

SILKE FRYE (Technische Universität Dortmund)

TOBIAS HAERTEL (Technische Universität Dortmund)

**Technik und Nachhaltigkeit –
Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

SILKE FRYE / TOBIAS HAERTEL

Technik und Nachhaltigkeit – Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen

ZUSAMMENFASSUNG: Nachhaltigkeitsprobleme sind zu „super wicked problems“ geworden, zu Problemen, deren Lösung fundamental für das Überleben der Menschheit ist. Ziel einer zeitgemäßen hochschulischen und technisch orientierten Ausbildung muss es daher sein, dass Studierende ergänzend zu einer fachlichen Exzellenz auch Kompetenzen entwickeln, um die Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung zu kennen, zu verstehen und nicht nur angemessen auf sie zu reagieren, sondern sie auch aktiv mitgestalten zu können. Der Beitrag stellt die Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Evaluierung eines Lernangebots auf Grundlage der „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“ vor und zeigt, wie eine ganzheitliche Förderung von fachbezogenen, nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen erreicht werden kann.

Schlüsselwörter: Nachhaltigkeit, nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen, Sustainemployability, Evaluation, Ingenieure ohne Grenzen Challenge

Engineering and Sustainability – Fostering sustainability-oriented competencies

ABSTRACT: Sustainability problems are “super wicked problems”, problems whose solution is fundamental to the survival of humanity. The aim of a modern university and technically oriented education must therefore be to develop not only technical excellence but also the competencies to know and understand the challenges of sustainable development. Future engineers should not only be able to react appropriately to them, but also to actively shape them. The article presents the results from the evaluation of a course based on the "Engineers without Borders Challenge" and shows how a holistic fostering of subject-related, sustainability-oriented skills can be achieved.

Keywords: Sustainability, sustainability-oriented competencies, sustainemployability, evaluation, Engineers without Borders Challenge

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. Dabei ist Nachhaltigkeit nicht allein als Öko- oder Umweltthema 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“ (Levin et al. 2012), also Probleme, deren Lösung fundamental für das Überleben der Menschheit und des Planeten ist. Nicht nur in aktuellen politischen Diskussionen werden daher immer wieder insbesondere technische Innovationen gefordert, die diese Nachhaltigkeitsprobleme lösen.

Neben innovativen und kreativen Problemlösungen gewinnen Nachhaltigkeitsfragen und die verantwortungsvolle Entwicklung technischer Konzepte für zukünftige Ingenieur*innen somit zunehmend an Bedeutung. Daher ist es wesentlich, dass sie 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).

2 Theoretischer Hintergrund

Die Hochschulrektorenkonferenz betont die „Kultur der Nachhaltigkeit“ als zentrales Ziel von Hochschulen (HRK 2018, S. 5). Dies erfordert gezielte Förderung nachhaltiger Denkweisen und Fähigkeiten bei Studierenden. Obwohl diese Bedarfe unstrittig sind, fehlen curriculare Einbindungen des Themenbereichs Nachhaltigkeit an den Hochschulen aber weiterhin. Bisher basiert das Bildungsangebot zu Nachhaltigkeit hauptsächlich auf individuellem Engagement von Lehrenden und Studierendengruppen. Dies erfolgt in der Regel über die Wahl entsprechender Themen für Lehrveranstaltungen, Aktions- und Projektwochen oder Exkursionen (Grunwald & Kopfmüller 2012) und ist in der Regel auf Förderung allgemeiner und überwiegend fachunabhängiger (Schlüssel-) Kompetenzen und kontextübergreifender Dispositionen begrenzt. Dabei ist aber gerade ein Fachbezug wichtig, um konkrete nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen zu fördern.

Insbesondere in technischen und ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen werden Fragen der Nachhaltigkeit bisher 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 bei den Lehrenden, das Bewusstsein für den Bedarf, die Bedeutung und die enge fachliche Verknüpfung des Themas (vgl. z. B. Boyle 2004).

2.1 Begriff der Nachhaltigkeit

Ein umfassendes Verständnis des Nachhaltigkeitsbegriffs wurde mit dem so genannten „Brundlandt-Report“ (WCED 1987) geprägt. Nachhaltige Entwicklung bedeutet demnach, den Bedürfnissen der heutigen Generation zu entsprechen, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse einzuschränken oder zu gefährden. Nachhaltigkeit ist somit kein wissenschaftlich zu bestimmender Begriff, sondern vielmehr ein „gesellschaftlich-politisches und damit normatives Leitbild“ (Grunwald & Kopfmüller 2012, S. 11). Es bezeichnet einen Zielzustand im Sinne dieser Vision; wobei dieser dynamisch zu verstehen ist, da er – sollte er einmal

erreicht werden – nicht dauerhaft bestehen bleibt, sondern immer neu verfolgt und angestrebt werden muss. Das Anstreben dieses Ziels und der Weg dorthin werden als ‚nachhaltige Entwicklung‘ bezeichnet.¹

Dieses Verständnis zeigt, dass Nachhaltigkeit über den ökologischen Fokus hinausgeht, der dem Thema häufig zugeschrieben wird. Vielmehr handelt es sich um eine komplexe Vision, die verschiedene Aspekte und Perspektiven umfasst. In der internationalen wissenschaftlichen Literatur hat sich dabei eine Unterscheidung der ökologischen, sozialen und ökonomischen 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.

Diese Gliederung der Dimensionen ist nicht trennscharf zu verstehen. Sie stehen in einem unmittelbaren Zusammenhang, in dem sich ökologische Verträglichkeit, soziale Gerechtigkeit und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit ständig gegenseitig beeinflussen (Pufé 2017).

Lange dominierte im allgemeinen Verständnis von Nachhaltigkeit die ökologische Dimension. Dies führt dazu, dass Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) häufig mit Umweltbildung gleichgesetzt wird, die in Deutschland seit den 1970er Jahren etabliert ist (Stoltenberg & Burandt 2014). Angesichts globaler Herausforderungen wie dem Klimawandel wird jedoch deutlich, dass es entscheidend ist, die Gesellschaft auf allen Ebenen nachhaltig zu entwickeln, nicht nur im Sinne eines erweiterten Umweltschutzes. Bildung spielt dabei eine Schlüsselrolle, sowohl um Menschen für die Bewältigung globaler Nachhaltigkeitsprobleme zu befähigen als auch den kollektiven Prozess der nachhaltigen Entwicklung voranzutreiben.

2.2 Nachhaltigkeit als (hochschulisches) Bildungsziel

International wurde BNE ausgehend von der Agenda 21 auf politischer Ebene vorangetrieben. In annähernd allen Kapiteln der Agenda wird explizit Bezug auf Bildung und Bewusstsein genommen (BMU 1992). Im Jahr 2002 wurde die Dekade „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung 2005-2014“ ausgerufen. Eines der Kernziele dieser Initiative war es, die Implementierung von BNE in allen Bildungsbereichen zu fördern (Stoltenberg & Burandt 2014). Nach vielen Initiativen und Absichtserklärungen verpflichteten sich zuletzt 2021 mehr als 2.500 Regierungsvertreter*innen, Delegierte internationaler und zwischenstaatlicher Organisationen und Nichtregierungsorganisationen sowie Vertreter*innen der Zivilgesellschaft, Jugend, Wissenschaft, Wirtschaft und aller Bereiche des Lehrens und Lernens aus mehr als 130 Ländern in der „Berliner Erklärung“ (UNESCO 2021) im Rahmen ihrer Positionen und Einflussmöglichkeiten BNE in ihren Bildungssystemen zu verankern.

Auf Basis dieser politischen und gesellschaftlichen Diskussionen folgten immer wieder auch Überlegungen, wie Hochschulen zur Umsetzung der Leitidee einer nachhaltigen Entwicklung bei-

¹ Im allgemeinen Sprachgebrauch werden die Begriffe „Nachhaltigkeit“ und „nachhaltige Entwicklung“ jedoch häufig synonym verwendet.

tragen können. In Deutschland erklärten die Hochschulrektorenkonferenz (HRK) und die Deutsche UNESCO Kommission (DUK) bspw. den Anspruch einer Hochschulbildung für eine nachhaltige Entwicklung:

„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)

Weiterhin muss aber festgestellt werden, dass „die formale Verankerung von Nachhaltigkeit und BNE in Forschung und Lehre aus den Strukturen der Hochschulen selbst heraus noch ausbaufähig ist“ (Holst & Seggern 2020, S. 11). Die Komplexität des Themenbereichs bringt dabei sicher besondere Herausforderung mit sich. Hochschulen sind seit Jahrhunderten durch strenge fachsystematische Strukturen innerhalb der Fakultäten und daraus resultierende fachwissenschaftlich definierte Lehr- und Lernprozesse geprägt (Singer-Brodowski, Etzkorn & Seggern 2019). Diese Struktur scheint einem inter- und transdisziplinären Verständnis von BNE grundsätzlich entgegenzustehen. Gleichzeitig muss aber auch deutlich gemacht werden, dass eine ausschließlich transdisziplinäre BNE dem Anspruch einer umfassenden Transformation nicht gerecht werden kann. Verbleiben Hochschulen bei überfachlichen Angeboten und fehlen konkrete fach- und berufsfeldbezogene Lernangebote, verfehlt dies das Bildungsziel der „Sustainemployability“ (DUK 2014, S. 6), also der Fähigkeit von Studierenden, Ideen und Prinzipien von nachhaltiger Entwicklung in ihrem späteren beruflichen Handeln anzuwenden.

3 Forschungsstand

Allgemein ist es nicht das Ziel, dass BNE zu einem Verhaltenskodex mit zugeschriebenen richtigen und falschen Handlungen führt. 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). Ziel ist es also, sowohl ein Bewusstsein für nachhaltigkeitsrelevante Probleme zu schaffen als auch Personen konkret zu befähigen, aktiv und verantwortungsvoll an einer nachhaltigen Entwicklung teilzuhaben und diese mitzugestalten (Rieckmann 2016).

3.1 Nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Modellen nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen auf unterschiedlichen Konkretisierungsstufen. In der Regel handelt es sich dabei um allgemeine, übergeordnete Bildungsziele, wie bspw. die sog. „Gestaltungskompetenz“ (de Haan 2008). Mit diesem Modell wurden Teilkompetenzen und Qualitätskriterien für BNE formuliert und in Form von Lerngegenständen und -zielen für den mittleren Bildungsabschluss konkretisiert. Für den hochschulischen Bereich wurde aber eine stärkere Differenzierung angestrebt. Mit dem Erheben, Ableiten und Beschreiben von Kompetenzen im Handlungsfeld der nachhaltigen Entwicklung in der hochschulischen Bildung hat sich eine Vielzahl von Autor*innen befasst (vgl. z. B. Crofton 2000; Barth et al. 2007; Shephard 2008 sowie Wiek et al. 2011). Dabei wurden unterschiedlichste Kompetenzen, die zukünftige Fach- und Führungskräfte benötigen, um zu einer Transformation in Richtung Nachhaltigkeit beizutragen, benannt und skizziert. Alle Autor*innen definieren dabei Kompetenzen, die für das Realisieren einer nachhaltigen Entwicklung wesentlich, bisher jedoch

nicht oder nur selten explizit Teil der Ausbildung an Hochschulen sind. Zudem verbleiben sie in der Regel auf der Ebene überfachlicher Kompetenzen, die nicht unmittelbar mit einem konkreten beruflichen Handlungsfeld in Verbindung stehen.

Eine Initiative zur Definition berufsspezifischer nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen, die im technischen und ingenieurwissenschaftlichen Studium gefördert werden sollten, ist die sogenannte „Declaration of Barcelona“ (EESD 2004). Auch diese Kompetenzliste zeichnet sich jedoch nicht durch einen direkten Bezug auf das konkrete Berufsfeld aus, es wurden vielmehr allgemeine, fachübergreifende Kompetenzen um Fähigkeiten ergänzt, in der ingenieurwissenschaftlichen Arbeit kulturelle und politische Kontexte zu berücksichtigen. Damit verbleibt auch diese berufsbezogene Auflistung weitgehend auf der Ebene kontextübergreifender Dispositionen.

Insgesamt wird deutlich, dass bekannte Kompetenzkataloge, trotz ihres formulierten Bezugs auf Technik oder die Ingenieurwissenschaften, weiterhin überwiegend allgemeine, fachunabhängige Kompetenzen umfassen. Sie bieten zwar einen ersten Rahmen für die Konzeption von Lernszenarien zur Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen, 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 Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Studium setzt somit auch das Vorhandensein gut ausgeprägter fachbezogener Kompetenzen voraus bzw. knüpft unmittelbar an diese an (Klieme et al. 2007). Es folgt somit zwingend der Bedarf, dass beide Formen im Rahmen der Ausbildung zukünftiger Ingenieur*innen in einem unmittelbaren Zusammenhang miteinander gefördert werden.

3.2 Ingenieurwissenschaftliche Bildung für eine nachhaltige Entwicklung

Nachhaltigkeit und Technik stehen in einem engen und zugleich ambivalenten Verhältnis zueinander. Einerseits stellen technische Entwicklungen eine Chance zur Lösung von Nachhaltigkeitsproblemen dar, andererseits ist Technik aber auch ein wesentlicher Verursacher und Treiber dieser Probleme. Gerade wegen dieser Ambivalenz gewinnt die verantwortungsvolle Entwicklung technischer Konzepte für zukünftige Ingenieur*innen zunehmend an Bedeutung. Sie sind eine Berufsgruppe, die immer wieder mit den Herausforderungen von Nachhaltigkeit und gesellschaftlicher Verantwortung konfrontiert ist und den technologischen Fortschritt entscheidend mitgestaltet (Schönefeld et al. 2019).

Die technische und ingenieurwissenschaftliche Hochschulausbildung orientiert sich in der Regel 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 zusätzlich die Zieldimension einer nachhaltigen Entwicklung immer wichtiger. Die Entwicklung und Herstellung nachhaltiger Produkte werden zu komplexen Problemen, in denen ein kontinuierliches Abwägen zwischen den oft in Konflikt stehenden Dimensionen von Nachhaltigkeit (vgl. 2.1) als Anforderungen bei der Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte und Prozesse sowie die Auswirkungen von Entwicklung und Herstellung in diesem Kontext kritisch bewertet werden muss. Daraus ergeben sich unmittelbar berufsspezifische, nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen. Sie können, wie in Abb. 1 dargestellt, in einer Matrix abgeleitet werden, in

der die Phasen des Produktentstehungsprozess und die Dimensionen der Nachhaltigkeit in Verbindung gesetzt werden.

 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)
	 Entwicklung	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)
	 ökologisch	 sozial	 ökonomisch

Abb. 1: Matrix nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen.

Diese Kompetenzen umfassend adressieren zu können, erfordert ein besonderes Lernformat. Die Studierenden müssen angeregt werden, über die eigene Fachdisziplin hinauszudenken, indem sie bspw. bei der Entwicklung oder Herstellung eines Produktes selbst auch die Folgen für Menschen und Natur bewerten und in ihren Entscheidungen berücksichtigen (Aufenanger 2011). Um den Umgang mit solchen konflikthafter Entscheidungsprozessen zu erlernen, eignen sich insbesondere komplexe, reale Problemstellungen als Lernanlässe (Braßler 2018). Ein Format, das dieser Idee folgt und dass sich im Modell des projektbasierten Service-Learning bereits in der hochschulischen Ausbildung bewährt hat, ist die „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“.

3.3 Die Ingenieure ohne Grenzen Challenge

Die Ingenieure ohne Grenzen Challenge (IoGC) basiert auf dem internationalen Konzept der Engineers without Borders Challenge. Engineers without Borders (EwB) ist eine Nichtregierungsorganisation, die sich aus unabhängigen nationalen Mitgliedergruppen zusammensetzt und in der technischen Entwicklungszusammenarbeit tätig ist. Die Idee der Challenge ist es, dass Studierende Lösungen für reale Problemstellungen aus dieser Entwicklungszusammenarbeit entwickeln. Dabei arbeiten sie in Teams und treten mit ihren Lösungsideen in einem Wettbewerb gegeneinander an (Buys, Miller & Buckley 2013).

Im Jahr 2012 wurde das Konzept unter dem Namen „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“ erstmals in Deutschland umgesetzt. Für den jährlichen Wettbewerb werden in der praktischen Arbeit des Ingenieure ohne Grenzen e.V., der deutschen EwB-Gruppe, geeignete Problemstellungen identifiziert, mit technischen, geographischen und organisatorischen Informationen ergänzt und Lehrenden an Hochschulen zur Verfügung gestellt. Die Studierenden entwickeln in hochschulindividuellen Settings nachhaltige, praktikable und kulturell angepasste Lösungsideen. Begleitend stehen Expert*innen des Vereins und Vertreter*innen der Umsetzungsorganisationen in den Zielregionen für Fragen in Sprechstunden zur Verfügung. Im Rahmen der IoGC setzen sich die Studierenden so aktiv und diskursiv mit den Dimensionen von Nachhaltigkeit auseinander und bringen dabei nachhaltige Entwicklung und ihr berufliches Handeln als zukünftige Ingenieur*innen in

Verbindung. Sie lernen konkret und (handlungs-) praktisch, die ökologischen, ökonomischen und sozialen Anforderungen bei der Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte zu erkennen und die Auswirkungen von Entwicklung und Produktion in diesem Kontext kritisch zu bewerten.

International wurde die Challenge von Beginn an wissenschaftlich begleitet. Crosthwaite et al. (2012) evaluierten bspw. den Einsatz an australischen Universitäten und identifizierten dabei einige generelle, dem Format immanente Wirkungsmechanismen, die grundsätzlich das Engagement der Studierenden und ihr Technikfolgenbewusstsein verstärken (ebd.):

- *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

Im Rahmen der deutschen Umsetzung wurde evaluiert, inwieweit die Teilnahme an der Ingenieure ohne Grenzen Challenge Einfluss auf die Entwicklung der in 3.2 beschriebenen nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen von Studierenden hat.

4 Empirische Untersuchung I –Evaluation des IoGC

Im Folgenden wird exemplarisch die Evaluation der IoGC im Wintersemester 2019/20 an der Technischen Universität Dortmund vorgestellt. Die Problemstellung richtete sich auf den Einsatz von „Compressed Stabilised Earth Blocks“ (CSEB). Ziel ist es, diese durch mechanisches Pressen verfestigten Bausteine als umweltfreundliche Alternative zu gebrannten Ziegeln in afrikanischen Ländern zu etablieren. Studierende sollten technisch geeignete Pressen mit optimierten Formen für die CSEB-Produktion entwickeln, um deren Akzeptanz in den Zielregionen zu fördern. Die erarbeiteten Lösungen wurden von den Studierenden in Form von einfachen Modellen oder Prototypen als real nutzbare Produkte hergestellt.

Die IoGC wurde im Wahlbereich für das Modul „Außerfachliche Kompetenz“ für Studierende in den Fächern Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Logistik der Technischen Universität Dortmund angeboten. Der Umfang wurde mit 4 Leistungspunkten und 3 Semesterwochenstunden angesetzt.

4.1 Forschungshypothesen

Im Fokus der Evaluation steht die Frage, ob die Teilnahme an der IoGC Wirkung auf die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden zeigt. Dazu wurden zunächst Ziele und daraus folgend Forschungshypothesen abgeleitet, die im Rahmen der Evaluation überprüft wurden.

Im Rahmen der IoGC setzen sich die Studierenden ausgehend von der initiierenden Problemstellung aktiv und diskursiv mit den Dimensionen von Nachhaltigkeit auseinander. Diese Auseinandersetzung ist in der Regel die Grundlage der Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen. Daher ist zu überprüfen, inwieweit die Teilnahme an der IoGC diese nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen bei den Studierenden fördert. Dazu wird die folgende Forschungshypothese formuliert:

H: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden.

Diese Hypothese ist in weitere Teilhypothesen zu untergliedern, die sich an den in 3.2 formulierten domänen- bzw. berufsspezifischen, nachhaltigkeitsorientierten Teilkompetenzen orientieren:

- *H1*: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *ökologische Dimension* bei der *Produktentwicklung*.
- *H2*: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *soziale Dimension* bei der *Produktentwicklung*.
- *H3*: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *ökonomische Dimension* bei der *Produktentwicklung*.
- *H4*: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *ökologische Dimension* bei der *Produktherstellung*.
- *H5*: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *soziale Dimension* bei der *Produktherstellung*.
- *H6*: Die Teilnahme an der IoGC fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *ökonomische Dimension* bei der *Produktherstellung*.

4.2 Erhebungsmethodik

Ziel der Evaluation ist es, die Veränderung der Kompetenzen der 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). 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 in vorhergehenden Semestern eine hochschulübergreifende 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. Um eine mehrfache Befragung der Studierenden mit unterschiedlichen Instrumenten zu vermeiden, wurde dieser bestehende Fragebogen als Basis genutzt und erweitert. Die Befragung erfolgte anonym, über einen individuell generierten Code konnte aber der Fragebogen im Pretest mit dem Fragebogen der gleichen Person im Posttest in Verbindung gebracht werden (vgl. Schönefeld et al. 2019).

Um den Einfluss der IoGC auf die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen in der Evaluation zu erheben, wurde 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 (ebd.). 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 wurden zu den berufsspezifischen, nachhaltigkeitsorientierten Teilkompetenzen die in Tab. 1 zusammengefassten, korrespondierenden Lernziele als Items formuliert. Die Studierenden wurden in Pre- und Posttest jeweils aufgefordert, Selbsteinschätzungen dazu auf einer fünfstufigen Skala vorzunehmen. In Pre- und Posttest wurden identische Items verwendet, es erfolgte lediglich eine Umformulierung des einleitenden Satzteils, um den zeitlichen Bezug deutlicher zu machen.

Tab. 1: Itemwortlaut zur Selbsteinschätzung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen

Einleitender Text im Pretest: „Durch mein bisheriges Studium bin ich in der Lage, ...“	
Einleitender Text im Posttest: „Nachdem ich an der IoGC teilgenommen habe, bin ich in der Lage, ...“	
Item	Itemwortlaut
1/ 1‘	bei der <i>Entwicklung</i> eines Produktes <i>ökologische</i> Anforderungen und Auswirkungen (z. B. Ressourceneinsatz, Entsorgung und Recycling) zu bewerten.
2/ 2‘	bei der <i>Entwicklung</i> eines Produktes <i>soziale</i> Anforderungen und Auswirkungen (z. B. Bedürfnisse der Nutzenden und gesellschaftliche Bedeutung) zu bewerten.
3/ 3‘	bei der <i>Entwicklung</i> eines Produktes <i>ökonomische</i> Anforderungen und Auswirkungen (z. B. Aufwand und Nutzen) zu bewerten.
4/ 4‘	bei der <i>Herstellung</i> eines Produktes <i>ökologische</i> Anforderungen und Auswirkungen (z. B. Energieeffizienz, Materialeinsatz und Abfallprodukte) zu bewerten.
5/ 5‘	bei der <i>Herstellung</i> eines Produktes <i>soziale</i> Anforderungen und Auswirkungen (z. B. Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und -formen) zu bewerten.
6/ 6‘	bei der <i>Herstellung</i> eines Produktes <i>ökonomische</i> Anforderungen und Auswirkungen (z. B. Effizienz und Effektivität) zu bewerten.

Anmerkung - Skalierung zur Selbsteinschätzung: 5 = trifft zu, [...] 1 = trifft nicht zu

4.3 Umsetzung, Auswertung und erste Ergebnisse

Die Teilnahme an der Befragung erfolgte auf freiwilliger Basis, die Fragebögen wurden vor und nach der Teilnahme an der IoGC an die Studierenden ausgegeben. Aufgrund des Aufwands für die Betreuung der Teams in der IoGC und die praktischen Arbeiten zur Realisierung der entwickelten Produkte wurde die Teilnehmendenzahl auf 82 Personen begrenzt. Tab. 2 zeigt die Zahl der teilnehmenden Studierenden differenziert nach Fach und Studiengang.

Tab. 2: Teilnehmende Studierende im WiSe 2019/20 nach Fach und Studiengang

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

Um den Einfluss der Teilnahme an der IoGC auf die Ausprägung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen zu untersuchen, erfolgte ein Vergleich der Selbsteinschätzungen der Studierenden im Pre- und Posttest. Da über die vorgenommene Codierung nicht alle Fragebögen des Pretests auch eindeutig einem Fragebogen des Posttests zuzuordnen waren, reduzierte sich die Anzahl der auszuwertenden Datensätze auf 55.

Insgesamt zeigte sich, dass die Studierenden ihre Kompetenzen bereits im Pretest hoch einschätzten. In allen Teilkompetenzen wählten sie 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 schätzten sie sich im Mittel (Median M_d) etwas schwächer ein. Ausgehend von dieser hohen Selbsteinschätzung zeigten sich nur geringe Veränderungen der Selbsteinschätzungen im Posttest. Für einen

Vergleich können der Mittelwert ($\bar{\chi}$) als Maß für die zentrale Tendenz und die Standardabweichung (s) als Streuungsmaß betrachtet werden. Die Mittelwerte ($\bar{\chi}$) zeigten in fünf der sechs Teilkompetenzen eine leicht bis deutlich steigende Tendenz von Pre- zu Posttest. Besonders deutlich zeigte sich dies hinsichtlich der sozialen Dimension von Nachhaltigkeit. In Bezug auf die Produktentwicklung lag hier der Mittelwert ($\bar{\chi}$) um 1,0 höher, was einer kompletten Stufe der Ratingskala entspricht.

Für eine detaillierte Betrachtung der Ergebnisse erfolgte eine inferenzstatistische Analyse der Daten. Um zu überprüfen, ob sich die empirisch gefundenen Mittelwerte der einzelnen Teilkompetenzen in Pre- und Posttest systematisch unterscheiden, erfolgte ein Hypothesentest mit Hilfe eines t-Tests (mit paarigen Werten). Die beschriebenen Entwicklungen der Mittelwerte ($\bar{\chi}$) und der Standardabweichungen (s) zeigten an, dass die Bewertung auf Basis des einseitigen p -Wertes erfolgen kann. Zur Einschätzung der Effektstärke wurde zudem das d -Maß von Cohen herangezogen (vgl. Döring & Bortz 2016). Voraussetzung für den t-Test mit paarigen Werten ist die Normalverteilung der Daten. Diese Voraussetzung konnte unter Bezug auf den zentralen Grenzwertsatz ohne explizite Überprüfung als erfüllt betrachtet werden, da die Anzahl n im Setting >30 ist (ebd.). Tab. 3 zeigt die Ergebnisse für die Überprüfung der Kompetenzentwicklung der Studierenden in der Übersicht.

Tab. 3: Ergebnisse der ersten Evaluation

	Produktentwicklung						Produktherstellung					
	ökologisch		sozial		ökonomisch		ökologisch		sozial		ökonomisch	
	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post
n	55	55	55	55	55	55	55	55	41	55	64	55
M_d	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
$\bar{\chi}$	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		.019*		.553		.608		.045*		.056	
$ d $	0,52		0,85		0,09		0,04		0,47		0,23	

Deutlich wird, dass lediglich im Bereich der sozialen Dimension von Nachhaltigkeit signifikante Veränderungen der Kompetenzniveaus zu erkennen sind. In der sozialen Dimension der Produktentwicklung zeigt sich mit $|d| = 0,85$ eine große Effektstärke, wohingegen in der sozialen Dimension in der Produktherstellung mit $|d| = 0,47$ nur ein mittlerer Effekt erkennbar ist. Die formulierten Teilhypothesen $H2$ und $H5$ konnten somit bestätigt werden. Die Unterschiede der Selbsteinschätzungen in den übrigen Teilbereichen waren aber deutlich von einer Signifikanz entfernt. Die Teilhypothesen $H1$, $H3$, $H4$ und $H6$ konnten daher nicht bestätigt werden und sind somit im Rahmen der Evaluation abzulehnen.

4.4 Revision und Optimierung

Die Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass die IoGC grundsätzlich dazu geeignet ist, die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen der Studierenden zu unterstützen. Sie lassen aber auch darauf schließen, dass die Teilnahme an der IoGC nicht per se zu einer ganzheitlichen Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen führt.

In der IoGC stehen der Praxisbezug und eine aktive und diskursive Auseinandersetzung mit der Problemstellung 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). Und hier wird ein Problem im entwickelten Lernangebot deutlich. Als Schlüsselement, das das gesamte Setting maßgeblich beeinflusst, zeigt sich das geringe Vorwissen der Studierenden über nachhaltige Entwicklung und das daraus folgende mangelnde Verständnis des komplexen Themas Nachhaltigkeit. Eine Erhebung zur Einschätzung des Vorwissens im Rahmen des Pretests zeigte, dass bei etwa 80% der Studierenden kein oder ein nur rudimentäres Vorwissen und Verständnis von Nachhaltigkeit zu erkennen ist.² Diese fehlende Basis erschwerte den Studierenden das Einordnen und Herstellen von Bezügen. Sie erkannten 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 folgte somit, dass diese Verbindung für die Studierenden deutlicher werden musste. Aus diesem Grund wurde eine interaktive Lerneinheit zu Nachhaltigkeit und nachhaltiger Entwicklung als begleitendes E-Learning-Element entwickelt. Ziele dieser Lerneinheit sind es,

- grundlegende Informationen zum Thema Nachhaltigkeit zur Verfügung zu stellen,
- einen Bezug und Einfluss des Handlungs- und Arbeitsfelds von Ingenieur*innen zur nachhaltigen Entwicklung zu verdeutlichen,
- Beispiele für die Bedeutung der Dimensionen von Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung und -herstellung aufzuzeigen sowie
- Anregungen für eine weitere Auseinandersetzung mit dem Thema Nachhaltigkeit in Bezug auf technische und ingenieurwissenschaftliche Kontexte zu geben.

Da die Eigenständigkeit und Individualität im Lernprozess der Studierenden im Vordergrund stehen sollten, hat diese Einheit das Ziel, Perspektiven und Optionen aufzuzeigen und nicht die Demonstration und Vorgabe von Handlungs- und Lösungswegen. Um dies zu erreichen, erfolgt kein linear durchstrukturierter Input, sondern es wird eine Auswahl von verschiedenen Informationsquellen und -medien wie Videos, Texte und ergänzende Links angeboten. Die Studierenden können frei entscheiden, ob und welche dieser Inhalte sie nutzen. Ziel ist eine kognitive Aktivierung, also die Anregung der Studierenden zur aktiven und möglichst tiefen Auseinandersetzung mit den Inhalten. Ergänzend wurde für die abschließende Projektdokumentation eine Leitfrage mit Bezug auf das Thema Nachhaltigkeit aufgenommen, die von den Studierenden zu beantworten ist:

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

Durch diese Einbindung wird die Bedeutung des Themas hervorgehoben. Zudem werden die Studierenden aufgefordert mit dem „Blick zurück“ nochmals aktiv Verbindungen herzustellen, zu explizieren und zu reflektieren.

Die beschriebenen Anpassungen konnten als Ergänzungen in das bestehende Konzept integriert werden, ohne zu umfangreichen Änderungen in Ablauf und Struktur zu führen. Da sich durch die Anpassungen aber der Arbeitsaufwand für die Studierenden erhöht, wurde der Umfang auf 5 Leistungspunkte angepasst. An diese Optimierung schließt sich eine erneute praktische Erprobung und systematische und strukturierte Evaluation an.

² siehe (Frye, 2022) für eine detaillierte Beschreibung dieser Erhebung sowie die Darstellung der vollständigen Ergebnisse

5 Empirische Untersuchung II –Evaluation der Optimierung

Die Erprobung des optimierten Lernangebots erfolgte im Wintersemester 2020/21. Die Aufgabenstellung bezog sich auf „Community Forests“, also von Gemeinden bewirtschaftete Waldgebiete, in Nepal. Eine besondere Herausforderung der Bewirtschaftung dieser Gebiete sind das Bereinigen, Beschneiden und Jäten sowie das Entfernen von Rest- und Totholz, um die Gefahr von Waldbränden zu verringern. Die Studierenden sollten einfache Werkzeuge entwickeln, mit denen die Arbeit leichter und sicherer möglich ist und die die Effizienz der Ernte des Holzes steigern. Alternativ sollte eine Transportmöglichkeit für die lose Biomasse oder ein sicherer und umweltfreundlicher Verkohlungssofen entwickelt werden, in dem das Rest- und Totholz zu Holzkohle gebrannt werden kann.

Im Wintersemester 2020/21 galten aufgrund der COVID-19 Pandemie umfassende Kontaktbeschränkungen. Diese Vorgaben führten zu einigen ungeplanten, aber zwingenden Veränderungen in der Umsetzung. Die IoGC wurde auf ein reines E-Learning-Angebot umgestellt. Die praktische Arbeit zur Produktherstellung war aufgrund restriktiver Hygienekonzepte nicht möglich und die Studierenden konnten keine Prototypen bzw. Modelle ihrer Lösungsideen herstellen. Die Vorstellung der Lösungen erfolgte mit Hilfe kurzer Videos, in denen die Studierenden ihre Idee mit Animationen verdeutlichten. 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. Es wurden keine weiteren Anpassungen vorgenommen. Die praktischen Arbeiten zur Produktherstellung waren für die Studierenden wieder möglich, so dass das Herstellen des Modells oder Prototyps der Lösungsidee wieder Teil der IoGC war. Das optimierte Konzept konnte in der eigentlich geplanten Form umgesetzt und evaluiert werden.

Die Aufgabenstellung der IoGC bezog sich in diesem Semester auf solarbetriebene Wasserpumpen, die in Nepal zur Bewässerung von Feldern verwendet werden. Diese Pumpen werden 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 IoGC wurde in beiden Semestern wieder im Wahlbereich für Studierende 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.

5.1 Forschungshypothesen und Erhebungsmethodik

Im Fokus der Evaluation stand die Überprüfung der Wirksamkeit hinsichtlich der ganzheitlichen Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen und somit der Auswirkungen der vorgenommenen Optimierung. Das grundlegende Konzept der IoGC wurde bei der Anpassung und Optimierung nicht verändert. Das optimierte Lernangebot umfasst die kognitive Aktivierung sowie die Teilnahme an der IoGC, die weiterhin der Kernbaustein ist. Es kann somit die folgende Hypothese formuliert werden:

H': Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden ganzheitlich.

Diese muss ausgehend von den in 3.2 formulierten domänen- bzw. berufsspezifischen Teilkompetenzen erneut in Teilhypothesen untergliedert werden, um die ganzheitliche Förderung abzubilden:

- H1': Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *ökologische Dimension* in der *Produktentwicklung*.
- H2': Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *soziale Dimension* in der *Produktentwicklung*.
- H3': Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *ökonomische Dimension* in der *Produktentwicklung*.
- H4': Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *ökologische Dimension* in der *Produktherstellung*.
- H5': Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *soziale Dimension* in der *Produktherstellung*.
- H6': Die Teilnahme am optimierten Lernangebot fördert nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf die *ökonomische Dimension* in der *Produktherstellung*.

Auch in der Evaluation des erweiterten Lernangebots erfolgte im Wesentlichen eine empirische Erhebung von Lernerfolgen, so dass weiterhin ein klassisches Pretest-Posttest-Design üblich und geeignet ist. Eine Wirksamkeit des optimierten Lernangebots zeigt sich wieder durch eine signifikante Zunahme der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen der Studierenden. Wie in der Evaluation der ersten Version der IoGC wurden die Studierenden daher 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, konnten die in Tab. 1 dargestellten Items unverändert übertragen werden.

5.2 Umsetzung und Auswertung

Die Befragung erfolgte in beiden Durchgängen weiterhin freiwillig und anonym. Das Paper-Pencil-Format des standardisierten Fragebogens wurde in eine identische Online-Befragung übertragen. Diese wurde jeweils vor und nach der Teilnahme an der IoGC für die Studierenden zur Bearbeitung freigeschaltet. Über einen individuellen Code können auch in der digitalen Version des Fragebogens die Ergebnisse von Pre- und Posttest einer Person in Verbindung gebracht werden.

Die Teilnehmendenzahl wurde aufgrund geringerer Betreuungskapazitäten in beiden Semestern auf 40 Studierende begrenzt. Tab. 4 zeigt die Zahl der teilnehmenden Studierenden differenziert nach Fach und Studiengang in beiden Semestern.

Tab. 4: Teilnehmende Studierende im WiSe 2020/21 und WiSe 2021/22 nach Fach und Studiengang

	Maschinenbau		Wirtschaftsingenieurwesen		Logistik	
	Bachelor	Master	Bachelor	Master	Bachelor	Master
WiSe 20/21	8	4	12	9	0	7
WiSe 21/22	2	5	12	11	2	8

Um den Einfluss der Teilnahme an der IoGC auf die Ausprägung der nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen zu untersuchen, erfolgte wieder ein Vergleich der Selbsteinschätzungen der Studierenden im Pre- und Posttest. 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 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. Im Vergleich zeigen sich bei allen Teilkompetenzen im Posttest leichte bis deutliche Anstiege des Mittelwertes ($\bar{\chi}$) 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. Für eine detaillierte Betrachtung der Ergebnisse erfolgte wieder eine inferenzstatistische Analyse der Daten. Tab. 5 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.

Tab. 5: Ergebnisse der Evaluation im WiSe 2020/21

	Produktentwicklung						Produktherstellung					
	ökologisch		sozial		ökonomisch		ökologisch		sozial		ökonomisch	
	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post
<i>n</i>	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
M_d	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
$\bar{\chi}$	2,9	3,8	2,8	4,1	3,7	4,1	3,7	3,9	3,5	3,8	3,8	3,9
<i>s</i>	1,2	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
<i>p</i>	< .001***		< .001***		.003**		.0268		.095		.280	
<i> d </i>	0,75		1,18		0,49		0,10		0,22		0,10	

Deutlich erkennbar ist eine Zweiteilung der Ergebnisse. In Bezug auf die Items, die sich auf die Phase der Produktherstellung beziehen, zeigt sich keine Signifikanz in der Zunahme der Kompetenzeinschätzung. Bei den Items, die sich auf die Phase der Produktentwicklung beziehen, zeigen sich hingegen deutliche Unterschiede. Die Selbsteinschätzungen in Bezug auf die soziale Dimension in der Produktentwicklung zeigen höchst signifikante Unterschiede zwischen Pretest und Posttest. 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 und im Posttest sind höchst signifikant mit einer mittleren Effektstärke von $|d| = 0,75$. Der Anstieg des Kompetenzniveaus im Bereich der ökonomischen Dimension im Rahmen der Produktentwicklung ist hoch signifikant, zeigt aber lediglich eine kleine Effektstärke mit $|d| = 0,49$.

Im Wintersemester 2021/22 erfolgte die zweite Erprobung des optimierten Lernangebots. In diesem Semester war es für die Studierenden wieder möglich, ihre Produktidee als Modell oder Prototyp praktisch herzustellen.

Im Vergleich schätzten die Studierenden ihre Kompetenzen im Pretest etwas geringer ein als in den vorhergehenden Semestern. Im Mittel (Median M_d) wählten sie nur die Stufe 3 hinsichtlich ihrer Fähigkeiten, die Anforderungen und Auswirkungen in Bezug auf die jeweilige Dimension von Nachhaltigkeit bei der Produktentwicklung und -herstellung zu bewerten. Lediglich in Bezug

auf die ökonomische Dimension sehen sie sich im Mittel (Median M_d) bei Stufe 4. Im Vergleich zeigen sich bei allen Teilkompetenzen im Posttest Anstiege des Mittelwertes ($\bar{\chi}$) 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. Für eine detaillierte Betrachtung der Ergebnisse erfolgte wieder eine inferenzstatistische Analyse der Daten. Tab. 6 zeigt die Ergebnisse für die Überprüfung der Kompetenzentwicklung der Studierenden im Rahmen der Erprobung des optimierten Lernangebots im Wintersemester 2021/22.

Tab. 6: Ergebnisse der Evaluation im WiSe 2021/22

	Produktentwicklung						Produktherstellung					
	ökologisch		sozial		ökonomisch		ökologisch		sozial		ökonomisch	
	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post
<i>n</i>	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
M_d	3	4	3	4	4	4	3	4	3	4	4	4
$\bar{\chi}$	2,9	4,0	2,7	4,0	3,7	4,2	3,1	4,0	3,3	4,1	3,7	4,2
<i>s</i>	1,1	0,6	1,0	0,6	0,9	0,6	1,1	0,6	1,1	0,6	1,0	0,6
<i>p</i>	< .001***		< .001***		< .001***		< .001***		< .001***		.002**	
<i> d </i>	0,88		1,30		0,66		0,75		0,80		0,53	

Es ist deutlich erkennbar, 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 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.

5.3 Einordnung der Ergebnisse

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. Abb. 2 zeigt die ermittelten Effektstärken aus den verschiedenen Evaluationen, also sowohl für die erste als auch für die optimierte Version des entwickelten Lernangebots im direkten Vergleich, aufgliedert in die Teilkompetenzen.

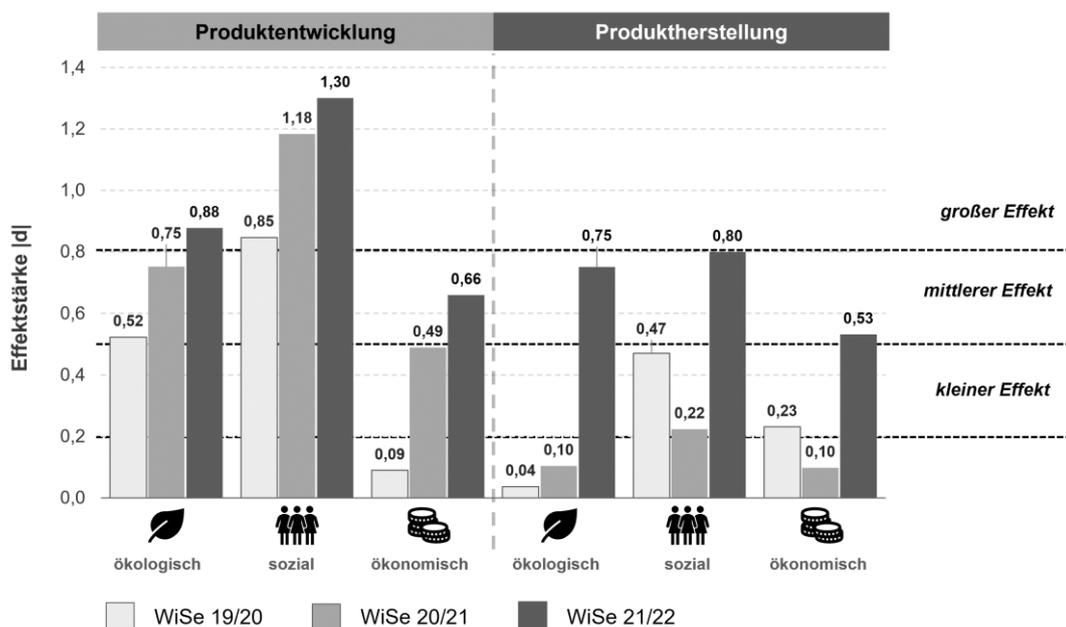


Abb. 2: Vergleich der ermittelten Effektstärken

Die Optimierung des Lernangebots zeigt deutliche Auswirkungen auf die Ergebnisse. In der ersten Erprobung stiegen die Einschätzungen der Teilkompetenzen für die Produktentwicklungsphase signifikant an, während es bei den Teilkompetenzen für die Produktherstellungsphase keine signifikanten Zunahmen gab. Bei dieser ersten Erprobung hatten die Studierenden aufgrund der geltenden Einschränkungen durch die COVID-19 Pandemie nicht die Möglichkeit, ihr entwickeltes Produkt auch herzustellen. Es liegt nahe, dieses fehlende praktische Erfahrung 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 neben der veränderten Problemstellung die Möglichkeit der praktischen Produktherstellung die einzige Veränderung im Setting. In dieser Erprobung konnten signifikante Zunahmen in allen Teilkompetenzen festgestellt werden. 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 deutlich 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, da signifikante Steigerungen der Selbsteinschätzungen der Studierenden in allen Teilkompetenzen erreicht wurden. Somit konnten alle in 5.1 aufgestellten Teilhypothesen bestätigt werden.

6 Zusammenfassung, Limitation und Ausblick

Die Zerstörung natürlicher Ressourcen und die globalen Herausforderungen, vor denen Öko-, Sozial- und Wirtschaftssysteme stehen zeigen, dass auf zukünftige Ingenieur*innen neue Aufgaben warten. Vor diesem Hintergrund ist die Verknüpfung des Querschnittsthemas Nachhaltigkeit mit der fachlichen, technischen Domäne besonders wichtig, um fachbezogene nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen zu fördern. Im Beitrag wurde gezeigt, dass die Teilnahme an der IoGC einen geeigneten Rahmen für entsprechende Lernprozesse darstellt.

Für eine angemessene Einordnung ist eine kritische Beurteilung der Ergebnisse und der umgesetzten Vorgehensweise erforderlich. Zunächst sind die Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse kritisch zu hinterfragen und einzugrenzen. So konnten zwar Aussagen über die Wirkungen des Lernangebots gemacht werden, es ist aber nicht zu differenzieren, welche konkreten Parameter des gesamten Settings in welchem Umfang Einfluss auf die Kompetenzentwicklung der Studierenden nehmen. Für die kognitive Aktivierung durch die ergänzte Lerneinheit sind begründete Vermutungen möglich, aber es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch andere Maßnahmen denselben Effekt hervorrufen könnten. Vergleichbare Einschränkungen gelten hinsichtlich der Reduzierung auf die drei ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge, die an der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund angeboten werden. Diese starke Eingrenzung war für eine praktische Umsetzung zwingend erforderlich. Gleichzeitig führt die dadurch zwangsläufig gegebene geringe Heterogenität aber dazu, dass keine Allgemeingültigkeit des Settings, der Wirkmechanismen und der Ergebnisse bestehen kann.

Auch die umgesetzte Methodik ist kritisch zu reflektieren. Die Erhebung der Kompetenzniveaus erfolgte allein durch eine Selbsteinschätzung der Studierenden vor und nach der Teilnahme an der IoGC. Dieser Ansatz bezieht sich zwar explizit nicht auf die absolute Aussagekraft der einzelnen Einordnung, sondern auf die Differenz zwischen den Einschätzungen einer Person. Dennoch könnte eine Relativierung der Selbsteinschätzung durch Realitätsprüfungen die Qualität und Aussagekraft der Ergebnisse verbessern.

Trotz dieser Einschränkungen und Grenzen kann auf Grundlage der Ergebnisse aber eindeutig eine positive Bilanz gezogen 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. Insbesondere über die handlungspraktischen Elemente der Produktherstellung ist eine Verknüpfung von technischer und ingenieurwissenschaftlicher Fachlichkeit mit dem Querschnittsthema Nachhaltigkeit gelungen.

Als interessanter Ansatz für weitere Untersuchungen bleibt bspw. die Frage, ob die Teilnahme an der IoGC auch längerfristig Wirkungen zeigt, bspw. normative Prinzipien und Leitbilder (mit)geprägt werden oder die Teilnahme einen Einfluss darauf hat, welche Bedeutung Studierende dem Themenbereich Nachhaltigkeit in ihrem weiteren Studium und in ihrer beruflichen Zukunft zuschreiben.

Literatur

- 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* (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, Berlin.
- 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.
- Boyle, C. (2004). Considerations on educating engineers in sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 5(2), 147–155.
- 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* (81–90). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit [BMU]. (1992). *Agenda 21: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung*. Deutsche Übersetzung. Köllen Druck.

- Buyts, 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.
- 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 [DFG]. (2004). Thesen und Empfehlungen zur universitären Ingenieurausbildung. Diskussionspapier für das Präsidium der DFG, erarbeitet unter der Federführung von Vizepräsident Eigenberger.
- Deutsche UNESCO-Kommission [DUK] (Hrsg.). (2014). Vom Projekt zur Struktur: Strategiepapier der Arbeitsgruppe „Berufliche Aus- und Weiterbildung“ des Runden Tisches der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“. Bonn.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg.
- Engineering Education in Sustainable Development [EESD] (Hrsg.). (2004). Declaration of Barcelona. Barcelona.
- Frye, S. (2022). *Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen im ingenieurwissenschaftlichen Studium* [Dissertation]. Technische Universität Dortmund, Dortmund.
- 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* (23–43). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hauff, M. von. (2014). *Nachhaltige Entwicklung: Grundlagen und Umsetzung*. De Gruyter Oldenbourg.
- Hochschulrektorenkonferenz [HRK] & Deutsche UNESCO-Kommission [DUK] (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"*.
- Hochschulrektorenkonferenz [HRK]. (2018). Für eine Kultur der Nachhaltigkeit: Empfehlung der 25. Mitgliederversammlung der HRK am 06. November 2018 in Lüneburg.
- 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“*.
- INGENIEUR.de. (2011). *Ingenieurausbildung wird zukünftig gesellschaftspolitische Aspekte berücksichtigen*. <https://www.ingenieur.de/karriere/bildung/studium/ingenieurausbildung-kuenftig-gesellschaftspolitische-aspekte-beruecksichtigen/>, Stand vom 30.12.2023.
- 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.
- Kron, F. W., Jürgens, E. & Standop, J. (2014). *Grundwissen Didaktik* (6. Aufl.). UTB Pädagogik: Bd.-Nr. 8073. Reinhardt.
- 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.
- 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* (215–236). Schneider Verlag Hohengehren GmbH.
- Pufé, I. (2017). *Nachhaltigkeit*. utb: Bd. 8705. UVK Verlagsgesellschaft mbH mit UVK/Lucius.
- Raupach, T., Münscher, C., Beissbarth, T., Burckhardt, G. & Pukrop, T. (2011). Towards outcomebased programme evaluation: Using student comparative self-assessments to determine teaching effectiveness. *Medical teacher*, 33(8), e446-53.
- 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* (89–110). Verlag Barbara Budrich.
- 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.

- Shephard, K. (2008). Higher education for sustainability: seeking affective learning outcomes. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 9(1), 87–98.
- 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.
- Stoltenberg, U. & Burandt, S. (2014). Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. In H. Heinrichs & G. Michelsen (Hrsg.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (567–594). Springer Spektrum.
- UNESCO (Hrsg.). (2021). *Berliner Erklärung zur Bildung für nachhaltige Entwicklung: UNESCO-Weltkonferenz Bildung für nachhaltige Entwicklung. Learn for our planet. Act for sustainability.* Berlin.
- 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.
- 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.

DR. SILKE FRYE

Technische Universität Dortmund, IngenieurDidaktik
Otto-Hahn-Str. 6, 44227 Dortmund
silke.frye@tu-dortmund.de

PROF. DR. TOBIAS HAERTEL

Technische Universität Dortmund, IngenieurDidaktik
Otto-Hahn-Str. 6, 44227 Dortmund
tobias.haertel@tu-dortmund.de

Zitieren dieses Beitrags:

Frye, S. & Haertel, T. (2024). Technik und Nachhaltigkeit – Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 12(2), 10–28.