verwies sogar auf einen Fachsprachkurs Englisch mit dem Titel ‚Energy and Sustainability‘. Auffällig ist, dass hauptsächlich Veranstaltungen und Fächer aus dem Bereich der Logistik von den Studierenden genannt werden. Als klassisches Grundlagenfach aus dem Bereich des Maschinenbaus, das einen eindeutigen Bezug zum PEP darstellt, wird lediglich ‚Fertigungslehre‘ genannt.

Unter Berücksichtigung dieser zusätzlichen Informationen kann somit festgestellt werden, dass Nachhaltigkeit nur im geringen Umfang und wenn, dann hauptsächlich in Lehrveranstaltungen aus dem Bereich Logistik thematisiert wird. Hypothese H1.4 gilt somit ebenfalls als bestätigt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für diese Ebene der Evaluation zeigt Tabelle 23.

Tabelle 23: Hypothesenüberprüfung - Ebene der Vorannahmen (optimiertes Lernangebot)

Bez.	Hypothese	Ergebnis
H1.1	Die Studierenden verfügen über wenig Vorwissen zum Thema Nachhaltigkeit.	<b>bestätigt</b>
H1.2	Die Studierenden räumen dem Thema Nachhaltigkeit persönlich einen hohen Stellenwert ein.	<b>bestätigt</b>
H1.3	Die Studierenden sehen für das Thema Nachhaltigkeit in ihrer zukünftigen beruflichen Arbeit als Ingenieur*in eine große Bedeutung.	<b>bestätigt</b>
H1.4	Das Thema Nachhaltigkeit findet im ingenieurwissenschaftlichen Studium keine Berücksichtigung.	<b>bestätigt</b>

Die getroffenen Vorannahmen, die Grundlage für die didaktische und methodische Konzeption des Lernangebots und auch der durchgeführten Optimierung waren, konnten in dieser Evaluation im vollen Umfang bestätigt werden. Dies zeigt auch, dass es keine maßgeblichen Änderungen dieser Faktoren zwischen den verschiedenen Erprobungen gab und die Ergebnisse somit auf vergleichbaren Grundlagen aufbauen.

### **Ebene der Wirksamkeit des Lernangebots**

Die Evaluation der ersten Version des Lernangebots zeigte, dass dieses insbesondere zu einer Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen in der sozialen Dimension im Bereich der Produktentwicklung und der Produktherstellung führte. In Bezug auf die übrigen Teilkompetenzen konnten nur geringe oder keine Effekte erreicht werden. Mit dem Ziel, eine ganzheitliche Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen zu erreichen, erfolgte dann die Optimierung des Lernangebots. Die vorgenommenen Anpassungen zeigen deutliche Auswirkungen auf die Ergebnisse der folgenden Erprobungen. In der ersten Erprobung zeigten sich in den Teilkompetenzen, die sich auf die Phase der Produktentwicklung im PEP beziehen, signifikante Zunahmen. Zu den Teilkompetenzen, die sich auf die Phase der Produktherstellung richten, konnten hingegen keine signifikanten Anstiege nachgewiesen werden. Bei dieser ersten Erprobung hatten die Studierenden aufgrund der geltenden Einschränkungen durch die COVID-19 Pandemie nicht die Möglichkeit, ihre Lösungsidee praktisch umzusetzen – ihr entwickeltes Produkt also auch selbst herzustellen. Es liegt nahe, dieses fehlende ‚praktische Erfahren‘ mit der erkennbaren Zweiteilung der Evaluationsergebnisse in Verbindung zu bringen. Diese Verknüpfung wird auch durch die Ergebnisse der zweiten Erprobung gestützt. In dieser Erprobung war die praktische Produktherstellung wieder Teil des Lernangebots und in dieser Erprobung können signifikante Zunahmen in allen Teilkompetenzen festgestellt werden. Es zeigen sich dabei auch sehr deutliche Unterschiede in den Effektstärken. Während in der Erprobung ohne die praktische Realisierung der Produktherstellung keine oder nur sehr kleine Effekte in den entsprechenden Teilkompetenzen erreicht werden konnten, steigen diese in der Erprobung mit der praktischen Produktherstellung auf mittlere Effekte an. Es scheint somit einen erheblichen Einfluss der praktischen Arbeit am selbst entwickelten Produkt auf die Entwicklung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen zu geben.

Die Optimierung des Lernangebots führt insgesamt zu den gewünschten Ergebnissen, denn es konnten signifikante Steigerungen der Selbsteinschätzungen der Studierenden in allen Teilkompetenzen erreicht werden und in allen Teilkompetenzen sind dabei mittlere bis große Effektstärken

erkennbar. Tabelle 24 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Überprüfung der Teilhypothesen.

Tabelle 24: Hypothesenüberprüfung - Ebene der Wirksamkeit des Lernangebots

Bez.	Hypothese	Ergebnis
H2_1	Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H2_2	Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H2_3	Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H2_4	Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension bei der Produktherstellung.	<b>bestätigt</b>
H2_5	Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension bei der Produktherstellung.	<b>bestätigt</b>
H2_6	Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension bei der Produktherstellung.	<b>bestätigt</b>

Da alle Teilhypothesen bestätigt werden konnten, gilt somit auch die formulierte Hypothese H2 als bestätigt. Die Teilnahme am optimierten Lernangebot ist geeignet, um die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden ganzheitliche zu fördern.

### **Ebene des Effekts der Optimierung**

Die dritte Ebene der Evaluation bezieht sich auf den Effekt der Optimierung, also auf die Frage, ob das optimierte Lernangebot zu einer stärkeren Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen führt, als die erste Version des Lernangebots. Um dies zu beurteilen, werden die ermittelten Effektstärken auf Basis des d-Maßes von Cohen verglichen. In der Evaluation der ersten Version des Lernangebots zeigten sich die größten Effekte in Bezug auf die soziale Dimension von Nachhaltigkeit sowohl in der Produktentwicklung als auch in der Produktherstellung. Auch hinsichtlich der ökologischen Dimension in der Produktentwicklung konnte ein kleiner bis mittlerer Effekt festgestellt werden. In der ersten Erprobung des optimierten Lernangebots zeigten sich dann in den Teilkompetenzen, die der Phase der Produktentwicklung zuzuordnen sind, deutlich höhere Effektstärken. In der Phase der Produktherstellung reduzierten sich die Effektstärken im Vergleich zur ersten Version jedoch sogar. Auch hier liegt der bereits beschriebene Zusammenhang mit dem Element der praktischen Umsetzung der Produktherstellung als Teil des Lernangebots nahe. Fehlt dieser Anteil, sind auch annähernd keine Lerneffekte für diese Teilkompetenzen nachweisbar. In der zweiten Erprobung des optimierten Lernangebots zeigen sich hingegen erheblich größere Effektstärken für alle Teilkompetenzen. Auch für die Teilkompetenzen, für die sich in der ersten Erprobung unter ‚Corona-Bedingungen‘ ein Rückgang der Effektstärke zeigt, ergeben sich in der zweiten



Erprobung erhebliche Anstiege, die deutlich über die Effektstärken in der ersten Version des Lernangebots hinaus gehen.

Den größten Anstieg gibt es hinsichtlich der ökologischen Dimension im Rahmen der Produktherstellung. Hier steigt die Effektstärke von  $|d| = 0,04$  (kein Effekt) auf  $|d| = 0,75$  (mittlerer Effekt). Und sogar für Teilkompetenzen, bei denen sich bereits in der ersten Version deutliche Effekte zeigten, konnten nochmals erhebliche Anstiege erreicht werden. Für die soziale Dimension in Bezug auf die Produktentwicklung zeigte sich beispielsweise in der ersten Version des Lernangebots mit  $|d| = 0,85$  bereits ein großer Effekt. In der zweiten Erprobung der optimierten Version stieg die Effektstärke für diese Teilkompetenz nochmals deutlich auf  $|d| = 1,30$ .

Insgesamt konnte im Vergleich zwischen der ersten Version des Lernangebots und der optimierten Version in der geplanten Form (also mit der praktischen Produktherstellung) hinsichtlich aller Teilkompetenzen eine deutliche Steigerung der Effektstärken erreicht werden. In Tabelle 25 sind die Ergebnisse der Überprüfung der Teilhypothesen für diese Ebene der Evaluation zusammengefasst.

Tabelle 25: Hypothesenüberprüfung - Ebene des Einflusses der Optimierung

Bez.	Hypothese	Ergebnis
H3_1	Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension in der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H3_2	Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension in der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H3_3	Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die Ökonomische Dimension in der Produktentwicklung.	<b>bestätigt</b>
H3_4	Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die ökologische Dimension in der Produktherstellung.	<b>bestätigt</b>
H3_5	Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die soziale Dimension in der Produktherstellung.	<b>bestätigt</b>
H3_6	Die Optimierung des Lernangebots führt zu einer stärkeren Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden in Bezug auf die ökonomische Dimension in der Produktherstellung.	<b>bestätigt</b>

Somit kann auch Hypothese H3 vollständig bestätigt werden, da durch das optimierte Lernangebot eine deutlich stärkere Förderung in allen Teilkompetenzen erreicht werden kann.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Evaluation, dass das optimierte Lernangebot unter korrekten und validen Vorannahmen gestaltet und realisiert wurde. Zudem zeichnet sich das optimierte Lernangebot durch eine deutliche Wirksamkeit in Bezug auf die formulierten Lernziele aus. Es konnten eindeutige Erfolge hinsichtlich der ganzheitlichen Förderung von nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen festgestellt werden. Die Optimierung des Settings und die implementierte kognitive Aktivierung greifen das geringe Vorwissen der Studierenden auf, erleichtern ihnen den Zugang und machen die Verbindungen zur fachlichen Domäne der Ingenieurwissenschaften für sie deutlicher.

---

## 12 Zusammenfassung, kritische Reflexion und Ausblick

Nachhaltigkeit ist ein bestimmendes Thema unserer Zeit. Die Zerstörung natürlicher Ressourcen und die globalen Herausforderungen, vor denen Öko-, Sozial- und Wirtschaftssysteme stehen, zeigen deutlich, dass neue und andere Aufgaben auf zukünftige Ingenieur\*innen warten. Neben innovativen und kreativen Problemlösungen gewinnen Nachhaltigkeitsfragen und die verantwortungsbewusste Entwicklung technischer Konzepte für sie zunehmend an Bedeutung. Trotzdem ist eine Berücksichtigung des Themenbereichs in den Curricula der Hochschulen kaum gegeben und insbesondere in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen werden Fragen der Nachhaltigkeit nur selten berücksichtigt. Dabei ist insbesondere die Verbindung des Querschnittsthemas Nachhaltigkeit mit der fachlichen Domäne wichtig, um fachbezogene nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen zu fördern und das Bildungsziel der ‚Sustainable employability‘, also der Fähigkeit, Ideen und Prinzipien der nachhaltigen Entwicklung im beruflichen Handeln anzuwenden, zu erreichen. Ziel dieser Arbeit war es daher, ein kompetenzorientiertes Lernangebot zu entwickeln, mit dem das Thema Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung in die bestehenden Ausbildungsstrukturen und -konzepte ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge integriert werden kann.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde zunächst dargestellt, warum das Thema Nachhaltigkeit relevant für eine zeitgemäße Ausbildung von Ingenieur\*innen ist. Nach einer grundlegenden Einordnung und Konkretisierung des Begriffs der Nachhaltigkeit erfolgte dazu eine Auseinandersetzung mit dem Verständnis von Nachhaltigkeit als Bildungsziel und des daraus resultierenden Themenfeldes der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Es wurde erläutert, welche Bildungsangebote und -strukturen bereits existieren, und deutlich gemacht, welche Bedarfe insbesondere im Bereich der Hochschullehre noch bestehen. Ausgehend davon wurde gezeigt, dass eine domänenabhängige Auseinandersetzung und Betrachtung mit Bezug auf konkrete berufliche Handlungen und Tätigkeitsfelder erforderlich ist, um eine verantwortungsbewusste und zukunftsorientierte Hochschulbildung sicherzustellen. Um dies weiter zu konkretisieren, wurde die fachliche Struktur des ingenieurwissenschaftlichen Studiums exemplarisch für den Bereich des Maschinenbaus analysiert und die Neu- und Weiterentwicklung sowie Herstellung technischer Produkte, Prozesse und Systeme als zentrale Aufgabe bzw. das Haupttätigkeitsfeld von Ingenieur\*innen herausgestellt und mit der Zieldimension einer nachhaltigen Entwicklung in Beziehung gesetzt.

Aus dieser Verknüpfung der ingenieurwissenschaftlichen Domäne mit der umfassenden Herausforderung einer nachhaltigen Entwicklung folgte unmittelbar die Frage, über welche Kompetenzen zukünftige Ingenieur\*innen verfügen müssen, um diese Herausforderung nicht nur zu bewältigen, sondern auch verantwortlich mitzugestalten. Zur Beantwortung dieser Frage wurde eine Analyse durchgeführt, in der nicht nur die Perspektiven der Hochschulen und der Studierenden, sondern insbesondere auch von Unternehmen als zukünftige Arbeitgeber\*innen berücksichtigt wurden. Neben fachübergreifenden transformativen Kompetenzen wurden hierbei insbesondere fachbezogene, nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen identifiziert, die Voraussetzung sind, um einen Bezug zwischen technischen Produkten und Prozessen und ökologischer, sozialer und ökonomischer Nachhaltigkeit zu erkennen, zu berücksichtigen und zu bewerten. Gleichzeitig konnten relevante Rahmenbedingungen, Erwartungen und Bedarfe für die didaktische und methodische Gestaltung eines Lernangebots abgeleitet werden, mit dem diese Kompetenzen zielgruppengerecht sowie strukturell und organisatorisch umsetzbar adressiert und gefördert werden können.

Auf Grundlage dieser Entwicklungsziele und Rahmenbedingungen wurde ein Lernangebot entwickelt, in dessen Zentrum die ‚Ingenieure ohne Grenzen Challenge‘ steht. Im Format des projektbasierten Service-Learning haben Studierende die Möglichkeit, ihre ingenieurwissenschaftliche Profession in Verbindung mit Aspekten der Nachhaltigkeit zu erfahren und in der Praxis anzuwenden. Sie entwickeln und realisieren in Teams technische Lösungen für reale Problemstellungen aus der internationalen Entwicklungszusammenarbeit, setzen sich dabei aktiv und diskursiv mit der Lebenswirklichkeit von Menschen in den Zielregionen auseinander und werden hinsichtlich ihrer technikethischen und sozialen Verantwortung sensibilisiert. Die Anforderung, eine nachhaltige, praktikable und kulturell angepasste technische Problemlösung zu entwickeln, ermöglicht es, zur Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen an die ‚zentrale Ingenieuraufgabe‘, also die Entwicklung und Herstellung technischer Produkte, anzuknüpfen. Die Challenge wurde in ein handlungs- und kompetenzorientiertes Setting eingebunden, das in einem Blended-Learning Konzept selbstorganisierte Lernphasen und die praktische Herstellung der technischen Lösung als Modell oder Prototyp als ‚hands on‘-Element miteinander verbindet. Dieses Lernangebot wurde erprobt und dabei umfassend empirisch evaluiert. Aus den Ergebnissen konnte abgeleitet werden, dass die Teilnahme am Lernangebot und der Ingenieure ohne Grenzen Challenge zwar einen positiven Einfluss auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden hat, aber noch keine ganzheitliche Förderung dieser Kompetenzen erreicht werden konnte. Es konnte außerdem festgestellt werden, dass das projektbasierte Lernen und die Verantwortung, die die Studierenden für ihre eigenen Lösungsideen übernehmen, einen geeigneten Rahmen für entsprechende Lernprozesse darstellen, dass das geringe Vorwissen der Studierenden zu Nachhaltigkeit und nachhaltiger Entwicklung aber als Schlüsselement wirkt, das eine Reihe weiterer Wirkmechanismen im Setting maßgeblich beeinflusst. Ausgehend von diesen Ergebnissen wurde das Lernangebot angepasst, eine interaktive Lerneinheit zur kognitiven Aktivierung der Studierenden ergänzt und zusätzliche Reflexionsanlässe und -aufträge integriert. Die optimierte Version des Lernangebots wurde wieder erprobt und umfassend empirisch evaluiert. In einer ersten Erprobung konnte durch Restriktionen aufgrund der COVID-19 Pandemie der praktische Anteil des Lernangebots, also die Herstellung der technischen Lösung als Modell, nicht stattfinden. In den Ergebnissen der Evaluation zeigt dies einen unerwartet deutlichen und limitierenden Einfluss auf die Kompetenzentwicklung der Studierenden. In einer zweiten Erprobung war die praktische Arbeit wieder wie im Konzept des Lernangebots vorgesehen möglich. In der abschließenden Evaluation zeigten sich dann sehr deutliche Lernerfolge der Studierenden und es konnte festgestellt werden, dass im Rahmen des optimierten Lernangebots eine ganzheitliche Förderung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen erreicht werden konnte.

Das entwickelte Lernangebot kann also auf Basis der im Rahmen der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse als zielführende Maßnahme bewertet werden, um die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen im Rahmen der fachbezogenen, ingenieurwissenschaftlichen Hochschulbildung zu fördern. Für eine angemessene Einordnung erfolgt dennoch eine abschließende, kritische Beurteilung der Ergebnisse und der im Rahmen der vorliegenden Arbeit umgesetzten Vorgehensweise.

Als wesentlicher Aspekt müssen zunächst die Übertragbarkeit und die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse kritisch hinterfragt und eingegrenzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit konnten zwar Aussagen über die Wirkungen des konzipierten und praktisch umgesetzten Lernangebots gemacht

werden, es konnte aber nicht differenziert werden, welche konkreten Parameter des gesamten Settings in welchem Umfang Einfluss auf die Kompetenzentwicklung der Studierenden nehmen. Für einige Elemente, wie beispielsweise die kognitive Aktivierung durch die ergänzte Lerneinheit, sind begründete Vermutungen möglich, aber es kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Maßnahmen denselben Effekt hervorrufen könnten. Zudem sind Lern- und Lehrsettings immer durch eine unüberschaubare Vielzahl unterschiedlichster Einflussgrößen bestimmt, die weder vollständig erfasst noch umfassend beeinflusst oder gesteuert werden können. Die ‚Wirksamkeit‘ des Konzepts, der Lernerfolg der Studierenden und ihre individuelle Kompetenzentwicklung werden nicht allein durch die gestaltbaren Elemente der didaktischen und methodischen Konzeption bestimmt, sondern beispielsweise auch durch gruppenspezifische Prozesse, das Auftreten und Verhalten der Lehrenden, die Beziehung zwischen Lehrenden und Studierenden, die Motivation der Studierenden und der Lehrenden, das Selbstkonzept der Studierenden und ihre Selbstwirksamkeitserwartung. Die Aufzählung dieser Parameter, die bei der Gestaltung eines Lernangebots nicht oder kaum zielgerichtet beeinflusst werden können, kann weit fortgesetzt werden. Dies macht deutlich, dass eine Übertragung des entwickelten Konzepts nicht unmittelbar auch zu den gleichen Ergebnissen führen kann und wird.

Vergleichbare Einschränkungen gelten hinsichtlich der Allgemeingültigkeit des entwickelten Konzepts und der erzielten Ergebnisse. Neben den genannten nicht zu steuernden Einflussgrößen ist hier auch die exemplarische Auswahl der Zielgruppe des Lernangebots zu hinterfragen. Im Rahmen der Arbeit wird für die Verknüpfung der fachlichen Domäne mit dem Querschnittsthema Nachhaltigkeit und daraus folgend zur Legitimation der Inhalte und Lernziele Bezug auf den Bereich des Maschinenbaus genommen. Hierbei stellt sich die Frage, ob dieses Fach wirklich exemplarisch für ingenieurwissenschaftliche Studiengänge stehen kann. Zusätzlich erfolgte für die konkrete Ausgestaltung des Lernangebots, die Erprobung und die Evaluation eine Beschränkung auf drei ingenieurwissenschaftliche Studiengänge, die an der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund angeboten werden. Diese starke Eingrenzung ist für eine praktische Umsetzung zwingend erforderlich. Gleichzeitig führt die dadurch zwangsläufig gegebene geringe Heterogenität und Varianz aber dazu, dass keine Allgemeingültigkeit des Settings, der Wirkmechanismen und der Ergebnisse bestehen kann.

Auch die im Rahmen dieser Arbeit umgesetzte Vorgehensweise und Methodik ist kritisch zu reflektieren. So ist festzuhalten, dass im Rahmen der Anforderungsanalyse zwar die Perspektiven der Hochschulen, der Studierenden und der Unternehmen, nicht aber der Lehrenden berücksichtigt wurde, obwohl diese unmittelbar Teil einer hochschulischen Bildung für nachhaltige Entwicklung sind. Diese Perspektive wurde vernachlässigt, da bisher keine strukturierten und auswertbaren Informationen dazu vorliegen. Aufgrund der fehlenden curricularen Verankerung des Themas Nachhaltigkeit fehlen auch Diskussionen zu den Positionen der Lehrenden. Es finden sich lediglich Hinweise, dass individuelle Engagements von Lehrenden aus Eigeninteresse oft die Ausgangspunkte für Bildungs- und Lernangebote zum Thema Nachhaltigkeit an Hochschulen sind. Zusammenfassend wie ‚Scientists for Future‘ sind zwar präsent, aber stark auf die wissenschaftliche Perspektive ausgerichtet und nicht auf die Lehre. In Bezug auf schulische Lehrkräfte im allgemein- und berufsbildenden Bereich gibt es erste Untersuchungen zu Kompetenzbedarfen und Aus- und Weiterbildungskonzepten (vgl. z.B. Schütt-Sayed, 2020). Hier liegt eine Überprüfung der Übertragbarkeit

auf den Bereich der Hochschullehre nahe, um die Anforderungsanalyse zukünftig durch die Perspektive der Lehrenden vervollständigen zu können.

Eine weitere kritische Betrachtung muss sich auf die Erhebung der Kompetenzniveaus der Studierenden richten. In den Evaluationen wurde der Ansatz von Raupach et al. (2011) übertragen und eine Selbsteinschätzung durch die Studierenden vor und nach der Teilnahme am Lernangebot genutzt. Dieser Ansatz bezieht sich nicht auf die absolute Aussagekraft der einzelnen Einschätzung, sondern auf die Differenz zwischen den Einschätzungen einer Person. Dennoch ergeben sich aus diesem Vorgehen einige Schwierigkeiten. Beispielsweise fällt auf, dass die Studierenden ihre Kompetenzen in den Pretests in allen Bereichen bereits relativ hoch einschätzten und teilweise geringere Einschätzungen im Posttest vornehmen. Dies würde im engeren Verständnis für eine Abnahme der Kompetenzen stehen. Dunning et al. (2003) erklären diesen Effekt aber damit, dass Studierende ihre Fähigkeiten tendenziell vor einer Intervention als zu hoch einschätzen. Durch die Teilnahme an der Intervention erfolgt dann häufig eine Realitätsprüfung und dadurch eine Relativierung dieser Selbsteinschätzung. Dies kann dann dazu führen, dass im Posttest eine niedrigere Einschätzung als im Pretest erfolgt. Raupach et al. (2011) schlagen mit Blick auf diesen Effekt eine dritte Selbsteinschätzung der Studierenden vor, die zwischen Pre- und Posttest stattfindet. Hierbei sollen die Studierenden aufgefordert werden, ihr Kompetenzniveau vor der Intervention nochmals retrospektiv einzuschätzen. So kann die Relativierung der Selbsteinschätzung anhand der Realitätsprüfung abgebildet und berücksichtigt werden. Eine solche Erweiterung der Erhebungsmethodik hätte auch die Qualität der Daten im Rahmen dieser Arbeit verbessern und die Validität der Ergebnisse steigern können.

Aufgrund des hohen Aufwandes in der Betreuung des Lernangebots und durch den erheblichen Ressourceneinsatz, der sich durch die praktische Herstellung der Modelle und Prototypen ergibt, wurde die Teilnehmendenzahl für das Lernangebot begrenzt. Zum einen schränken diese Faktoren ebenfalls die Übertragbarkeit des Konzepts ein, zum anderen führen sie aber auch zu vergleichsweise kleinen Stichproben bei der empirischen Evaluation. Diese relativiert ebenfalls die Aussagekraft der Ergebnisse, die aber im Rahmen der inferenzstatistischen Analysen entsprechend belegt und gesichert werden konnte.

Trotz der angeführten Einschränkungen und Grenzen der Gültigkeit und Übertragbarkeit kann auf Grundlage der Evaluationsergebnisse eindeutig eine sehr positive Bilanz gezogen werden. Die im Rahmen der Anforderungsanalyse aufgestellten Zieldimensionen konnten validiert werden, es konnte festgestellt werden, dass das projektbasierte Service-Learning im Format der Ingenieure ohne Grenzen Challenge einen positiven Einfluss auf die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen hat und das optimierte Lernangebot zu einer sehr deutlichen und ganzheitlichen Förderung dieser Kompetenzen führt. Insbesondere über die handlungspraktischen ‚hands on‘-Elemente des entwickelten Lernangebots ist eine Verknüpfung von ingenieurwissenschaftlicher Fachlichkeit mit dem Querschnittsthema Nachhaltigkeit gelungen und für die Studierenden deutlich geworden. Die Evaluationsergebnisse, die durchweg positiven Rückmeldungen der Studierenden nach der Teilnahme und die hohen Anmeldezahlen für das Lernangebot zeigen, dass das Konzept großes Potenzial bietet, um eine ingenieurwissenschaftliche Bildung für nachhaltige Entwicklung dauerhaft zu etablieren.

Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten somit unterschiedlichste Ansätze für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Diese umfassen zum einen die bereits angeführten möglichen

Erweiterungen und Detaillierungen des angewendeten Untersuchungsdesigns, zum anderen aber auch eine weitere Auswertung der bereits vorliegenden Daten. Es wurde beispielsweise nicht untersucht, ob die Teilnahme an der Ingenieure ohne Grenzen Challenge normative Prinzipien und Leitbilder prägt und im entwickelten Lernangebot beispielsweise einen Einfluss darauf hat, welche Bedeutung die Studierenden dem Thema Nachhaltigkeit privat und beruflich zuordnen. Diese Einschätzungen der Studierenden wurden auch in den durchgeführten Posttests erhoben, im Rahmen dieser Arbeit erfolgte aber noch keine Auswertung und Interpretation. Ebenfalls nicht ausgewertet wurden die Informationen über den Studienfortschritt der teilnehmenden Studierenden. Hier wären weitergehende Untersuchungen dazu interessant, ob sich Zusammenhänge bei den Ergebnissen und Lernerfolgen identifizieren lassen, wie z.B. Cook et al. (2017) sie insbesondere für Studierende in der Studieneingangsphase vermuten.

Darüber hinaus haben sich während der Bearbeitung des Themas weitere Schnittstellen zu interessanten und relevanten Fragestellungen gezeigt, die auf den Ergebnissen dieser Arbeit aufbauen können. Hier ist zum einen der unerwartet hohe Einfluss der fehlenden Praxisanteile in der ersten Evaluation des optimierten Lernangebots zu nennen. Es gilt diesen Effekt weiter zu untersuchen, um eindeutigere Aussagen über die Wirkung auf die Kompetenzentwicklung zu ermöglichen. Eine weitere mögliche Fragestellung richtet sich auf die Zusammensetzung der Teams, in denen die Studierenden die Problemstellungen der Ingenieure ohne Grenzen Challenge bearbeiten. Aktuell sind diese zwar im Studienfortschritt durchaus heterogen aufgestellt, fachlich jedoch durch die begrenzte Zahl der beteiligten Studiengänge eher homogen. Braßler und Schultze (2021) untersuchten beispielsweise in einem projektbasierten Kurs zum Thema Nachhaltigkeit, welche Vor- und Nachteile mono- und interdisziplinäre Studierendenteams für die Entwicklung innovativer Ideen haben. Ähnliche Forschungsfragen können auch im Rahmen des entwickelten Lernangebots untersucht werden, wenn es beispielsweise im Rahmen des interdisziplinären Studienangebots ‚Studium Fundamentale‘ oder auch in dem in Kapitel 6.2 dargestellten ‚studium oecologicum‘ der Technischen Universität Dortmund für weitere Studiengänge geöffnet wird.

Ein weiterer Aspekt, der Potenzial für anschließende Forschungsarbeiten zeigt, ist der mögliche Bezug zur expliziten Förderung von Studentinnen. Im Wintersemester 2020/21 waren an der Fakultät Maschinenbau insgesamt 2.769 Studierende in den Bachelorstudiengängen und 1.018 Studierende in den Masterstudiengängen der Fächer Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Logistik eingeschrieben (Technische Universität Dortmund, 2021f, S. 27–28). Der Anteil der Studentinnen lag bei etwa 18,3% in den Bachelorstudiengängen und etwa 19,1% in den Masterstudiengängen. Im gleichen Semester meldeten sich 83 Studierende für das entwickelte Lernangebot an, von den 35 (42,2%) weiblich waren. Es nahmen dann 36 Studierende an der Evaluation teil, von denen sich 16 (44,4 %) dem weiblichen Geschlecht zuordneten. Im Wintersemester 2021/22 meldeten sich 91 Studierende für das Lernangebot an, davon 36 (39,6%) weiblich. Es nahmen 34 Studierende an der Evaluation teil und es ordneten sich dabei 12 (35,3%) dem weiblichen Geschlecht zu. Es fällt deutlich auf, dass der Anteil an Studentinnen, die sich für das Lernangebot anmelden und daran teilnehmen, etwa doppelt so groß ist, wie ihr Anteil in den Studiengängen. Verschiedene Studien zu geschlechtsspezifischen Unterschieden in ingenieurwissenschaftlichen Feldern deuten darauf hin, dass sich weibliche Studierende eher mit kontextualisierten, menschenzentrierten und kommunikativen Handlungs- und Themenfeldern identifizieren und Fächer mit ‚sozialem Sinn‘ präferieren (vgl. z.B. acatech, 2011; Eschenbach et al., 2005; Stout et al., 2016; Tonso, 1999). Diese Merkmale erfüllt das

entwickelte Lernangebot und kann somit erhebliche Potenziale für die Förderung von Studentinnen eröffnen, die aber im Rahmen weiterer Untersuchungen noch zu konkretisieren sind.

Abschließend ist festzuhalten, dass die formulierte Zielsetzung der Arbeit erreicht wurde. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass mit dem entwickelten Lernangebot auf Grundlage der Ingenieure ohne Grenzen Challenge eine umfassende Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der teilnehmenden Studierenden erreicht werden konnte. Die vorliegende Arbeit liefert somit einen Beitrag zur wissenschaftlichen und hochschulpolitischen Diskussion einer ingenieurwissenschaftlichen Bildung für nachhaltige Entwicklung. Sie zeigt zudem, dass Studierende dem Thema Nachhaltigkeit sowohl privat aber auch für ihre berufliche Zukunft eine hohe Bedeutung zumessen und sich eine stärkere Einbindung des Themas Nachhaltigkeit in den Studiengängen wünschen. Eine Berücksichtigung in der fachbezogenen Lehre und eine explizite curriculare Einbindung wären wichtige Signale für eine zukunftsorientierte und verantwortungsvolle Ausbildung zukünftiger Ingenieur\*innen.

---

## Literatur

- Aachener Stiftung Kathy Beys (Hrsg.). (2015). *Lexikon der Nachhaltigkeit: Die Standardreferenz der Jahre 2002-2015 zur nachhaltigen Entwicklung*. <https://www.nachhaltigkeit.info/>
- acatech. (2011). *Monitoring von Motivationskonzepten für den Techniknachwuchs: (MoMoTech)*. Springer Berlin Heidelberg.
- Albert, M., Hurrelmann, K. & Quenzel, G. (2019). 18. *Shell Jugendstudie - Jugend 2019: Eine Generation meldet sich zu Wort*. Zusammenfassung. Hamburg.
- Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen (Hrsg.). (2011). *Deutscher Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen*.
- Arnold, R. & Schüssler, I. (2001). Komplexität und Kompetenz: Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung. In G. Franke (Hrsg.), *Entwicklung des Kompetenzbegriffs und seine Bedeutung für die Berufsbildung und für die Berufsbildungsforschung* (S. 52–74). Bertelsmann.
- Aufenanger, V. (2011). Ansatzpunkte in Studium und Lehre. In Deutsche Unesco-Kommission (Hrsg.), *Bildung, Wissenschaft, Kultur, Kommunikation. Hochschulen für eine nachhaltige Entwicklung: Nachhaltigkeit in Forschung, Lehre und Betrieb* (S. 24–27). Deutsche UNESCO-Kommission.
- Azapagic, A., Perdan, S. & Shallcross, D. (2005). How much do engineering students know about sustainable development? The findings of an international survey and possible implications for the engineering curriculum. *European Journal of Engineering Education*, 30(1), 1–19.
- Baier, A. (2019). *Education for Sustainable Development within the Engineering Sciences Design of Learning Outcomes and a Subsequent Course Evaluation* [Dissertation]. Technische Universität Berlin, Berlin.
- Barr, R. B. & Tagg, J. (1995). From Teaching to Learning: A New Paradigm for Undergraduate Education. *Change Magazine*, 27(6), 12–25.
- Barth, M., Godemann, J., Rieckmann, M. & Stoltenberg, U. (2007). Developing key competencies for sustainable development in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 8(4), 416–430.
- Beckmann, M. & Schaltegger, S. (2014). Unternehmerische Nachhaltigkeit. In H. Heinrichs & G. Michelsen (Hrsg.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (S. 321–368). Springer Spektrum.
- Bergmann, G. & Daub, J. (2008). *Systemisches Innovations- und Kompetenzmanagement: Grundlagen - Prozesse - Perspektiven*. Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Biggs, J. B. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347–364.
- Biggs, J. B. & Tang, C. S. (2011). *Teaching for quality learning at university: What the student does* (4th ed.). McGraw-Hill/Society for Research into Higher Education/Open University Press.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Holl, W. H. & Krathwohl, D. R. (1974). *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. Beltz.
- Boyle, C. (2004). Considerations on educating engineers in sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 5(2), 147–155.
- Brand, K.-W. & Jochum, G. (2000). *Der deutsche Diskurs zu nachhaltiger Entwicklung: Abschlussbericht eines DFG-Projekts zum Thema Sustainable Development/Nachhaltige Entwicklung – Zur*



- sozialen Konstruktion globaler Handlungskonzepte im Umweltdiskurs (MPS-Text Nr. 1). Münchner Projektgruppe für Sozialforschung e.V.
- Braßler, M. (2018). Hochschulbildung für eine nachhaltige Entwicklung: Wie kann man Nachhaltigkeit wirksam lehren und lernen? In C. T. Schmitt & E. Bamberg (Hrsg.), *Psychologie und Nachhaltigkeit* (S. 81–90). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Braßler, M. & Schultze, M. (2021). Students' Innovation in Education for Sustainable Development: A Longitudinal Study on Interdisciplinary vs. Monodisciplinary Learning. *Sustainability*, 13(3), Artikel 1322.
- Brown, A. L. (1992). Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141–178.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl.). Psychologie. Pearson Studium.
- Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.). (2019). *Ingenieurinnen und Ingenieure: Blickpunkt Arbeitsmarkt*. Nürnberg.
- Bundesamt für Justiz. (2019). *Hochschulrahmengesetz: HRG*.
- Bundeskanzleramt. (2020). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Weiterentwicklung 2021*. Dialogfassung.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.). (2004). *UNI 21: Hochschulbildung für eine nachhaltige Entwicklung*. Berlin.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.). (2017). 13. *Studierendensurvey an Universitäten und Fachhochschulen: Studiensituation und studentische Orientierungen*. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (1992). *Agenda 21: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung*. Deutsche Übersetzung. Köllen Druck.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.). (2018). *Zukunft? Jugend fragen! Nachhaltigkeit, Politik, Engagement - eine Studie zu Einstellungen und Alltag junger Menschen*. Berlin.
- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Hrsg.). (2007). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung*. Bonn.
- Burr, H. (2008). *Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau* [Dissertation]. Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Burschel, C. (2003). Nachhaltiges Designmanagement. In G. Linne & M. Schwarz (Hrsg.), *Handbuch Nachhaltige Entwicklung: Wie ist nachhaltiges Wirtschaften machbar?* (S. 287–298). Springer Fachmedien.
- Buys, L., Miller, E. & Buckley, M. (2013). The “Engineers without Borders” Challenge: Does it engage Australian and New Zealand students with sustainability? In C. Shoniregun (Vorsitz), *Ireland International Conference (IICE-2013)*, Ireland.
- Calmbach, M., Flaig, B., Edwards, J., Möller-Slawinski, H., Borchard, I. & Schleer, C. (2020). *Wie ticken Jugendliche? 2020: Lebenswelten von Jugendlichen im Alter von 14 bis 17 Jahren in Deutschland*. Sinus-Jugendstudie 2020. Bonn. Bundeszentrale für politische -Bildung.
- Carew, A. L. & Mitchell, C. A. (2002). Characterizing undergraduate engineering students' understanding of sustainability. *European Journal of Engineering Education*, 27(4), 349–361.

- Carlowitz, H. C. von. (1713). *Sylvicultura oeconomica: Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht*.
- Carroll, A. B. (1979). A Three-Dimensional Conceptual Model of Corporate Performance. *The Academy of Management Review*, 4(4), 497–505.
- Conference of European Ministers Responsible for Higher Education. (2005). *The European Higher Education Area: Achieving the Goals*. Bergen.
- Cook, A., Hemmati, M. & Siller, T. J. (2017). The EWB Challenge: Preparing engineers to work globally through international development design projects. In *First-Year Engineering Experience (FYEE) Conference*, Daytona Beach, Florida.
- CRE-Copernicus (Hrsg.). (1994). *COPERNICUS: Die Hochschul-Charta für nachhaltige Entwicklung*.
- Crofton, F. S. (2000). Educating for sustainability: Opportunities in undergraduate engineering. *Journal of Cleaner Production*, 8(5), 397–405.
- Crosthwaite, C., Jolly, L., Brodie, L., Kavanagh, L. & Buys, L. (2012). Making principled decisions about curriculum development: Outcomes of a Realist evaluation across 13 universities. In *SEFI 40th annual conference: 23-26 September 2012, Thessaloniki, Greece*. SEFI.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft. (2004). *Thesen und Empfehlungen zur universitären Ingenieurausbildung*. Diskussionspapier für das Präsidium der DFG, erarbeitet unter der Federführung von Vizepräsident Eigenberger.
- Deutsche Unesco-Kommission. *UN-Dekade "Bildung für nachhaltige Entwicklung" 2005-2014: Nationaler Aktionsplan für Deutschland (Nachhaltigkeit lernen)*. Bonn.
- Deutsche Unesco-Kommission (Hrsg.). (2003). *Nachhaltigkeit lernen: Hamburger Erklärung der Deutschen UNESCO-Kommission zur Dekade der Vereinten Nationen "Bildung für nachhaltige Entwicklung" (2005-2014)*. Hamburg.
- Deutsche Unesco-Kommission (Hrsg.). (2014). *Vom Projekt zur Struktur: Strategiepapier der Arbeitsgruppe „Berufliche Aus- und Weiterbildung“ des Runden Tisches der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“*. Bonn.
- Deutscher Bundestag. (1994, 27. September). *Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen: KrW-/AbfG*.
- Deutscher Bundestag. (1998). *Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung: Abschlussbericht der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung" des 13. Deutschen Bundestages. Zur Sache: 98/4. Referat Öffentlichkeitsarbeit*.
- Deutsches Institut für Normung (2009a). *Projektmanagement - Projektmanagementsysteme: Teil 1: Grundlagen (ISO 69901)*. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (November 2009b). *Leitfaden gesellschaftlicher Verantwortung (DIN ISO 26000)*. Berlin. Beuth Verlag.
- Deutsches Institut für Normung (2016). *Guidance on project management (DIN ISO 21500)*. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (2018-08). *Umweltmanagementsysteme: Leitlinien zur Berücksichtigung umweltverträglicher Produktgestaltung (DIN EN ISO 14006)*. Berlin. Beuth Verlag.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg.

- Dreyfus, H. L. & Dreyfus, S. E. (1987). *Künstliche Intelligenz: Von den Grenzen der Denkmachine und dem Wert der Intuition* (Bd. 8144). Rowohlt.
- Duden. (2015). *Duden: Deutsches Universalwörterbuch - das umfassende Bedeutungswörterbuch der deutschen Gegenwartssprache* (8. Auflage). Duden.
- Dunning, D., Johnson, K., Ehrlinger, J. & Kruger, J. (2003). Why People Fail to Recognize Their Own Incompetence. *Current Directions in Psychological Science*, 12(3), 83–87.
- Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. (2013). *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (1. Aufl.). Carl Hanser Fachbuchverlag.
- Elsholz, U. (2002). Kompetenzentwicklung zur reflexiven Handlungsfähigkeit. In P. Dehnbostel (Hrsg.), *Vernetzte Kompetenzentwicklung: Alternative Positionen zur Weiterbildung* (S. 31–43). Ed. Sigma.
- Engagement Global (Hrsg.). (2020). *Ziele für nachhaltige Entwicklung*. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. <https://17ziele.de/> (Zugriff am: 10.02.2021)
- Engineering Education in Sustainable Development (Hrsg.). (2004). *Declaration of Barcelona*. Barcelona.
- Erpenbeck, J. (2007). KODE - Kompetenz-Diagnostik und -Entwicklung. In J. Erpenbeck & L. von Rosenstiel (Hrsg.), *Handbuch Kompetenzmessung: Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis* (S. 489–503). Schäffer-Poeschel.
- Erpenbeck, J. & Heyse, V. (2007). *Die Kompetenzbiographie: Wege der Kompetenzentwicklung*. Waxmann.
- Eschenbach, E. A., Cashman, E. M., Waller, A. A. & Lord, S. M. (2005). Incorporating feminist pedagogy into the engineering learning experience. In *Proceedings Frontiers in Education 35th Annual Conference (F4H-8)*. IEEE.
- Euler, D. (2014). Design-Research: A paradigm under development. In D. Euler & P. F. E. Sloane (Hrsg.), *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik Beiheft: Bd. 27. Design-based research* (S. 14–44). Franz Steiner Verlag.
- Euler, D. & Sloane, P. F. E. (Hrsg.). (2014). *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik Beiheft: Bd. 27. Design-based research*. Franz Steiner Verlag.
- Feldhusen, J., Grote, K.-H., Pahl, G. & Beitz, W. (2013). *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. Springer Vieweg.
- Flament, S. & Kövesi, K. (2020). What do our students know about the future challenges of sustainability? Engineering students sustainable development awareness in France. In *SEFI 2020 Annual Conference*.
- Frank, A., Meyer-Guckel, V. & Schneider, C. (2007). *Innovationsfaktor Kooperation: Bericht des Stifterverbandes zur Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Hochschulen* (Edition Stifterverband). Berlin.
- Fraune, C. (2012). *Stakeholder von Universitäten: Eine gegenwarts- und zukunftsorientierte Anforderungsanalyse* (KORFU-Arbeitspapier Nr. 4). Siegen - Saarbrücken.
- Freier Zusammenschluss von Student\*innenschaften (Hrsg.). (2018). *Bildung für eine Nachhaltige Entwicklung verankern und leben*. <https://www.fzs.de/2018/09/12/bildung-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung-verankern-und-leben-2/> (Zugriff am 05.01.2022)

- Gerholz, K.-H., Liszt, V. & Klingsieck, K. B. (2015). Didaktische Gestaltung von Service Learning: Ergebnisse einer Mixed Methods-Studie aus der Domäne der Wirtschaftswissenschaften. *Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (bwp@)*(28).
- Gess, C., Rueß, J. & Deicke, W. (2014). Design-based Research als Ansatz zur Verbesserung der Lehre an Hochschulen: Einführung und Praxisbeispiel. *Qualität in der Wissenschaft*(1), 10–16.
- UN Global Compact. (2020). *Global Contact - Netzwerk Deutschland*. <https://www.globalcompact.de/>
- Global University Leaders Council (Hrsg.). (2021). *Facing the Grand Challenges of Climate Change and Sustainability: The Hamburg Declaration*. Hamburg.
- Gronau, N. (2013). Nachhaltigkeit: Modebegriff oder Zukunftsstrategie? *Productivity Management*, 18(4), 3.
- Grote, K.-H., Engelmann, F., Beitz, W., Syrbe, M., Beyerer, J. & Spur, G. (2014). *Das Ingenieurwissen: Entwicklung, Konstruktion und Produktion*. Ingenieurwissen. Springer Vieweg.
- Grund, J. & Brock, A. (2018). *Bildung für nachhaltige Entwicklung in Lehr-Lernsettings: Quantitative Studie des nationalen Monitorings - Befragung junger Menschen*. Executive summary. Berlin. Institut Futur.
- Grundmann, D. (2017). *Bildung für nachhaltige Entwicklung in Schulen verankern: Handlungsfelder, Strategien und Rahmenbedingungen der Schulentwicklung*. Research. Springer VS.
- Grunwald, A. & Kopfmüller, J. (2012). *Nachhaltigkeit*. Campus-Studium. Campus Verlag.
- Haan, G. de. (2008). Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In I. Bormann & G. de Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (S. 23–43). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Haan, G. de. (2009). *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung: Hintergründe, Legitimation und (neue) Kompetenzen*. Berlin.
- Haan, G. de. (2011). Vorwort. In Deutsche Unesco-Kommission (Hrsg.), *Bildung, Wissenschaft, Kultur, Kommunikation. Hochschulen für eine nachhaltige Entwicklung: Nachhaltigkeit in Forschung, Lehre und Betrieb* (S. 3). Deutsche UNESCO-Kommission.
- Haan, G. de, Kamp, G., Lerch, A., Martignon, L., Müller-Christ, G. & Nutzinger, H.-G. (2008). *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit: Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen* (Bd. 33). Springer Berlin Heidelberg.
- Haertel, T., Frye, S., Schwuchow, B. & Terkowsky, C. (2017). CreatING: Makerspace im ingenieurwissenschaftlichen Studium. *Synergie - Fachmagazin für Digitalisierung der Lehre*(4), 20–23.
- Haertel, T. & Terkowsky, C. (2021). Online Creativity in Engineering Education: A Flipped Creativity Approach for the Engineers Without Border Challenge. In M. E. Auer & D. May (Hrsg.), *Advances in Intelligent Systems and Computing Ser: v.1231, Cross Reality and Data Science in Engineering: Proceedings of the 17th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation* (S. 528–535). Springer International Publishing AG.
- Hanning, A. & Priem Abellsson, A. (2010). *The Swedish industrys needs of competences in sustainable development: A comparative analysis to the engineering education at Chalmers University of Technology* [Masterthesis]. CHALMERS University of Technology, Gothenburg, Sweden.

- Hanning, A., Priem Abellsson, A., Ludqvist, U. & Svanström, M. (2012). Are we educating engineers for sustainability? Comparison between obtained competences and industry's needs. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(3), 305–320.
- Hauff, M. von. (2014). *Nachhaltige Entwicklung: Grundlagen und Umsetzung*. De Gruyter Oldenbourg.
- Hemmati, M., Cook, A. & Siller, T. J. (2017). Project-Based Service Learning for First-Year Engineering Students in Partnership with the Graduate Teaching Fellows. In *First-Year Engineering Experience (FYEE) Conference*, Daytona Beach, Florida.
- Herzog, S. (2021). Fridays for Future - was kann das Bildungssystem von der Bewegung lernen? Erkenntnisse aus Leitfadeninterviews mit Jugendlichen. *BWP - Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis*(3), 38–41.
- Hochschulrektorenkonferenz. (2018). *Für eine Kultur der Nachhaltigkeit: Empfehlung der 25. Mitgliederversammlung der HRK am 06. November 2018 in Lüneburg*.
- Hochschulrektorenkonferenz (Hrsg.). (2021). *Umweltschutz und Nachhaltigkeit: künftige Themen für alle Hochschulcurricula: Pressemitteilung*. <https://www.hrk.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/meldung/umweltschutz-und-nachhaltigkeit-kuenftige-themen-fuer-alle-hochschulcurricula-4826/> (Abruf: 27.10.2021)
- Hochschulrektorenkonferenz & Deutsche Unesco-Kommission (Hrsg.). (2010). *Hochschulen für nachhaltige Entwicklung: Erklärung der Hochschulrektorenkonferenz (HRK) und der Deutschen UNESCO-Kommission (DUK) zur Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung*. Ein Beitrag zur UN-Dekade "Bildung für nachhaltige Entwicklung".
- Holfelder, A.-K. (2018). *Orientierungen von Jugendlichen zu Nachhaltigkeitsthemen*. Springer Fachmedien.
- Holst, J. & Seggern, J. von. (2020). *Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) an Hochschulen: Strukturelle Verankerung in Gesetzen, Zielvereinbarungen und Dokumenten der Selbstverwaltung*. Kurzbericht zu Beginn des UNESCO BNE-Programms „ESD for 2030“.
- Hutter, C.-P., Blessing, K. & Köthe, R. (2018). *Grundkurs Nachhaltigkeit: Handbuch für Einsteiger und Fortgeschrittene*. oekom verlag.
- INGENIEUR.de. (2011). *Ingenieurausbildung wird zukünftig gesellschaftspolitische Aspekte berücksichtigen*. <https://www.ingenieur.de/karriere/bildung/studium/ingenieurausbildung-kuenftig-gesellschaftspolitische-aspekte-beruecksichtigen/> (Abruf: 16.08.2020)
- InnoSÜD (Hrsg.). (2020). *Fridays for Future: Eine Bestandsaufnahme zu Ansichten und Meinungen in Zeiten der Corona-Pandemie unter Fridays for Future-Aktiven*. <https://innosued.de/fridays-for-future-studie-bundesweit/> (Zugriff: 06.01.2021)
- Institut für angewandte Arbeitswissenschaften (Hrsg.). (2020). *Nachhaltigkeit - Die Zukunft erfolgreich gestalten: Bedeutung, Notwendigkeit, Situation und Umsetzung*.
- Jahn, D. (2014). Durch das praktische Gestalten von didaktischen Designs nützliche Erkenntnisse gewinnen: Eine Einführung in die Gestaltungsforschung. *W & E*, 66(1), 3–15.
- Jahnke, I., Terkowsky, C., Burkhardt, C., Dirksen, U., Heiner, M., Wildt, J. & Tekkaya, A. E. (2009). Experimentierendes Lernen entwerfen: E-Learning mit Design-Based Research. In N. Apostolopoulos (Hrsg.), *Medien in der Wissenschaft: Bd. 51. E-Learning 2009: Lernen im digitalen Zeitalter* (S. 279–290). Waxmann.

- Jolly, L., Crosthwaite, C., Brodie, L., Kavanagh, L. & Buys, L. (2011). The impact of curriculum content in fostering inclusive engineering: Data from a national evaluation of the use of EWB projects in first year engineering. In *Proceedings of the 2011 AAEE Conference*. Symposium im Rahmen der Tagung von Australasian Association for Engineering Education (AAEE), Fremantle, Western Australia.
- Jüdes, U. (1997). Nachhaltige Sprachverwirrung: Auf der Suche nach einer Theorie des Sustainable Development. *Politische Ökologie*(52), 26–29.
- Kagawa, F. (2007). Dissonance in students' perceptions of sustainable development and sustainability: Implications for curriculum change. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 8(3), 317–338.
- Kastrup, J. (2013). Leitlinien für die didaktische Gestaltung der Berufsbildung für eine nachhaltige Entwicklung anhand von Beispielen aus der Ernährung und Hauswirtschaft. *Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (bwp@)*, Spezial 6 – Hochschultage Berufliche Bildung 2013.
- Kauffeld, S. (2006). *Kompetenzen messen, bewerten, entwickeln: Ein prozessanalytischer Ansatz für Gruppen*. Schäffer-Poeschel Verlag.
- Kauffeld, S., Grote, S. & Frieling, E. (2007). Das Kasseler-Kompetenz-Raster (KKR). In J. Erpenbeck & L. von Rosenstiel (Hrsg.), *Handbuch Kompetenzmessung: Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis* (S. 224–243). Schäffer-Poeschel.
- Kaufhold, M. (2006). *Kompetenz und Kompetenzerfassung: Analyse und Beurteilung von Verfahren der Kompetenzerfassung* [Dissertation]. Universität Erfurt, Erfurt.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., Reiss, K., Riquarts, K., Rost, J., Tenorth, H.-E. & Vollmer, H. J. (2007). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards: Expertise* (Bildungsforschung Band 1). Berlin.
- Knieß, M. (2006). *Kreativitätstechniken: Möglichkeiten und Übungen*. Beck im dtv: Bd. 50906. Deutscher Taschenbuch-Verl.; Beck.
- Kreutzer, D., Frye, S., Bitter-Krahe, J. & Isenhardt, I. (2020). Lehre mit Mehrwert: Die Ingenieure ohne Grenzen Challenge. In I. Isenhardt, M. Petermann, M. Schmohr, A. E. Tekkaya & U. Wilkesmann (Hrsg.), *Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften: Innovativ - digital - international* (S. 219–232). wbv.
- Krips, D. (2017). *Stakeholdermanagement: Kurzanleitung Heft 5. DVP Projektmanagement*. Springer.
- Kron, F. W., Jürgens, E. & Standop, J. (2014). *Grundwissen Didaktik: Mit 36 Abbildungen und 17 Tabellen* (6. Aufl.). UTB Pädagogik: Bd.-Nr. 8073. Reinhardt.
- Künne, B. (2010). *Maschinenelemente kompakt: Band 1: Technisches Zeichnen* (2. Aufl.). Maschinenelemente-Verlag.
- Künne, B., Köhler, G. & Rögnitz, H. (2007). *Köhler/Rögnitz Maschinenteile 1: Mit Tabellen und Diagrammen sowie zahlreichen Beispielrechnungen* (10. Aufl.). B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Künzli David, C. (2007). *Zukunft mitgestalten: Bildung für eine nachhaltige Entwicklung - didaktisches Konzept und Umsetzung in der Grundschule. PRISMA - Beiträge zur Erziehungswissenschaft aus historischer, psychologischer und soziologischer Perspektive: Bd. 4. Haupt*.

- Kunzmann, J. & Schilcher, C. (2021). *Unternehmen im Wandel: Perspektiven von Beschäftigten auf mehr Nachhaltigkeit und Klimaschutz*. Gütersloh. Bertelsmann Stiftung.
- Kurt, H. & Wagner, B. (Hrsg.). (2002). *Dokumentation / Kulturpolitische Gesellschaft e.V.: Bd. 57. Kultur - Kunst - Nachhaltigkeit: Die Bedeutung von Kultur für das Leitbild nachhaltige Entwicklung*. Klartext Verlag.
- Lehner, M. (2019). *Didaktik (1. Aufl.)*. UTB Pädagogik: Bd. 5208. Haupt Verlag.
- Leicht, A., Heiss, J. & Byun, W. J. (Hrsg.). (2018). *Education on the move. Issues and trends in education for sustainable development*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Levin, K., Cashore, B., Bernstein, S. & Auld, G. (2012). Overcoming the tragedy of super wicked problems: Constraining our future selves to ameliorate global climate change. *Policy Sciences*, 45(2), 123–152.
- Lotter, B. & Wiendahl, H.-P. (2006). *Montage in der industriellen Produktion: Ein Handbuch für die Praxis*. VDI. Springer.
- May, D., Lensing, K. & Tekkaya, A. E. (2016). Internationalization as a topic in higher engineering education: A quantitative content analysis examining the engineering curricula curricula from ten German technical universities. In *2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (S. 136–141). IEEE.
- Meadows, D. (1982). *Die Grenzen des Wachstums: Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit* (H. D. Heck, Übers.). Rororo: Bd. 6825. Rowohlt.
- Meixner, J. & Müller, K. (2004). *Angewandter Konstruktivismus: Ein Handbuch für die Bildungsarbeit in Schule und Beruf. Berichte aus der Pädagogik*. Shaker.
- Mesicek, R. H. (2016). Verantwortung für Stakeholdereinbindung. In R. Altenburger & R. H. Mesicek (Hrsg.), *CSR und Stakeholdermanagement: Strategische Herausforderungen und Chancen der Stakeholdereinbindung* (S. 1–12). Springer Berlin Heidelberg.
- Michael, F. L., Sumilan, H., Bandar, N. F. A., Hamidi, H., Jonathan, V. & Nor, N. N. M. (2020). Sustainable Development Concept Awareness Among Students in Higher Education: A Preliminary Study. *Journal of Sustainability Science and Management*, 15(7), 113–122.
- Michelsen, G. & Adomßent, M. (2014). Nachhaltige Entwicklung: Hintergründe und Zusammenhänge. In H. Heinrichs & G. Michelsen (Hrsg.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (S. 3–59). Springer Spektrum.
- Michelsen, G., Grunenberg, H., Mader, C. & Barth, M. (2015). *Greenpeace Nachhaltigkeitsbarometer 2015: Nachhaltigkeit bewegt die jüngere Generation*. Ergebnisse der bundesweiten Repräsentativbefragung und einer qualitativen Explorativstudie, Mai-Juli 2015. *Greenpeace Nachhaltigkeitsbarometer: Bd. 2015*. VAS.
- Müller-Christ, G. (2011). Die AG Hochschule und Nachhaltigkeit: Eine Einrichtung des Runden Tisches zur Umsetzung der Dekade für Bildung für nachhaltige Entwicklung 2005-2014. In Deutsche Unesco-Kommission (Hrsg.), *Bildung, Wissenschaft, Kultur, Kommunikation. Hochschulen für eine nachhaltige Entwicklung: Nachhaltigkeit in Forschung, Lehre und Betrieb* (S. 8–9). Deutsche UNESCO-Kommission.

- Münchhausen, G. (2004). *Führung und Biografie: Ein Beitrag zur biografieorientierten Kompetenzentwicklung von Führungskräften in Organisationen* [Dissertation]. Universität Bielefeld, Bielefeld.
- Naefe, P. (2012). *Einführung in das Methodische Konstruieren: Für Studium und Praxis*. Springer Vieweg.
- Narciss, S. (2006). *Informatives tutorielles Feedback: Entwicklungs- und Evaluationsprinzipien auf der Basis instruktionspsychologischer Erkenntnisse. Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie: Bd. 56*. Waxmann.
- Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung. (2017). *Nationaler Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung: Der deutsche Beitrag zum UNESCO-Weltaktionsprogramm*. Berlin.
- Nicolaou, I. & Conlon, E. (2012). What do final year engineering students know about sustainable development? *European Journal of Engineering Education*, 37(3), 267–277.
- North, K. & Reinhardt, K. (2005). *Kompetenzmanagement in der Praxis: Mitarbeiterkompetenzen systematisch identifizieren, nutzen und entwickeln*. Gabler.
- OECD. (2005). *Definition und Auswahl von Schlüsselkompetenzen: Zusammenfassung*. Paris.
- Opitz, H. (1971). *Produktplanung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung: Rationalisierungsschwerpunkte bei der Produktentstehung. Girardet-Taschenbücher: Bd. 4*. Girardet.
- Papert, S. (1987). *Constructionism - A New Opportunity for Elementary Science Education: (Antrag an die National Science Foundation, NSF)*. Cambridge, USA. Massachusetts Institute of Technology.
- Pissarek, M. & Wild, J. (2019). Prä-/Post-/Follow-Up-Kontrollgruppendesign. In J. Boelmann (Hrsg.), *Empirische Forschung in der Deutschdidaktik / herausgegeben von Jan M. Boelmann: Band 1. Grundlagen* (S. 215–236). Schneider Verlag Hohengehren GmbH.
- Plomp, T. (2013). Educational Design Research: An Introduction. In T. Plomp & N. Nieveen (Hrsg.), *Educational Design Research: Part A: An introduction* (S. 10–51).
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E. & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular Economy: Measuring innovation in the product chain* (Nr. 2544). Den Haag. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2008). *Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie: Für ein nachhaltiges Deutschland*. Berlin.
- Pufé, I. (2017). *Nachhaltigkeit. utb: Bd. 8705*. UVK Verlagsgesellschaft mbH mit UVK/Lucius.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014a). *Quantitative Methoden 1*. Springer Berlin Heidelberg.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014b). *Quantitative Methoden 2*. Springer Berlin Heidelberg.
- Rauner, F. (2002). Berufliche Kompetenzentwicklung - vom Novizen zum Experten. In P. Dehnbostel (Hrsg.), *Vernetzte Kompetenzentwicklung: Alternative Positionen zur Weiterbildung* (S. 111–132). Ed. Sigma.
- Raupach, T., Münscher, C., Beissbarth, T., Burckhardt, G. & Pukrop, T. (2011). Towards outcome-based programme evaluation: Using student comparative self-assessments to determine teaching effectiveness. *Medical teacher*, 33(8), e446-53.



- Reuter, M. (2008). Produktentstehung. In K.-J. Conrad (Hrsg.), *Taschenbuch der Konstruktionstechnik* (2. Aufl., S. 497–557). Fachbuchverl. Leipzig im Hanser-Verl.
- Rieckmann, M. (2016). Kompetenzentwicklungsprozesse in der Bildung für nachhaltige Entwicklung erfassen: Überblick über ein heterogenes Forschungsfeld. In M. Barth & M. Rieckmann (Hrsg.), *Empirische Forschung zur Bildung für nachhaltige Entwicklung: Themen, Methoden und Trends* (S. 89–110). Verlag Barbara Budrich.
- Rowe, D. (2007). Sustainability: Education for a sustainable future. *Science*, 317(5836), 323–324.
- RWTH Aachen University. (2021). *Modulhandbuch für Allgemeiner Maschinenbau: (Master 1 Fach)*. Aachen.
- Rychen, D. S. (2008). OECD Referenzrahmen für Schlüsselkompetenzen – ein Überblick. In I. Bormann & G. de Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (S. 15–22). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Schaper, N. (2012). *Fachgutachten zur Kompetenzorientierung in Studium und Lehre: Projekt nexus - Übergänge gestalten, Studienerfolg verbessern*.
- Schaper, N., Schlömer, T. & Paechter, M. (2012). Editorial: Kompetenzen, Kompetenzorientierung und Employability in der Hochschule. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, 7(4), Artikel 1.
- Schmidt, C. (2009). *Nachhaltigkeit lernen? Der Diskurs um Bildung für nachhaltige Entwicklung aus der Sicht evolutionstheoretischer Anthropologie*. Schriftenreihe "Ökologie und Erziehungswissenschaft" der Kommission Bildung für eine nachhaltige Entwicklung der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft. Budrich.
- Schmitz, W. (3. Dezember 2021). Mut zur „Revolution“. *VDI nachrichten*, 75(48-49), S. 28–29.
- 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*, 7(1), 127–146.
- Schubarth, W. (2013). "Employability" an Hochschulen - vom Reizwort zum Leitziel? Konturen eines akademischen Employability-Konzeptes. *Das Hochschulwesen (HSW)*(5), 160–163.
- Schütt-Sayed, S. (2020). *Nachhaltigkeit im Unterricht berufsbildender Schulen.: Analyse, Modellierung und Evaluation eines Fort- und Weiterbildungskonzepts für Lehrkräfte*. Berufsbildung, Arbeit und Innovation. wbv Media.
- Segalàs, J. (2009a). *Educating Engineers for Sustainability: Why? What? How?*, S. 115–132.
- Segalàs, J. (2009b). *Engineering education for a sustainable future* [Dissertation]. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Shamsi, U. M., Kang, M., Campbell, M., Day, M. & Shamsi, A. (2013). Water Engineering Without Borders: Opportunities for Solving Water System Problems Throughout the World. *Journal of Water Management Modeling*, 437–451.
- Shephard, K. (2008). Higher education for sustainability: seeking affective learning outcomes. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 9(1), 87–98.
- Siller, T., Cook, A. & Johnson, G. (2016, 25. Juni). Creating International Experiences for First-Year Engineers Through the EWB Australia Challenge Project. In *2016 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*. ASEE Conferences.

- Singer-Brodowski, M. (2016). *Studierende als GestalterInnen einer Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung. Umweltkommunikation: Band 8.*
- Singer-Brodowski, M., Etzkorn, N. & Seggern, J. von (2019). One Transformation Path Does Not Fit All: Insights into the Diffusion Processes of Education for Sustainable Development in Different Educational Areas in Germany. *Sustainability*, 11, 1–17.
- Skolaut, W. (2018). *Maschinenbau: Ein Lehrbuch für das ganze Bachelor-Studium.* Springer Vieweg.
- Spencer, L. M., McClelland, D. C. & Spencer, S. M. (1994). *Competency Assessment Methods: History and State of the Art.* Hay/McBer Research Press.
- Stifterverband für die deutsche Wirtschaft (Hrsg.). (2018). *Future Skills: Welche Kompetenzen in Deutschland fehlen* (Diskussionspapier Nr. 1). Essen.
- Stifterverband für die deutsche Wirtschaft (Hrsg.). (2021). *Future Skills 2021: 21 Kompetenzen für eine Welt im Wandel* (Diskussionspapier Nr. 3). Essen.
- Stoltenberg, U. & Burandt, S. (2014). Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. In H. Heinrichs & G. Michelsen (Hrsg.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (S. 567–594). Springer Spektrum.
- Stout, J. G., Grunberg, V. A. & Ito, T. A. (2016). Gender Roles and Stereotypes about Science Careers Help Explain Women and Men’s Science Pursuits. *Sex Roles*, 75(9-10), 490–499.
- Svanström, M., Lozano-Garcia, F. J. & Rowe, D. (2008). Learning outcomes for sustainable development in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 9(3), 339–351.
- Technische Universität Braunschweig (Hrsg.). (2021). *Beschreibung des Studiengangs Maschinenbau (PO 2014) Master: Modulhandbuch.* Braunschweig.
- Technische Universität Dortmund. (o.J.). *Imagebroschüre der Fakultät Maschinenbau.*
- Technische Universität Dortmund. (2021a). *Handeln: Informieren und Mitmachen.* <https://nachhaltigkeit.tu-dortmund.de/handeln/projekte/durchgefuehrte-projekte/> (Abruf: 19.12.2021)
- Technische Universität Dortmund. (2021b). *Modulhandbuch Bachelor Maschinenbau.* Dortmund.
- Technische Universität Dortmund. (2021c). *Modulhandbuch Master Maschinenbau.* Dortmund.
- Technische Universität Dortmund. (2021d). *Nachhaltigkeitsstrategie der TU Dortmund.* Dortmund.
- Technische Universität Dortmund. (2021e). *studium oecologicum: Aufbau, Inhalt, Organisation.* Dortmund.
- Technische Universität Dortmund. (2021f). *Zahlen Daten Fakten.* Dortmund.
- Technische Universität Dresden. (2020). *Studienordnung für den Diplom-Aufbaustudiengang Maschinenbau.*
- Tonso, K. L. (1999). Engineering Gender - Gendering Engineering: A cultural Model for Belonging. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*, 5(4), 365–405.
- Tremmel, J. (2003). *Nachhaltigkeit als politische und analytische Kategorie: Der deutsche Diskurs um nachhaltige Entwicklung im Spiegel der Interessen der Akteure.* Hochschulschriften zur Nachhaltigkeit: Bd. 4. Ökom-Verl.
- UNESCO. (2009). *Bonner Erklärung: UNESCO-Weltkonferenz Bildung für nachhaltige Entwicklung.* Bonn.
- UNESCO (Hrsg.). (2010). *Engineering: Issues, challenges and opportunities for development.* Paris.
- UNESCO (Hrsg.). (2020). *Education for sustainable development: A roadmap.* Paris.

- UNESCO (Hrsg.). (2021a). *Berliner Erklärung zur Bildung für nachhaltige Entwicklung: UNESCO-Weltkonferenz Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Learn for our planet. Act for sustainability. Berlin.
- UNESCO (Hrsg.). (2021b). *Engineering for Sustainable Development: UNESCO Engineering Report*. Paris.
- University Leaders for a Sustainable Future. (1990). *Report and Declaration of the Presidents Conference: Talloires Declaration*.
- Vare, P. & Scott, W. (2007). Learning for a Change: Exploring the Relationship Between Education and Sustainable Development. *Journal of Education for Sustainable Development*, 1(2), 191–198.
- Verein Deutscher Ingenieure (1980). *Produktplanung: Ablauf, Begriffe und Organisation* (VDI-Richtlinie 2220). Berlin und Köln. Beuth Verlag.
- Verein Deutscher Ingenieure (1990). *Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen: Begriffe, Definitionen, Symbole* (VDI-Richtlinie 2860). Berlin. Beuth Verlag.
- Verein Deutscher Ingenieure (Mai 1993). *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte* (VDI-Richtlinie 2221). Berlin. Beuth Verlag.
- Verein Deutscher Ingenieure (2002). *Recyclingorientierte Produktentwicklung* (VDI-Richtlinie 2243). Berlin. Beuth Verlag.
- Verein Deutscher Ingenieure (2004). *Methodisches Entwerfen technischer Produkte* (VDI-Richtlinie 2223). Berlin. Beuth Verlag.
- Verein Deutscher Ingenieure. (2019). *Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation: Zukunft durch Veränderung*.
- Verein Deutscher Ingenieure. (2021). *Ethische Grundsätze des Ingenieurberufs*. Düsseldorf.
- Weber, M. (2002). *Wirtschaft und Gesellschaft: Grundriß der verstehenden Soziologie*. Mohr.
- Westkämper, E. (2006). *Einführung in die Organisation der Produktion*. Springer-Lehrbuch. Springer.
- Wiek, A., Withycombe, L. & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6(2), 203–218.
- WiGeP (2014). *Universitäre Lehre in der Produktentwicklung: Leitfaden der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung*. *Konstruktion*(6), 74–79.
- Wildt, J. (2006). Kompetenzen als „Learning Outcome“. *Journal Hochschuldidaktik*, 17(1), 6–9.
- Wildt, J. (2007). Vom Lehren zum Lernen. In F. Bretschneider & J. Wildt (Hrsg.), *GEW-Materialien aus Hochschule und Forschung - Band 110. Handbuch Akkreditierung von Studiengängen: Eine Einführung für Hochschule, Politik und Berufspraxis* (S. 44–54). Bertelsmann W. Verlag.
- Wildt, J. & Wildt, B. (2011). Lernprozessorientiertes Prüfen im "Constructive Alignment": Ein Beitrag zur Förderung der Qualität von Hochschulbildung durch eine Weiterentwicklung des Prüfungssystems. *Neues Handbuch Hochschullehre*(Griffmarke H 6.1), 1–46.
- Wilkesmann, U. & Lauer, S. (2015). What affects the teaching style of German professors? Evidence from two nationwide surveys. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 18(4), 713–736.
- Willard, M., Wiedmeyer, C., Warren Flint, R., Weedon, J. S., Woodward, R., Feldman, I. & Edwards, M. (2010). *The sustainability professional: 2010 competency survey report: A*

*research study conducted by the International Society of Sustainability Professionals. International Society of Sustainability.*

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Brundtland-Report. Oxford University Press.

Zinn, S. (2013). *Bildungsziel Nachhaltigkeit!?: Eine interdisziplinäre Reflexion. Moderne, Kulturen, Relationen: Band 16*. Peter Lang Edition.

---

## Anhang

A1	Analyse der Modulhandbücher .....	1-A
A2	Aufgabenstellung der IoGC im Wintersemester 2019/20 .....	4-A
A3	Fragebogen zum Pretest .....	9-A
A4	Fragebogen zum Posttest.....	13-A
A5	Ergebnisse aus dem Pretest im Wintersemester 2019/20 .....	17-A
A6	Ergebnisse aus dem Posttest im Wintersemester 2019/20 .....	30-A
A7	Aufgabenstellung der IoGC im Wintersemester 2020/21.....	33-A
A8	Ergebnisse aus dem Pretest im Wintersemester 2020/21 .....	40-A
A9	Ergebnisse aus dem Posttest im Wintersemester 2020/21.....	43-A
A10	Aufgabenstellung der IoGC im Wintersemester 2021/22 .....	44-A
A11	Ergebnisse aus dem Pretest im Wintersemester 2021/22.....	50-A
A12	Ergebnisse aus dem Posttest im Wintersemester 2021/22.....	53-A

## A1 Analyse der Modulhandbücher

Analysiert wurden die Modulhandbücher zum Studienfach Maschinenbau der folgenden, exemplarisch ausgewählten Hochschulen:

### Hochschulen der Universitätsallianz Ruhr:

- Technische Universität Dortmund  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 21.07.2021 – Modulhandbuch Master, Stand 12.03.2021*
- Ruhr-Universität Bochum  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 08.09.2021 – Modulhandbuch Master, Stand 07.04.2021*
- Universität Duisburg-Essen  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 28.10.2021 – Modulhandbuch Master, Stand 28.10.2021*

### Hochschulen der TU9:

- RWTH Aachen University  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 01.10.2021 – Modulhandbuch Master, Stand 01.10.2021*
- Technische Universität Berlin  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand ohne Angabe – Modulhandbuch Master, Stand ohne Angabe*
- Technische Universität Braunschweig  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 30.09.2021 – Modulhandbuch Master, Stand 30.09.2021*
- Technische Universität Darmstadt  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 13.07.2021 – Modulhandbuch Master, Stand 26.07.2021*
- Technische Universität Dresden  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 17.05.2019 – Modulhandbuch Diplom, Stand 17.01.2020*
- Leibniz Universität Hannover  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 14.10.2021 – Modulhandbuch Master, Stand 14.10.2021*
- Karlsruher Institut für Technologie  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 01.10.2017 – Modulhandbuch Master, Stand 17.10.2018*
- Technische Universität München  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 19.02.2018 – Modulhandbuch Master, Stand 22.02.2018*
- Universität Stuttgart  
*Modulhandbuch Bachelor, Stand 16.12.2020 – Modulhandbuch Master, Stand 16.12.2020*

### Erläuterung:

Gezählt wurden Treffer zu den jeweiligen Suchphrasen, unterschieden in Bachelor-, Master- und Diplommodule. Die Anzahl der Treffer wird angegeben in der Form:

*Studiengang: Treffer in Bezeichnungen/Treffer Modulbeschreibungen*

Beispiel: MA: 0/2 → *Modulhandbuch des Masterstudiengangs  
0 Treffer in Modulbezeichnungen,  
2 Treffer in den Modulbeschreibungen*

Verwendete Abkürzungen: BA = Bachelor, MA = Master, D = Diplom

## Universitätsallianz Ruhr

Technische Universität Dortmund				Bachelormodule: 72		Mastermodule: 73	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/1	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/1 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/2	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/0
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 0 (0,0%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 4 (2,8%)				Bachelormodule: 0 (0,0%) Bachelormodule: 1 (1,4%)		Mastermodule: 0 (0,0%) Mastermodule: 3 (4,2%)	
Ruhr-Universität Bochum				Bachelormodule: 82		Mastermodule: 148	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/13 MA: 0/5	BA: 0/1 MA: 0/1	BA: 0/5 MA: 0/1	BA: 0/4 MA: 0/6	BA: 0/1 MA: 0/0	BA: 0/11 MA: 2/4	BA: 0/0 MA: 0/10	BA: 0/3 MA: 0/1
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 13 (5,7%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 35 (15,2%)				Bachelormodule: 7 (8,5%) Bachelormodule: 14 (17,1%)		Mastermodule: 6 (4,1%) Mastermodule: 21 (14,2%)	
Universität Duisburg-Essen				Bachelormodule: 43		Mastermodule: 11	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/1 MA: 0/2	BA: 0/1 MA: 0/1	BA: 0/1 MA: 0/0	BA: 0/3 MA: 0/1	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/2 MA: 0/0
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 0 (0,0%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 5 (9,3%)				Bachelormodule: 0 (0,0%) Bachelormodule: 3 (7,0%)		Mastermodule: 0 (0,0%) Mastermodule: 2 (18,2%)	

## TU9

RWTH Aachen University				Bachelormodule: 215		Mastermodule: 357	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/0 MA: 0/1	BA: 0/0 MA: 0/1	BA: 0/8 MA: 0/13	BA: 0/3 MA: 0/12	BA: 0/0 MA: 0/7	BA: 1/12 MA: 0/17	BA: 0/3 MA: 0/2	BA: 0/0 MA: 0/0
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 1 (0,2%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 41 (7,2%)				Bachelormodule: 0 (0,0%) Bachelormodule: 12 (1,4%)		Mastermodule: 1 (0,3%) Mastermodule: 29 (8,1%)	
Technische Universität Berlin				Bachelormodule: 87		Mastermodule: 108	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/0 MA: 0/11	BA: 0/0 MA: 0/3	BA: 0/2 MA: 0/7	BA: 0/2 MA: 0/6	BA: 0/3 MA: 0/8	BA: 0/2 MA: 0/16	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/3
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 7 (3,6%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 30 (15,4%)				Bachelormodule: 0 (0,0%) Bachelormodule: 6 (6,9%)		Mastermodule: 7 (6,5%) Mastermodule: 24 (22,2%)	
Technische Universität Braunschweig				Bachelormodule: 192		Mastermodule: 800	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/0 MA: 2/85	BA: 0/0 MA: 8/92	BA: 0/3 MA: 0/50	BA: 0/3 MA: 0/42	BA: 0/4 MA: 0/11	BA: 2/14 MA: 0/50	BA: 0/0 MA: 0/5	BA: 0/2 MA: 0/1
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 24 (2,4%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 80 (8,1%)				Bachelormodule: 0 (0,0%) Bachelormodule: 8 (4,2%)		Mastermodule: 24 (3,0%) Mastermodule: 72 (9,0%)	
Technische Universität Darmstadt				Bachelormodule: 56		Mastermodule: 177	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/1 MA: 1/17	BA: 0/0 MA: 2/9	BA: 0/3 MA: 0/4	BA: 0/3 MA: 0/4	BA: 0/0 MA: 0/4	BA: 0/4 MA: 1/13	BA: 0/3 MA: 0/3	BA: 0/1 MA: 1/3
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 7 (3,0%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 18 (7,7%)				Bachelormodule: 1 (1,8%) Bachelormodule: 8 (14,3%)		Mastermodule: 6 (3,4%) Mastermodule: 10 (5,6%)	

Anhang

Technische Universität Dresden				Bachelormodule: 64		Diplommodule: 216	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/0 D: 0/3	BA: 0/0 D: 0/0	BA: 0/1 D: 0/9	BA: 0/0 D: 0/6	BA: 0/0 D: 0/1	BA: 0/3 D: 0/5	BA: 0/0 D: 0/0	BA: 0/0 D: 0/1
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 2 (0,7%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 16 (5,7%)				Bachelormodule: 0 (0,0%) Bachelormodule: 3 (4,7%)		Diplommodule: 2 (0,9%) Diplommodule: 13 (6,0%)	
Leibniz Universität Hannover				Bachelormodule: 83		Mastermodule: 216	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 2/16 MA: 3/27	BA: 2/1 MA: 4/9	BA: 0/0 MA: 0/16	BA: 0/0 MA: 0/8	BA: 0/2 MA: 0/5	BA: 0/2 MA: 0/4	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/1
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 16 (5,4%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 26 (8,7%)				Bachelormodule: 7 (8,4%) Bachelormodule: 8 (9,6%)		Mastermodule: 9 (4,2%) Mastermodule: 18 (8,3%)	
Karlsruher Institut für Technologie				Bachelormodule: 325		Mastermodule: 668	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/6 MA: 0/21	BA: 1/0 MA: 2/1	BA: 0/10 MA: 0/14	BA: 0/5 MA: 0/14	BA: 0/4 MA: 0/8	BA: 0/16 MA: 0/33	BA: 0/1 MA: 2/2	BA: 0/0 MA: 0/0
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 11 (1,1%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 47 (4,7%)				Bachelormodule: 1 (0,3%) Bachelormodule: 14 (4,3%)		Mastermodule: 10 (1,5%) Mastermodule: 33 (4,9%)	
Technische Universität München				Bachelormodule: 62		Mastermodule: 72	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/1 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/2 MA: 2/2	BA: 0/0 MA: 0/0	BA: 0/0 MA: 0/0
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 1 (0,7%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 5 (3,7%)				Bachelormodule: 1 (1,6%) Bachelormodule: 2 (3,2%)		Mastermodule: 0 (0,0%) Mastermodule: 3 (4,2%)	
Universität Stuttgart				Bachelormodule: 72		Mastermodule: 409	
nachhaltig*	sustainab*	ökolog*	ökonom*	sozial*	Umwelt*	Klima*	Kreislauf*
BA: 0/2 MA: 3/16	BA: 0/0 MA: 2/0	BA: 0/1 MA: 0/10	BA: 0/1 MA: 0/8	BA: 0/0 MA: 0/4	BA: 1/7 MA: 2/25	BA: 0/1 MA: 0/12	BA: 0/0 MA: 0/0
Direkter Bezug Nachhaltigkeit gesamt: 13 (2,7%) Bezug zum Thema Nachhaltigkeit gesamt: 40 (8,3%)				Bachelormodule: 1 (1,4%) Bachelormodule: 7 (9,7%)		Mastermodule: 12 (2,9%) Mastermodule: 33 (8,1%)	

Anzahl der analysierten Modulhandbücher:

Bachelor:	1.354
Master:	3.038
Diplom:	216
gesamt:	4.608



## A2 Aufgabenstellung der IoGC im Wintersemester 2019/20

### 1. Einleitung

Ziegelsteine sind seit tausenden Jahren eines der beliebtesten Baumaterialien. Das Brennen von Ziegeln für den eigenen Bedarf ist auch heute noch in vielen Teilen der Welt üblich. Sie werden unter Zugabe von Sand aus Lehm, Ton oder tonigen Massen hergestellt und vor der Verarbeitung in dafür errichteten Meilern gebrannt oder lediglich luftgetrocknet. Die Lehmsteine werden dann für Privathäuser, aber auch öffentliche Gebäude wie Schulen, Gemeindehäuser und Krankenstationen genutzt.

Die Verwendung von Holz für die Herstellung von Steinen ist ökologisch und zunehmend ökonomisch kritisch zu beurteilen. Aufgrund des hohen Bedarfs von Holz als Baustoff, zum Produzieren von Steinen und zum Kochen ist die Verfügbarkeit von Holz in vielen Teilen der ländlichen Regionen von afrikanischen Ländern immer häufiger eingeschränkt. Weiterhin benötigt der Bau mit traditionell gebrannten Steinen viel Mörtel, da die Steine in der Regel nicht gleichmäßig geformt sind.

Als Alternative zu konventionellen Ziegeln gelten durch mechanisches Pressen verfestigte Ziegel, sogenannte Compressed Earth Blocks (CEB). Werden diesen Steinen Stabilisatoren wie Kalk oder Beton zugemischt, bezeichnet man sie als Compressed Stabilised Earth Blocks (CSEB).

In einander greifende Steine werden als Interlocking Stabilised Soil Blocks (ISSB) bezeichnet. Diese ISSB-Mauersteine zeichnen sich dadurch aus, dass sie einen guten Verbund bei gleichzeitig geringem Mörtel Einsatz gewährleisten. Die dafür verwendete Technik ist bereits seit Jahrzehnten global bekannt.



Abb.2: Bisheriges Vorgehen (Quelle: IoG e.V.)

### 2. Problemstellungen

Vorteile dieser Steine sind, dass die Technologie lokal genutzt werden kann sowie benötigte Ressourcen, CO<sub>2</sub> und Kosten gering sind. Die Steine selbst ermöglichen eine fortschrittliche Bauweise, die Standardisierung von Gebäudeausmaßen und verbesserte Isolierungseigenschaften. Unter Umständen reduziert sich zudem im Vergleich zu anderen Verfahren der Aufwand durch den Import bzw. Transport von Zement. Ein weiterer Aspekt betrifft die flexiblen und bei Bedarf skalierbare Produktionsmengen, welche durch die Einsatzmöglichkeiten von Handpressen oder dieselbetriebenen Pressmaschinen entstehen.

Die erfolgreiche Produktion der ISSB hängt jedoch auch von einigen Faktoren ab: So muss die Qualität der Zutaten der Steine überprüft werden, das Mischverhältnis der Bestandteile stimmen und eine adäquate Lagerung der Steine zum Trocknen sichergestellt sein. Als weiteres Hindernis ist die geringe Bekanntheit von ISSB auf der Dorfebene in vielen Regionen zu sehen, wodurch sie kaum hergestellt und verwendet werden.

Die grundsätzliche Herausforderung an die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Ingenieure ohne Grenzen Challenge ist der Entwurf eines Beitrags zur Weiterentwicklung der ISSB Steinpressentechnik. Ziele hierbei sind einerseits die Entwicklung von Möglichkeiten zur Erzeugung unterschiedlicher Formen mit derselben Presse, insbesondere zur Herstellung von runden Wasserzisternen; das Erforschen verschiedener Materialzusammensetzungen; sowie die Untersuchung der Isolationseigenschaften.



Abb. 1: Herkömmliche Ziegel, Abmessung der Steine, ISSB (Quelle: IoG e.V.)

### a. Steinpresse

Es gilt, eine Steinpresse zu entwickeln, die ein Baustoffgemisch mit den folgenden Randbedingungen zu Ziegelsteinen presst:

- Max. Abmessungen der Verdichtung (Ziegel):  $H=135\text{ mm}$ ,  $B=200\text{ mm}$ ,  $L=365\text{ mm}$  mit Formvariabilität:
  - halbe Ziegel
  - gerundete Ziegel (z.B. für Gewölbebau oder Zisternen)
  - Möglichkeit zum Interlocking, wenn dies benötigt wird
  - Möglichkeit zur Produktion von Hohllochziegeln oder Vollziegeln
  - Möglichkeit der Herstellung von Ziegeln mit Putzrillen
  - technische Lebensdauer 10-15 Jahre
  - mindestens zu erreichender Druck zur Verdichtung 2 – 4 MPa, idealerweise sogar bis 10 MPa (Druck sollte eingestellt werden können) oder mindestens zu erreichende Dichte eines äquivalenten Vollziegels von  $1.700 - 2.200\text{ kg/m}^3$

Hinsichtlich des Herstellungsprozesses gilt folgendes zu berücksichtigen:

- Möglichkeiten der Herstellung von 400 – 500 Ziegeln pro Tag
- die verfügbaren Konstruktionsmaterialien sind Stahl und Holz
- es steht keine weitere Energiequelle zur Verfügung; vorhanden ist der Mensch und seine Muskelkraft
- schnelles, Befüllen und unproblematische Entnahme der Steine
- angemessener Kraftaufwand zur Pressung
- die Produktionsdauer eines Ziegels (lediglich der Betrieb der Konstruktion, ohne Mischen des Baustoffgemischs), darf nicht länger als 45 Sekunden betragen
- die Konstruktion muss so raumsparend wie möglich sein
- die Maximalkosten für die Herstellung der Konstruktion (Stückpreis) im Einsatzland darf nicht mehr als 700 Euro betragen
- die Benutzer der Presse sind ungelernete Bauern, vielleicht auch Frauen und Kinder

### b. Isolierung der Zisterne

Die Gebäude in den ländlichen Regionen vieler afrikanischer Staaten sind oftmals nur schlecht gegen die herausfordernden klimatischen Bedingungen gewappnet. Insbesondere in Schulgebäuden, die oftmals mit Wellblech gedeckt sind, ist es während der Sonnentage heiß, und während der Regentage zu laut.

Bei einer potenziellen Nutzung der ISSB Steine für die Mauern und als Dachziegeln, besteht die Möglichkeit, zusätzlich thermische Verbesserungen zu erreichen. Beispielsweise könnte abhängig von den thermischen Eigenschaften des alternativen Baumaterials die Errichtung eines passiven Kühlhauses zur Lagerung von Lebensmitteln möglich sein.

Daher soll zur Verbesserung der thermischen Eigenschaften der gepressten Steine/ Dachziegeln untersucht werden. Zu erklären ist:

- Inwieweit kann eine thermische Isolierung mit lokalen Materialien (z.B. Lufteinlassung/ Sägespäne/ Stroh) erreicht werden und
- in welcher Form wird die Stabilität der Steine hierdurch beeinträchtigt?

### c. Einfluss von Wasser

Klassische CEB (Compressed Earth Blocks) sind nicht widerstandsfähig gegenüber Wasserschlag. Eine Beimischung von Zement erhöht allerdings die Belastungsfähigkeit der Ziegel und macht diese unempfindlicher gegenüber Starkregen.

Dadurch ergeben sich eine Reihe weiterer Fragen, mit denen sich hinsichtlich der Weiterentwicklung der Steinpresstechnik auseinandergesetzt werden soll:

- Gibt es mögliche Verfahren, den Einsatz der Ziegel als Dachziegel zu ermöglichen oder zu verbessern?
- Kann man mithilfe der Steine bei Errichtung von Wasserzisternen die Putzdichte der Innenwände verringern oder gar ganz verdichten?
- Welche Materialien und Parameter müssen für diesen Einsatz bedacht werden und wie verändert sich hierdurch gegebenenfalls der Herstellungsprozess?
- Welchen Einfluss haben die Steine auf die Wasserqualität? Was muss hierzu beachtet werden?



Abb. 3: Zisterne gebaut aus CSEB (Quelle: IoG e.V.)

### 3. Literatur

- **Banse, G.:** Integrative nachhaltige Entwicklung und Technikfolgenabschätzung. In: Utopie Kreativ (2003), Juli/August.
- **Grunwald, A.:** Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung - Von der Konzeption zur Umsetzung. Berlin : Edition Sigma, 2002.
- **Murray, T.:** A conceptual examination of product design, appropriate technology and environmental impact. <http://www.ruadesign.org/pdf/productdesign.pdf>, 2005.
- **VDI: 3780** - Technikbewertung Begriffe und Grundlagen
- **VDI: 2243** - Recyclingorientierte Produktentwicklung
- **VDI: 2223** - Methodisches Entwerfen technischer Produkte
- **Wuppertal Institut:** Innovative Technologien für Entwicklungsländer /Wuppertal Institut. 2004.

#### Literaturquellen für CSEB

- **Andabati, D.:** Interlocking Stabilised Soil Block – Construction Handbook. 2010  
<http://goodearthtrust.or.tz/documents/ISSB-Manual-D-Andabati.pdf>
- **CHAIBEDDRA S./KHARCHI, F.:** Sustainability of Stabilized Earth Blocks to Water Erosion. In: International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). Volume 2, Issue 9, March 2013.
- **Deboucha, S. & Hashim R.:** A review on bricks and stabilized compressed earth blocks. In: Scientific Research and Essays Vol. 6(3), pp. 499-506, 4 February, 2011  
[http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1380703366\\_Deboucha%20and%20Hashim.pdf](http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1380703366_Deboucha%20and%20Hashim.pdf).
- **Ipenge, I.:** Durability of Compressed Stabilised Earth Blocks. 2012  
<http://mobile.wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle/10539/12393/Durability%20of%20Compressed%20Stabilised%20Earth%20Blocks.pdf?sequence=2>.

- **Namango, S. S.:** Development of Cost-Effective Earthen Building Material for Housing Wall Construction: Investigations into the Properties of Compressed Earth Blocks Stabilized with Sisal Vegetable Fibres, Cassava Powder and Cement Compositions. 2006. [https://opus4.kobv.de/opus4-btu/frontdoor/deliver/index/docId/6/file/diss\\_saul.pdf](https://opus4.kobv.de/opus4-btu/frontdoor/deliver/index/docId/6/file/diss_saul.pdf)
- **Riza, F.V./Zaidi, A.M./Rhaman, I.A.:** A Brief Review of Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB), in: International Conference on Science and Social Research (CSSR 2010), December 5 - 7, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia .  
<https://core.ac.uk/download/pdf/12006755.pdf>.
- **Riza, F.V./Zaidi, A.M./Rhaman, I.A.:** Preliminary Study of Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB) in: Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(9): 6-12, 2011 <http://ajbasweb.com/old/ajbas/2011/September-2011/6-12.pdf>.
- **UNESCO:** Adam, E.A. ], Agib, A.R.A.: *Compressed stabilised earth block manufacture in Sudan*. 2010. <http://www.growingempowered.org/wp-content/uploads/2016/02/Compressed-Earth-Building-Block-Guide.pdf>
- **UNHABITAT:** Interlocking Stabilised Soil Blocks , Appropriate earth technologies in Uganda. 2009. <https://unhabitat.org/books/interlocking-stabilised-soil-blocks-appropriate-earth-technologies-in-ugand>

## A3 Fragebogen zum Pretest



### (Pre-) Evaluationsbogen – Ingenieure ohne Grenzen Challenge 2019/20

Liebe Studierenden,

um die Ingenieure ohne Grenzen Challenge kontinuierlich zu verbessern, führen wir eine speziell darauf zugeschnittene Evaluation durch. Wir freuen uns, dass Sie daran teilnehmen.

Bitte füllen Sie dazu folgenden Evaluationsbogen aus und benennen Sie ihn mit ihrem individuellen Code. Der Code setzt sich zusammen aus den ersten zwei Buchstaben des Mädchennamens Ihrer Mutter und Ihrem eigenen Geburtsmonat (Bsp. *Mädchenname der Mutter: Meier, eigener Geburtsmonat: 05* → Code: *ME05*).

Ihr Code:

In der letzten Veranstaltung werden wir Sie ein zweites Mal befragen. Dieser Code ist dann nötig, um ihren anonymisierten Lernzuwachs oder ihre Veränderungseinstellung einschätzen zu können.

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen, indem Sie das für Sie zutreffende Feld ankreuzen bzw. ausfüllen. Wenn es Ihnen schwerfällt, sich zwischen zwei Antwortmöglichkeiten zu entscheiden, antworten Sie bitte spontan und intuitiv nach Ihrem ersten Eindruck.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

#### Allgemeine Angaben

Bitte beantworten Sie die folgenden Angaben zu Ihrer Person:

Geschlecht:  männlich  weiblich  keine Angabe

In welchem Studiengang studieren Sie?  Bachelor  Master

In welchem Fachsemester befinden Sie sich? Fachsemester: \_\_\_\_\_

An welchem Standort nehmen Sie an der IoGC teil? Standort: \_\_\_\_\_

Welcher Richtung ordnen Sie Ihren derzeitigen Studiengang zu?

Architektur

Ingenieurwissenschaften

Naturwissenschaften

Wirtschaft

Geistes- und Sozialwissenschaften

Informatik

Medizin

Sonstige: \_\_\_\_\_

Bitte bringen Sie die Punkte in eine für Sie zutreffende Reihenfolge.  
(1 geringe Relevanz, 9 höchste Relevanz)

1.	Für meine berufliche Zukunft ist mir wichtig, dass...	
1.1	... ich mein Wissen an andere weitergeben kann.	
1.2	... ich in einem interdisziplinären Team arbeite.	
1.3	... mein Beruf hoch angesehen ist.	
1.4	... ich soziale Verantwortung übernehme.	
1.5	... meine Tätigkeit interessant und kreativ ist.	
1.6	... ich die Möglichkeit habe, Initiative zu zeigen.	
1.7	... ich neue Probleme löse.	
1.8	... meine Tätigkeit nachhaltig ist.	
1.9	... ich viel Geld verdiene.	

		Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
<b>2.</b>	<b>Was bringe ich mit?</b>					
2.1	Das Wissen, das ich im Studium erworben habe, lässt sich gut in die Praxis umsetzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2	Ich habe eine Vorstellung davon, wie man Probleme in Teilprobleme gliedern und sie systematisch lösen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.3	Die Möglichkeiten, die ich habe, um Einfluss auf benachteiligte Regionen zu nehmen, kann ich gut abschätzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.4	Ich habe das Gefühl, mit meinem beruflichen Handeln etwas bewegen und etwas zur Steigerung der Lebensqualität eines Menschen beitragen zu können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.5	Meiner Meinung nach kann man komplexe Probleme in Gruppenarbeit besser lösen als alleine.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



		Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
<b>3. Entwicklungszusammenarbeit</b>						
3.1	Ich interessiere mich für Entwicklungszusammenarbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.2	Ich kann einschätzen, welche Aspekte bei interkultureller Zusammenarbeit beachtet werden müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.3	Ich kann einschätzen, welchen besonderen Problemen benachteiligte Regionen ausgesetzt sind.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.4	Ich engagiere mich im Bereich Entwicklungszusammenarbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.5	Ich kann mir vorstellen, mich in Zukunft in der Entwicklungszusammenarbeit zu engagieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**4. Nachhaltigkeit**

4.1 „Nachhaltigkeit“ bedeutet für mich ...

---



---



---

		Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
4.2	Das Thema „Nachhaltigkeit“ hat für mich persönlich einen hohen Stellenwert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.3	Das Thema „Nachhaltigkeit“ hat in meiner zukünftigen beruflichen Arbeit als Ingenieur*in eine Bedeutung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.4	Das Thema „Nachhaltigkeit“ spielt in meinem Studium eine Rolle.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage, ...**

4.5	... bei der <b>Entwicklung</b> eines Produktes <b>ökologische</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Ressourceneinsatz, Entsorgung und Recycling) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.6	... bei der <b>Entwicklung</b> eines Produktes <b>soziale</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Bedürfnisse der Nutzenden und gesellschaftliche Bedeutung) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



		Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
4.7	... bei der <b>Entwicklung</b> eines Produktes <b>ökonomische</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Aufwand und Nutzen) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.8	... bei der <b>Herstellung</b> eines Produktes <b>ökologische</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Energieeffizienz, Materialeinsatz und Abfallprodukte) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.9	... bei der <b>Herstellung</b> eines Produktes <b>soziale</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und -formen) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.10	... bei der <b>Herstellung</b> eines Produktes <b>ökonomische</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Effizienz und Effektivität) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**5. Von der Ingenieure ohne Grenzen Challenge erwarte ich, ...**

		Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
5.1	... mehr über Entwicklungszusammenarbeit im Allgemeinen zu erfahren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.2	... zu lernen, wie wichtig es ist in einem interdisziplinären Team zu arbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.3	... einen relevanten Beitrag zur Entwicklungszusammenarbeit leisten zu können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.4	... zusammen mit meinem Team eine Lösung zu finden, die die Lebensqualität eines Menschen steigert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.5	... mein Problemlöseverhalten zu verbessern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.6	... zu üben, zielgruppenadäquat zu präsentieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.7	... mein eigenverantwortliches Handeln zu fördern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.8	... meine Projektmanagementfähigkeiten zu verbessern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## A4 Fragebogen zum Posttest



### (Post-) Evaluationsbogen – Ingenieure ohne Grenzen Challenge 2019/20

Liebe Studierenden,

am Anfang des Semesters haben Sie bereits einen Evaluationsbogen ausgefüllt. Wir würden Sie nun gerne ein zweites Mal bitten, an unserer Evaluation teilzunehmen.

Bitte benennen Sie Ihre Evaluation erneut mit Ihrem persönlichen Code, damit wir sie Ihrem früheren Evaluationsbogen zuordnen können. Der Code setzt sich zusammen aus den ersten zwei Buchstaben des Mädchennamens Ihrer Mutter und Ihrem eigenen Geburtsmonat (*Bsp. Mädchennamen der Mutter: Meier, eigener Geburtsmonat: 05 → Code: ME05*).

Ihr Code:

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen, indem Sie das für Sie zutreffende Feld ankreuzen bzw. ausfüllen. Wenn es Ihnen schwerfällt, sich zwischen zwei Antwortmöglichkeiten zu entscheiden, antworten Sie bitte spontan und intuitiv nach Ihrem ersten Eindruck. Auch die Freitextantworten sind für uns von besonderer Bedeutung.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

#### Allgemeine Angaben

Bitte beantworten Sie die folgenden Angaben zu Ihrer Person:

- Geschlecht:  männlich  weiblich  keine Angabe
- In welchem Studiengang studieren Sie?  Bachelor  Master
- An welchem Standort nehmen Sie an der IoGC teil?
- RWTH Aachen University
  - Ruhr Universität Bochum
  - TU Dortmund
  - TH Köln
  - Nordakademie
  - HAW Hamburg
  - TH Mittelhessen

Bitte bringen Sie die Punkte in eine für Sie zutreffende Reihenfolge.  
(1 = geringe Relevanz, 9 = höchste Relevanz)

1.	Für meine berufliche Zukunft ist mir wichtig, dass...
1.1	... ich mein Wissen an andere weitergeben kann.
1.2	... ich in einem interdisziplinären Team arbeite.
1.3	... mein Beruf hoch angesehen ist.
1.4	... ich soziale Verantwortung übernehme.
1.5	... meine Tätigkeit interessant und kreativ ist.
1.6	... ich die Möglichkeit habe, Initiative zu zeigen.
1.7	... ich neue Probleme löse.
1.8	... meine Tätigkeit nachhaltig ist.
1.9	... ich viel Geld verdiene.

	Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
--	-----------	----------------	------------	----------------------	-----------------

2.	Was bringe ich mit?	Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
2.1	Das Wissen, das ich im Studium erworben habe, lässt sich gut in die Praxis umsetzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2	Ich habe eine Vorstellung davon, wie man Probleme in Teilprobleme gliedern und sie systematisch lösen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.3	Die Möglichkeiten, die ich habe, um Einfluss auf benachteiligte Regionen zu nehmen, kann ich gut abschätzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.4	Ich habe das Gefühl, mit meinem beruflichen Handeln etwas bewegen und etwas zur Steigerung der Lebensqualität eines Menschen beitragen zu können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.5	Meiner Meinung nach kann man komplexe Probleme in Gruppenarbeit besser lösen als alleine.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.	Entwicklungszusammenarbeit	Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
3.1	Ich interessiere mich für Entwicklungszusammenarbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.2	Ich kann einschätzen, welche Aspekte bei interkultureller Zusammenarbeit beachtet werden müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.3	Ich kann einschätzen, welchen besonderen Problemen benachteiligte Regionen ausgesetzt sind.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.4	Ich engagiere mich im Bereich Entwicklungszusammenarbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.5	Ich kann mir vorstellen, mich in Zukunft in der Entwicklungszusammenarbeit zu engagieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**4. Nachhaltigkeit**

4.1 Durch die IoGC habe ich in Bezug auf das Thema „Nachhaltigkeit“ gelernt ...

---



---



---



---



---

		Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
4.2	Das Thema „Nachhaltigkeit“ hat für mich persönlich einen hohen Stellenwert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.3	Das Thema „Nachhaltigkeit“ hat in meiner zukünftigen beruflichen Arbeit als Ingenieur*in eine Bedeutung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.4	Das Thema „Nachhaltigkeit“ sollte in meinem Studium eine Rolle spielen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Nachdem ich an der IoGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage, ...**

4.5	... bei der <b>Entwicklung</b> eines Produktes <b>ökologische</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Ressourceneinsatz, Entsorgung und Recycling) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.6	... bei der Entwicklung eines Produktes <b>soziale</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Bedürfnisse der Nutzenden und gesellschaftliche Bedeutung) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.7	... bei der Entwicklung eines Produktes <b>ökonomische</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Aufwand und Nutzen) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.8	... bei der <b>Herstellung</b> eines Produktes <b>ökologische</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Energieeffizienz, Materialeinsatz und Abfallprodukte) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.9	... bei der Herstellung eines Produktes <b>soziale</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und -formen) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.10	... bei der Herstellung eines Produktes <b>ökonomische</b> Anforderungen und Auswirkungen (z.B. Effizienz und Effektivität) zu bewerten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

		Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
<b>5. Durch die Ingenieure ohne Grenzen Challenge habe ich...</b>						
5.1	... mehr über Entwicklungszusammenarbeit im Allgemeinen zu erfahren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.2	... gelernt, wie wichtig es ist in einem interdisziplinären Team zu arbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.3	... einen relevanten Beitrag zur Entwicklungszusammenarbeit leisten können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.4	... zusammen mit meinem Team eine Lösung gefunden, die die Lebensqualität eines Menschen steigert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.5	... mein Problemlöseverhalten verbessert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.6	... geübt, zielgruppenadäquat zu präsentieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.7	... mein eigenverantwortliches Handeln gefördert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.8	... meine Projektmanagementfähigkeiten verbessert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Was waren für Sie die **Key-Learnings** aus der Ingenieure ohne Grenzen Challenge? An welchen Stellen hatten Sie „**Aha**“-Effekte? Was waren Ihre persönlichen Highlights?

Zum Abschluss würden wir uns über konstruktives **Feedback** zur Ingenieure ohne Grenzen Challenge freuen. Was hat Ihnen besonders gut gefallen? Was können wir in Zukunft besser machen?

## A5 Ergebnisse aus dem Pretest im Wintersemester 2019/20

**Erläuterung:** Code      angegebene persönliche Codierung  
 G                      Geschlecht  
 St.G.                 Studiengang  
 S                      Semester  
 Standort            Hochschule, von der aus an der IoGC teilgenommen wurde  
                           TUDo = Technische Universität Dortmund  
                           Nordakad. = Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft  
                           TH Köln = Technische Hochschule Köln  
                           HAW = Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
                           RUB = Ruhr-Universität Bochum  
 (T)                    zugeordnete Stufe der SOLO-Taxonomie (vgl. Carew & Mitchell, 2002)

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
1	KU05	m	MA	2	TUDo	Nicht nur den direkten finanziellen Nutzen für einen selbst zu seinem Handeln zu sehen. Große und Ganze muss betrachtet werden	1
2	NU12	m	MA	1	TUDo	Effiziente Lösungen zu erarbeiten, welche ein ökologisches, ethisches und ökonomisches Optimum erreichen	3
3	UV05	m	MA	1	TUDo	auf mein Konsumverhalten zu achten	2
4	KR08	m	MA	1	TUDo	auf lange Sicht weniger Probleme zu haben. Auch wenn es manchmal kurzfristige Verschlechterungen bedeutet	1
5	GU05	w	MA	2	TUDo	langfristige Ressourcenwahrung zu gewährleisten, so wenig Umweltschäden wie möglich zu verursachen, Verantwortung für meine Umwelt nehmen	3
6	Do05	m	MA	1	TUDo	So zu handeln, dass das Ergebnis der Umwelt sowie den Menschen einen Vorteil bringt	2
7	SC08	m	MA	3	TUDo	schonen d. Ressourcen (neutral), energieeffizient; verantwortungsvoller Umgang mit d. Umwelt	3
8	HA12	w	MA	3	TUDo	sparsamer Umgang mit Energiem endlichen Ressourcen und umweltschonend zu leben	2
9	BR05	m	MA	2	TUDo	langlebige Lösungen	2
10	TE06	m	MA	2	TUDo	Lösungen zu entwickeln, die auf Dauer das Zusammenleben verbessern und auf lange Sicht eine Perspektive bringen.	2
11	NI02	m	BA	3	TUDo	-	-
12	BE10	m	BA	11	TUDo	Nutzen ohne Schaden	1
13	ÖZ02	m	BA	5	TUDo	Etwas Gutes tun, oder etwas (die Erde im guten Zustand zu hinterlassen	1
14	DR03	m	BA	5	TUDo	effizient eine Ressource zu nutzen, das ein Produkt aus ökologischer Sicht vertretbar ist	2
15	KU12	m	BA	5	TUDo	die dauerhafte Bedürfnisbefriedigung durch die Bewahrung der natürlichen Regenerationsfähigkeit der beteiligten Systeme	4
16	KA07	w	MA	2	TUDo	Materialschonend, Langlebig, Umweltbewusst	3
17	EW09	m	MA	3	TUDo	Ressourcenschonend	2
18	KE04	w	MA	2	TUDo	-	-

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
19	HÜ11	m	MA	2	TUDo	langfristige Versorgungssicherheit durch Schonung von Ressourcen	2
20	Gl05	w	MA	2	TUDo	dass mehr Ressourcen zur Verfügung stehen als verbraucht werden	2
21	AN11	w	MA	2	TUDo	Langlebigkeit, Umweltbewusstsein, langfristige Verbesserung	2
22	HI07	m	MA	2	TUDo	langfristig praktikable, umweltschonende Lösungen mit geringem Ressourceneinsatz und großem Kosten bzw. Einsatz/Nutzen-Verhältnis	4
23	ME05	m	MA	2	TUDo	umweltschonende Verfahren zu verwenden	2
24	BA05	m	MA	13	TUDo	-	-
25	FE11	w	BA	11	TUDo	eine Lösung zu finden/ habenm die auch auf lange Sicht sinnvoll ist	1
26	SP08	m	BA	10	TUDo	Nach Möglichkeit nicht auf Kosten ancfolgender Generationen zu leben	2
27	EC10	m	MA	13	TUDo	dass durch meine Handlungen keine Lebewesen z einem späteren Zeitpunkt zu Schaden kommen	2
28	RI09	m	MA	2	TUDo	sozial und ökologisch mit Rücksicht auf die Zukunft mit positivem Einfluss zu agieren und dabei keine neuen Aufgaben für die Zukunft zu schaffen	4
29	EV01	m	MA	3	TUDo	-	-
30	WY02	k.A.	MA	1	TUDo	-	-
31	Mi04	m	BA	1	TUDo	nicht erneuerbare Ressourcen möglichst komplett durch erneuerbare zu substituieren	2
32	SC11	m	MA	1	TUDo	-	-
33	AN02	m	MA	2	TUDo	der Umgang mit Ressourcen auf eine die Zukunft berücksichtigende Weise.	2
34	WE07	m	MA	2	TUDo	sozial und ökologisch verantwortungsvoll zu handeln und zu leben und bei allen Tätigkeiten den Einfluss auf Umwelt und Mitmenschen im Blick zu haben.	4
35	GE09	m	MA	3	TUDo	Kreislaufwirtschaft, zukunftsfähige Produkte & Produktion	3
36	KO03	m	MA	3	TUDo	nachhaltig zu handeln: - Umweltschutz, - sparsam mit Ressourcen umgehen	2
37	CH05	m	BA	3	TUDo	-	-
38	FR07	m	BA	4	TUDo	erneuerbare Ressourcen	2
39	BE03	m	BA	5	TUDo	schonende Ressourcennutzung; Abfallvermeidung, an die Zukunft denken	2
40	GU01	m	MA	3	TUDo	das Ende im Blick zu haben	1
41	SA01	m	MA	3	TUDo	der Satz von Khdil Gibian: "Wir habe die Erde nicht von unseren Eltern geerbt, sondern von unseren Kindern geliehen." Ein Handeln in diesem Sinne assoziiere ich mit Nachhaltigkeit.	2
42	ES05	m	MA	12	TUDo	eine Methode zu erarbeiten die auch auf lange Sicht entwickelt werden kann und Ressourcen entlang der gesamten Wertschöpfungskette einspart	2
43	SK05	m	MA	3	TUDo	vegane Ernährung und laktosefreie Milch.	1
44	MA10	m	MA	5	TUDo	-	-

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
45	RO10	w	MA	5	TUDo	der bewusste, verschwendungsarme Umgang mit bzw. die Nutzung von Ressourcen	2
46	HE03	m	MA	2	TUDo	dass bei Projekten die langfristigen Auswirkungen berücksichtigt werden und Wert auf positive langfristige Auswirkungen gelegt wird.	2
47	IS02	m	MA	2	TUDo	ein Leben auf der Erde mit einem möglichst geringen negativen Einfluss auf diese	2
48	WI08	m	MA	2	TUDo	umweltbewusstes Arbeiten, was ein langlebiges und ressourcenschonender Ergebnis aber Weg/ Entwicklung mit sich bringt	2
49	VA06	m	MA	1	TUDo	langfristig zu denken	2
50	CU03	m	MA	3	TUDo	umweltfreundlich und Ressourcenschonend	3
51	RA03	m	MA	2	TUDo	längerfristig funktionierend, umweltschonend, recycelbar	3
52	HE06	m	BA	2	TUDo	Eine bessere Welt zu hinterlassen als zum Zeitpunkt der Geburt.	2
53	AN09	m	MA	2	TUDo	ökologische und ökonomische Auslastung bzw. Belastung an Ressourcen	3
54	KO06	m	BA	7	TUDo	mit der Umwelt so umzugehen, dass auf lange Sicht alle Menschen ökonomisch, ökologisch und kulturell leben können.	4
55	AK12	m	BA	7	TUDo	Umweltbewusst	1
56	Dio8	m	BA	5	TUDo	Im Hinblick auf die Zukunft & Umwelt seine Entscheidungen zu treffen.	2
57	EL11	m	BA	4	TUDo	Umwelt beachten	1
58	PE11	m	MA	1	TUDo	eine Welt zu erschaffen, bzw. zu erhalten, die auch für zukünftige Generationen ein lebenswerter Ort ist.	2
59	ÖM11	m	MA	1	TUDo	Umweltschonender und zukunftsorientierter Umgang mit Ressourcen	2
60	LA04	m	MA	1	TUDo	-	-
61	UN05	m	MA	1	TUDo	etwas in allen Situationen verwenden bzw. benutzen zu können	1
62	Wa12	m	MA	1	TUDo	produzieren mit den kleinstmöglichen negativen Auswirkungen auf Umwelt & Mensch	2
63	la09	m	MA	3	TUDo	Orte, Produkte, Ressourcen so zu nutzen, dass auch zukünftige Generationen diese nutzen können oder einen Nutzen daraus ziehen können ohne überdurchschnittliche Umweltbelastung	4
64	AG07	m	BA	9	TUDo	Etwas Positives langfristig der Umwelt zurückgeben.	1
65	RE04	m	BA	7	TUDo	Verschwendung zu vermeiden, den ökologischen Fußabdruck zu verkleinern	2
66	ON07	m	BA	11	TUDo	eine hohe Lebensqualität, ohne die Umwelt, und damit Mitmenschen, zu schädigen	2
67	KO07	m	BA	7	TUDo	eine Lösung zu finden, die ökologisch, ökonomisch und für die betreffenden Menschen zu vereinbaren ist	3
68	EL10	m	BA	11	TUDo	etwas bedeutsames für die Zukunft der Menschheit bzw. der Lebewesen auf der Erde zu tun	1
69	RA07	m	BA	9	TUDo	-	-
70	RI03	w	BA	7	TUDo	-	-



Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
71	GA07	w	MA	2	TUDo	Eine Lebensweise, die keine negativen Folgen für nachfolgende Generationen (Menschen + Flora + Faune) hat, im besten Fall sogar positive Folgen.	3
72	SO03	m	BA	7	TUDo	so zu leben dass zukünftige Generationen keinen Schaden erleiden.	2
73	BA08	w	MA	2	TUDo	-	-
74	RU01	w	MA	1	TUDo	Eine effiziente, smarte Lösung für Probleme zu finden, ohne knappe Ressourcen zu verwenden.	2
75	AS10	m	MA	1	TUDo	-	-
76	An08	m	MA	1	TUDo	Ressourcen sinnvoll & mit möglichst geringer "Verschwendung" einzusetzen	2
77	NI12	m	BA	7	TUDo	-	-
78	TA08	m	BA	7	TUDo	Dinge zu produzieren die keine Probleme in der Zukunft darstellen	2
79	HO07	m	BA	9	TUDo	dass das aktuelle Handeln keine Folgeschäden hervorruft	2
80	Ui11	m	MA	1	TUDo	Themen/ Projekte so zu behandeln, dass sie der Zeit entsprechen und auch in der Zukunft erhalten bleiben	1
81	BR09	w	MA	2	TUDo	etwas in Zukunft ohne Einbußen fortführen zu können hinsichtlich aller Aspekte (Personen, Umwelt, ...)	2
82	SC11	m	MA	3	TUDo	-	-
83	Ni06	m	BA	5	Nordakad.	langfristig den Ertrag/Mehrwert zu steigern, indem Grundlagen für spätere Handlungen gelegt, vereinfacht oder zumindest berücksichtigt werden.	2
84	WE12	m	BA	5	Nordakad.	die vorhandenen Ressourcen zu schützen und nicht sinnlos zu verschwenden. Achtsames Umgehen mit der Umwelt	3
85	SU06	m	BA	5	Nordakad.	Ökologie/ Ökonomie/ Soziales; jeder sollte die Chance haben bzw. muss verpflichtet sein ein nachhaltiges Leben zu führen	3
86	AN01	m	BA	5	Nordakad.	Die Ressourcen der Erde verantwortungsbewusst einsetzen	2
87	MA12	w	BA	5	Nordakad.	mit Ressourcen verantwortungsbewusst umzugehen und dabei sowohl ökonomisch als auch ökologisch zu handeln	3
88	RE04	m	BA	5	Nordakad.	-	-
89	HE10	m	BA	5	Nordakad.	Zum einen die Schonung von Ressourcen; zum anderen Probleme so zu bearbeiten, dass sich mein Lösungsweg nach Möglichkeit auf ähnliche Fragestellungen transferieren lässt.	2
90	SC08	m	BA	5	Nordakad.	auch in die Zukunft zu schauen und sich über mögliche Auswirkungen im Klaren zu sein.	1
91	BA05	m	BA	5	Nordakad.	Primärressourcen zu schonen und vermehrt auf wiederverwendbare Stoffe zu setzen	2
92	LO08	m	BA	5	Nordakad.	das wiederzugeben, was man nimmt.	1
93	PO02	w	BA	7	TH Köln	Etwas für einelängere Zeit haltbarer machen	1
94	IZ05	m	BA	3	TH Köln	Ressourcenschonung; recyclebar; langzeitwert	2
95	GÜ09	m	BA	5	TH Köln	Bessere Zukunft schaffen	1
96	Jamia05	m	BA	3	TH Köln	langfristige und dauerhafte Lösungen aller Weltprobleme	2

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
97	Am11	m	BA	5	TH Köln	dauerhafte Problemlösung mit wenigem Aufwand und möglichst geringer Kosten	2
98	Bl07	m	BA	3	TH Köln	Ressourcen so zu nutzen, dass man ihr Potenzial möglichst voll ausnutzen und auch noch in weiter Zukunft nutzen kann	2
99	RO09	m	BA	5	TH Köln	Gewissenhafter Umgang mit Ressourcen; nur so viel "Verbrauchen", wie sich auch regenerieren lässt	2
100	ME04	k.A.	BA	3	TH Köln	viel Geld in mein Täschen	1
101	ME05	m	BA	3	TH Köln	Langfristig denken, besonders für die Umwelt. Also wenn die Politik so weiter geht, wie heutzutage wird das nix! Z.B. finde ich es unnötig so viel Papier zu verschwenden, statt das online zu machen	2
102	Si08	m	BA	3	TH Köln	-	-
103	KL04	m	BA	3	TH Köln	-	-
104	OR01	m	BA	3	TH Köln	eine sinnvolle Ressourcennutzung, die keine folgende Probleme entstehen lässt	2
105	DI11	m	BA	3	TH Köln	keine Verschwendung	2
106	JO09	m	BA	3	TH Köln	Ressourcen/Material nur in Mengen zu nutzen, in denen sie benötigt werden	2
107	LI03	m	BA	3	TH Köln	Ressourcen so zu nutzen, dass sie auf Dauer nachwachsen können und der Umwelt nicht langfristig geschadet wird.	2
108	BO07	m	BA	3	TH Köln	die Ressourcen der Erde so einzusetzen, dass die Generationen nach uns die gleiche oder eine bessere Lebensqualität haben, als wir heute.	2
109	ER11	w	BA	5	TH Köln	-	-
110	YU06	w	BA	3	TH Köln	-	-
111	FE05	w	BA	3	TH Köln	, dass sowohl ökologische, soziale und ökonomische Aspekte beachtet und eingehalten werden, sodass eine langfristige Erhaltung dieser Punkte gewährleistet wird..	4
112	AS02	w	BA	3	TH Köln	, dass für andere Menschen kein Nachteil entsteht.	1
113	Kr04	m	BA	3	TH Köln	Verwendung vermeiden; Ressourcen nur so viel nutzen, wie wirklich nötig ist und im Zweifel nachwachsende Ressourcen nutzen und pflanzen.	3
114	OL09	m	BA	3	TH Köln	niemanden der nach mir lebt etwas zu zerstören und trotzdem weiter zu kommen.	2
115	MF05	k.A.	BA	k.A.	TH Köln	die rücksichtsvolle Nutzung von natürlichen und endlichen Ressourcen, im Rahmen ihrer Regenerationsfähigkeit	2
116	HR05	m	BA	5	TH Köln	-	-
117	JI05	m	BA	3	TH Köln	Nachhaltigkeit	1
118	Sh08	m	BA	9	TH Köln	etwas zu erzeugen, was lange oder für immer nutzbar ist, ohne Verschwendung zu erzeugen	1
119	YA06	m	BA	3	TH Köln	Produkte bzw. Güter zu nutzen, die keinen ökologischen Schäden verursachen	2
120	AL06	m	BA	3	TH Köln	Produkte und Ressourcen in bestimmten Mengen zu benutzen	2

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
121	AH10	m	BA	5	TH Köln	an Dingen zu arbeiten, die auf längere Hinsicht benutzt werden	1
122	GR06	m	BA	3	TH Köln	irgendeiwe die Zukunft erträglichler zugestalten, sodass die Menschen nach mir nicht die sleben Probeleme haben.	2
123	Co05	m	BA	5	TH Köln	-	-
124	KU10	m	BA	7	TH Köln	-	-
125	TR12	m	BA	3	TH Köln	eine bessere Welt für die nächste Generation zu schaffen und eine gute Welt zu erhalten	2
126	GU05	m	BA	5	TH Köln	-	-
127	NA10	m	BA	5	TH Köln	Landschaft geschützt; keine soziale Konflikte (Ökologie, Ökonomie, Soziales im grünem Bereich)	3
128	GR07	m	BA	5	TH Köln	Dinge im Hinblick auf eine lange und verantwortungsbewusste Zukunft hin zu erledigen	2
129	YE10	m	BA	3	TH Köln	von etwas einen ausreichenden Vorrat zu haben, der auch immer wieder gefüllt oder erweitert werden kann	1
130	SZ12	m	BA	k.A.	TH Köln	Langfristigkeit untrer der ökologischen Berücksichtigung (Pflanzen, Natur und Lebewesen)	1
131	SE07	w	BA	3	TH Köln	-	-
132	KL04	m	BA	3	TH Köln	die Synchronisation/Koordination ökologischer, sozialer und ökonomischer Aspekte	3
133	SC11	m	BA	3	TH Köln	auf die Umwelt zu achten; Ressourcen schonen	2
134	BR10	m	BA	3	TH Köln	so zu handeln, dass dieses auch in Zukunft möglich ist.	2
135	SE01	m	BA	5	TH Köln	mit den minimalsten Ressourcen so viel wie möglich rauszuholen und erneuerbare bzw. unendliche Ressourcen zu nutzen	2
136	ER04	w	BA	5	TH Köln	-	-
137	TO10	w	BA	3	TH Köln	-	-
138	SC08	k.A.	BA	5	TH Köln	das weder Mensch noch Natur langfristig geschädigt werden	2
139	Yl03	w	BA	3	TH Köln	-	-
140	RE01	m	BA	3	TH Köln	eine entwickelte Zukunft, die Rücksicht auf die Mitmenschen nimmt	2
141	CA01	m	BA	5	HAW	das meine Taten was bewirken egal, wie schlecht oder wie gut	1
142	BU04	m	BA	5	HAW	durch das Sein keinen negativen Fußabdruck zu hinterlassen	2
143	SC02	m	BA	5	HAW	Zukunftsorientiert handeln, leben, arbeiten	2
144	PR05	m	BA	6	HAW	Die vorhandenen Ressourcen schonen. Auf die Umwelt achten	2
145	AH07	m	BA	5	HAW	mit lebensnotwendigen Ressourcen bewusst umzugehen und diese zu Recyceln	2
146	Mo02	w	BA	5	HAW	ein Problem langfristig lösen/ vorausschauend handeln	1
147	ZH12	m	BA	5	RUB	Stabilität	1
148	SE09	m	BA	5	RUB	Stabilität	1
149	DY08	m	BA	5	RUB	Stabiliotät, konstante etwas	1
150	YO06	m	BA	5	RUB	Auf die Umwelt zu achten und einen Nutzen bringen	2
151	Ujo7	m	BA	5	RUB	-	-
152	AS11	m	MA	2	RUB	-	-

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
153	LU01	m	BA	5	RUB	durch sein Handeln die Umwelt nicht langfristig zu schädigen	2
154	Yl05	w	BA	9	RUB	-	-
155	ZO30	m	BA	7	RUB	längere Zeit anhaltende Wirkung	2
156	Yl10	m	BA	7	RUB	ein wichtiges Thema in der soziale Entwicklung	1
157	AW02	m	BA	7	RUB	etwas zu erschaffen, was weder schädlich noch verschwenderisch ist und dabei hilft, mit den vorhandenen Ressourcen, Wertschöpfende Prozesse zu betreiben	3
158	XYZ321	m	BA	7	RUB	für uns jetzt und Für zukunft (nächste generation)	2
159	CR07	m	BA	7	RUB	Unsere Erde zu retten	1
160	GÜ07	w	BA	8	RUB	-	-
161	ERSTRI Z0916	w	BA	8	RUB	Produkte und Prozesse zu entwickeln die auch zukünftig genutzt werden können ohne der Umwelt etc. zu schaden	2
162	GR08	m	BA	5	RUB	eine Tätigkeit auszuüben ohne dauerhaften Schaden am Planeren anzurichten	2
163	CO2	w	BA	7	RUB	Ressourcen effizient zu nutzen	2
164	GO07	m	BA	9	RUB	-	-
165	UN06	m	BA	7	RUB	ein Problem zu lösen ohne dabei Lebensraum/Natur zu zerstören.	2
166	SK11	m	BA	5	RUB	klimateurale/s Produktion/ Handeln	2
167	HE09	m	BA	5	RUB	bei Verfahren so wenig nicht verwertbare Reste wie möglich zu erzeugen	2
168	GU05	w	BA	6	RUB	unter Einhaltung gesetzlicher Regeln und Vorschriften die Wissenschaft weiter zu betreiben und immer au ein Standardwissen aufzubauen, worauf sich jeder verlassen und nutzen kann. Besonders Produkte zu entwickeln, die wiederverwertet oder daraufaufbauend werden können, um einen langfristigen Erfolg zu gewährleisten	3
169	EV09	m	BA	5	RUB	Produkte mehrfach zu verwenden/ Recyclen	2
170	RU05	m	BA	5	RUB	Der zukünftigen Generation die gleichen Chancen zu bieten, wie ich sie hatte.	2
171	XXX-XXX	w	BA	7	RUB	-	-
172	5678910	m	MA	1	TUD0	-	-
173	100012	m	BA	11	RUB	-	-
174	KA12	m	BA	5	RUB	Bewusster Umgang mit begrenzten Ressourcen und Erarbeitung von neuen Lösungen mit Nachhaltigkeit	2
175	TR07	m	BA	5	RUB	langfristig wirksame Lösungen für Probleme zu finden	2
176	Ma07	w	BA	7	RUB	-	-
177	LA09	m	BA	5	RUB	So zu handeln, dass spätere Generationen die gleichen Bedingungen haben.	2
178	MA07	m	BA	5	RUB	Darauf zu achten was ich Komsumoere & wie ich Umweltschonend durchs Leben gehen Lieber 1€ mehr ausgeben für ein Proskut was für die Umwelt gut ist.	1
179	BA01	m	BA	5	RUB	bewusst mit Ressourcen umgehen	2
180	HA11	m	BA	5	RUB	An die Zukunft denkend handeln	2
181	KA05	m	BA	5	RUB	Dinge zu erschaffen oder Probleme zu lösen, die Menschen und der Welt hilft	1
182	FR10	m	BA	5	RUB	-	-
183	RZ08	m	BA	5	RUB	...	-

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
184	KA06	m	BA	9	RUB	gesunde und langfristige Arbeit	2
185	DO05	m	BA	7	RUB	"langfristige Benutzung des Produktes"	2
186	AMK31	m	BA	13	k.A.	Regenerative Ressourcen nutzen	2
187	SA05	m	BA	11	RUB	Dass die Arbeit Früchte trägt.	1
188	F16	m	BA	k.A.	RUB	Zukunftsperspektive	2
189	DU06	m	BA	8	RUB	an die Zukunft denkend agieren	2
190	LE12	m	MA	1	RUB	Entwicklung und Herstellung einer Lösung unter guten ökologischen Anforderungen und Auswirkungen, sowie sozialen.	3
191	RA10	m	MA	1	RUB	ein Handeln, das in der Gesamtbetrachtung aller ökologischen, sozialen und auch ökonomischen Aspekte als sinnvoll und fair bewertet werden kann.	4
192	BA12	m	BA	9	RUB	Langfristig effizient zu sein	2
193	BE09	m	BA	7	RUB	eine intakte Zukunft	1
194	MD2108	m	BA	10	RUB	alle Tätigkeiten in den Bereichen Technik, Wirtschaft Umwelt, Kultur und Lebensbedingungen für das Allgemeinwohl zu gestalten	2
195	RA11	w	BA	5	RUB	mit Ressourcen verantwortlich und nicht verschwenderisch umzugehen. Nachhaltigkeit fängt für mich bei jedem persönlich an!	2
196	Mö02	m	BA	5	RUB	auf meine Umwelt zu achten und schonend mit Ressourcen umzugehen	2
197	Tho3	m	BA	5	RUB	dass Maschinen (im Fall Ingenieur) so angelegt werden, dass sie nicht verschwenderisch gefertigt, montiert und genutzt werden können.	3
198	HI07	m	BA	5	RUB	-	-
199	SA07	m	BA	5	RUB	-	-
200	SC10	m	BA	5	RUB	-	-
201	AR01	m	BA	5	RUB	zukunftsfreundlich zu agieren	2
202	FE09	m	BA	5	RUB	-	-
203	VO03	m	BA	7	RUB	-	-
204	Loki	w	BA	5	RUB	Probleme nicht nur für kurze Zeit zu lösen, sondern auf Dauer und dabei darauf zu achten, keine neuen Probleme zu erzeugen und zu Verfügung stehende Ressourcen nicht aufzubrechen	3
205	Gizmo	m	BA	5	RUB	Der Erde mehr "Energie" zu geben als man ihr nimmt	2
206	ME02	m	BA	5	RUB	Probleme nicht kurzfristig zu lösen, Hilfestellungen müssen auch funktionieren und erhalten bleiben, wenn z.B. Hilfsorganisationen nicht mehr vor Ort sind	3
207	ME1101	m	BA	7	RUB	keine negativen Konsequenzen für die Nachwelt	2
208	TO06	m	BA	5	RUB	-	-
209	DE04	m	BA	5	RUB	die Folgen des Handelns abschätzen zu können und diese aufgrund ihrer Schädlichkeit abzuwägen	2
210	AM05	m	BA	5	k.A.	-	-
211	SA05	k.A.	BA	5	RUB	sparsam mit Ressourcen umgehen, Produktionseinfluss in die Umwelt so gering wie möglich	3
212	BA04	k.A.	BA	5	RUB	effizienter Material- und Ressourceneinsatz.	2
213	WI10	m	BA	5	RUB	-	-
214	SA01	m	BA	5	RUB	-	-

Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
215	DA02	m	BA	5	RUB	- Ressourcennutzung (effektiv) - Blick in die zukünftige Zeit -	2
216	MJ11	m	BA	5	RUB	umweltschonend zu handeln. Man sollte bei jedem Handeln an die nächsten Generationen denken, welche Konsequenzen es für die haben könnte.	3
217	HA12	m	BA	7	RUB	-	-
218	HA51	k.A.	BA	7	RUB	-	-
219	CH61	m	BA	7	RUB	Gut und positiv	1
220	SE03	w	BA	5	RUB	bei der Herstellung eines Produktes soziale, ökologische und ökonomische Anforderungen und Auswirkungen zu berücksichtigen	4
221	JU04	w	BA	5	RUB	so zu handeln, dass Nachfolgende Generationen genug Ressourcen zum wirtschaften haben	2
222	OE01	w	BA	5	RUB	Das man vorhandene Ressourcen nicht achtlos verschwendet.	2
223	BR10	m	BA	7	RUB	-	-
224	AN15	w	BA	11	RUB	-	-
225	SO10	m	MA	2	RUB	sich nicht im der Nachhaltigkeits Willen zu verbiegen, jedoch Alternativen zu nutzen, wenn diese sinnvoll umzusetzen sind.	1
226	#1312-ACAB	m	MA	1	RUB	dass loG damit aufhört, Papierfragebögen auszuteilen.	1
227	DOR2020	k.A.	MA	2	RUB	eine der Umwelt verträgliche Lösung unzusetzen	2
228	TA09	m	BA	7	RUB	erneuerbare / wiederverwendbare Ressourcen	2
229	123a123b	m	BA	5	RUB	Produkte, Dienstleistungen etc. umweltbewusst zu produzieren/anzubieten.	2
230	KS42	m	BA	5	RUB	Vermeidung von Verschwendung und Ausbeutung	3
231	SNN55	m	BA	7	RUB	aus wenigen Rohstoffen, Kostengünstige Dienstleistungen zu schaffen	2
232	Engineering74	m	BA	7	RUB	Es darf nicht mehr verbraucht werden als bereitgestellt werden kann	2
233	BA06	m	BA	5	RUB	-	-
234	AW03	m	BA	5	RUB	-	-
235	IS09	m	BA	5	RUB	-	-
236	SA02	m	BA	5	RUB	-	-
237	ÖZ11	w	BA	5	RUB	auf lange Sicht positive Ergebnisse zu erzielen	1
238	AK06	w	BA	5	RUB	nicht nur an heute denken sondern einen weiteren Blick in die Zukunft zu haben.	1
239	ED08	w	BA	5	RUB	--> Neue Lösungen zu finden, um eine bessere und effizientere Lebensqualität zu gewährleisten	2
240	AY06	m	MA	2	RUB	die Umwelt durch strategische Maßnahmen zu entlasten, indem Ressourcennutzung und Produkte umweltschonend gestaltet werden	3
241	VP02	m	BA	9	RUB	, dass etwas auf Dauer eine Verbesserung darstellt und nicht lediglich auf den ersten Blick	1
242	KH05	w	BA	5	RUB	-	-
243	FL12	m	BA	5	RUB	Eine vollständige Berücksichtigung der Bedürfnissen (gesundheitliche, wirtschaftliche, ökologische) aller direkt und indirekt Beteiligten einer Unternehmung.	3
244	MO03	m	BA	5	RUB	Bleibend / Unerschöpflich	1

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
245	JA04	w	BA	5	RUB	-	-
246	GEOJ	m	BA	5	RUB	Ressourcen schonen & verwerten, auch wenn es nicht der ökonomischste weg ist.	3
247	RA12	w	BA	5	RUB	-	-
248	LA09	m	BA	7	RUB	- Gerechtigkeit - Zukunftsblick - Umweltfreundlich	3
249	AT09	w	BA	5	RUB	- Gut für die Umwelt - Recyclen - Umweltschonend	2
250	NA08	m	BA	9	RUB	- Wieder benutzbar (für ähnliche Probleme) - Lange Benutzbares - Basierend auf erneuerbaren Rohstoffen /Energien	2
251	Leseratte	m	BA	5	RUB	Verantwortungsvoll mit Ressourcen umzugehen und die Umwelt möglichst wenig negativ zu beeinflussen	2
252	19970201	w	BA	5	RUB	Wiederverwendbarkeit	2
253	Klima1998	w	BA	7	RUB	Produkte mehr als nur einmal verwenden zu können und diese umweltfreundlich und arbeiterfreundlich produziert wurden	2

Anhang

<b>Erläuterung:</b>	5	Trifft zu
	4	Trifft eher zu
	3	Weder noch
	2	Trifft eher nicht zu
	1	Trifft nicht zu

#	Code	G	St.G.	S	Standort	4. Nachhaltigkeit (pre)									
						4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
1	KU05	m	MA	2	TUDo	5	4	3	2	3	4	3	5	3	
2	NU12	m	MA	1	TUDo	4	3	2	2	3	2	4	-	5	
3	GU05	w	MA	2	TUDo	4	3	3	2	4	4	4	4	4	
4	Do05	m	MA	1	TUDo	4	4	4	4	3	4	4	4	4	
5	SC08	m	MA	3	TUDo	4	4	2	3	4	3	4	4	2	
6	HA12	w	MA	3	TUDo	5	4	2	2	2	4	4	3	3	
7	BR05	m	MA	2	TUDo	4	3	3	1	1	2	4	2	-	
8	TE06	m	MA	2	TUDo	4	5	3	4	3	4	4	-	3	
9	DR03	m	BA	5	TUDo	4	2	1	2	1	3	1	1	5	
10	KA07	w	MA	2	TUDo	4	2	4	4	4	4	4	-	4	
11	EW09	m	MA	3	TUDo	3	5	3	4	2	5	5	2	4	
12	KE04	w	MA	2	TUDo	4	5	4	4	4	4	5	5	4	
13	HÜ11	m	MA	2	TUDo	5	4	3	3	3	5	4	4	5	
14	Gl05	w	MA	2	TUDo	5	5	3	4	4	4	4	-	4	
15	BA05	m	MA	13	TUDo	5	5	3	4	4	5	5	-	4	
16	SP08	m	BA	10	TUDo	5	4	2	3	4	4	4	4	4	
17	EC10	m	MA	13	TUDo	4	4	3	5	5	5	5	5	5	
18	Rl09	m	MA	2	TUDo	4	4	3	3	2	2	3	2	4	
19	EV01	m	MA	3	TUDo	3	4	4	3	3	4	3	3	4	
20	WY02	k.A.	MA	1	TUDo	3	4	3	2	2	3	2	4	2	
21	Mio4	m	MA	1	TUDo	4	4	3	4	4	3	5	5	5	
22	SC11	m	MA	1	TUDo	4	4	3	3	3	3	3	-	4	
23	AN02	m	MA	2	TUDo	4	4	4	4	4	5	5	5	4	
24	WE07	m	MA	2	TUDo	5	5	4	4	3	4	4	2	3	
25	GE09	m	MA	3	TUDo	3	4	2	3	1	5	5	-	5	
26	FR07	m	BA	4	TUDo	3	4	4	4	2	4	4	4	5	
27	BE03	m	BA	5	TUDo	4	4	3	2	2	4	3	3	4	
28	ES05	m	MA	12	TUDo	4	4	4	4	3	4	5	5	5	
29	SK05	m	MA	3	TUDo	5	4	5	4	4	5	4	-	5	
30	HE03	m	MA	2	TUDo	5	5	2	3	3	5	4	3	5	
31	IS02	m	MA	2	TUDo	5	4	4	5	4	5	4	2	5	
32	VA06	m	MA	1	TUDo	3	5	4	3	3	4	4	4	4	
33	CU03	m	MA	3	TUDo	3	3	1	2	3	4	4	4	4	
34	RA03	m	MA	2	TUDo	5	5	1	4	3	4	3	4	4	
35	AN09	m	MA	2	TUDo	5	4	4	4	4	4	5	5	4	
36	AK12	m	BA	7	TUDo	4	5	5	5	4	4	4	-	4	



## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	4. Nachhaltigkeit (pre)									
						4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
36	AK12	m	BA	7	TUDo	4	5	5	5	4	4	4	-	4	
37	EL11	m	BA	4	TUDo	5	4	2	5	4	5	4	-	5	
38	PE11	m	MA	1	TUDo	5	5	5	2	2	2	3	3	3	
39	ÖM11	m	MA	1	TUDo	4	3	3	4	4	5	4	3	4	
40	LA04	m	MA	1	TUDo	4	4	2	3	3	4	4	4	4	
41	FE11	m	MA	1	TUDo	4	4	3	2	2	3	3	3	2	
42	la09	m	MA	3	TUDo	4	4	4	4	3	4	4	3	4	
43	AG07	m	BA	9	TUDo	4	3	1	4	4	4	2	-	2	
44	RE04	m	BA	7	TUDo	4	3	4	4	1	4	4	2	3	
45	ON07	m	BA	11	TUDo	4	4	5	4	4	4	4	-	3	
46	KO07	m	BA	7	TUDo	3	3	3	4	3	4	4	-	3	
47	GA07	w	MA	2	TUDo	4	5	2	4	2	4	3	2	5	
48	BA08	w	MA	2	TUDo	4	4	2	4	2	5	4	4	5	
49	RU01	w	MA	1	TUDo	5	4	4	4	4	4	4	4	4	
50	AS10	m	MA	1	TUDo	5	2	2	3	3	5	5	-	4	
51	Ano8	m	MA	1	TUDo	4	4	3	2	2	3	3	3	3	
52	HO07	m	BA	9	TUDo	4	5	2	4	1	5	5	5	5	
53	Ui11	m	MA	1	TUDo	4	3	4	3	4	4	4	4	4	
54	BR09	w	MA	2	TUDo	4	4	2	2	3	4	4	4	4	
55	SC11	m	MA	3	TUDo	4	4	3	2	3	5	4	3	5	
56	ME04	k.A.	BA	3	TH Köln	4	4	3	2	3	4	4	3	4	
57	ME05	m	BA	3	TH Köln	5	3	4	5	4	4	2	-	2	
58	FE05	w	BA	3	TH Köln	5	5	5	5	5	4	5	4	4	
59	Kro4	m	BA	3	TH Köln	5	5	4	3	3	4	4	3	4	
60	AH10	m	BA	5	TH Köln	5	4	5	5	1	5	5	4	4	
61	SE07	w	BA	3	TH Köln	5	4	5	4	5	4	4	-	5	
62	CA01	m	BA	5	HAW	4	4	4	3	3	4	3	-	4	
63	Mo02	w	BA	5	HAW	4	5	3	4	5	4	4	4	4	
64	SE09	m	BA	5	RUB	5	5	4	2	4	5	4	5	5	
65	YO06	m	BA	5	RUB	3	4	5	4	3	4	4	3	3	
66	AS11	m	MA	2	RUB	4	4	3	4	3	3	4	3	3	
67	LU01	m	BA	5	RUB	2	3	2	3	3	3	3	3	3	
68	Yl05	w	BA	9	RUB	5	4	3	2	3	3	3	2	4	
69	ER-STRIZ0916	w	BA	8	RUB	4	5	5	3	3	4	4	5	3	
70	XXX-XXX	w	BA	7	RUB	4	3	2	1	1	1	1	1	1	
71	KA12	m	BA	5	RUB	4	3	3	2	3	4	4	3	4	
72	TR07	m	BA	5	RUB	4	4	4	3	2	4	3	2	4	
73	Ma07	w	BA	7	RUB	5	4	-	4	4	4	4	5	4	
74	LA09	m	BA	5	RUB	4	4	4	4	3	5	3	4	5	
75	BA01	m	BA	5	RUB	4	4	3	4	3	3	3	3	4	
76	SA05	m	BA	11	RUB	4	4	5	1	1	3	2	3	3	
77	RA11	w	BA	5	RUB	5	3	1	1	2	1	1	2	2	

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	4. Nachhaltigkeit (pre)									
						4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
78	<b>Mö02</b>	m	BA	5	RUB	3	3	4	3	3	3	4	3	3	
79	<b>Tho3</b>	m	BA	5	RUB	4	5	3	2	3	3	4	4	4	
80	<b>FE09</b>	m	BA	5	RUB	2	2	4	4	3	5	3	4	3	
81	<b>WI10</b>	m	BA	5	RUB	2	4	4	4	3	3	4	3	3	
82	<b>SA01</b>	m	BA	5	RUB	3	4	4	4	3	3	3	3	4	
83	<b>SE03</b>	w	BA	5	RUB	5	5	5	5	5	5	4	5	5	
84	<b>JU04</b>	w	BA	5	RUB	4	3	3	4	4	4	4	4	4	
85	<b>OE01</b>	w	BA	5	RUB	4	5	4	3	3	4	4	4	4	
86	<b>BR10</b>	m	BA	7	RUB	4	4	3	2	2	4	4	3	4	
87	<b>SO10</b>	m	MA	2	RUB	4	1	1	5	5	5	5	5	5	
88	<b>DOR2020</b>	k.A.	MA	2	RUB	5	4	4	4	2	5	4	3	4	
89	<b>TA09</b>	m	BA	7	RUB	5	4	3	4	5	5	3	4	4	
90	<b>SA02</b>	m	BA	5	RUB	4	5	4	5	4	3	4	4	5	
91	<b>ÖZ11</b>	w	BA	5	RUB	5	5	5	5	5	4	5	5	5	
92	<b>AY06</b>	m	MA	2	RUB	2	4	2	1	1	3	4	4	4	
93	<b>FL12</b>	m	BA	5	RUB	5	5	3	5	4	4	5	3	4	
94	<b>RA12</b>	w	BA	5	RUB	5	5	3	1	2	3	4	3	4	
95	<b>AT09</b>	w	BA	5	RUB	4	3	1	1	1	5	4	3	2	

## A6 Ergebnisse aus dem Posttest im Wintersemester 2019/20

#	Code	G	St.G.	S	Standort	4. Nachhaltigkeit (post)									
						4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
1	KU05	m	MA	2	TUDo	4	4	4	5	3	4	3	4	5	
2	NU12	m	MA	1	TUDo	4	3	3	4	5	5	4	5	5	
3	GU05	w	MA	2	TUDo	4	2	4	4	4	5	4	5	4	
4	Do05	m	MA	1	TUDo	5	5	5	4	4	4	4	4	4	
5	SC08	m	MA	3	TUDo	4	4	4	4	4	3	4	4	3	
6	HA12	w	MA	3	TUDo	4	5	5	3	4	2	2	3	3	
7	BR05	m	MA	2	TUDo	4	-	3	4	3	4	3	4	4	
8	TE06	m	MA	2	TUDo	4	4	4	4	4	4	3	4	4	
9	DR03	m	BA	5	TUDo	2	2	2	5	4	5	4	5	5	
10	KA07	w	MA	2	TUDo	4	4	3	4	4	4	4	4	4	
11	EW09	m	MA	3	TUDo	4	3	4	4	4	3	5	3	4	
12	KE04	w	MA	2	TUDo	4	4	5	4	4	4	5	4	4	
13	HÜ11	m	MA	2	TUDo	4	4	4	4	3	5	4	3	4	
14	GI05	w	MA	2	TUDo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
15	BA05	m	MA	13	TUDo	5	4	3	4	4	4	4	5	5	
16	SP08	m	BA	10	TUDo	5	4	4	4	4	4	4	4	4	
17	EC10	m	MA	13	TUDo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18	RI09	m	MA	2	TUDo	5	5	5	4	4	3	4	4	4	
19	EV01	m	MA	3	TUDo	3	3	3	3	4	4	4	4	4	
20	WY02	k.A.	MA	1	TUDo	4	4	4	3	4	4	4	4	4	
21	Mio4	m	MA	1	TUDo	4	4	4	4	4	5	4	5	4	
22	SC11	m	MA	1	TUDo	4	3	3	4	4	4	4	4	4	
23	AN02	m	MA	2	TUDo	4	5	5	5	4	5	5	5	5	
24	WE07	m	MA	2	TUDo	5	5	5	4	4	3	4	4	3	
25	GE09	m	MA	3	TUDo	4	5	5	4	4	5	3	4	5	
26	FR07	m	BA	4	TUDo	3	4	3	3	3	4	3	3	4	
27	BE03	m	BA	5	TUDo	3	4	4	4	4	4	3	4	4	
28	ES05	m	MA	12	TUDo	4	4	4	4	5	4	4	4	4	
29	SK05	m	MA	3	TUDo	5	5	5	4	4	4	4	5	5	
30	HE03	m	MA	2	TUDo	4	5	5	2	3	5	3	5	5	
31	IS02	m	MA	2	TUDo	5	4	5	2	2	3	4	4	5	
32	VA06	m	MA	1	TUDo	4	5	4	3	4	4	3	4	4	
33	CU03	m	MA	3	TUDo	5	4	5	4	4	5	4	4	3	
34	RA03	m	MA	2	TUDo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
35	AN09	m	MA	2	TUDo	5	4	4	4	5	4	5	5	4	
36	AK12	m	BA	7	TUDo	5	3	3	4	4	4	4	4	4	
37	EL11	m	BA	4	TUDo	5	5	5	5	5	5	4	4	5	
38	PE11	m	MA	1	TUDo	5	5	5	4	4	4	3	3	3	
39	ÖM11	m	MA	1	TUDo	4	4	4	4	4	3	4	3	4	
40	LA04	m	MA	1	TUDo	4	4	5	4	4	4	4	4	4	
41	FE11	m	MA	1	TUDo	4	5	4	3	5	4	5	5	4	

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	4. Nachhaltigkeit (post)									
						4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
42	la09	m	MA	3	TUDo	5	4	4	4	5	4	3	5	5	
43	AG07	m	BA	9	TUDo	3	2	3	4	4	4	4	4	4	
44	RE04	m	BA	7	TUDo	5	5	5	4	4	4	4	4	4	
45	ON07	m	BA	11	TUDo	5	4	4	5	3	4	3	4	5	
46	KO07	m	BA	7	TUDo	4	3	4	4	3	4	3	3	4	
47	GA07	w	MA	2	TUDo	5	4	4	4	4	4	3	3	4	
48	BA08	w	MA	2	TUDo	4	4	5	5	5	5	5	5	5	
49	RU01	w	MA	1	TUDo	5	4	5	3	4	4	4	5	4	
50	AS10	m	MA	1	TUDo	3	3	5	4	5	5	4	4	4	
51	Ano8	m	MA	1	TUDo	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
52	HO07	m	BA	9	TUDo	4	4	4	4	3	4	4	4	5	
53	Ui11	m	MA	1	TUDo	5	5	4	4	4	4	4	4	4	
54	BR09	w	MA	2	TUDo	4	4	4	5	4	5	4	4	4	
55	SC11	m	MA	3	TUDo	3	4	4	4	4	4	5	4	4	
56	ME04	k.A.	BA	3	TH Köln	5	4	5	3	4	4	2	3	3	
57	ME05	m	BA	3	TH Köln	1	5	4	1	1	1	1	1	1	
58	FE05	w	BA	3	TH Köln	5	5	5	5	5	5	4	4	4	
59	Kr04	m	BA	3	TH Köln	4	3	4	4	3	3	4	3	3	
60	AH10	m	BA	5	TH Köln	4	4	4	3	2	3	3	3	3	
61	SE07	w	BA	3	TH Köln	4	3	4	4	2	5	5	4	4	
62	CA01	m	BA	5	HAW	5	4	5	4	4	5	4	5	4	
63	Mo02	w	BA	5	HAW	5	5	5	4	5	4	4	4	5	
64	SE09	m	BA	5	RUB	4	3	3	4	4	4	4	4	4	
65	YO06	m	BA	5	RUB	4	5	5	4	5	5	4	5	5	
66	AS11	m	MA	2	RUB	4	4	3	4	3	4	4	3	4	
67	LU01	m	BA	5	RUB	2	3	1	3	3	3	3	3	3	
68	YI05	w	BA	9	RUB	5	5	5	3	3	3	3	3	3	
69	ER-STRIZ0916	w	BA	8	RUB	4	4	4	4	5	4	5	4	3	
70	XXX-XXX	w	BA	7	RUB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
71	KA12	m	BA	5	RUB	4	3	4	4	3	4	4	3	3	
72	TR07	m	BA	5	RUB	3	3	4	3	4	3	3	4	3	
73	Ma07	w	BA	7	RUB	4	3	4	3	3	4	3	3	3	
74	LA09	m	BA	5	RUB	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
75	BA01	m	BA	5	RUB	4	3	4	3	3	4	5	4	3	
76	SA05	m	BA	11	RUB	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
77	RA11	w	BA	5	RUB	5	2	4	3	4	4	3	4	3	
78	Mö02	m	BA	5	RUB	-	3	4	3	4	4	4	4	3	
79	Th03	m	BA	5	RUB	5	5	5	4	4	4	3	5	5	
80	FE09	m	BA	5	RUB	4	4	4	4	4	4	3	3	4	
81	WI10	m	BA	5	RUB	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
82	SA01	m	BA	5	RUB	2	4	4	3	4	3	4	3	3	
83	SE03	w	BA	5	RUB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Standort	4. Nachhaltigkeit (post)									
						4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
84	<b>JU04</b>	w	BA	5	RUB	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
85	<b>OE01</b>	w	BA	5	RUB	2	3	4	2	4	3	5	1	2	
86	<b>BR10</b>	m	BA	7	RUB	2	3	4	2	2	3	2	3	4	
87	<b>SO10</b>	m	MA	2	RUB	4	1	3	4	5	5	5	5	5	
88	<b>DOR2020</b>	k.A.	MA	2	RUB	5	5	3	2	2	5	2	3	5	
89	<b>TA09</b>	m	BA	7	RUB	5	5	5	4	4	4	4	4	5	
90	<b>SA02</b>	m	BA	5	RUB	3	4	3	4	3	4	3	4	4	
91	<b>ÖZ11</b>	w	BA	5	RUB	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
92	<b>AY06</b>	m	MA	2	RUB	3	4	3	4	4	4	4	4	4	
93	<b>FL12</b>	m	BA	5	RUB	5	5	5	4	5	5	5	4	5	
94	<b>RA12</b>	w	BA	5	RUB	4	4	5	3	2	5	4	4	4	
95	<b>AT09</b>	w	BA	5	RUB	5	5	5	5	5	5	5	5	5	

## A7 Aufgabenstellung der IoGC im Wintersemester 2020/21

### 1. Einleitung

Nepal ist ein Binnenstaat in Südasien und hat ca. 29 Millionen Einwohner. Geographisch grenzt es nördlich an die Volksrepublik China und im Osten, Süden und Westen an Indien. Zudem lässt sich das Land in drei Hauptregionen aufteilen: das Terai ist die fruchtbare Tiefebene an der Grenze zu Indien, nördlich umfasst die Hochgebirgsregion Teile des Himalayas und zentral liegt das Mittelland mit vielen Wäldern.

Die stetig wachsende Bevölkerung Nepals ist mit ca. 85 % immer noch sehr ländlich und bäuerlich geprägt, wodurch u.a. die Rodung der Wälder zur Umweltzerstörung im Mittelland und den nördlichen Himalaya-Hängen beitragen. Um die nepalesischen Wälder und Ressourcen zu schützen und gleichzeitig eine bessere Lebensgrundlage für die Bevölkerung zu erreichen, schuf die Regierung mit den Community Forests eine aktive Beteiligung der lokalen Bevölkerung an der Waldbewirtschaftung. Als eines der ersten Entwicklungsländer hat

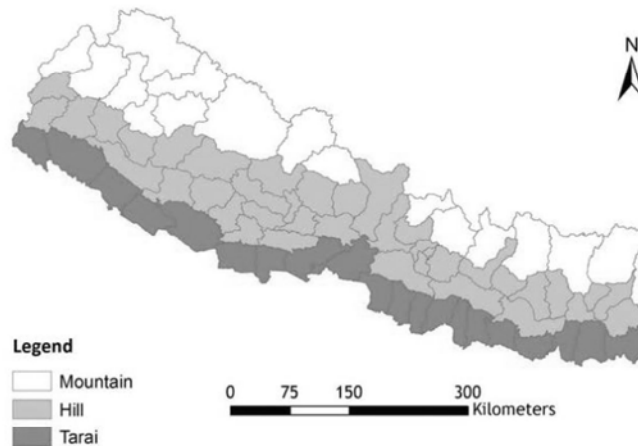


Abbildung 1: Geographische Lage Nepals (Quelle: Pradhan et al. 2019)

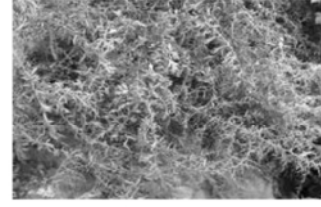
Nepal ein kommunales Forstwirtschaftsprogramm verabschiedet hat, das der Gemeinde die Befugnis gibt, Waldressourcen zu bewirtschaften. Das Programm bietet daher die Möglichkeit, die Zerstörung nationaler Wälder zu verringern, nachhaltige forstwirtschaftliche Praktiken zu fördern und den Lebensunterhalt der Gemeinde zu verbessern. Aktuell wird ein Viertel der nationalen Wälder von der Gemeindeverwaltung verwaltet, welche über 19.000 Community Forest-Benutzergruppen und 1,6 Millionen Haushalte umfasst.

Innerhalb der kommunalen Forstnutzergruppen gibt es reiche, mittlere und arme Haushalte, die sich am Waldressourcenmanagement beteiligen. Der Beitrag zwischen den verschiedenen sozioökonomischen Haushalten und der Waldbewirtschaftung ist relativ gleich. Die forstwirtschaftlichen Ressourcen, wie (Brenn-)Holz und Futter werden von den Einheimischen verwendet, um zusätzliche Einnahmen aus Verkäufen zu erzielen. Aufgrund ihrer Aktivitäten zur Gemeindeentwicklung können sie tägliche Einkommen generieren, die ihren Lebensunterhalt verbessern.

### 2. Problemstellung

Die rasche Ausbreitung von Waldrestholz und invasiven Arten ist eine der größten Herausforderungen der Waldbewirtschaftung in Nepal, da diese Rückstände regelmäßig Waldbrände verursachen, bei denen jedes Jahr Tausende Hektar Wald verbrannt werden. Um dies einzudämmen, sind das Bereinigen, Beschneiden und Jäten in den Wäldern eine obligatorische Waldbewirtschaftungspraktik, die von allen Gemeinden jährlich durchgeführt werden muss.

Die gesammelten Waldreste haben jedoch für die Gemeinden nur einen geringen wirtschaftlichen Nutzen, wodurch sie nur als Routinetätigkeit ausgeführt werden und die meisten geernteten Rückstände ungenutzt im Wald verbleiben.

*Lantana camara**Eupatorium odoratum**Artemisia vulgaris**Lantana aculeata L.*

Zweige und Äste



Zweige und Blätter

*Abbildung 2: Waldrestholz in den Community Forests (Quelle: Minergy)*

### **1. Werkzeuge für die Ernte**

In vielen Gemeindewäldern im Mittelland werden freiwillig Rückstände - hauptsächlich von Frauen und den ärmsten Mitgliedern der Gemeinde - geerntet. Die Ernte erfolgt saisonal in der Trockenzeit zwischen November und Februar. Diese wird manuell durchgeführt und ist daher sehr arbeits- und zeitintensiv. Für die Ernte werden Haushaltswerkzeuge wie Sichel, Hacke usw. verwendet.

**Es müssen einfache Werkzeuge entwickelt und eingeführt werden, mit denen die Plackerei des Menschen verringert und die Effizienz der Ernte gesteigert werden kann.**

*Abbildung 3: Waldnutzer bei der Rückstandsernte (Quelle: Minergy)*



Abbildung 4: Für die Ernte verwendete Werkzeuge (Quelle: Minergy)

## **2. Transport der losen Biomasse**

Nach der Ernte wird die Biomasse - ebenfalls ohne Maschinen - gebündelt per Hand transportiert. Es handelt sich hierbei um lose Biomassen mit einem Durchmesser von 1 – 3 cm und einer Länge von 30 cm – 2 Meter.

Das lose Material und die dichte Vegetation der Wälder erschweren den Transport. Die Böden sind oftmals aufgeweicht, schlammig und hügelig. Das Gefälle kann bis zu 20 % betragen.

**Gesucht werden Transportalternativen die idealerweise vor Ort hergestellt werden können und den Transport effektiver gestalten kann.**



Abbildung 5: Transport der Biomasse aus dem Community Forest (Quelle: Minergy)

## **3. Optimierung der Verkohlung**

In einigen Dorfgemeinschaften werden die Waldreste für zu Holzkohle verarbeitet und verkauft. Holzkohle ist ein kohlenstoffreicher Rückstand, der bei der Karbonisierung von Biomasse anfällt. Diese findet Verwendung zum Kochen & Grillen, in Hotels auch in großen



Kaminen, zu den Bodenverbesserungen, als Rohstoff für Weihrauch, Filtration und Reinigung sowie zur Arzneimittelherstellung.

Traditionell wurden zur Herstellung Erdgruben für die Holzkohleproduktion verwendet. Diese Methode ist ineffizient und generiert lediglich eine Ausbeute von 10-15%.

In den letzten Jahren haben sich verschiedene Arten verbesserter Verkohlungstechnologien mit erhöhtem Ertrag entwickelt. Dadurch erhöht sich die Ausbeute auf bis zu 30%. Die Ausbeute bei der Verbesserung ist immer noch geringer, die Emissionen immer noch hoch. Die Produktionskapazität beträgt ca. 80 – 100 kg Kohle.

**Es gilt eine Anlage zu entwickeln die eine höhere Produktionskapazität mit höherem Wirkungsgrad (> 40 %) ermöglicht.**

Technische Daten	Holzkohle
Heizwert (MJ/kg)	27-29
Flüchtige Bestandteile (%)	~15
Schwefelgehalt (%)	<0.01
Dichte (kg/cu.m)	~400



Abbildung 6: Holzkohle und ihre technischen Daten (Quelle: Minergy)

### 3. Partnervorstellung

#### IoG e.V. (Projektpartner)

Ingenieure ohne Grenzen e.V. ist eine gemeinnützig anerkannte private Hilfsorganisation, welche 2003 gegründet wurde. Wir unterstützen Menschen, für die die Versorgung der infrastrukturellen Grundbedürfnisse durch Not oder Armut nicht vorhanden oder gefährdet ist, unabhängig ihrer Hautfarbe, Weltanschauung oder Religion. Unsere Mission ist es, mit technischem Wissen die Lebensbedingungen von diesen Menschen zu verbessern, um das Zusammenwachsen der Welt zu fördern. Deshalb planen und realisieren wir Infrastrukturprojekte und leisten Bildungsarbeit im In- und Ausland gemeinsam mit lokalen Partnern und unter Einbeziehung der Menschen vor Ort.

Ingenieure ohne Grenzen lebt von dem Engagement seiner vielen ehrenamtlichen Unterstützer. Durch unser breites Mitmachangebot können Menschen unterschiedlichster Hintergründe in ganz Deutschland im Feld der Entwicklungszusammenarbeit aktiv werden.

Ingenieure ohne Grenzen war in den letzten Jahren in über 30 Ländern im Einsatz und hat unter anderem Arbeitsschwerpunkte im Bereich WASH (Zisternen in Tansania, Trenntoiletten in Sierra Leone) und Solar (Solare Wasserdeseinfektion in Tansania, Stromversorgung von Schulen). Weiterhin unterstützen wir in Nepal den Wiederaufbau, um den Menschen nach dem Erdbeben ein neues Zuhause zu geben. In Deutschland sind wir seit 2015 mit verschiedenen.

Auch dieses Jahr setzen wir uns für menschenwürdige Lebensverhältnisse ein. In Kamerun planen wir mit unserem lokalen Partner den Bau von Brunnen, welche die Region Mbam et Kim nachhaltig mit sauberem Wasser versorgen soll. Weiterhin unterstützen wir in Nepal den Wiederaufbau, um den Menschen nach dem Erdbeben ein neues Zuhause zu geben. In Deutschland sind wir seit 2015 Jahr mit verschiedenen Projekten zur Technik-Projekten zur Integration von Geflüchteten aktiv.

Gemeinsam mit lokalen Partnern und unter Einbeziehung der Menschen vor Ort unterstützt Ingenieure ohne Grenzen den Auf- und Ausbau grundlegender Infrastruktur. Angepasste Technik dient uns als Mittel zum Zweck, um die Bedürfnisse der Menschen zu erfüllen.

Ein tiefgehendes Verständnis der lokalen Verhältnisse ist Bedingung für das Erreichen unserer Ziele. Damit unsere Arbeit die erwünschte Wirkung erzielt ist Wissensaustausch ein Kernaspekt im Rahmen unserer Aktivitäten. Hierdurch stärken wir unsere Partnerorganisationen und sichern die Erfolge unserer Arbeit langfristig.

#### **Minergy (Projektpartner)**

Minergy Initiatives wurde 2011 in Nepal als NGO registriert. Schwerpunkte ihrer Arbeit sind Projekte zu umweltfreundlichen, energieeffizienten Technologien und erneuerbaren Energien auf Haushalts- und Industrieebene, um die Energie-, Umwelt-, Klima- und Gesundheitsbedingungen zu verbessern. Minergy arbeitet unter anderen mit multinationalen Organisationen, wie der UNDP und Weltbank zusammen. Seit dem Erdbeben 2015 besteht zudem eine Kooperation mit Ingenieure ohne Grenzen e.V.

#### **4. Literatur**

- **Banse, G.:** Integrative nachhaltige Entwicklung und Technikfolgenabschätzung. In: Utopie Kreativ (2003), Juli/August.
- **Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ):** Nepal. Online verfügbar unter:  
[http://www.bmz.de/de/laender\\_regionen/asien/nepal/index.jsp](http://www.bmz.de/de/laender_regionen/asien/nepal/index.jsp)
- **Grunwald, A.:** Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung - Von der Konzeption zur Umsetzung. Berlin: Edition Sigma, 2002.
- **Murray, T.:** A conceptual examination of product design, appropriate technology and environmental impact. <http://www.ruadesign.org/pdf/productdesign.pdf>, 2005.
- **Pradhan, B.; Sharma, P.; Pradhan, P.K.:** Impact of Cold Wave on Vulnerable People of Tarai Region, Nepal. In: Amini, A. (Hrsg.): Climate Change and Global Warming. 2019. Pages 143-156.
- **VDI: 3780** - Technikbewertung Begriffe und Grundlagen
- **VDI: 2243** - Recyclingorientierte Produktentwicklung

- **VDI: 2223** - Methodisches Entwerfen technischer Produkte
- **Wuppertal Institut:** Innovative Technologien für Entwicklungsländer /Wuppertal Institut. 2004.

#### Literaturquellen für Community Forests und Holzkohle

- **Adhikari, B.; Williams, F.; Lovett, J.C.:** Local benefits from community forests in the middle hills of Nepal. In: Forest Policy and Economics. Volume 9, Issue 5, Pages 464-478, January 2007.
- **Dhruba Bijaya, G. C.; Cheng, S.; Xu, Z.; Bhandari, J.; Wang L.; Liu, X.:** Community Forestry and livelihood in Nepal: a review. In: The Journal of Animal & Plant Sciences. Volume 26, Issue 1, Pages 1-12, 2016.
- **Energypedia:** Charcoal Production. Online verfügbar unter:  
[https://energypedia.info/wiki/Charcoal\\_Production](https://energypedia.info/wiki/Charcoal_Production). Zuletzt überprüft am 17.07.2020.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO):** Criteria and indicators for sustainable wood fuels. Case studies from Brazil, Guyana, Nepal, Philippines and Tanzania. 2009. <http://www.fao.org/3/i1321e/i1321e00.pdf>.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO):** The charcoal transition. Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods. 2017. <http://www.fao.org/3/a-i6935e.pdf>.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO):** Forestry for a low-carbon future. Integrating forests and wood products in climate change strategies. 2016. <http://www.fao.org/3/i5857e/i5857e.pdf>.
- **Global Forest Coalition:** Summary report of the Community Conservation Resilience Initiative in Nepal. 2018. <https://globalforestcoalition.org/wp-content/uploads/2018/06/NEPAL-SUMMARY-FOR-WEB.pdf>
- **Hammerton, J.; Joshi, L.R.; Ross, A.B.; Pariyar, B.; Lovett, J.C.; Shrestha, K.K.; Rijal, B.; Li, H.; Gasson, P.E.:** Characterisation of biomass resources in Nepal and assessment of potential for increased charcoal production, in: Journal of Environmental Management, Volume 223, 1 October 2018, Pages 358-370.

- **Kanel, K.R.; Kandel, B.R.:** Community Forestry in Nepal: Achievements and Challenges. Journal of Forest and Livelihood. Volume 4, Issue 1, Pages 55-63, July 2004.
- **Karkya, B.S.; Skutsch, M.:** The cost of carbon abatement through community forest management in Nepal Himalaya. In: Ecological Economics. Volume 69, Issue 3, Pages 666-672, January 2010.
- **Khanal, Y.; Adhikari, S.:** Regeneration promotion and income generation through scientific forest management in community forestry: a case study from Rupandehi district, Nepal. Banko Janakari. Volume 27, Issue 3, Pages 45-53, July 2018.
- **Kumar, N.:** The Challenges of Community Participation in Forest Development in Nepal. OED Working Paper. 2002.  
<http://documents1.worldbank.org/curated/en/534551468291689852/pdf/10132027931Nepal.pdf>
- **Springate-Baginski, O.; Dev, O.P.; Yadav, N.P.; Soussan, J.:** Community Forest Management in the Middle Hills of Nepal: The Changing Context. In: Journal of Forest and Livelihood. Volume 3, Issue 1, Pages 5-20, July, 2003.

**Websites der Partner:**

- **Ingenieure ohne Grenzen (IoG) e.V.:** <https://ingenieure-ohne-grenzen.org/>. Zuletzt überprüft am 17.07.2020.
- **MinErgy Pvt. Ltd.:** <http://www.minergynepal.com/>. Zuletzt überprüft am 17.07.2020.

## A8 Ergebnisse aus dem Pretest im Wintersemester 2020/21

#	Code	G	St.G.	S	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
1	NU11	w	MA	1	Zukunftsorientiert Denken.	1
2	NU07	w	MA	7	verantwortungsbewussten Umgang mit endlichen Ressourcen.	2
3	AY10	m	BA	5	langfristig positiven Wandel ohne Nachteile für Dritte/kommende Generationen	2
4	BR12	m	BA	7	die Ressourcen zu schützen, sie zu erhalten und auch sinnvoll aber angemessen Nutzen daraus ziehen, ohne sie zu zerstören (Was man nimmt, gibt man zurück).	3
5	WI02	m	MA	2	den jetzigen Lebensstandard auf ein Niveau zu bringen, so dass die Natur und Umwelt sowie die Menschheit nicht negativ beeinträchtigt oder sogar zerstört wird.	3
6	HI03	w	BA	7	Bei jetzigem Handeln auch an die Zukunft zu denken und in der Zeit Ressourcen zur Verfügung zu haben.	2
7	HA09	m	MA	13	eine gute Zukunft zu schaffen	1
8	BO02	w	MA	11	... allgemein, dass das Handeln eine langfristig bestehende Auswirkung hat. Im engeren Sinne müssen meiner Meinung nach verschiedene Aspekte getrennt werden. Aktuell wird Nachhaltigkeit in den Medien hauptsächlich mit dem Klima in Verbindung gebracht. Dies ist für mich allerdings nur ein - wenngleich ein sehr wichtiger - Aspekt von Nachhaltigkeit. U.a. bedeutet Nachhaltigkeit für mich bestimmte Bedingungen langfristig zu verbessern. So ist es für mich bspw. nachhaltig, wenn im Rahmen von Projekten mit Entwicklungsländern bessere Bedingungen für die Menschen vor Ort geschaffen werden können. Sofern diese den richtigen Zugang zu den Veränderungen erhalten und diese auch annehmen. Es ist für mich aber auch nachhaltig, wenn bestimmte Gesetze dahingehend geändert werden, dass eine langfristige Veränderung hervorgerufen wird, die das Leben von Menschen, das Klima, die Natur oder ähnliches langfristig positiv beeinflusst.	4
9	HA09	m	MA	15	ein gewissenhafter Umgang mit Ressourcen im Kontext der Globalisierung unter dem Aspekt des Umweltschutzes.	3
10	ST12	m	MA	13	nur so viel aus der Natur zu entnehmen, wie auch wieder nachwachsen kann.	1
11	HE07	m	MA	1	etwas Neues zu erschaffen und kontinuierlich zu verbessern	2
12	MO03	m	BA	5	in guter Verträglichkeit mit seiner Umwelt, seinen Mitmenschen und seinen wirtschaftlichen Interessen zu leben.	3
13	ST05	m	BA	16	ressourcenschonend, aber dennoch wertschöpfend zu produzieren.	2
14	KA02	w	MA	9	im Alltag auf meinen Lebensstil zu achten und nicht zu verschwenderisch zu leben.	1
15	BO12	m	BA	7	Nachhaltigkeit bedeutet für mich, wenn es eine Lösung existiert, die eine langfristige und positive Wirkung auf das Problem hat.	2

Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
16	<b>GAo8</b>	m	MA	9	Gleichgewicht, Kreislaufwirtschaft und keine Verschwendung.	2
17	<b>SMo8</b>	m	MA	11	so zu agieren, dass Ökosysteme nicht unnötigerweise beschädigt werden.	2
18	<b>SCo8</b>	w	MA	1	Das bestmögliche zu Tun um die Natur/ Umwelt zu schützen.	2
19	<b>OTo5</b>	w	BA	7	nur soviel zunehmen, dass auch genug wieder nach produziert werden kann.	2
20	<b>DEo5</b>	w	BA	11	... Ressourcen zu nutzen ohne sie auszubeuten. ... langfristig mit dem Handeln weder der Umwelt noch der menschlichen Lebensqualität zu schaden.	3
21	<b>GÜo2</b>	w	MA	2	, dass bspw. erneuerbare Energien verwendet werden, begrenzte Ressourcen gewissenhaft oder so wenig wie möglich verwendet bzw. verschwendet werden. Verschwendung sollte auf ein Minimum reduziert und langlebige, zuverlässige Alternativen geschaffen werden.	3
22	<b>CEo7</b>	w	BA	5	langfristig laufende Lösung, Alternative	1
23	<b>HVo1</b>	m	MA	3	Ressourcenschonend handeln, an die Zukunft denken, das Wissen weitergeben etc.	2
24	<b>BEo4</b>	w	MA	11	Aufbau einer Struktur, die beteiligten Personen eine eigenständige Lösung von Problemen erlaubt. Diese Struktur sollte Denkansätze beinhalten, die das Allgemeinwohl der Region und des Planeten beeinflussen.	2
25	<b>Flo5</b>	m	MA	1	Ressourcen zu respektieren, zu schonen und zu schützen	2
26	<b>SCo3</b>	m	MA	11	persönlich so zu handeln, dass kommende Generationen die Erde so erleben können, wie wir es tun.	2
27	<b>TOo9</b>	m	BA	9	Sparsamkeit, Umweltfreundlich, Wiederverwendbar, Ressourcen.	3
28	<b>MEo7</b>	m	MA	9	unter der Beachtung der Bedürfnisse anderer genau das zu erreichen, was man möchte.	2
29	<b>GEo2</b>	w	BA	5	den kommenden Generationen eine lebenswerte Erde zu hinterlassen.	2
30	<b>HÖ12</b>	m	BA	7	Schaffung von langfristigen Perspektiven.	1
31	<b>MAo9</b>	m	BA	5	etwas zu tun (etwas schaffen, machen etc.) was sich in der Zukunft als lohnenswert herausstellt und keinen negativen Einfluss auf die Umwelt/ Mitwelt mit sich bringt.	3
32	<b>WEo9</b>	w	MA	3	auf Ressourcen zu achten und diese nicht zu verschwenden.	2
33	<b>Llo5</b>	w	MA	3	Thema, das ganz viel diskutiert wird, Fridays for future	1
34	<b>FRo3</b>	m	MA	7	etwas so machen, dass es lange hält und langlebig ist und nicht ständig erneuert werden muss	2
35	<b>SLo4</b>	w	BA	9	keine Umweltverschmutzung, weniger Fleisch essen, vernünftig leben, Energie sparen und kein Atomstrom	3

Anhang

#	Code	G	St.G.	S	4. Nachhaltigkeit (pre)									
					4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
1	NU11	w	MA	1	3	3	3	3	4	3	4	5	4	
2	NU07	w	MA	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
3	AY10	m	BA	5	4	4	4	1	1	4	2	3	4	
4	BR12	m	BA	7	5	4	5	5	5	5	5	5	5	
5	WI02	m	MA	2	4	5	5	2	4	4	4	2	4	
6	HI03	w	BA	7	5	5	2	4	3	4	4	3	3	
7	HA09	m	MA	13	4	3	3	4	1	2	4	4	4	
8	BO02	w	MA	11	5	5	1	3	2	5	4	3	5	
9	HA09	m	MA	15	4	4	2	1	2	4	2	4	2	
10	ST12	m	MA	13	3	2	2	2	4	4	4	3	3	
11	HE07	m	MA	1	4	3	4	2	3	2	4	2	4	
12	MO03	m	BA	5	4	5	4	5	2	4	5	5	5	
13	Be10	w	BA	5	4	5	4	4	2	4	5	4	4	
14	ST05	m	BA	16	5	5	5	4	4	4	4	4	5	
15	KA02	w	MA	9	3	3	2	2	1	4	3	4	5	
16	BO12	m	BA	7	4	4	2	2	3	4	4	3	4	
17	GA08	m	MA	9	4	4	4	4	2	4	4	4	4	
18	SM08	m	MA	11	4	2	1	2	2	4	4	2	4	
19	SC08	w	MA	1	4	3	3	4	4	4	4	4	4	
20	OT05	w	BA	7	4	4	3	3	3	3	4	4	4	
21	DE05	w	BA	11	4	5	2	2	3	4	3	4	4	
22	GÜ02	w	MA	2	4	4	3	4	3	3	4	4	3	
23	CE07	w	BA	5	4	4	4	3	3	3	4	4	3	
24	HV01	m	MA	3	5	2	2	4	4	4	5	4	5	
25	BE04	w	MA	11	3	3	2	4	3	5	4	4	5	
26	FI05	m	MA	1	4	5	2	2	4	4	4	5	4	
27	SC03	m	MA	11	5	5	4	4	2	5	4	4	4	
28	TO09	m	BA	9	4	5	5	3	3	3	3	3	3	
29	ME07	m	MA	9	5	5	4	1	1	4	3	1	2	
30	GE02	w	BA	5	4	4	3	2	2	5	4	2	5	
31	HÖ12	m	BA	7	5	4	4	4	2	4	4	3	4	
32	MA09	m	BA	5	4	5	1	3	3	4	4	4	4	
33	WE09	w	MA	3	4	3	2	2	3	3	3	3	3	
34	LI05	w	MA	3	5	5	2	2	2	2	2	3	2	
35	FR03	m	MA	7	4	4	2	2	3	2	3	3	2	
36	SL04	w	BA	9	5	5	1	1	1	1	1	1	1	

## A9 Ergebnisse aus dem Posttest im Wintersemester 2020/21

#	Code	G	St.G.	S.	4. Nachhaltigkeit (post)									
					4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
1	NU11	w	MA	1	4	3	3	3	4	3	2	2	3	
2	NU07	w	MA	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
3	AY10	m	BA	5	4	3	3	2	4	5	4	3	4	
4	BR12	m	BA	7	5	5	5	4	4	4	5	5	4	
5	WI02	m	MA	2	4	5	4	3	3	4	3	3	3	
6	HI03	w	BA	7	5	5	4	4	4	4	4	4	4	
7	HA09	m	MA	13	4	3	3	3	4	4	1	2	2	
8	BO02	w	MA	11	4	5	3	4	4	5	5	5	5	
9	HA09	m	MA	15	4	5	2	4	5	4	4	4	4	
10	ST12	m	MA	13	4	3	4	5	4	4	4	5	5	
11	HE07	m	MA	1	4	5	2	3	4	4	5	4	5	
12	MO03	m	BA	5	4	4	4	4	5	5	5	3	4	
13	Be10	w	BA	5	4	4	2	4	5	4	5	5	5	
14	ST05	m	BA	16	4	4	4	5	4	5	4	4	5	
15	KA02	w	MA	9	4	4	4	4	4	5	5	4	4	
16	BO12	m	BA	7	4	4	1	4	5	4	5	4	4	
17	GA08	m	MA	9	4	4	2	4	4	5	5	5	5	
18	SM08	m	MA	11	3	4	2	4	4	4	4	4	4	
19	SC08	w	MA	1	4	4	3	4	4	4	4	4	4	
20	OT05	w	BA	7	4	4	2	4	4	4	4	4	4	
21	DE05	w	BA	11	3	5	2	4	5	4	4	4	3	
22	GÜ02	w	MA	2	4	4	3	4	5	5	4	4	5	
23	CE07	w	BA	5	4	4	3	4	4	4	4	4	4	
24	HV01	m	MA	3	5	5	4	4	5	5	3	3	3	
25	BE04	w	MA	11	3	3	2	4	5	4	2	2	2	
26	FI05	m	MA	1	4	4	2	4	4	4	4	4	4	
27	SC03	m	MA	11	5	5	4	4	4	4	2	2	2	
28	TO09	m	BA	9	5	5	3	5	5	5	5	5	5	
29	ME07	m	MA	9	5	5	3	3	3	4	4	4	4	
30	GE02	w	BA	5	4	5	2	3	4	4	3	3	3	
31	HÖ12	m	BA	7	5	5	3	4	4	3	2	3	4	
32	MA09	m	BA	5	5	5	1	2	4	4	4	4	4	
33	WE09	w	MA	3	4	3	2	4	3	4	5	4	4	
34	LI05	w	MA	3	5	5	2	3	3	3	3	4	4	
35	FR03	m	MA	7	5	5	4	4	4	4	4	4	3	
36	SL04	w	BA	9	5	5	2	2	2	2	3	3	4	



## A10 Aufgabenstellung der IoGC im Wintersemester 2021/22

### 1. Einleitung

Nepal ist ein Binnenstaat in Südasien und hat ca. 29 Millionen Einwohner:innen. Geographisch grenzt es nördlich an die Volksrepublik China und im Osten, Süden und Westen an Indien. Zudem lässt sich das Land in drei Hauptregionen aufteilen: das Terai ist die fruchtbare Tiefebene an der Grenze zu Indien, nördlich umfasst die Hochgebirgsregion Teile des Himalayas und zentral liegt das Mittelland mit vielen Wäldern.

Die stetig wachsende Bevölkerung Nepals ist mit ca. 85 % immer noch sehr ländlich und bäuerlich geprägt, wodurch die meisten Nepales:innen in der Landwirtschaft arbeiten. Doch geringe Landbesitze und eine niedrige Produktivität erlauben den meisten Menschen nur eine *Subsistenzwirtschaft* (Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen zur Selbstversorgung) und den Verkauf weniger *Cash Crops* (landwirtschaftliche Pflanzen und Kulturen, die zu Verkaufs- oder Exportzwecken gepflanzt werden).

Die Armut und Unterernährung, haben sich zwar in den letzten Jahren reduziert, sind aber weiterhin auf einem hohen Niveau. Mit einem „Wohlstandsindikator“ (HDI-Human Development Index) von 0,602 liegt Nepal auf Platz 142 von 189 Ländern (UNDP 2021).

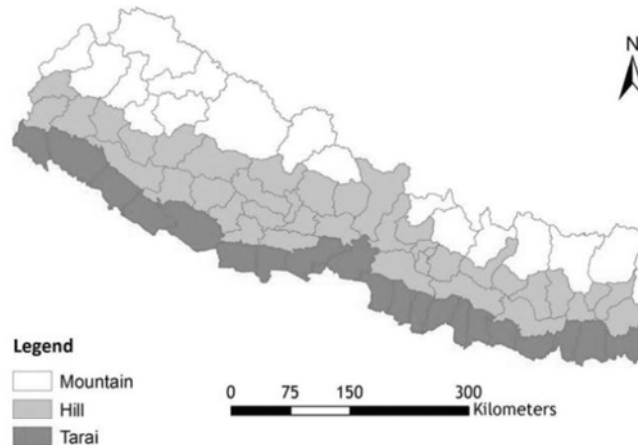


Abbildung 1: Geographische Lage Nepals (Quelle: Pradhan et al. 2019).

### 2. Situationsbeschreibung und Problemstellung

Die in den letzten 25 Jahren gestiegene Ernährungssicherheit in Südasien – einschließlich eines Rückgangs der Unterernährung – ist hauptsächlich auf eine höhere Getreideproduktion und steigende Erträge, sinkende Bevölkerungswachstumsraten und höhere Staatsausgaben im Verhältnis zum BIP zurückzuführen. In Nepal ist der Getreideertrag pro Hektar von 1.900 Kilogramm im Jahr 1990 auf etwa 2.800 Kilogramm im Jahr 2017 zwar deutlich gestiegen, liegt damit aber weiterhin unter dem Durchschnitt Südasiens. Eine Analyse von Daten aus Nepal von 1995 bis 1996 und von 2003 bis 2004 ergab, dass eine höhere landwirtschaftliche Produktivität tatsächlich zu einer Verbesserung der Ernährungssicherheit der Haushalte führte, insbesondere für solche mit geringerem Einkommen (Morioka und Kondo 2017).

Ein Ansatz zur Steigerung der Produktivität der Landwirtschaft ist eine Förderung von Wasser zur ausreichenden Bewässerung der Felder durch solarbetriebene Wasserpumpen. Zuständig für die Vergabe von Förderungen ist das APEC (*Alternative Energy Promotion Centre*) des Ministeriums für Energie, Wasser Ressourcen und Bewässerung (*Ministry for Energy, Water Resources and Irrigation*). Nachdem die Förderung bei der AEPC beantragt wurde und diese die Förderkriterien erfüllt, werden die Wasserpumpen unter der Aufsicht von der AEPC durch private Solarfirmen installiert.

Gefördert werden:

- **Systeme für Einzelhaushalte (1 – 1,2 kW)**  
Die im Haushalt verwendeten Pumpen sind Oberflächenpumpen mit 1,0 PS (1 PS = 745,7 Watt). Das Wasser des Brunnens (7 Meter unter der Erde) wird durch eine 1,0-PS-Oberflächenpumpe mit Hilfe von 1,0-kW-Solarzellen hochgepumpt. Zwischen den Solarmodulen und der Pumpe befindet sich ein Wechselrichter (1 kW) für die Solarpumpe (in der Regel ein Frequenzumrichter (VFD)). Eine beispielhafte Pumpe finden Sie [hier](#) (s. Quellen).
- **Anlagen für die gesamte Dorfgemeinschaft (5 – 10 kW)**  
Auf Dorfebene sind die gängigsten Pumpen zwischen 5 und 10,0 PS. In ähnlicher Weise zu den Pumpen der Einzelhaushalte wird in den Dörfern das Wasser einer Quelle (Brunnen, Bohrbrunnen, Teich usw.) mit einer Tauchpumpe von 5 bis 10 PS oder mehr durch PV-Paneele von 5 bis 10 kW oder mehr auf die Bergkuppe oder in eine bestimmte Höhe gepumpt. Zwischen der Pumpe und den PV-Modulen befindet sich ein Wechselrichter (5,0 kW - 10,0 kW) für die Solarpumpe. Eine beispielhafte Pumpe finden Sie [hier](#) (s. Quellen)

Beide Systemgrößen haben keinen Batteriespeicher und laufen entsprechend nur tagsüber bei Sonnenschein. Von den Systemen für Einzelhaushalte sind bis 2020 über 1700 Stück verkauft worden. Durchschnittlich kosten diese Anlagen 4.000 USD, von denen der Staat ca. 60% subventioniert. Von den größeren Anlagen für die Dorfgemeinschaften sind bis 2020 ca. 280 Anlagen verkauft worden. Der Preis dieser Anlagen beträgt 10.000 – 15.000 USD pro System. Auch diese Anlagen werden vom Staat mit 60 bis zu 90% (abhängig von der jeweiligen Region) subventioniert.

Die Nachfrage nach Förderungen von Solarpumpensystemen ist groß und beträgt jährlich 500 – 6000 Anlagen. Das jährliche Fördervolumen finanzierte in den letzten Jahren 500 – 600 Anlagen.



Abbildung 2: Solarbetriebene Wasserpumpe für Einzelhaushalte (Quelle: Nepalitimes).



Abbildung 3: Solarbetriebene Wasserpumpe für Dorfgemeinschaften.



Abbildung 4: Solarbetriebene Wasserpumpe für Dorfgemeinschaften (Seitenansicht).

### **Stromversorgung der Dörfer:**

Der Netzanschluss in den ländlichen Regionen ist in den letzten Jahren stark ausgebaut worden. Offiziell sind mehr als 95% der nepalesischen Haushalte an ein Stromnetz angeschlossen. Jedoch umfasst die Versorgung häufig nicht Farmen und Felder und ist durch häufige unangekündigte Ausfälle unbekannter Dauer gekennzeichnet.

Die Aufgabenstellung der IoG Challenge fokussiert vor allem auf die bisher nicht elektrifizierten Dörfer und Gemeinden, die aufgrund ihrer geographischen Lage eine grundsätzlich schwache

Infrastruktur aufweisen. Eine weitere Möglichkeit der ländlichen Stromversorgung ist die Nutzung von Dieselpumpen, die jedoch aufgrund fehlender Förderung und hoher Betriebskosten teurer sind.

#### **Aktuelles Nutzungsprofil der Anlagen:**

Die solarbetriebenen Wasserpumpen fördern größtenteils Grundwasser, jedoch gibt es in den höheren Bergregionen Nepals auch vereinzelte Systeme, die Oberflächenwasser aus Flüssen nutzen. Die Anlagen laufen, bei entsprechendem Bedarf, während der Sonnenstunden. Während der Monate Juni und Juli sowie Dezember und Januar kann von einer Nutzungsintensität von 100% ausgegangen werden. Es werden vornehmlich Reis, Mais und Weizen, in Einzelfällen Gemüsepflanzen bewässert. In den restlichen Monaten ist der Nutzungsfaktor sehr gering. Im Jahresdurchschnitt wird von einem Nutzungsfaktor von 30% ausgegangen. Aktuell besteht keine Möglichkeit zur Einspeisung der erzeugten Elektrizität in das Stromnetz, jedoch bereitet die Regierung eine Guideline zur Einspeisevergütung vor.

#### **Die Zielgruppe:**

Die durchschnittliche Haushaltsgröße liegt in Nepal bei 4-6 Personen (in den ländlichen Regionen eher höher) und sie verdienen meistens weniger als 5 USD pro Tag. Die Familien bauen auf kleinen Feldern Lebensmittel für die Selbstversorgung (Subsistenzwirtschaft) und für den Verkauf auf lokalen Märkten (Cash Crops) an.

### **3. Aufgabenstellung**

Wie bereits beschrieben, werden die solarbetriebenen Wasserpumpen im Jahresdurchschnitt lediglich zu 30% ihrer Kapazitäten genutzt, da der Bedarf an Bewässerung nicht kontinuierlich ist. Die Kernidee der diesjährigen Challenge ist die Untersuchung des Potentials der Systeme außerhalb des Hauptnutzungszeitraums zur Bewässerung. Ist es möglich, diese Kapazität in Form von Elektrizität für die individuellen Anlagen und / oder die größeren Anlagen produktiv nutzbar zu machen, ohne auf eine zusätzliche Investition in Form von Batteriespeichern zurückzugreifen?

1. **Haushalte:** Untersuchen Sie auf Haushaltsebene die Potentiale der individuellen **(1a)** oder größeren **(1b)** Wasserpumpen. Es besteht z.B. der Bedarf die Produktivität für die Lebensmittelverarbeitung zu erhöhen, Agrargüter zu trocknen, zu mahlen, zu kühlen etc.
2. **Dorf:** Untersuchen Sie auf Dorfebene die Potentiale der individuellen **(2a)** oder größeren **(2b)** Wasserpumpen. Hier sind Lösungskonzepte, wie Kühlräume zur Lagerung sowie ebenfalls der Verarbeitung (wie Mahlen und Trocknen), mögliche Ansatzpunkte.

#### **Weitere Randbedingungen/Informationen:**

- Typische energieverbrauchende Gegenstände in den Haushalten/Dörfern sind 4 bis 5 LED-Glühbirnen mit 2 W, mobile Ladegeräte, Radio, Fernseher usw.
- Die Temperatur kann in den Wintermonaten bei 0 °Celsius liegen.

### **4. Partnernvorstellung**

#### **IoG e.V. (Projektpartner)**

Ingenieure ohne Grenzen e.V. ist eine gemeinnützig anerkannte private Hilfsorganisation, welche 2003 gegründet wurde. Wir unterstützen Menschen, für die die Versorgung der infrastrukturellen Grundbedürfnisse durch Not oder Armut nicht vorhanden oder gefährdet ist,

unabhängig ihrer Hautfarbe, Weltanschauung oder Religion. Unsere Mission ist es, mit technischem Wissen die Lebensbedingungen dieser Menschen zu verbessern, um das Zusammenwachsen der Welt zu fördern. Deshalb planen und realisieren wir Infrastrukturprojekte und leisten Bildungsarbeit im In- und Ausland gemeinsam mit lokalen Partnern und unter Einbeziehung der Menschen vor Ort.

Ingenieure ohne Grenzen lebt von dem Engagement seiner vielen ehrenamtlichen Unterstützer:innen. Durch unser breites Mitmachangebot können Menschen unterschiedlichster Hintergründe in ganz Deutschland im Feld der Entwicklungszusammenarbeit aktiv werden.

Ingenieure ohne Grenzen war in den letzten Jahren in über 30 Ländern im Einsatz und hat unter anderem Arbeitsschwerpunkte im Bereich WASH (Zisternen in Tansania, Trenntoiletten in Sierra Leone) und Solar (Solare Wasserdeseinfektion in Tansania, Stromversorgung von Schulen). Weiterhin unterstützen wir in Nepal den Wiederaufbau, um den Menschen nach dem Erdbeben ein neues Zuhause zu geben. In Deutschland sind wir seit 2015 mit verschiedenen Projekten zur Technik-Projekten zur Integration von Geflüchteten aktiv.

Gemeinsam mit lokalen Partnern und unter Einbeziehung der Menschen vor Ort unterstützt Ingenieure ohne Grenzen den Auf- und Ausbau grundlegender Infrastruktur. Angepasste Technik dient uns als Mittel zum Zweck, um die Bedürfnisse der Menschen zu erfüllen.

Ein tiefgehendes Verständnis der lokalen Verhältnisse ist Bedingung für das Erreichen unserer Ziele. Damit unsere Arbeit die erwünschte Wirkung erzielt ist Wissensaustausch ein Kernaspekt im Rahmen unserer Aktivitäten. Hierdurch stärken wir unsere Partnerorganisationen und sichern die Erfolge unserer Arbeit langfristig.

### **Minergy (Projektpartner)**

Minergy Initiatives wurde 2011 in Nepal als NGO registriert. Schwerpunkte ihrer Arbeit sind Projekte zu umweltfreundlichen, energieeffizienten Technologien und erneuerbaren Energien auf Haushalts- und Industriebene, um die Energie-, Umwelt-, Klima- und Gesundheitsbedingungen zu verbessern. Minergy arbeitet unter anderen mit multinationalen Organisationen, wie der UNDP und Weltbank zusammen. Seit dem Erdbeben 2015 besteht zudem eine Kooperation mit Ingenieure ohne Grenzen e.V.

## **5. Literatur**

- **Banse, G.:** Integrative nachhaltige Entwicklung und Technikfolgenabschätzung. In: Utopie Kreativ (2003), Juli/August.
- **Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ):** Nepal. Online verfügbar unter: [http://www.bmz.de/de/laender\\_regionen/asien/nepal/index.jsp](http://www.bmz.de/de/laender_regionen/asien/nepal/index.jsp)
- **Grunwald, A.:** Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung - Von der Konzeption zur Umsetzung. Berlin: Edition Sigma, 2002.
- **Murray, T.:** A conceptual examination of product design, appropriate technology and environmental impact. <http://www.ruadesign.org/pdf/productdesign.pdf>, 2005.
- **Pradhan, B.; Sharma, P.; Pradhan, P.K.:** Impact of Cold Wave on Vulnerable People of Tarai Region, Nepal. In: Amini, A. (Hrsg.): Climate Change and Global Warming. 2019. Pages 143-156.

- **VDI: 3780** - Technikbewertung Begriffe und Grundlagen
- **VDI: 2243** - Recyclingorientierte Produktentwicklung
- **VDI: 2223** - Methodisches Entwerfen technischer Produkte
- **Wuppertal Institut:** Innovative Technologien für Entwicklungsländer /Wuppertal Institut. 2004.

#### Literaturquellen Agrar – Hunger - Solar

- **HungerIndex Nepal:** Nepal. Eine eingehendere Betrachtung von Hunger und Unterernährung. <https://www.globalhungerindex.org/de/case-studies/2020-nepal.html>. Zuletzt überprüft am 17.07.2021.
- **Morioka, M.; Kondo, T.:** Agricultural Productivity Growth and Household Food Security Improvement in Nepal. Review of Development Economics, 2017, vol. 21, issue 4, e220-e240. [https://econpapers.repec.org/article/bladevec/v\\_3a21\\_3ay\\_3a2017\\_3ai\\_3a4\\_3ap\\_3ae220-e240.htm](https://econpapers.repec.org/article/bladevec/v_3a21_3ay_3a2017_3ai_3a4_3ap_3ae220-e240.htm) . Zuletzt geprüft am 20.09.21
- **Nepali Times:** Harnessing the sun to pump water, 23. Februar 2021. <https://www.nepalitimes.com/latest/harnessing-the-sun-to-pump-water/>. Zuletzt geprüft 02.09.2021
- <https://energypedia.info>
- **United Nations Development Programme (UNDP):** Human Development Reports. Nepal. <http://hdr.undp.org/en/countries/profiles/NPL>. Zuletzt überprüft am 17.07.2021.

#### Beispielhafte Pumpen

- **Einzelhaushalte:** [https://www.pedrollo.com/public/allegati/HF%20Medie%20portate\\_EN\\_60Hz.pdf](https://www.pedrollo.com/public/allegati/HF%20Medie%20portate_EN_60Hz.pdf)
- **Dorfebene:** [https://www.pedrollo.com/public/allegati/4SR\\_EN\\_50Hz.pdf](https://www.pedrollo.com/public/allegati/4SR_EN_50Hz.pdf)

#### Websites der Partner:

- **Ingenieure ohne Grenzen (IoG) e.V.:** <https://ingenieure-ohne-grenzen.org/>. Zuletzt überprüft am 17.07.2021.
- **MinErgy Pvt. Ltd.:** <http://www.minergynepal.com/>. Zuletzt überprüft am 17.07.2021.

## A11 Ergebnisse aus dem Pretest im Wintersemester 2021/22

#	Code	G	St.G.	S	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
1	DO09	w	MA	2	das Nutzen regenerativer Ressourcen und Methoden zur (möglichst) dauerhaften Erreichung eines vorgegebenen Ziels.	2
2	HE04	w	MA	2	langfristige Konzepte, die der Umwelt und dem Menschen dabei nicht schaden.	2
3	YI01	w	MA	2	auf die Umwelt (Mensch, Natur, Lebensqualität ==> also auch Wirtschaft) im alltäglichen und beruflichen Leben zu achten.	2
4	KR08	m	BA	5	den persönlichen ökologischen Fußabdruck möglichst gering zu halten.	2
5	VI03	w	BA	3	das ein vorher angetroffenes "schlechtes" Szenario/Zustand durch umweltfreundliche, eitsch und moralisch korrekte Lösungen verbessert wird, um das den ursprünglichen Zustand dauerhaft beseitigen bzw. verbessern zu können.	3
6	SC07	m	MA	2	Verfahren, Produkt oder Dienstleistungen mit wenig oder kein Spuren auf die Umwelt. Wenn z.B. bei irgendwelchem Produkt ein Ausgleich zwischen die Spuren und Regenerationsfähigkeit der Umwelt herrscht, kann man es nachhaltig nennen. Es gibt mehrere Einflussfaktoren sowie Verschmutzung, Plastiknutzung, Lebensdauer des Produkts usw., die bei diesem Thema eine große Rolle spielen.	3
7	SÖ02	w	MA	2	ökologische Schäden so gering wie möglich zu halten und diese wieder auszugleichen.	3
8	VU04	w	MA	3	mit knappen Ressourcen umweltfreundlich umzugehen.	2
9	ER01	m	MA	3	wirtschaftlich, sozial und ökologisch sinnvolle Entscheidungen zu treffen, die es ermöglichen über Jahre hinweg auf allen drei Ebenen erfolgreich ein Projekt o.ä. zu betreiben.	3
10	KU04	m	MA	3	verantwortungsbewusste Nutzung von Ressourcen	2
11	PR02	m	MA	5	Ausgehend vom Dreieck der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) einen Spagat in der Produktentwicklung, -herstellung und dem -vertrieb zu schaffen, dahingehend, dass möglichst viele Bedürfnisse des Dreiecks erfüllt werden können. Wohlwissend, dass grundsätzlich eher zwei erfüllt werden können und sich das dritte Bedürfnis ausschließt.	3
12	KÖ01	m	BA	9	Produkte so zu konzipieren, dass sie ökologisch hergestellt werden und möglich langlebig sind, woraufhin eine Wiederverwertbarkeit am Ende des Lebenszyklus folgen kann.	2
13	HO03	w	BA	5	durch Innovation und auch persönliche Entwicklung gut mit der Umwelt umzugehen und sie nicht egoistisch zu beanspruchen, sondern sich im Klaren zu sein, dass wir nicht die einzigen Lebewesen auf dieser Welt sind und wir nur eine Welt haben, die wir mit Respekt behandeln müssen. Aufbauend darauf bedeutet es für mich auch eine Zukunft in der auch die Menschen nach mir ohne Probleme leben können.	4

Anhang

#	Code	G	St.G.	S	Nachhaltigkeit bedeutet für mich ...	(T)
14	HA07	m	MA	2	... mit begrenzten und/oder problematischen Ressourcen schrittweise immer schonender bis hin zur völligen Vermeidung ihrer Nutzung zu arbeiten, während eine für alle Stakeholder positiv agierende Wertschöpfung haltbare und zukunftsweisende Produkte hervorbringt.	3
15	FL06	m	MA	1	dass Ressourcen nur soweit genutzt und verbraucht werden, dass dies zukunfts zu keinem Nachteil führt und dabei nur die Ressourcen eingesetzt werden, die auch tatsächlich benötigt werden.	3
16	SW05	w	MA	2	in seinen Entscheidungen nicht nur an sich selbst zu denken und die jetzige Zeit, sondern auch an die Zukunft und insbesondere nachfolgende Generationen.	2
17	Wl05	m	MA	2	Produkte wiederzuverwenden und zu recyceln und "grüne" Energie zu verwenden.	2
18	PA10	m	MA	3	"- Ressourcenbewusster Einsatz	2
19	GR08	m	BA	5	- Kreislaufwirtschaft	2
20	LO07	m	BA	5	- Langlebigkeit	2
21	LE11	w	MA	13	- Sinnvolle Prozesse und Verfahren	1
22	OV06	m	MA	3	- Fortbestand	1
23	AN08	m	MA	5	- im Zusammenspiel mit Klimawandel, Globalisierung, Politik und Gesellschaft	1
24	SE08	m	BA	7	- verlässliche bzw. logisch nachvollziehbare Informationen und Verfahren, Umweltschutz, Energiesparen	3
25	EU12	w	MA	2	- Planung"	1
26	ST05	m	MA	2	das der eigenen Reichtum und sein eigenes Wohlbefinden nicht auf Kosten anderer entstanden ist.	2
27	SA04	m	MA	3	Bei Ressourcen Nutzung deren Einsatz mit dem Ziel zu gestalten einen zukünftig höheren Nutzen als meine jetzigen Kosten zu erreichen.	2
28	TH03	w	BA	9	Eine optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen, ohne dabei irgendwem oder irgendetwas zu schaden.	2
29	TU03	w	BA	7	Ressourcen wiederzuverwenden und sie nicht unnötig zu verschwenden. Außerdem bedeutet Nachhaltigkeit für mich Ressourcen bewusster einzusetzen.	2
30	EN07	m	MA	1	"- langanhaltende, langlebige, umweltfreundliche Wirkung	3
31	Wl02	m	BA	7	- teilen und weitergeben"	1
32	ZE04	m	MA	2	dass ein Produkt oder eine Aktivität nicht nur einmalig einen Nutzen bringt, sondern für lange Zeit etwas positives beisteuert. Dabei sollte nur so viel Ausschuss und Abfall wie möglich verursacht werden. Wenn das Produkt oder die Aktivität keinen Nutzen mehr bringt, muss es möglichst schnell recycelt oder umweltfreundlich entsorgt werden können. Schon bei der Entsorgung kann ein einmalig genutztes Produkt einen Nutzen bringen, wenn es der Umwelt in irgendeiner Form nützt.	2



## Anhang

#	Code	G	St.G.	S	4. Nachhaltigkeit (pre)									
					4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	
1	DO09	w	MA	2	5	5	4	2	2	4	3	3	4	
2	HE04	w	MA	2	4	3	2	4	3	3	3	4	3	
3	YI01	w	MA	2	3	4	2	3	2	4	1	5	3	
4	KR08	m	BA	5	3	4	4	2	1	4	3	2	4	
5	VI03	w	BA	3	2	4	2	1	4	2	2	2	2	
6	SC07	m	MA	2	4	4	3	3	3	4	4	2	4	
7	SÖ02	w	MA	2	4	5	4	2	2	4	5	5	5	
8	VU04	w	MA	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	
9	ER01	m	MA	3	4	4	4	5	4	4	4	4	4	
10	KU04	m	MA	3	4	4	4	4	3	4	2	3	3	
11	PR02	m	MA	5	4	5	5	4	4	4	2	4	2	
12	AN12	m	MA	2	4	3	3	2	2	2	3	2	2	
13	KÖ01	m	BA	9	3	2	1	2	1	4	3	1	5	
14	HO03	w	BA	5	4	4	2	1	2	4	1	2	2	
15	HA07	m	MA	2	4	5	2	1	3	5	4	5	5	
16	FL06	m	MA	1	3	5	4	3	3	5	3	3	5	
17	SW05	w	MA	2	4	3	3	4	2	4	2	5	5	
18	WI05	m	MA	2	3	4	4	2	2	5	4	5	5	
19	PA10	m	MA	3	4	4	5	3	3	3	2	4	4	
20	GR08	m	BA	5	4	4	2	4	2	4	4	3	3	
21	LO07	m	BA	5	4	5	4	3	3	4	3	3	4	
22	LE11	w	MA	13	4	5	5	3	2	3	2	3	4	
23	OV06	m	MA	3	2	4	3	2	2	2	4	3	3	
24	AN08	m	MA	5	5	5	4	4	3	3	4	3	4	
25	SE08	m	BA	7	4	5	3	5	5	2	4	4	2	
26	EU12	w	MA	2	4	4	2	2	2	4	4	4	4	
27	ST05	m	MA	2	5	5	4	2	3	4	4	2	4	
28	SA04	m	MA	3	4	3	3	4	2	4	4	3	4	
29	TH03	w	BA	9	5	5	3	3	3	4	4	3	4	
30	TU03	w	BA	7	5	5	3	4	3	4	4	4	4	
31	EN07	m	MA	1	1	1	1	1	4	5	1	4	5	
32	WI02	m	BA	7	5	4	2	2	4	4	4	4	4	
33	GA03	m	BA	5	5	4	3	3	3	3	2	2	3	
34	ZE04	m	MA	2	2	5	5	4	1	1	2	2	2	

## A12 Ergebnisse aus dem Posttest im Wintersemester 2021/22

#	Code	G	St.G.	S	4. Nachhaltigkeit (pre)								
					4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
1	DO09	w	MA	2	5	5	3	4	4	4	4	4	4
2	HE04	w	MA	2	4	4	3	4	4	4	4	4	4
3	YI01	w	MA	2	4	5	4	5	5	5	5	5	5
4	KR08	m	BA	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4
5	VI03	w	BA	3	3	4	2	4	4	4	5	4	3
6	SC07	m	MA	2	4	4	3	4	4	4	4	4	4
7	SÖ02	w	MA	2	4	5	3	4	4	5	5	5	5
8	VU04	w	MA	3	5	5	2	4	4	4	4	4	4
9	ER01	m	MA	3	4	4	3	5	5	5	5	5	5
10	KU04	m	MA	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4
11	PR02	m	MA	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4
12	AN12	m	MA	2	4	3	4	3	3	2	5	3	4
13	KÖ01	m	BA	9	4	2	2	4	4	4	4	4	4
14	HO03	w	BA	5	4	5	3	4	4	4	4	4	4
15	HA07	m	MA	2	4	5	3	5	5	5	4	5	5
16	FL06	m	MA	1	3	5	4	4	4	5	3	4	4
17	SW05	w	MA	2	4	4	2	2	4	4	4	5	5
18	WI05	m	MA	2	4	5	2	4	4	5	4	4	5
19	PA10	m	MA	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3
20	GR08	m	BA	5	4	2	2	4	3	4	4	3	4
21	LO07	m	BA	5	4	5	2	3	3	3	3	3	3
22	LE11	w	MA	13	4	5	4	4	4	5	4	4	4
23	OV06	m	MA	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4
24	AN08	m	MA	5	5	4	4	4	3	5	3	3	3
25	SE08	m	BA	7	4	5	3	5	5	4	5	5	5
26	EU12	w	MA	2	4	5	3	4	4	4	4	4	4
27	ST05	m	MA	2	5	3	2	4	3	5	3	5	5
28	SA04	m	MA	3	4	4	3	4	5	5	4	3	5
29	TH03	w	BA	9	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30	TU03	w	BA	7	5	5	4	4	4	4	4	4	4
31	EN07	m	MA	1	1	1	1	3	3	5	3	4	5
32	WI02	m	BA	7	5	5	4	5	5	4	4	5	5
33	GA03	m	BA	5	5	5	2	5	5	4	4	3	5
34	ZE04	m	MA	2	4	5	2	4	4	4	4	4	4