

Mehr als nur „Technik“

Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Studium

SILKE FRYE

Zusammenfassung

Angesichts globaler Herausforderungen stehen Hochschulen vor der Aufgabe, Studierende als Führungskräfte auszubilden, die zukünftig die Anforderungen komplexer und nachhaltiger Entscheidungen umsetzen müssen. Insbesondere zukünftige Ingenieur:innen spielen eine Schlüsselrolle bei der Gestaltung des technologischen Fortschritts und tragen somit auch Verantwortung für Nachhaltigkeitsprobleme. Um dieser Herausforderung zu begegnen, wurde ein Lehr- und Lernkonzept entwickelt, das fachwissenschaftliche Themen mit den Anforderungen der Nachhaltigkeit verbindet. Das projektbasierte Service-Learning-Format nutzt die „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“, in der Studierende technische Lösungen für reale Problemstellungen der Entwicklungszusammenarbeit entwickeln und dabei auch ihre technikethische und soziale Verantwortung reflektieren. Die Evaluation des Lernangebots zeigt einen positiven Einfluss auf die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen, insbesondere durch die Verknüpfung von Fachlichkeit und Nachhaltigkeit in handlungspraktischen Elementen.

Schlüsselwörter: nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen, ingenieurwissenschaftliches Studium, projektbasiertes Service-Learning, Ingenieure ohne Grenzen Challenge

Abstract

In light of global challenges, universities are faced with the task of educating students as future leaders who will have to implement the demands of complex and sustainable decisions. Particularly, future engineers play a key role in shaping technological progress and thus also bear responsibility for sustainability problems. To address this challenge, a teaching and learning concept has been developed that combines subject-specific topics with requirements of sustainability. The project-based service-learning format utilizes the “Engineers Without Borders Challenge”. Students develop technical solutions for real-world problems in development cooperation and also reflect on their technical-ethi-

cal and social responsibility. The evaluation of the course shows a positive impact on the development of sustainability-oriented competencies, particularly through the linking of subject-specific knowledge and sustainability in hands-on practical elements.

Keywords: sustainability-oriented competencies, engineering education, project-based service-learning, Engineers without Borders Challenge

1 Ausgangslage und Kontext

Angesichts der immer deutlicher werdenden globalen Auswirkungen des Klimawandels und der immensen Zerstörung natürlicher Ressourcen ist Nachhaltigkeit eines der wichtigsten Ziele der aktuellen Zeit.

1.1 „Buzzword“ Nachhaltigkeit

Das Fundament für ein umfassendes Verständnis von Nachhaltigkeit legte der „Brundtland-Report“ (WCED, 1987). Demnach bedeutet nachhaltige Entwicklung, den Bedürfnissen der heutigen Generation zu entsprechen, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse einzuschränken oder zu gefährden. Diese Beschreibung von Nachhaltigkeit bietet Raum für vielseitige Interpretationen und individuelle Auslegungen. Das führt dazu, dass der Begriff zunehmend willkürlich und fast „inflationär“ verwendet wird. Bereits vor fast 30 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). Insgesamt ist Nachhaltigkeit kein rein wissenschaftlich zu bestimmender Begriff, sondern vielmehr ein „gesellschaftlich-politisches und damit normatives Leitbild“ (Grunwald & Kopfmüller, 2012, S. 11) und geht so über den ökologischen Fokus hinaus, der dem Thema noch immer zugeschrieben wird. Vielmehr handelt es sich um eine komplexe Vision, die verschiedene Perspektiven und Dimensionen umfasst. In der wissenschaftlichen Literatur hat sich dabei eine Unterscheidung in die ökologische, soziale und ökonomische Dimension von Nachhaltigkeit durchgesetzt (vgl. Hauff, 2014):

- Die Dimension der **ökologischen Nachhaltigkeit** steht für den Schutz der Umwelt und der natürlichen Ressourcen.
- Die Dimension der **sozialen Nachhaltigkeit** stellt den Menschen in den Mittelpunkt. Sie steht für die Würde des Menschen, aber auch für den Anspruch des Allgemeinwohls und der Gesellschaft.
- Die Dimension der **ökonomischen Nachhaltigkeit** steht für ein gutes und stabiles Wirtschaften.

Lange Zeit dominierte die ökologische Perspektive, was dazu führte, dass Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) fälschlicherweise mit Umweltbildung gleichgesetzt wurde (Stoltenberg & Burandt, 2014). Angesichts globaler Herausforderungen wie dem

Klimawandel ist aber eine gesamtgesellschaftliche Entwicklung unerlässlich, die über reinen Umweltschutz hinausgeht. Bildung spielt hierbei eine Schlüsselrolle, indem sie Menschen befähigt, einen kollektiven Transformationsprozess voranzutreiben.

1.2 Nachhaltigkeit als (hochschulisches) Bildungsziel

International gewann BNE ausgehend von der Agenda 21 auf politischer Ebene zunehmend an Bedeutung. Ein wichtiger Meilenstein war zuletzt die „Berliner Erklärung“ (UNESCO, 2021a), in der sich über 2.500 Vertreter:innen aus mehr als 130 Ländern dazu verpflichteten, BNE in ihren Bildungssystemen zu verankern. In Deutschland betonen die Hochschulrektorenkonferenz (HRK) und die Deutsche UNESCO Kommission (DUK) schon seit Jahren die Notwendigkeit, Studierende in die Lage zu versetzen, Probleme nachhaltiger Entwicklung interdisziplinär zu erkennen, zu beurteilen und in ihren beruflichen Kontexten verantwortungsvoll zu handeln (HRK & DUK, 2010). Holst und Seggern (2020) konstatieren aber, dass die strukturelle Verankerung von Nachhaltigkeit und BNE in Forschung und Lehre noch ausbaufähig ist. Die Komplexität des Themenbereichs bringt dabei besondere Herausforderungen mit sich, da Hochschulen seit Jahrhunderten durch strenge fachsystematische Strukturen und daraus resultierende fachwissenschaftlich definierte Lehr- und Lernprozesse geprägt sind, die einem inter- und transdisziplinären Verständnis von BNE oftmals entgegenstehen (Singer-Brodowski et al., 2019).

Ziel von BNE ist es nicht, einen Verhaltenskodex zu etablieren, sondern die Fähigkeit zur kreativen, nachhaltigkeitsorientierten Problemlösung sowie Werte und Motivation zu fördern (Stoltenberg & Burandt, 2014). Es geht darum, ein Bewusstsein für Nachhaltigkeitsprobleme zu schaffen und gleichzeitig zur aktiven und verantwortungsvollen Mitgestaltung einer nachhaltigen Entwicklung zu befähigen (Rieckmann, 2016).

2 Problemstellung und Herausforderung

Nachhaltigkeit und Technik stehen in einer komplexen Wechselbeziehung. Während technische Entwicklungen Lösungsansätze für Nachhaltigkeitsprobleme bieten, sind sie gleichzeitig maßgeblich an deren Entstehung beteiligt. Angesichts dieser Ambivalenz gewinnt die verantwortungsvolle Entwicklung technischer Konzepte für zukünftige Ingenieur:innen zunehmend an Bedeutung. Ihre Arbeit ist entscheidend für die Bewältigung globaler Herausforderungen in Ökologie, Sozialem und Wirtschaft (UNESCO, 2010). Ingenieur:innen gestalten den technologischen Fortschritt. Daher muss neben innovativen und effizienten Lösungen die verantwortungsvolle Entwicklung technischer Konzepte ein zentrales Element der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung sein (Kreutzer et al., 2020). Dies macht den Bedarf für Veränderungen in der Hochschullehre deutlich.

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

Ziel war es daher, ein Lernangebot zu entwickeln, das Studierende ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge anregt, über ihre Fachdisziplin hinauszudenken, indem sie z. B. bei der Entwicklung oder Herstellung eines Produktes auch die Folgen für Menschen und Natur bewerten und in ihren Entscheidungen berücksichtigen (Aufenanger, 2011).

3 Vorgehensweise und Intervention

Das entwickelte Lernangebot richtet sich an Studierende der ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Logistik an der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund. In diesen Studiengängen ist im Bachelor- und Masterbereich jeweils das Modul ‚Außerfachliche Kompetenz‘ verankert. Dieses Modul zielt darauf ab, die Perspektive der Studierenden über die rein fachliche Ebene hinaus zu erweitern und ein tieferes Verständnis für die eigene und andere Wissenschaftskulturen zu ermöglichen (TU Dortmund, 2021). Die fachliche Anknüpfung erfolgt an das Thema Projektmanagement. Neben der Bedeutung 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. Die kompetenzorientierte Konzeption des Lernangebots und die didaktisch-methodische Gestaltung basieren auf dem hochschuldidaktisch etablierten Vorgehensmodell des Constructive Alignment (Biggs, 1996). Dieses Modell umfasst die Elemente der Lernergebnisse, der Lehr- und Lernaktivitäten sowie der Prüfung. Für ein kompetenzorientiertes Lernsetting müssen diese Elemente aufeinander abgestimmt („aligned“) sein.

3.1 Lernergebnisse als Lernziele formulieren

Die ingenieurwissenschaftliche Hochschulausbildung orientiert sich an der „Kernaufgabe des Ingenieurwesens“ (DFG, 2004, S. 23), d. h. der Planung und Realisierung technischer Systeme und Produkte sowie deren Weiterentwicklung und Optimierung. Mit dem wachsenden Bewusstsein für die Notwendigkeit nachhaltigen Konsums und nachhaltiger Produktion wird die Zieldimension einer nachhaltigen Entwicklung dabei immer wichtiger. Die Entwicklung und Herstellung nachhaltiger Produkte werden zu komplexen Problemen, in denen ein kontinuierliches Abwägen zwischen den häufig in Konflikt stehenden Dimensionen von Nachhaltigkeit erforderlich ist. Bei technischen Produkten und Prozessen müssen auch die Auswirkungen von Entwicklung und Herstellung in diesem Kontext kritisch bewertet werden. Daraus ergeben sich berufs- bzw. domänenspezifische, nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen, die in Abbildung 1 dargestellt sind.

 Produkt-herstellung	ökologische Anforderungen und Auswirkungen in der Produktherstellung (z.B. Energieeffizienz, Materialeinsatz, Abfälle)	soziale Anforderungen und Auswirkungen in der Produktherstellung (z.B. Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitsorganisation, -form)	ökonomische Anforderungen und Auswirkungen in der Produktherstellung (z.B. Effizienz und Effektivität)
	ökologische Anforderungen und Auswirkungen in der Produktentwicklung (z.B. Ressourceneinsatz, Entsorgung, Recycling)	soziale Anforderungen und Auswirkungen in der Produktentwicklung (z.B. Bedürfnisse Nutzender, gesellschaftliche Bedeutung)	ökonomische Anforderungen und Auswirkungen in der Produktentwicklung (z.B. Aufwand und Nutzen)
 Produkt-entwicklung			
	 ökologisch	 sozial	 ökonomisch

Abbildung 1: Matrix nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen

Für alle Felder dieser Matrix können Lernziele definiert werden. Ein Beispiel im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit ist: „*Nach erfolgreicher Teilnahme am Lernangebot sind die Studierenden in der Lage, bei der **Entwicklung** eines Produktes **ökologische** Anforderungen und Auswirkungen zu bewerten.*“ Dieses Lernziel zielt auf die höchste Stufe der kognitiven Taxonomie nach Bloom et al. (1974) und beinhaltet somit Wissen, Verstehen, Anwenden, Analysieren, Synthetisieren und Bewerten im Kontext von Produktentstehung und den Dimensionen der Nachhaltigkeit. Diese nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen umfassend adressieren zu können, erfordert ein besonderes Lernformat.

3.2 Lehr- und Lernaktivitäten gestalten

Um den Umgang mit konfliktreichen Entscheidungsprozessen zu erlernen, eignen sich als Lernanlässe insbesondere konkrete Probleme (Braßler, 2018). Die Bearbeitung technischer Probleme im Kontext realer gesellschaftlicher Herausforderungen bietet sich daher als Setting an, um die formulierten Lernziele zu adressieren. Den Lernprozess so mit authentischen, gemeinnützigen und sozialen Problemstellungen zu verbinden, entspricht dem Modell des **Service-Learning** (vgl. Gerholz et al., 2015). Entwickeln die Lernenden dabei aus der Problemstellung selbst ihr Handlungsziel und setzen sie dieses in einem realen Projekt um, wird dies auch als projektbasiertes Service-Learning bezeichnet (Hemmati et al., 2017). Projektbasiertes Service-Learning verbindet somit fachwissenschaftliche Inhalte mit echten gesellschaftlichen Herausforderungen und ermöglicht es so z. B. Ingenieurstudierenden, technische Lösungen im direkten Anwendungs- und Verantwortungszusammenhang zu entwickeln.

Im Hochschulkontext hat sich bereits eine Vielzahl an Formaten des projektbasierten Service-Learning etabliert. In den USA wurde z. B. das „EPIC-N Model“¹ verankert, in dem eine Zusammenarbeit mit Kommunen erfolgt und Studierende an der Umsetzung lokaler Nachhaltigkeitsstrategien beteiligt werden. Ein weiteres Beispiel ist

1 <https://www.epicn.org/the-epic-model>

die „HPI d-school“² am Hasso-Plattner-Institut in Potsdam, die auf nutzendenzentrierte Innovationsprozesse setzt und entsprechend dem Konzept des „Design-Thinking“ durch iterative Zyklen und Kreativitätsmethoden die Problemlösungsfähigkeiten von Studierenden stärkt. Mit einer unternehmerischen Perspektive verfolgt die Netzwerkplattform „Enactus“³ das Ziel, soziale und ökologische Probleme durch die Entwicklung marktfähiger studentischer Geschäftsmodelle zu adressieren. Einen Fokus auf ingenieurwissenschaftliche Studiengänge setzt bspw. „Blue Engineering“⁴, bei dem Studierende Lehrbausteine für Kommiliton:innen erarbeiten und moderieren. Die Themen sind oft diskursiv und partizipativ, aber nicht auf konkrete technische Lösungen und die Anknüpfung an fachwissenschaftliche Lehrveranstaltungen ausgerichtet. Diesen Ansatz verfolgt hingegen die „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“ (IoGC). Die Idee dieses Wettbewerbs ist es, dass Studierende Lösungen für reale Problemstellungen aus der technischen Entwicklungszusammenarbeit entwickeln. (Buys et al., 2013) Dafür werden jährlich wechselnd Problemstellungen wie bspw. die Konzeption von Sanitäranlagen für ländliche Gemeinden in Sierra Leone, die Gestaltung modularer Spielgeräte für eine Schule in Uganda oder die Entwicklung alternativer Nutzungsszenarien für solarbetriebene Wasserpumpen in Nepal identifiziert. Neben der technischen Herausforderung sind bei der Bearbeitung auch kulturelle Rahmenbedingungen, soziale Auswirkungen sowie ökologische und ökonomische Anforderungen in der jeweiligen Zielregion zu berücksichtigen.

Die IoGC und die Aufgaben geben kein definiertes Lehrkonzept vor, sondern zeichnen sich durch großen Gestaltungsspielraum aus und können so an bestehende Lehr- und Lernsettings sowie durch individuelle Lernziele an die jeweilige Zielgruppe angepasst werden. Diese ist vollkommen offen zu verstehen, die IoGC richtet sich explizit nicht ausschließlich an ingenieurwissenschaftliche Studiengänge. Durch den handlungspraktischen, niederschweligen Zugang können zudem sowohl Studierende in frühen Studienphasen (z. B. im Rahmen eines Studieneingangsprojektes) oder auch im fortgeschrittenen Masterstudium teilnehmen. Die konkrete Ausgestaltung erfolgt individuell durch die Lehrenden. In ihrem hochschulspezifischen Setting entwickeln Studierende dann nachhaltige, praktikable und kulturell angepasste Lösungsideen. Begleitend stehen Expert:innen der Umsetzungsorganisationen in den Zielregionen mit Sprechstunden zur Verfügung. Als Abschluss der IoGC findet die Präsentation der Lösungen in einer hochschulübergreifenden Abschlussveranstaltung statt. Die Studierenden treten im Wettbewerb gegeneinander an und die Teams mit den besten Problemlösungen werden von einer Fachjury ausgezeichnet. Erfolgsversprechende Lösungskonzepte werden vom Ingenieure ohne Grenzen e. V. zusammen mit den beteiligten Umsetzungsorganisationen in die Zielregionen übertragen, ggf. angepasst und umgesetzt (vgl. Schönefeld et al., 2019).

Im entwickelten Lernangebot stellt die IoGC den grundlegenden Baustein im Gesamtsetting dar. Das Lernangebot wurde mit dem Ziel, aktives und selbstgesteuertes

2 <https://hpi.de/d-school>

3 <https://www.enactus.de>

4 <https://www.blue-engineering.org>

Lernen zu initiieren, als Blended-Learning-Seminar konzipiert. Die E-Learning-Elemente beziehen sich auf die Lerninhalte zum Projektmanagement. Informationen zu Methoden und Arbeitstechniken werden als interaktive Lerneinheiten, Informationstexte, 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 Lernphasen wird insbesondere durch die Lernaktivierung der Studierenden determiniert. Da sich die Phasen zum Teil über mehrere Wochen erstrecken, ist eine regelmäßige Aktivierung sinnvoll. Diese erfolgt durch terminierte Arbeitsaufträge, die den typischen Arbeitsschritten bei der Planung und Umsetzung eines Projekts entsprechen. Sie sind ergebnisoffen gestaltet, um individuelle Lernpfade zu ermöglichen. Der Aufbau des Lernangebots orientiert sich dabei inhaltlich und strukturell an den Projektphasen nach DIN ISO 21 500 (2016): Projektdefinition, Projektplanung, Projektsteuerung und Projektabschluss. Diese aufeinander aufbauenden Phasen werden zeitlich definiert und strukturieren, wie in Abbildung 2 dargestellt, den Ablauf des Semesters.

In einem „Kickoff“ werden die Struktur des Lernangebots und die Aufgabenstellung der IoGC vorgestellt. Ein anschließender Kreativitätsworkshop (Haertel & Terkowsky, 2021) dient der Ideenfindung und zur Bildung der Teams, in denen die Studierenden ihr Projekt entwickeln und bearbeiten. Im Lernangebot ist die Arbeit in Kleingruppen (ca. 5 Studierende) vorgesehen. Diese Größe ermöglicht den Studierenden eine Arbeitsteilung im Projekt, begrenzt aber gleichzeitig den Abstimmungs- und Koordinierungsaufwand innerhalb der Gruppe.

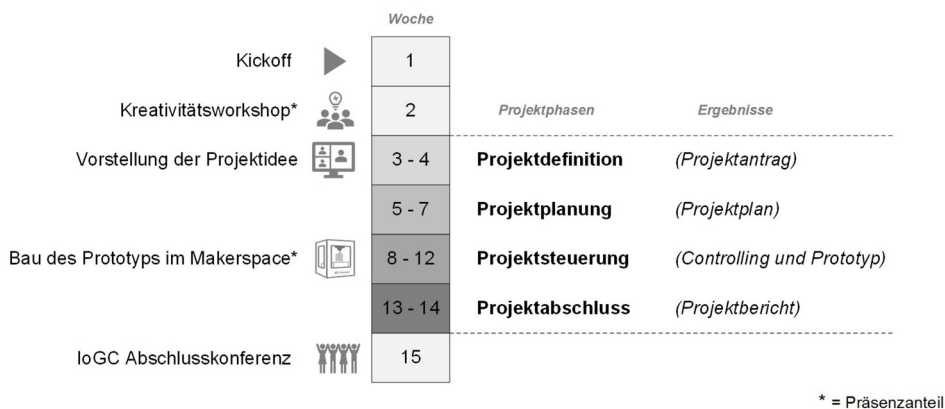


Abbildung 2: Ablauf und Struktur des Lernangebots

In der Phase der *Projektdefinition* konkretisieren die Teams ihre Projektidee und präsentieren diese in einem „Pitch“. Die *Projektplanung* beinhaltet die Ausarbeitung des Konzepts und die Ressourcenplanung für das gesamte Projekt. Die umfangreichste

Phase ist die Projektsteuerung, in der die Studierenden ihre Lösungsidee für die IoGC umsetzen und realisieren. Dazu nutzen sie einen Makerspace als kreative Werkstatt- und Laborumgebung, in der sie digital gestützt und kollaborativ einfache, funktionale Prototypen oder Modelle zu ihrer Projektidee herstellen (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 Erfolg und Misserfolg zu lernen. In dieser Phase haben sie auch die Aufgabe, ihren Projektverlauf mit üblichen Controlling-Instrumenten zu überwachen und zu steuern. Der *Projektabschluss* umfasst die Projektabrechnung und die Teilnahme an der Abschlussveranstaltung der IoGC, bei der die Studierenden ihre Ergebnisse präsentieren.

Bei der Konzeption des Lernangebots standen der Praxisbezug und die Anwendung im Fokus. Ziel war es, ein möglichst realitätsnahes (in Bezug auf die spätere Berufspraxis) Management des Projekts abzubilden. Mit der Anforderung, einen Prototypen bzw. ein Modell zur entwickelten Lösungsidee herzustellen, gelingt es außerdem, einen einfachen, aber vollständigen Produktentstehungsprozess im Lernangebot abzubilden.

3.3 Lernergebnisse erkennen und prüfen

Die Überprüfung der Lernergebnisse stellt angesichts der komplexen Zieldimensionen eine Herausforderung dar. Affektive Lernziele wie Werte und Einstellungen sind nur schwer explizit zu erfassen. Zudem sind normative Prinzipien in der Regel ambivalent und voller Umsetzungskonflikte (vgl. u. a. Singer-Brodowski, 2016). Hinsichtlich der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen ist auch der Mechanismus des „mark chasing“ (Crosthwaite et al., 2012, S. 4) zu beachten, bei dem opportunistische Lösungen zur Erzielung einer guten Note in den Vordergrund treten können. Andererseits laufen die Lernziele nach dem Modell des Constructive Alignment ins Leere, wenn sich keine Überprüfung anschließt. Aus diesem Grund wurde eine Trennung von zwei Beurteilungsebenen vorgenommen: die Ebene des Projektmanagements und die Ebene der IoGC.

Die Bewertungsebene des Projektmanagements ist an die formalen Vorgaben des Moduls gebunden und benotet. Hier dokumentieren die Studierenden ihren Projektverlauf, die angewendeten Methoden sowie Meilensteine und Projektergebnisse in einem E-Portfolio. Die Benotung fokussiert auf die Durchführung und Abwicklung des Projekts, unabhängig von der konkreten entwickelten Lösungsidee. Die Bewertungsebene der IoGC ist entkoppelt von dieser Benotung. In der hochschulübergreifenden Abschlussveranstaltung stellen die Studierenden ihre Lösungsideen in kurzen Präsentationen vor, vergleichen die Ansätze miteinander und diskutieren sie kritisch mit ihren Peers. Zusätzlich erfolgt eine kriteriengeleitete Bewertung der Lösungsideen durch eine Fachjury. Anstelle einer Note erhalten die Studierenden auf dieser Ebene ein direktes Feedback, eine umfassende Beurteilung und eine individuelle Platzierung im Wettbewerb.

An die Entwicklung und Gestaltung dieses Lernangebots schloss sich eine Erprobung an. Diese wurde systematisch evaluiert, um am Ende der Laufzeit der Intervention eine Bewertung des Konzepts vorzunehmen und Maßnahmen zur Verbesserung abzuleiten.

4 Evaluation

Die Erprobung und Evaluation des Lernangebots wurde im Wintersemester 2019/20 durchgeführt. Zur Erhebung des Einflusses des Lernangebots auf nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen wurde ein Pretest-Posttest-Design angewendet. Nach Raupach et al. (2011) besteht eine Möglichkeit für eine reproduzierbare und valide Erfassung eines Kompetenzstandes darin, Studierende vor und nach der Teilnahme an einem Lernangebot um eine (vergleichende) Selbsteinschätzung hinsichtlich spezifischer Lernziele zu bitten. Baier (2019) konnte diesen Ansatz bereits erfolgreich auf den Bereich der ingenieurwissenschaftlichen BNE übertragen. Basierend auf den formulierten Lernzielen wurden Items für Pre- und Posttest identisch formuliert und lediglich im zeitlichen Bezug angepasst. Beispielitems (ökologische Dimension, Produktentwicklung):

- **Pretest:** „Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage, bei der Entwicklung eines Produktes ökologische Anforderungen und Auswirkungen (z. B. Ressourceneinsatz, Entsorgung und Recycling) zu bewerten.“
- **Posttest:** „Nachdem ich an der IoGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage, bei der Entwicklung eines Produktes ökologische Anforderungen und Auswirkungen (z. B. Ressourceneinsatz, Entsorgung und Recycling) zu bewerten.“

Die Selbsteinschätzung erfolgte auf einer fünfstufigen Ordinalskala (1 = „trifft nicht zu“ bis 5 = „trifft zu“). Die Erhebung wurde als anonyme Paper-Pencil-Befragung durchgeführt, wobei ein individueller Code die Zuordnung von Pre- und Posttest-Fragebögen derselben Person ermöglichte (vgl. Schönefeld et al., 2019). Von 82 teilnehmenden Studierenden konnten 55 vollständige Datensätze für die Auswertung generiert werden.

Evaluationsergebnisse der ersten Erprobung

Die Selbsteinschätzungen der Studierenden im Pretest zeigten ein hohes Ausgangsniveau in Bezug auf ihre Fähigkeit, Nachhaltigkeitsanforderungen und -auswirkungen bei der Produktentwicklung und -herstellung zu bewerten (Median $M_d = 4$). Lediglich in der sozialen Dimension der Produktentwicklung war die mittlere Einschätzung etwas niedriger. Trotz dieses hohen Ausgangsniveaus zeigten sich in den Mittelwerten ($\bar{x}$) als Maß für die zentrale Tendenz in fünf von sechs Teilkompetenzen Steigerungen im Posttest. Hervorzuheben ist insbesondere die soziale Dimension der Produktentwicklung, bei der sich der Mittelwert um eine ganze Stufe der Ratingskala erhöhte. Zusätzlich zeigte die Standardabweichung (s) als Streuungsmaß eine zunehmende Homogenisierung der Einschätzungen in allen Bereichen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Ergebnisse der ersten Evaluation

	Produktentwicklung			Produktherstellung		
	ökolog. pre post	sozial pre post	ökonom. pre post	ökolog. pre post	sozial pre post	ökonom. pre post
$\bar{X}$	3,3 3,9	3,0 4,0	4,0 4,1	3,9 3,9	3,5 4,1	4,0 4,2
s	1,0 0,7	1,0 0,6	0,8 0,7	0,8 0,7	1,1 0,6	0,9 0,6
p	.062 (n. s.)	.019*	.553 (n. s.)	.608 (n. s.)	.045*	.056 (n. s.)
d	0,52	0,85	0,09	0,04	0,47	0,23

Anmerkung: Für ergänzende Details und weitere Ergebnisse der Evaluation wird an dieser Stelle auf die ausführliche Darstellung in Frye (2022) verwiesen.

Um die Signifikanz dieser Veränderungen zu überprüfen, wurde ein t-Test (mit paarierten Werten) durchgeführt. Die Effektstärke wurde anhand des d-Maßes von Cohen bestimmt. Diese inferenzstatistischen Analysen zeigten signifikante Verbesserungen lediglich im Bereich der sozialen Dimension von Nachhaltigkeit. Dies unterstreicht den Vorteil der realen und authentischen Problemstellungen der IoGC. Die Studierenden erlebten unmittelbar, dass sie technische Lösungen nicht nur zur Behebung eines technischen Problems entwickeln, sondern für Menschen. Die Ergebnisse zeigten somit zwar, dass das Lernangebot grundsätzlich dazu geeignet ist, die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen zu unterstützen. Sie ließen aber auch darauf schließen, dass die Teilnahme nicht per se zu einer ganzheitlichen Förderung dieser Kompetenzen führte. Ausgehend davon schloss sich daher eine Revision und Optimierung des Lernangebots an.

4.1 Revision und Optimierung des Lernangebots

Das Lernangebot fokussiert auf die aktive Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeit, wobei selbstgesteuerte Lernprozesse das individuelle Konstruieren von Wissen fördern sollen. Dabei schließt aufgebautes Wissen vor allem an das jeweilige Vorwissen an (vgl. z. B. Kron et al., 2014). Hier wird ein Problem im Lernangebot deutlich. Eine Erhebung zur Einschätzung des Vorwissens zeigte, dass bei etwa 80 % der Studierenden kein oder ein nur rudimentäres Verständnis von Nachhaltigkeit erkennbar ist (vgl. Frye, 2022). Dieses fehlende Fundament erschwerte es den Studierenden, Bezüge herzustellen und die Relevanz von Nachhaltigkeit für das Handeln im Rahmen der IoGC zu erkennen. Daraus resultierte die Notwendigkeit, die Verbindung zum Thema Nachhaltigkeit für die Studierenden deutlicher zu gestalten. Es wurde eine E-Learning-Einheit zu Nachhaltigkeit und nachhaltiger Entwicklung ergänzt. Ziel dieser Einheit ist die kognitive Aktivierung, indem grundlegende Informationen zum Thema Nachhaltigkeit zur Verfügung gestellt werden und der Einfluss des Arbeitsfelds von Ingenieur:innen zur nachhaltigen Entwicklung an Beispielen aus der beruflichen Praxis gezeigt wird. Zusätzlich wurde eine Leitfrage zum Thema Nachhaltigkeit, die am Projektende beantwortet werden soll, in das E-Portfolio integriert: „Welche Elemente von Nachhaltigkeit haben in Eurem

Projekt in der IoGC eine Rolle gespielt – und wie habt Ihr sie umgesetzt/berücksichtigt?“. Durch diese „Prüfungsrelevanz“ wurde die Bedeutung des Themas hervorgehoben und die Studierenden zur Reflexion der Verbindungen ihres Projekts mit Nachhaltigkeitsaspekten angeregt. Diese Anpassungen konnten als Ergänzungen in das bestehende Konzept des Lernangebots integriert werden, ohne zu Änderungen in Ablauf und Struktur zu führen. An die Optimierung schloss sich eine erneute Erprobung und Evaluation an.

4.2 Evaluation des optimierten Lernangebots

Die Erprobung des optimierten Lernangebots erfolgte im Wintersemester 2020/21. In diesem Semester galten aufgrund der COVID-19-Pandemie umfassende Kontaktbeschränkungen. Eine praktische Arbeit im Makerspace war nicht möglich und die IoGC wurde auf ein reines Online-Format umgestellt. Die Vorstellung der Lösungen erfolgte in Form von Videos und Animationen. Da die Umsetzung des entwickelten Konzepts so deutlich eingeschränkt war und ungeplant Elemente des Lernangebots verändert werden mussten, erfolgte eine zweite Erprobung und Evaluierung im Wintersemester 2021/22. In diesem Semester konnte das optimierte Konzept vollständig in der geplanten Form umgesetzt werden. Im Fokus der Evaluation stand die Überprüfung der Auswirkungen der vorgenommenen Optimierung. Wie in der Evaluation der ersten Erprobung wurden die Studierenden dazu aufgefordert, im Pre- und Posttest eine Selbsteinschätzung in Bezug auf die Lernziele vorzunehmen. Die Items konnten dazu unverändert übernommen werden. Der standardisierte Fragebogen wurde in eine identische Online-Version übertragen. Im Wintersemester 2020/21 konnten über die vorgenommene Codierung 36 Fragebögen des Pretests eindeutig den entsprechenden Fragebögen im Posttest zugeordnet werden, im Wintersemester 2021/22 waren es 34.

Im Wintersemester 2020/21 schätzten die Studierenden ihre Kompetenzen wieder hoch ein (Median $M_d = 4$) und es zeigten sich erneut bei allen Teilkompetenzen Anstiege des Mittelwertes ($\bar{x}$) im Posttest. Auffällig war aber eine Zweiteilung der Ergebnisse. Signifikante Anstiege ergaben sich in den Kompetenzen bezüglich der Produktentwicklungsphase. In Bezug auf die Items, die sich auf die Phase der Produktherstellung beziehen, zeigten sich hingegen keine signifikanten Veränderungen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Ergebnisse der Evaluation im Wintersemester 2020/21

	Produktentwicklung			Produktherstellung		
	ökolog. pre post	sozial pre post	ökonom. pre post	ökolog. pre post	sozial pre post	ökonom. pre post
$\bar{x}$	2,9 3,8	2,8 4,1	3,7 4,1	3,7 3,9	3,5 3,8	3,8 3,9
s	1,2 2,0	1,1 1,0	1,0 1,0	0,9 1,0	1,0 1,0	1,0 0,9
p	< .001***	< .001***	.003**	.027 (n. s.)	.095 (n. s.)	.280 (n. s.)
d	0,75	1,18	0,49	0,10	0,22	0,10

Im Wintersemester 2021/22 erfolgte die zweite Erprobung des optimierten Lernangebots. In diesem Semester war die praktische Umsetzung der Lösungsidee im Makerspace wieder möglich. In diesem Durchgang schätzten die Studierenden ihre Kompetenzen im Pretest etwas geringer ein als in den vorhergehenden Semestern (Median $M_d = 3$), gleichzeitig zeigten sich wieder bei allen Teilkompetenzen Anstiege des Mittelwertes ($\bar{x}$) im Posttest. Diese Veränderungen der Kompetenzniveaus konnten in allen Bereichen als höchst oder hoch signifikant bewertet werden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Ergebnisse der Evaluation im Wintersemester 2021/22

	Produktentwicklung			Produktherstellung		
	ökolog. pre post	sozial pre post	ökonom. pre post	ökolog. pre post	sozial pre post	ökonom. pre post
$\bar{x}$	2,9 4,0	2,7 4,0	3,7 4,2	3,1 4,0	3,3 4,1	3,7 4,2
s	1,1 0,6	1,0 0,6	0,9 0,6	1,1 0,6	1,1 0,6	1,0 0,6
p	< .001***	< .001***	< .001***	< .001***	< .001***	.002**
$ d $	0,88	1,30	0,66	0,75	0,80	0,53

Diese Ergebnisse machen die Wirksamkeit der Optimierung deutlich. Während die erste Erprobung primär höhere Einschätzungen der Kompetenzen im Bereich der Produktentwicklung zeigte, führte die zweite Erprobung zu signifikant höheren Einschätzungen aller untersuchten Kompetenzen. Dies zeigt in einem erstaunlichen Maß die Bedeutung der praktischen Umsetzung und der Entwicklung eines physischen Produkts für die ganzheitliche Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen.

5 Zentrale Erkenntnisse und Fazit

Insgesamt kann das entwickelte Lernangebot als zielführende Maßnahme bewertet werden, um die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen zu fördern. Zu einer differenzierten und angemessenen Einordnung gehört aber auch eine kritische Bewertung der Ergebnisse und der umgesetzten Vorgehensweise. Wesentlich sind hierbei die Grenzen der Übertragbarkeit und Allgemeingültigkeit. Anhand der Ergebnisse kann nicht differenziert werden, welche konkreten Parameter des Settings in welchem Umfang Einfluss auf die Kompetenzentwicklung der Studierenden nehmen. Für einzelne Elemente, wie die kognitive Aktivierung durch die ergänzte Lerneinheit, sind begründete Vermutungen möglich, aber es kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Maßnahmen gleiche Effekte hervorrufen. Die Wirksamkeit des Konzepts wird nicht allein durch die gestaltbaren Elemente der Konzeption bestimmt, sondern auch durch gruppendynamische Prozesse, das Verhalten der Lehrenden und die Beziehung zwischen Lehrenden und Studierenden, die Motivation und das Selbstkonzept der Studierenden oder ihre Selbstwirksamkeitserwartung. Dies macht deutlich,

dass eine Übertragung des entwickelten Konzepts nicht unmittelbar zu gleichen Ergebnissen führen kann und wird. Daneben ist auch die exemplarische Auswahl der Zielgruppe zu hinterfragen. Die Erprobungen wurden mit einer Beschränkung auf drei ingenieurwissenschaftliche Studiengänge durchgeführt. Diese Eingrenzung ist für die Umsetzung zwingend erforderlich. Gleichzeitig führt die dadurch zwangsläufig geringe Heterogenität und Varianz dazu, dass keine Allgemeingültigkeit des Settings, der Wirkmechanismen und der Ergebnisse bestehen kann. Eine weitere kritische Betrachtung richtet sich auf die Erhebung der Kompetenzniveaus. Sie erfolgte allein durch Selbsteinschätzungen der Studierenden, was relative Aussagen ermöglicht, aber die absolute Aussagekraft einschränkt.

Trotz dieser Einschränkungen und Grenzen von Gültigkeit und Übertragbarkeit kann eine sehr positive Bilanz gezogen werden. Es konnte festgestellt werden, dass das projektbasierte Service-Learning im Format der IoGC positiven Einfluss auf die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen hat und das optimierte Lernangebot zu einer deutlichen und ganzheitlichen Förderung dieser Kompetenzen führt. Insbesondere über die handlungspraktischen ‚hands on‘-Elemente ist eine Verknüpfung von ingenieurwissenschaftlicher Fachlichkeit mit dem Querschnittsthema Nachhaltigkeit gelungen. Die Evaluationsergebnisse, die positiven Rückmeldungen der Studierenden und die konstant hohen Bewerbungszahlen zeigen, dass das Konzept großes Potenzial bietet, um eine ingenieurwissenschaftliche Bildung für nachhaltige Entwicklung dauerhaft zu etablieren. Auf dieser Grundlage lassen sich somit folgende zentralen Erkenntnisse ableiten:

- Das Konzept des projektbasierten Service-Learning stellt grundsätzlich ein geeignetes Format im Rahmen einer fachbezogenen, ingenieurwissenschaftlichen (Hochschul-)Bildung für nachhaltige Entwicklung dar.
- Durch den Freiraum bei der Gestaltung und Realisierung eigener Lösungsideen im authentischen Setting entsteht eine hohe Identifikation der Studierenden mit ihrem Projekt und daraus folgend eine hohe Motivation zur Lösung der Problemstellung.
- Handlungspraktische Elemente stärken die Verknüpfung ingenieurwissenschaftlicher Fachlichkeit mit dem Querschnittsthema Nachhaltigkeit und haben großen Einfluss auf die wahrgenommene Kompetenzentwicklung der Studierenden.

Die Ergebnisse zeigen zudem Ansätze für Weiterentwicklungen. Weiter zu analysieren ist bspw. der hohe Einfluss der Praxisanteile, der sich im Vergleich der zweiten und dritten Evaluation zeigt. Es gilt, diesen Effekt weiter zu untersuchen, um genauere Aussagen über die Wirkung auf die Kompetenzentwicklung zu ermöglichen. Ein weiterer Aspekt mit Potenzial für Forschungsarbeiten ist, dass der Anteil an Studentinnen, die am Lernangebot teilnehmen, etwa doppelt so groß ist wie ihr Anteil in den beteiligten Studiengängen. 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). Diese Merkmale erfüllt das Lernangebot und kann Potenziale für die Förderung von Studentinnen eröffnen, die aber im Rahmen weiterer Untersuchungen zu konkretisieren sind.

Inhaltlich wird eine Weiterentwicklung in Bezug auf den fachlichen Anteil des Projektmanagements erfolgen. Hier ist bisher ein klassischer, linearer Ansatz mit abgegrenzten, aufeinanderfolgenden Projektphasen abgebildet. Eine Berücksichtigung agiler Methoden sowie ggf. die Einbindung iterativer Entwicklungszyklen entsprechend dem Konzept des Design-Thinking bieten sich als nächste Schritte an. Und auch die Zusammensetzung der Teams bietet einen Ansatzpunkt zur Weiterentwicklung des Lernangebots. Aktuell sind die Gruppen zwar im Studienfortschritt heterogen aufgestellt, fachlich jedoch durch die beteiligten Studiengänge eher homogen. Hier kann die Beteiligung weiterer Studiengänge und das Etablieren interdisziplinärer Teams zusätzliche Impulse liefern, die gleichzeitig das Verständnis von Nachhaltigkeit als Querschnittsthema unterstützen.

Literatur

- acatech. (2011). *Monitoring von Motivationskonzepten für den Techniknachwuchs: (MoMoTech)*. Springer Berlin Heidelberg.
- 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.
- Baier, A. (2019). *Education for Sustainable Development within the Engineering Sciences Design of Learning Outcomes and a Subsequent Course Evaluation* [Dissertation]. Technische Universität Berlin.
- Biggs, J. B. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347–364. <https://doi.org/10.1007/BF00138871>
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Holl, W. H. & Krathwohl, D. R. (1974). *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. Beltz.
- 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. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19965-4_7
- 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.

- 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 [DFG]. (2004). *Thesen und Empfehlungen zur universitären Ingenieurausbildung*. Diskussionspapier für das Präsidium der DFG.
- Deutsches Institut für Normung (2016). *Guidance on project management* (DIN ISO 21 500). Berlin.
- Frye, S. (2022). *Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Studium* [Dissertation]. Technische Universität Dortmund, Dortmund. <https://doi.org/10.17877/DE290R-22958>
- 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).
- Grunwald, A. & Kopfmüller, J. (2012). *Nachhaltigkeit*. Campus-Studium. Campus Verlag.
- 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. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_43
- Hauff, M. von. (2014). *Nachhaltige Entwicklung: Grundlagen und Umsetzung*. De Gruyter Oldenbourg. <https://doi.org/10.1524/9783486856002>
- 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.
- Hochschulrektorenkonferenz [HRK] & Deutsche Unesco-Kommission [DUK] (Hrsg.). (2010). *Hochschulen für nachhaltige Entwicklung: Erklärung der Hochschulrektorenkonferenz und der Deutschen UNESCO-Kommission zur Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung. Ein Beitrag zur UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“*.
- Holst, J. & von Seggern, J. (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“.
- Jüdes, U. (1997). Nachhaltige Sprachverwirrung: Auf der Suche nach einer Theorie des Sustainable Development. *Politische Ökologie*, (52), 26–29.

- 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. <https://doi.org/10.3278/6004805w219>
- Kron, F. W., Jürgens, E. & Standop, J. (2014). *Grundwissen Didaktik*. UTB-Pädagogik. Reinhardt. <https://doi.org/10.36198/9783838585758>
- 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. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2011.586751>
- 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. <https://doi.org/10.2307/j.ctvdf0fmt.9>
- 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.
- Singer-Brodowski, M. (2016). *Studierende als GestalterInnen einer Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung*. Umweltkommunikation: Band 8.
- Singer-Brodowski, M., Eitzkorn, 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. <https://doi.org/10.3390/su11010269>
- Stoltenberg, U. & Burandt, S. (2014). Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. In H. Heinrichs & G. Michelsen (Hrsg.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (S. 567–594). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25112-2_17
- TU Dortmund (2021). *Modulhandbuch Bachelor Maschinenbau*. Dortmund.
- UNESCO (Hrsg.) (2010). *Engineering: Issues, challenges and opportunities for development*. 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.
- World Commission on Environment and Development [WCED] (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Brundtland-Report. Oxford University Press.

Autorin

Dr. Silke Frye ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Lehrkraft im Bereich Ingenieur-Didaktik an der TU Dortmund. Sie beschäftigt sich mit der Gestaltung technischer Lern- und Lehrumgebungen, Maker-Education und ingenieurwissenschaftlicher (Hochschul-)Bildung für nachhaltige Entwicklung.

Kontakt: silke.frye@tu-dortmund.de