



RUB

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

ABSCHLUSSBERICHT

**ECOING - ENTWICKLUNG UND UMSETZUNG EINER ECODESIGN-LERNFABRIK FÜR DIE
UNIVERSITÄRE INGENIEURAUSBILDUNG**

AKTENZEICHEN **34429/01**



Prof. Dr.-Ing. Beate Bender
Lehrstuhl für
Produktentwicklung

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

© 2022 RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG
FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU
Universitätsstraße 150
44801 Bochum
Deutschland / Germany
Internet: <http://www.lpe.ruhr-uni-bochum.de>

VERFASST VON
DANIELA KATTWINKEL, M.Sc., M.Sc.
E-Mail: kattwinkel@lpe.ruhr-uni-bochum.de

HAFTUNGSHINWEIS

Bezüglich der Verweise auf externe Internetseiten wird die Haftung für die Inhalte dieser Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

Bild- und Textrechte wurden sorgfältig geprüft. Sollten dennoch Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, bitten wir um Nachricht an die Verfasserin bzw. Projektleitung. Alle Fotos wurden im Rahmen des Projekts mit schriftlicher Zustimmung der sichtbaren Personen aufgenommen.

Die Grafik auf dem Titelbild sowie die Grafiken in den Präsentationsfolien wurden von Studio Flaer erstellt.

BOCHUM, OKTOBER 2022

INHALTSVERZEICHNIS

1. MOTIVATION UND ZIELSETZUNG DES VORHABENS	1
2. PROJEKTVERLAUF UND BEARBEITUNG	4
2.1 ERSTES JAHR (NOVEMBER 2018 – OKTOBER 2019).....	4
2.2 ZWEITES JAHR (NOVEMBER 2019 – OKTOBER 2020).....	6
2.3 DRITTES JAHR (NOVEMBER 2020 – OKTOBER 2021)	12
2.4 VERLÄNGERUNG (NOVEMBER 2021 – JULI 2022)	15
2.5 PROJEKTPRODUKTE	18
2.5.1 Generisches Lehrveranstaltungskonzept zur umweltgerechten Produktentwicklung ...	18
2.5.2 Vorlesungs- und Übungsunterlagen	18
2.5.3 Videoclips und Fotodokumentation	20
2.5.4 EcoLab und DesignSpace.....	21
3. ERGEBNISSE.....	24
3.1 ERGEBNISSE DER STUDENTISCHEN PROJEKTE.....	24
3.2 PRÜFUNGSLEISTUNGEN DER STUDIERENDEN.....	26
3.2.1 Portfolios	27
3.2.2 Lerntagebücher.....	27
3.2.3 Ergebnispräsentationen.....	28
3.3 LEHREVALUATION.....	28
3.4 FRAGEBOGENEVALUATION	31
3.4.1 Fragebogenkonstruktion und Durchführung der Befragung	31
3.4.2 Exemplarische Ergebnisse der Erhebungen	32
4. ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	35
5. FAZIT UND AUSBLICK.....	39
LITERATURVERZEICHNIS	42
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	45
TABELLENVERZEICHNIS.....	46
ANHANG A – UNTERSTÜTZENDE FORMBLÄTTER.....	47
ANHANG B – ÜBERSICHT DER INHALTE DES LEHRVERANSTALTUNGSKONZEPTES.....	52
ANHANG C - MAßNAHMENKATALOG	59

1. MOTIVATION UND ZIELSETZUNG DES VORHABENS

Die Umstellung auf eine ressourcenschonende Wirtschaft steht seit Jahren im europäischen und weltweiten Fokus. Um dies umzusetzen sind neue oder verbesserte Produkte und Dienstleistungen notwendig. Hierbei stellt besonders die Entwicklung solcher umweltgerechteren Systeme eine komplexe Herausforderung dar. In diesem Zusammenhang kommt der Rolle der Produktentwickler:innen eine zentrale Bedeutung zu. Im Rahmen ihrer Tätigkeiten nehmen die Entwickler:innen maßgeblich Einfluss auf die Umweltbelastung durch zukünftige Produkte, denn die Entscheidungen, die in der Produktentwicklung getroffen werden, legen nicht nur die technischen und ökonomischen, sondern in besonderem Maße auch die ökologischen Eigenschaften der Produkte fest.¹

Obwohl das Prinzip einer nachhaltigen Produktgestaltung bereits Thema in vielen Unternehmen ist, hat es sich häufig noch nicht als inhärenter Bestandteil der Produktentwicklung durchgesetzt.² Ein Entwicklungsansatz, in dem bereits während der Entwicklung die Umweltwirkungen eines Produktes betrachtet und verbessert werden, ist das Ecodesign (Ökodesign) oder im deutschen auch die umweltgerechte Produktentwicklung.³ Aktuell werden trotz der hohen Anzahl existierender Methoden und Werkzeuge zur nachhaltigen und umweltgerechten Produktgestaltung nur wenige Ansätze in der Industrie angewandt. Dies wird u. a. durch mangelnde Ressourcen für die Weiterbildung und Schulung von Mitarbeiter:innen begründet. Ein zentraler Ansatzpunkt diesen Missstand zu beheben, ist eine frühzeitige und nachhaltige Sensibilisierung der Mitarbeiter:innen, die bereits in der Ausbildung beginnt. Bislang hat eine umweltgerechte und nachhaltige Produktentwicklung im Hochschulstudium junger Ingenieur:innen und angehender Produktentwickler:innen in Deutschland jedoch kaum Einzug gehalten, wie eine eigens durchgeführte Studie belegt.⁴ Meist werden nachhaltige Zusammenhänge nur als einer von vielen Schwerpunkten im Kontext der Produktentwicklungs- und Konstruktionslehre und mittels impliziter oder verwandter Themenbereiche (z.B. Leichtbau) vermittelt. Darüber hinaus entsprechen in den Ingenieurwissenschaften die verwendeten Lehrmethoden (z.B. Frontalunterricht) oft nicht den aktuellsten didaktischen Erkenntnissen.⁵ In verschiedenen Lehrveranstaltungen wie bspw. aus dem Bereich der Produktion konnten problemorientierte Lehrmethoden in Form von Lernfabriken bereits zeigen, dass sich durch andere Methoden verbesserte Lernergebnisse einstellen. Das didaktische Konzept einer Lernfabrik liefert einen besonderen Beitrag für den Wandel hin zu einer Kompetenzorientierung und stellt eigenständige Handlungen und selbstorganisierte Aktivitäten in den Vordergrund.⁶

Bisher werden in kaum einer Lehrveranstaltung in den Ingenieurwissenschaften die Umweltwirkungen, die in der Nutzungsphase entstehen fokussiert.⁷ Dabei fallen für viele Produkte die wesentlichsten Umweltwirkungen während der Produktnutzung an (bei Haushaltsgeräten wie z. B. Bodenstaubsaugern bis zu 88%).⁸ Außerdem beeinflussen die Teilprozesse der Nutzungsphase (z. B. Inbetriebnahme, Benutzung, Wartung, Reparatur) auch die ihr vor- und nachgelagerten Lebenswegphasen.⁹ So kann

¹ Oberender (2006)

² Rossi, Germani und Zamagni (2016)

³ Zhao (2013); McAloone und Pigosso (2021)

⁴ Siehe Kattwinkel, Song und Bender (2018)

⁵ Terkowsky et al. (2018)

⁶ Abel et al. (2013)

⁷ Kattwinkel, Song und Bender (2018)

⁸ Blepp, Bommer und Quack (28.05.2013)

⁹ Dannheim (1999)

eine unsachgemäße Verwendung z. B. zu einer beschleunigten Produktentsorgung führen.¹⁰ „Hieraus resultiert ein dringender Handlungsbedarf in der Produktentwicklung.“¹¹ Doch die Entwicklung umweltgerechter und nachhaltiger Produkte stellt „eine komplexe Herausforderung dar, da eine Vielzahl teilweise konkurrierender technischer, ökonomischer und ökologischer Anforderungen zu berücksichtigen ist [...]“¹².

Um diesen aufgezeigten Defiziten im (Fach-) Hochschulstudium junger Ingenieur:innen entgegen zu wirken, verfolgt der Lehrstuhl für Produktentwicklung (LPE) der Ruhr-Universität Bochum (RUB) unter der Leitung von Frau Prof. Dr.-Ing. Beate Bender mit dem vorliegenden Vorhaben das übergeordnete Ziel, Studierende mithilfe eines neuen Ausbildungskonzepts in die Lage zu versetzen, Produkte vor dem Hintergrund ökonomischer und technischer Randbedingungen ökologisch verbessern zu können und damit im Arbeitsumfeld der Produktentwicklung in Zukunft handlungsfähig zu sein. Dafür wird innerhalb Projekts eine Lernfabrikumgebung im Themenfeld der umweltgerechten Produktentwicklung (siehe Abbildung 1-1) sowie ein Lehrveranstaltungskonzept für die universitäre Ingenieurausbildung konzipiert. Die entwickelte Umgebung und das Konzept werden im Rahmen einer Lehrveranstaltung für Masterstudierende der Fachrichtungen Maschinenbau (MB) und Sales Engineering and Product Management (SEPM) an der Ruhr-Universität Bochum umgesetzt. Als weiteres zentrales Ergebnis des Projekts werden alle Vorlesungs- und Übungsunterlagen im Sinne eines Leitfadens zusammengefasst und anderen Hochschulen zur Verfügung gestellt, um eine Übertragung des Konzepts auf weitere Lehrinrichtungen zu ermöglichen.

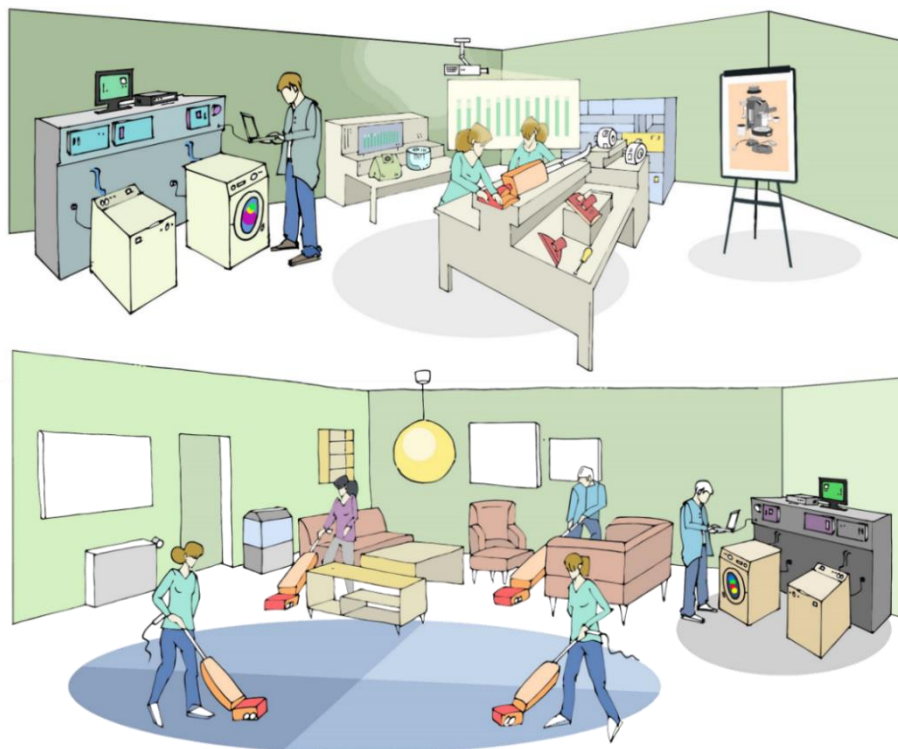


Abbildung 1-1: Geplantes Layout des DesignSpaces (oben) und des EcoLabs (unten)

¹⁰ Kattwinkel (2022), S.3

¹¹ Oberender (2006), S.2

¹² Abele et al. (2008), S.2; siehe dazu auch Tischner und Moser (2015)

Innerhalb des Projekts wird der LPE ein Lehrveranstaltungskonzept und eine Lernumgebung konzipieren, die einerseits realitätsnah die Prozesse der Produktentwicklung abbildet und zum anderen Studierende befähigt, Produkte nachhaltig zu gestalten. Dazu werden die Studierenden reale Beispielprodukte anwenden (siehe Abbildung 1-1 unten) und in der Rolle von Produktentwickler:innen schließlich konkrete Maßnahmen zur Verbesserung des Ressourcenverbrauchs erarbeiten (siehe Abbildung 1-1 oben). Durch die enge Zusammenarbeit mit Unternehmen aus der Industrie hat der LPE starke Praxispartner:innen, die die Gestaltung der Lernumgebung und des Lehrveranstaltungskonzepts durch ihr Wissen und ihre Erfahrungen unterstützen. Ein thematischer Schwerpunkt der Veranstaltung wird auf die Nutzungsphase bzw. auf die Auswirkungen der Entscheidungen in der Produktentwicklung auf die Produktnutzung gelegt, da hierin ein besonderes Potenzial zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs gesehen wird.

Als wissenschaftliche Fundierung für die inhaltliche Ausgestaltung der Lehrveranstaltungskonzepts zur umweltgerechten Produktentwicklung fungiert der etablierte Ansatz des Instruktionsdesigns oder des didaktischen Designs, welches hilfreiche Gestaltungsprinzipien liefert und somit sowohl die systematische Konzeption der eigentlichen Lernumgebung als auch des Organisationsplans der in ihr stattfindenden Lernhandlungen ermöglicht.¹³ Ohne eine solche Systematisierung und Strukturierung bliebe die Auswahl und Abfolge der getroffenen Konzeptionsentscheidungen beliebig. Das Vorgehen im Projekt gliedert sich demnach grob in die folgenden fünf Arbeitspakete:

- AP1 *Planung*: Zielgruppenanalyse, Detaillierung der kompetenzorientierten Lernziele
- AP2 *Konzeption der Lernumgebung*: Entwurf des Konzepts und der Lernumgebung
- AP3 *Prototypische Durchführung*: Pilotanwendung des Lehrveranstaltungskonzepts
- AP4 *Evaluation und Weiterentwicklung*: Befragung und Umsetzung
- AP5 *Erstellung der Dokumentation*: Erstellung der Unterlagen für den Ergebnistransfer

Kurzfristige und direkte Umweltentlastungen werden in diesem Projekt durch die gezielte Erarbeitung von Handlungsmaßnahmen zur Ressourceneinsparung an konkreten Produkten entstehen. Mittelfristig werden die Studierenden als Multiplikatoren fungieren und nach ihrem Abschluss ihr Wissen und ihre Kompetenzen in die Industrie tragen und so aktiv nachhaltige Veränderungen aus dem Unternehmen heraus anstoßen. Langfristig wird so die Anwendung nachhaltiger und umweltgerechter Methoden und Werkzeuge in Unternehmen gefördert und der Weg hin zu einer nachhaltigen Zukunft geebnet.

¹³ Seel (1999)

2. PROJEKTVERLAUF UND BEARBEITUNG

Der Projektverlauf wird nachfolgend verteilt auf die drei Projektjahre (Nov. 2018 – Okt. 2019, Nov. 2019- Okt. 2020, Nov. 2020 – Okt. 2021) und die Verlängerung (Nov. 2021 – Juli 2022) detailliert beschrieben. In Abbildung 2-1 werden die einzelnen Arbeitspakete des Projekts aufgeführt sowie deren Bearbeitung über den Projektverlauf dargestellt.

AP	Beschreibung	2018	2019	2020	2021	2022
AP 1	Planung	■				
AP 2	Konzeption der Lernumgebung		■			
AP 3	Prototypische Durchführung (digital)			■		
AP 4	Evaluation und Weiterentwicklung		■			
AP 5	Erstellung der Dokumentation	■				
Projektlaufzeit 44 Monate			Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Verlängerung

Abbildung 2-1: Aufteilung der Arbeitspakete auf die Projektjahre

Hervorzuheben ist hier, dass nicht alle Inhalte der Arbeitspakete sukzessive nacheinander abgearbeitet werden konnten, da sie teilweise aufeinander aufbauten und eng miteinander verflochten waren. Die Bearbeitung wies daher einen iterativen Charakter auf. Zur Ableitung von Lernzielen, die innerhalb der zu konzipierenden Lehrveranstaltung erreicht werden sollen, mussten beispielsweise zunächst die benötigten Kompetenzen zur Entwicklung umweltgerechter Produkte bestimmt werden. Dazu wurden eine detaillierte Literaturstudie zum Thema Kompetenzen für die umweltgerechte Produktentwicklung durchgeführt sowie praktische Workshops und Befragungen durchgeführt (siehe Abschnitte 2.1 und 2.2).

2.1 ERSTES JAHR (NOVEMBER 2018 – OKTOBER 2019)

Zu Beginn des Projekts wurde zunächst ein Projektbeirat gebildet und es wurde vorrangig an AP 1, der *Planung* gearbeitet. Darunter fiel beispielsweise die *Aufgaben- und Tätigkeitsanalyse* in sowie die *Bedarfs- und Zielanalyse*. In einem Kickoffmeeting im März 2019 sowie in einem weiteren Projekttreffen im Herbst 2019 wurden zusammen mit den Projektpartner:innen und den Beiratsmitgliedern in Workshops die Aufgaben und Tätigkeiten in der umweltgerechten Produktentwicklung sowie die dafür erforderlichen Kompetenzen für zukünftige Produktentwickler:innen analysiert.

Ein Beirat bestehend aus insgesamt 20 repräsentativen Fachexpert:innen aus Forschung und Praxis sowie den Projektpartner:innen konnte gebildet werden. Dieser bestand aus Professor:innen, Geschäftsführer:innen und Mitarbeitenden aus verschiedenen Bereichen oder Abteilungen folgender Industrieunternehmen, Verbände, Organisationen und Hochschulen (Stand: März 2019):

- Dr. Brüning Engineering UG
- Ecocircleconcept
- Effizienzagentur NRW
- ElbeEichhorn
- Forschung und Entwicklung, Vorwerk Elektrowerke GmbH & Co. KG
- Grohe AG
- IngPuls GmbH

- KHS GmbH
- Lehrstuhl für Produktionssysteme, Ruhr-Universität Bochum
- Lehrstuhl für Umwelt und Innovationspolitik, Ruhr-Universität Bochum
- SENTIN Ai
- Umweltbundesamt
- Vaillant Gruppe
- Verbraucherzentrale NRW
- Zentrum Ressourceneffizienz, VDI

Die erste Beiratssitzung des Projekts EcoING am 5.3.2019 wurde dazu genutzt, die unterschiedlichen Berufsbilder von Entwickler:innen und deren Einfluss auf die Umweltwirkungen von Produkten im Rahmen eines Workshops zu beleuchten. Die zentralen Ergebnisse wurden im Rahmen von Gruppenarbeiten erarbeitet und ließen nach einer umfangreichen Auswertung eine Aussage über die unterschiedlichen Tätigkeitsfelder sowie die jeweils dafür erforderlichen Kompetenzen zu. Dabei wurden von den Beiratsmitgliedern neben einem technischen Fachwissen besonders Kompetenzen aus den Bereichen der kommunikativen Fähigkeiten sowie des systemischen Denkens als relevant zur Entwicklung umweltgerechter Produkte identifiziert.

Nach einer eingehenden Literaturstudie zu den Themen Kompetenzen (aus didaktischer, hochschuldidaktischer und unternehmerischer Perspektive) und Kompetenzmodellen (von allgemein bis zum Ingenieurkontext) konnte diese Priorisierung der zwei übergeordneten Kompetenzgruppen bestätigt werden. Darüber hinaus wurden bei der Literaturrecherche zahlreiche Veröffentlichungen identifiziert und analysiert, die benötigte Kompetenzen für die Produktentwicklung (neun Veröffentlichungen), nachhaltige Entwicklung (acht Veröffentlichungen) und die Entwicklung umweltgerechter Produkte (drei Veröffentlichungen) explizit aufführen. Die in diesen Publikationen genannten Kompetenzen wurden gesammelt, um im Anschluss kategorisiert und auf ein Kompetenzmodell aus dem Ingenieurbereich übertragen werden zu können, den CDIO Syllabus¹⁴. Die acht aus der Literatur identifizierten Kompetenzfacetten mit den höchsten durchschnittlichen Übereinstimmungen über alle drei beschriebenen Themenbereiche hinweg sind in Tabelle 2-1 zusammenfassend dargestellt.

Im Rahmen einer anschließenden Sensitivitätsanalyse der Daten hinsichtlich des Alters der Veröffentlichungen, des thematischen Bezugs zur Nachhaltigkeit und Produktentwicklung konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse trotz abgeänderter Eingangsparameter stabil blieben. Zur Durchführung der Praxisbefragungen wurde, die im CDIO Syllabus aufgeführte Kompetenzliste übersetzt und um eine Selbstauskunft ergänzt. Ausgewählte Expert:innen wurden gebeten zu bewerten welche Kompetenzen aus ihrer Sicht zur Entwicklung umweltgerechter Produkte von Studierenden benötigt werden (mit den Abstufungen unwichtig, wichtig und sehr wichtig). Zur Auswahl standen dabei wie auch in der Literaturstudie nur die Kompetenzfacetten aus den Bereichen systemisches Denken und Kommunikation. Befragt wurden die Teilnehmer:innen des zweiten Projekttreffens sowie ausgewählte Professor:innen der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP), in der Frau Prof. Dr-Ing. Bender Mitglied ist. Die Ergebnisse der Praxisbefragung, dargestellt in Tabelle 2-1, bestätigen die Resultate der Literaturanalyse. So konnten die übergeordneten Gruppen ganzheitliches Denken (systemisches Denken) und Aufbau von Verbindungen und Netzwerken (Kommunikation) sowie Nachfragen, Zuhören, Dialog, Verhandlung und Kompromiss (Kommunikation) neben den benötigten fachlichen

¹⁴ Crawley et al. (2011)

Kompetenzen als zentrale Kompetenzen zur Entwicklung umweltgerechter Produkte identifiziert werden. In Tabelle 2-1 wurden die einzelnen Kompetenzfacetten grau schattiert, wenn diese mindestens in zwei der Top acht Rangfolgen genannt wurden. Eine ausführliche Beschreibung des Vorgehens und der Ergebnisse kann aus der Veröffentlichung von Kattwinkel und Bender¹⁵ entnommen werden. Die ermittelten Ergebnisse dienen als Grundlage zur Planung und Konzeption der Inhalte für die Lehrveranstaltung und Lernfabrikumgebung.

Tabelle 2-1: Rangfolge der Kompetenzen des CDIO als Ergebnis aus der Literaturanalyse und den Befragungen

Top acht Kompetenzfacetten des CDIO auf 4. Ebene			
Ergebnisse der Literaturanalyse	Lite-	Befragung Projekttreffen	Befragung WiGeP
Sich mit unterschiedlichen Individuen engagieren und verbinden		Transdisziplinäre Ansätze, die sicherstellen, dass das System von allen relevanten Perspektiven verstanden wird	Energie- und Ressourcenzuweisungen zur Lösung der treibenden Probleme
Aktivierung und Nutzung von Netzwerken zur Erreichung von Zielen		Die wichtigen Beziehungen, Interaktionen und Schnittstellen zwischen den Elementen	Transdisziplinäre Ansätze, die sicherstellen, dass das System von allen relevanten Perspektiven verstanden wird
Transdisziplinäre Ansätze, die sicherstellen, dass das System von allen relevanten Perspektiven verstanden wird		Aktivierung und Nutzung von Netzwerken zur Erreichung von Zielen	Den gesellschaftlichen, sozialen und technischen Kontext des Systems
Das System, seine Funktion und Verhalten und seine Elemente		Den gesellschaftlichen, sozialen und technischen Kontext des Systems	Alle für das Gesamtsystem relevanten Faktoren
Den gesellschaftlichen und sozialen Kontext des Systems		Die externen Interaktionen des Systems und ihr Einfluss auf das System	Lösungen, die verschiedene Faktoren abwägen, Konflikte auflösen und das Gesamtsystem optimieren
Anerkennen von Ideen, die besser sein können als die eigenen		Lösungen, die verschiedene Faktoren abwägen, Konflikte auflösen und das Gesamtsystem optimieren	Das System, seine Funktion und Verhalten und seine Elemente
Wertschätzen von anderen Fähigkeiten, Kulturen oder Erfahrungen		Eindeutiges Erklären des eigenen Standpunktes	Die externen Interaktionen des Systems und ihr Einfluss auf das System
Verhandlungen, um akzeptable Lösungen zu finden		Alle für das Gesamtsystem relevanten Faktoren	Die wichtigen Beziehungen, Interaktionen und Schnittstellen zwischen den Elementen

2.2 ZWEITES JAHR (NOVEMBER 2019 – OKTOBER 2020)

Auch die Arbeiten im zweiten Jahr fokussierten sich weiterhin auf die *Planung* (AP 1) und *Konzeption der Lernumgebung* (AP 2). Dies beinhaltete verschiedene Analysen wie beispielsweise die *Wissens- und Aufgabenanalyse* oder die *Analyse der Zielgruppe*. Dazu wurden Studierende der Fakultät Maschinenbau der RUB beispielsweise zu ihrem Vorwissen und ihren Einstellungen bezüglich Nachhaltigkeit, der Umwelt und der umweltgerechten Produktentwicklung befragt. Darüber hinaus wurden grobe Lernziele für die Veranstaltung und erste Inhalte wie beispielsweise ein Maßnahmenkatalog zur

¹⁵ Kattwinkel und Bender (2020)

Reduzierung der Umweltwirkungen von Produkten entwickelt. Durch mit dem Corona-Virus in Verbindung stehenden Einschränkungen (z. B. die Schließung der Ruhr-Universität Bochum) konnte die *Infrastruktur* zunächst nicht weiter aufgebaut werden und die *prototypische Durchführung* von Lehrveranstaltungen (AP 3) sowie die *Evaluation und Weiterentwicklung* der Veranstaltung (AP 4) verschoben sich auf das dritte Projektjahr. Nachfolgend werden exemplarisch einzelne Arbeiten des zweiten Projektjahres beschrieben und beispielhaft dargestellt.

Die Aufgaben- und Wissensanalyse nimmt einen großen Stellenwert in der Planung des Lehrveranstaltungskonzepts ein.¹⁶ Denn dabei geht es u. A. um folgende Themenbereiche: die Ermittlung von Fähigkeiten und Wissen, dass zur Befriedigung des festgestellten Bedarfs erforderlich ist, die Auswahl von zu vermittelnden Inhalten sowie die Organisation und Sequenzierung dieser Inhalte.¹⁷ Dazu wurde im Rahmen der Projektbearbeitung ein eigenes Vorgehen entwickelt.¹⁸ Dieses wird in Abbildung 2-2 veranschaulicht.

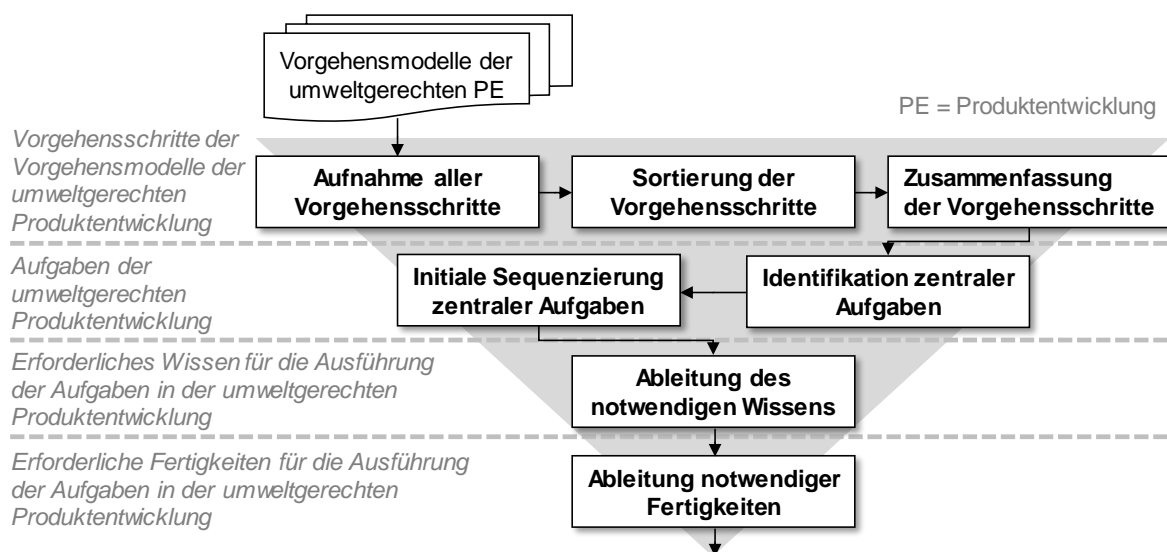


Abbildung 2-2: Vorgehen in der Aufgaben- und Wissensanalyse¹⁹

Zunächst wurden verschiedene Vorgehensmodelle der umweltgerechten (ökoeffizienten, oder nachhaltigen) Entwicklung identifiziert (wie z.B. die ISO/TR 14062²⁰, das Vorgehen nach Frei²¹ oder Oberender²²), um daraus Tätigkeiten der umweltgerechten Produktentwicklung (unter Berücksichtigung der Nutzungsphase) zu identifizieren. Dabei wurden alle Vorgehensschritte jedes Modells aufgenommen und dann nachfolgend nach den zentralen Entwicklungsphasen gemäß der VDI 2221 (Aufgabe klären, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten) sowie übergreifenden Planungs- und Evaluierungsphasen sortiert. Im Anschluss daran konnten die Vorgehensschritte in kleine Elemente zerlegt werden. Beispielsweise ließ sich der übergeordnete Vorgehensschritt „Ökologisch bewerten“ aus einem Modell u. a. in folgende im Erläuterungstext beschriebenen Elemente zerlegen: ökologische Bewertung eines Referenzproduktes, Ermittlung von ökologischen Schwachstellen einschließlich aller

¹⁶ Niegemann et al. (2008)

¹⁷ Niegemann et al. (2008)

¹⁸ Siehe dazu Kattwinkel (2022)

¹⁹ Kattwinkel (2022), S.87

²⁰ DIN-Fachbericht ISO/TR 14062:2002

²¹ Frei (1999)

²² Oberender (2006)

Materialien und Prozesse, Nutzung von Checklisten, Anwendung einer Ökobilanz.²³ Diese Elemente wurden dann vorgehensmodellübergreifend thematisch zusammengefasst. Anhand aller Elemente aus verschiedenen Vorgehensmodellen in einem thematischen Cluster konnten zentrale Aufgaben der umweltgerechten Produktentwicklung abgeleitet werden (z. B. die Fähigkeit eine Ökobilanz interpretieren zu können). Darauf basierend, konnte im nächsten Schritt das zur Erfüllung der Fähigkeiten erforderliche Wissen aufgeführt werden (z. B. das Wissen über Energie- und Materialströme sowie die Phasen des Produktlebenszyklus). Anhand der erforderlichen Fähigkeiten und des dafür erforderlichen Wissens wurden die notwendigen Kompetenzen (bzw. die Lernziele der Veranstaltung) formuliert.²⁴ Die Lernziele unterstützen die Gestaltung der Veranstaltung, dessen Durchführung und Evaluation und dienen als Orientierungsrahmen für Lernende und Lehrende. Kognitive Lernziele beinhalten Wissen über Fakten, Regeln, Konzepte oder Prinzipien und affektive Lernziele beschreiben Interessen, Einstellungen und Werten und der Fähigkeit Werturteile bilden zu können.²⁵ Für die Veranstaltung konnten auf einer übergeordneten Ebene insgesamt neun kognitive und vier affektive Lernziele formuliert werden. Diese Lernziele werden in Tabelle 2-2 aufgeführt und den Niveaustufen für Lernzieltaxonomien²⁶ sowie den im Lernziel adressierten Kompetenzarten (Fach-, Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz) zugeordnet.

Bei der Zielgruppenanalyse wurde neben dem Vorwissen und dem Bildungsstand der Studierenden auch deren Einstellungen und Interessen untersucht. Die Zielgruppe der Lehrveranstaltung setzt sich zunächst aus (weiblichen und männlichen) Studierenden ingenieurwissenschaftlicher Masterstudiengänge an der Ruhr-Universität Bochum zusammen. Mittels eines Online-Fragebogens wurde verschiedene Gruppen von Studierenden im Jahr 2020 im Rahmen des Projekts befragt. Dabei kam z. B. heraus, dass die meisten Studierenden (60%) des Masterfaches „Methoden der integrierten Produktentwicklung“ ihren Bachelorabschluss an der Ruhr-Universität Bochum erreicht haben (siehe Abbildung 2-3 rechts). Da dies jedoch nicht auf alle Studierenden zutrif, konnte für das Vorwissen keine inhaltliche RUB spezifische Eingrenzung z. B. auf Vertiefungsrichtungen oder Fächer vorgenommen werden.

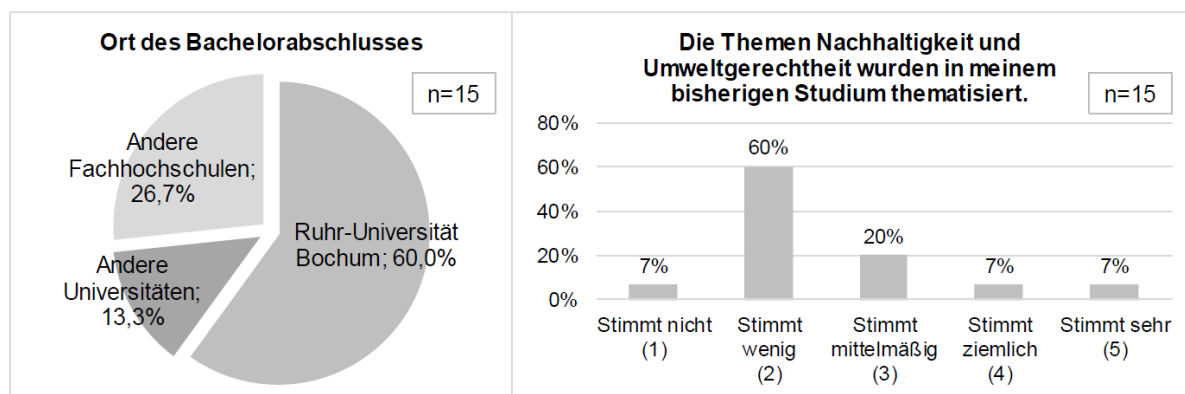


Abbildung 2-3: Ergebnisse der Umfrage aus dem Sommersemester 2020 von Studierenden des Faches "Methoden der integrierten Produktentwicklung"²⁷

²³ Birkhofer et al. (2018)

²⁴ Das ausführliche Vorgehen wird in Kattwinkel (2022) beschrieben.

²⁵ Ouden und Rottlaender (2017)

²⁶ Anderson und Krathwohl (2001)

²⁷ Kattwinkel (2022), S.93

Tabelle 2-2: Kognitive und affektive Lernziele für die Lehrveranstaltung²⁸

Art	Nr.	Nach der Teilnahme an dem Lehrveranstaltungskonzept sind die Studierenden in der Lage...	Kurzname	Niveaustufe	Adressierte Kompetenzen			
					Fachk.	Methodenk.	Sozialk.	Selbstk.
Kognitive Lernziele	KL-1	... die zentralen Begriffe sowie die Potentiale und Herausforderungen im Kontext der umweltgerechten Produktentwicklung zu beschreiben.	Begriffe und Herausforderungen	2. Verstehen	x			
	KL-2	... die Umweltwirkungen von Produkten in den einzelnen Phasen des Produktlebensweg zu beschreiben und an einfachen Beispielen zu analysieren.	Umweltwirkungen im Produktlebensweg	5. Beurteilen	x	x	x	
	KL-3	...die ökologisch relevanten Stakeholder entlang des Lebenswegs eines beispielhaften Produkts zu erschließen und die entstehenden Umweltwirkungen systematisch zu ermitteln.	Stakeholder	5. Beurteilen	x	x	x	
	KL-4	...die Funktionen und den Nutzungskontext eines beispielhaften Produkts sowie ökologisches Fehlverhalten während der Produktnutzung zu analysieren und die daraus resultierenden Umweltwirkungen systematisch zu ermitteln.	Funktionen, Nutzungskontext und Fehlverhalten	5. Beurteilen	x	x	x	
	KL-5	... die Teilphasen und Prozesse der Nutzungsphase zu beschreiben und die daraus resultierenden Umweltwirkungen systematisch für beispielhafte Produkte zu ermitteln.	Umweltwirkungen in der Nutzungsphase	5. Beurteilen	x	x	x	
	KL-6	... Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltwirkungen von beispielhaften Produkten auszuwählen, erste Produktkonzepte zu entwickeln und systematisch alternative Konzepte zu vergleichen.	Maßnahmen und Produktkonzepte	5. Beurteilen	x	x	x	
	KL-7	... auf Basis identifizierter ökologischer Schwachstellen Umweltziele für beispielhafte Produkte und die begleitenden Entwicklungsprozesse zur Verbesserung der Umweltwirkungen während der Nutzungsphase zu entwickeln.	Umweltziele	6. (Er-)Schaffen	x	x	x	
	KL-8	...die Auswirkungen ihrer Entscheidungen zur Verbesserung der Umweltwirkungen eines beispielhaften Produkts systematisch auf die Produkteigenschaften und -merkmale sowie auf vor- oder nachgelagerte Lebenslaufphasen zu beurteilen.	Auswirkungen der Entscheidungen	5. Beurteilen	x	x	x	
	KL-9	... auf Basis ausgewählter Maßnahmen und festgelegter Ziele eigenständig detaillierte Konzepte zur Verbesserung der Umweltwirkungen von beispielhaften Produkten zu entwickeln.	Umweltgerechte Gestaltung	6. (Er-)Schaffen	x	x	x	
Affektive Lernziele	AL-1	...die Ergebnisse ihrer umweltgerechten Produktverbesserung in einer mündlichen Präsentation verständlich vorzustellen und die eigene Ansicht argumentativ zu vertreten.	Mündliche Präsentation	2. Reagieren	x	x	x	x
	AL-2	... sich interessiert mit dem Thema Umweltgerechtigkeit auseinanderzusetzen und individuell den eigenen Lernstand und Lernfortschritt zu reflektieren.	Reflexion	2. Reagieren	x	x		x
	AL-3	...sich umweltgerechter und nachhaltiger Themen und Fragestellungen in ihrem privaten und zukünftigen beruflichen Umfeld bewusst zu werden und diese für wichtig zu beurteilen.	Wichtigkeit umweltgerechter Themen	3. Werten	x			x
	AL-4	...eine umweltsensible Einstellung zu entwickeln und überzeugt davon zu sein, ihr Wissen, ihre Fertigkeiten und Kompetenzen in der umweltgerechten Produktentwicklung in ihrem späteren Berufsleben anwenden zu wollen.	Zukünftige Anwendung des Erlernten	5. Charakterisieren	x	x	x	x

²⁸ Kattwinkel (2022), S.104

Die meisten befragten Studierenden waren sich jedoch einig darüber, dass die Themen Nachhaltigkeit und Umweltgerechtigkeit in ihrem bisherigen Studium wenig oder nicht thematisiert wurden (siehe Abbildung 2-3 links und Abbildung 2-4 links). Vor allem die Studierenden des Masterfaches „Entwicklung mechatronischer Systeme“, antworteten dass sie die Themen Nachhaltigkeit und Umweltgerechtigkeit für ihre berufliche Zukunft sehr wichtig finden (siehe Abbildung 2-4 rechts). Aber auch die Mehrzahl der Studierenden im Bachelorfach „Konstruktionstechnik 1“ stuft diese Themen insgesamt als wichtig für ihre berufliche Zukunft ein. Die Ergebnisse der Befragungen wurden für die *Bedarfs- und Zielgruppenanalysen* im AP 1 genutzt, z. B. zur Beschreibung des von den Studierenden subjektiv empfundenen Bedarfs. Dieser liegt vor, wenn Individuen selbst den Wunsch oder den Bedarf äußern, ihre Qualifikation in bestimmter Weise zu verbessern.

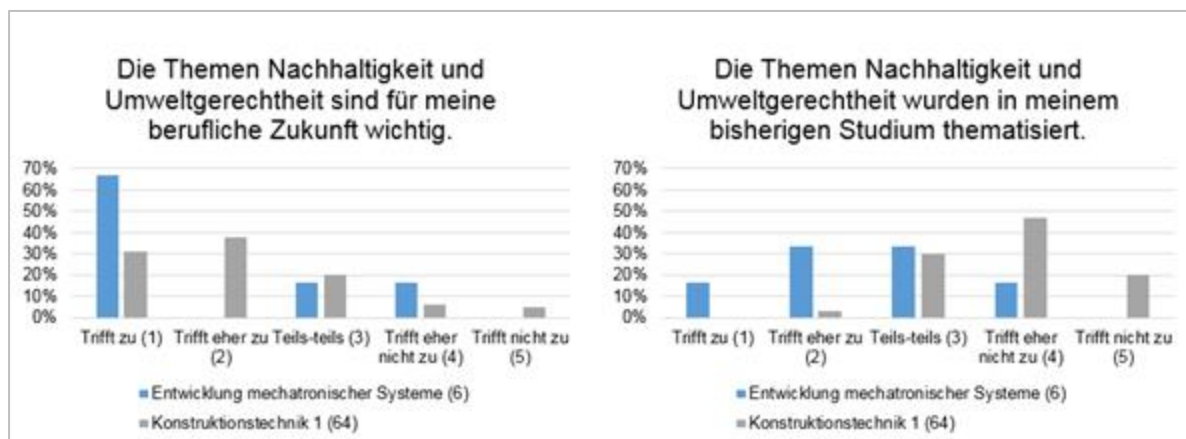


Abbildung 2-4: Ergebnisse der Umfrage aus dem Wintersemester 2019/2020 von Studierenden der Fakultät Maschinenbau

Nach den Analysen bzw. der *Planungsphase* (AP 1) wurde im zweiten Projektjahr mit der *Konzeption der Lernumgebung* (AP 2) und damit auch mit der Entwicklung der Lerninhalte, -aktivitäten und -aufgaben begonnen. Dazu zählt u. a. auch ein Maßnahmenkatalog. Dieser soll die Methodenanwendung vereinfachen und die Studierenden dabei unterstützen gezielt sinnvolle ökologische Verbesserungsstrategien auszuwählen, um die Umweltwirkungen von technischen Produkten in der Nutzungsphase zu verbessern. Zur Entwicklung des Maßnahmenkatalogs wurde zunächst eine umfassende Literaturanalyse durchgeführt und insgesamt 369 Strategien, Maßnahmen und Praktiken aus verschiedenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen zusammengetragen. Diese wurde weiter untersucht, zusammengefasst und neu kategorisiert. Dies führte zu einer Auflistung von insgesamt 199 Maßnahmen auf vier verschiedenen Detaillierungsebenen (siehe Abbildung 2-5). Der Maßnahmenkatalog beinhaltet konkrete Maßnahmen zu Verbesserung der Umweltwirkungen von Produkten und der Prozesse im Unternehmen, die damit in Verbindung stehen.²⁹ Die Systematisierung der Maßnahmen auf vier verschiedenen Ebenen erleichtert die Nutzung des Katalogs und navigiert die Anwender:innen durch dessen Struktur, da die Maßnahmen gruppiert nach ihrer Auswirkung aufgeführt sind. Die einzelnen Maßnahmen sind handlungsorientiert formuliert und unterstützen die Anwender:innen durch das Bereitstellen von Denkanstößen und Impulsen. Der vollständige Maßnahmenkatalog wird in Anhang C aufgeführt.

Wie in Abbildung 2-5 dargestellt, existieren auf der obersten Ebene drei zentrale Strategien „Lege Umweltziele fest“, „Verbessere den Ressourceneinsatz“ und „Verbessere die Produktnutzungsdauer“.

²⁹ Siehe dazu Kattwinkel (2022)

Die erste Strategie fällt dabei in den Bereich der strategischen Produktplanung und kann auf der zweiten Ebene durch die Ableitung von Umweltzielen für interne oder externe Stakeholder realisiert werden (Ebene 2). „Bei den internen Stakeholdern können Umweltziele auf Managementebene, auf Produktentwicklungsebene, Mitarbeiter:innenebene oder Produktebene festgelegt werden (Ebene 3). Bei den externen Stakeholdern können Umweltziele hinsichtlich der Gesetze, Normen und Richtlinien, der Kund:innen, Part-ner:innen, Konkurrenz- oder Lieferunternehmen festgelegt werden (Ebene 3).“³⁰ Jede dieser Maßnahmen teilt sich auf der vierten Ebene in weiter detaillierte auf.

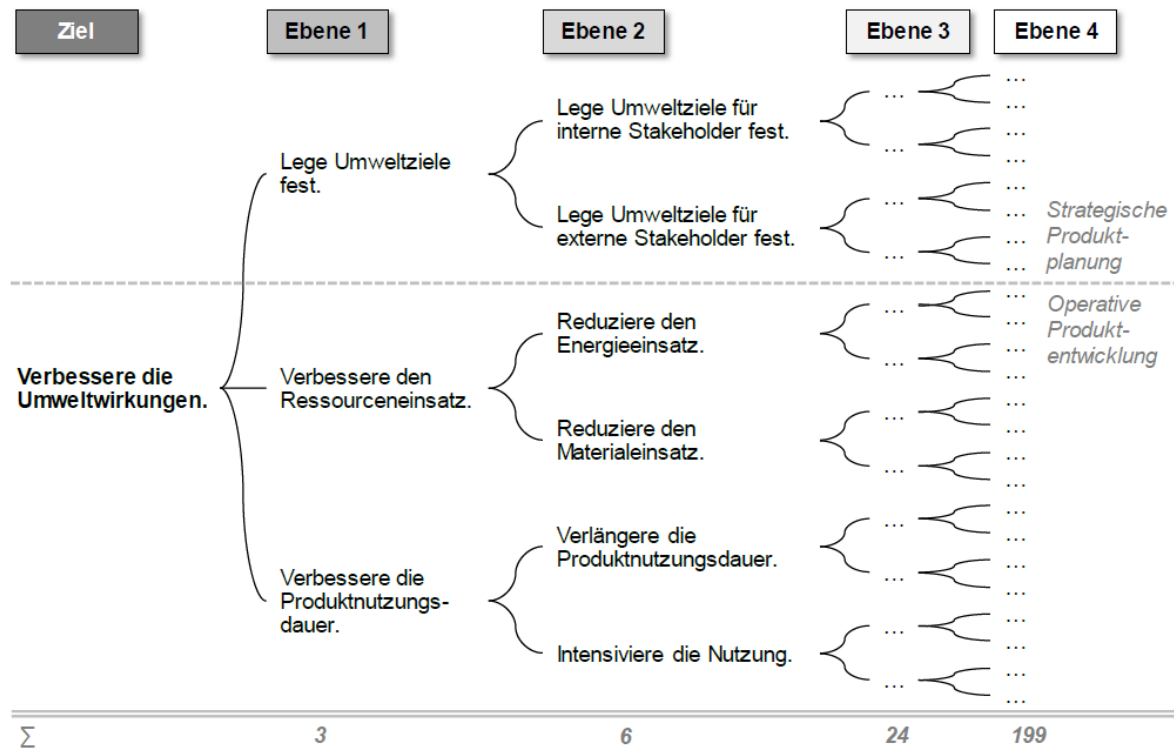


Abbildung 2-5: Übersicht der Systematisierung des Maßnahmenkatalogs³¹

In der operativen Produktentwicklung können, wie in Abbildung 2-5 dargestellt, auf übergeordneter Ebene die beiden Maßnahmen „Verbessere den Ressourceneinsatz“ oder „Verbessere die Produktnutzungsdauer“ unterschieden werden (Ebene 1).³² Zur Erhöhung einer ökologischen Effizienz ist hier daher entweder der Nutzen in Form der Nutzungsdauer zu verbessern bzw. zu erhöhen oder der Ressourceneinsatz zu verbessern bzw. zu reduzieren. Diese ökologischen Verbesserungsmaßnahmen wurden zusammen mit den identifizierten Aufgaben der umweltgerechten Produktentwicklung, sowie den allgemeinen analysierenden und synthetisierenden Arbeitsschritten in der Produktentwicklung als Ausgangspunkt für die Konzeption der Lernszenarien innerhalb der Lernfabrik genutzt. Dazu wurde jede einzelne aufgeführte Maßnahme auf ihre Umsetzbarkeit im Rahmen der Lernfabrik geprüft und die dafür notwendige Infrastruktur (Werkzeuge, IT, Zubehör etc.) aufgeführt. Aufbauend auf dieser Bewertung wurden konkrete Lernszenarien entwickelt und die Infrastruktur der Lernfabrik konzipiert (siehe Abschnitt 2.3).

³⁰ Kattwinkel (2022), S.113

³¹ Kattwinkel (2022), S.113

³² Kattwinkel (2022), S.113ff.

2.3 DRITTES JAHR (NOVEMBER 2020 – OKTOBER 2021)

Der Fokus der Projektbearbeitung lag im dritten Projektjahr auf der detaillierten *Ausgestaltung der Inhalte* der Lehrveranstaltung, der Erarbeitung beispielhafter *Lernszenarien* (AP 2), der *prototypischen Durchführung* der entwickelten Lehrveranstaltung (AP3) sowie auf der *Planung und Durchführung der Evaluation* (AP4).

Zur Eindämmung der Corona-Pandemie war es jedoch weiterhin erforderlich, persönliche Kontakte zu vermeiden und die Abstands- und Hygieneregeln einzuhalten. Daher erfolgten auch die Lehrveranstaltungen an der RUB fast ausschließlich digital. Die geplante Lehrveranstaltung im Projekt EcoING wurde daher während der Corona-Pandemie als digitale Veranstaltung umgesetzt. Langfristig ist es jedoch weiterhin geplant Veranstaltungen auch in den Räumlichkeiten vor Ort stattfinden zu lassen und diese daher schon jetzt so zu gestalten, dass Präsenzveranstaltungen im DesignSpace und im EcoLab stattfinden könnten. Um die Reichweite und Verbreitung der Lehrinhalte zu erhöhen, wurde die Veranstaltung nicht eigenständig als technisches Wahlfach angeboten, sondern im Rahmen des Faches „Methoden der integrierten Produktentwicklung“ im Sommersemester 2021 als digitale Vorlesungsreihe umgesetzt. Durch diese Integration konnten dennoch alle geplanten Inhalte bearbeitet (da zeitlich aufwendige Experimente und praktische Anteile wegfielen) und die Teilnehmeranzahl deutlich erhöht werden (da digitale Veranstaltung weniger betreuungsintensiv sind). Im Kurs befanden sich 158 Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau (MB) und Sales Engineering and Product Management (SEPM). Nachfolgend werden einzelne Arbeiten des dritten Projektjahres beschrieben und an ausgewählten Beispielen verdeutlicht.

Aus der bereits im zweiten Projektjahr durchgeführten Literaturanalyse des Standes der Forschung zu den Vorgehensmodellen der umweltgerechten Produktentwicklung, konnten zentrale Aufgaben identifiziert werden (siehe Abbildung 2-6), die die Studierenden in ihrer beruflichen Zukunft in der umweltgerechten Produktentwicklung bearbeiten können sollten. Diese dienen als Grundlage für die Gestaltung und Abfolge der Lehrinhalte, der Planung der Evaluation und der Auswahl geeigneter Prüfungsformate.

Das Veranstaltungskonzept basiert auf authentischen Lernszenarien, anhand derer die Studierenden das Vorgehen bei der Entwicklung umweltgerechter Produkte realitätsnah erleben und erlernen können. In diesen Lernszenarien sammeln die Studierenden Erfahrungen an konkreten Praxisbeispielen. Die Auswahl hierfür geeigneter Produktbeispiele erfolgt vor dem Hintergrund, dass diese eine möglichst vielschichtige und auf andere Bereiche übertragbare Vermittlung von Potentialen und Strategien zur Verbesserung der Umweltwirkungen in der Nutzungsphase bieten. Die genauen Produkttypen wurde anhand einer aufgestellten Anforderungsliste identifiziert. Folgende Produkte wurden als Demonstrationsobjekte genutzt:

- Der Bodenstaubsauger BS 9019 CB N der Firma Bomann³³ wurde als repräsentatives Beispiel für energiedominierte Systeme herangezogen, an anhand dessen sich vor allem Strategien zur Reduzierung des Energieverbrauchs während der Nutzung veranschaulichen lassen.
- Die Waschmaschine OWM 6112 D der Firma OK³⁴ wurde als charakteristisches Beispiel für stoffumsetzende Systeme herangezogen, anhand dessen sich vor allem Strategien zur Reduzierung des Materialverbrauchs während der Nutzung veranschaulichen lassen.

³³ <https://www.bomann.de/bomann-bodenstaubsauger-bs-9019-cb-n-weiss-grau.html>

³⁴ https://www.mediamarkt.de/de/product/_ok-owm-6112-d-2665057.html

- Der Kaffeevollautomat Esperto Latte der Firma Tchibo³⁵ wurde exemplarisch für die Verlängerung der Nutzungsdauer angewandt. Dafür sind insbesondere alle Nutzungs-, Wartungs-, und Instandhaltungsprozesse zu analysieren und die Wart- und Reparierbarkeit des Produktes sowie die Lebensspannen einzelner Komponenten zu untersuchen, die zu einer vorzeitigen und ungeplanten Außerbetriebnahme des Produktes führen können.

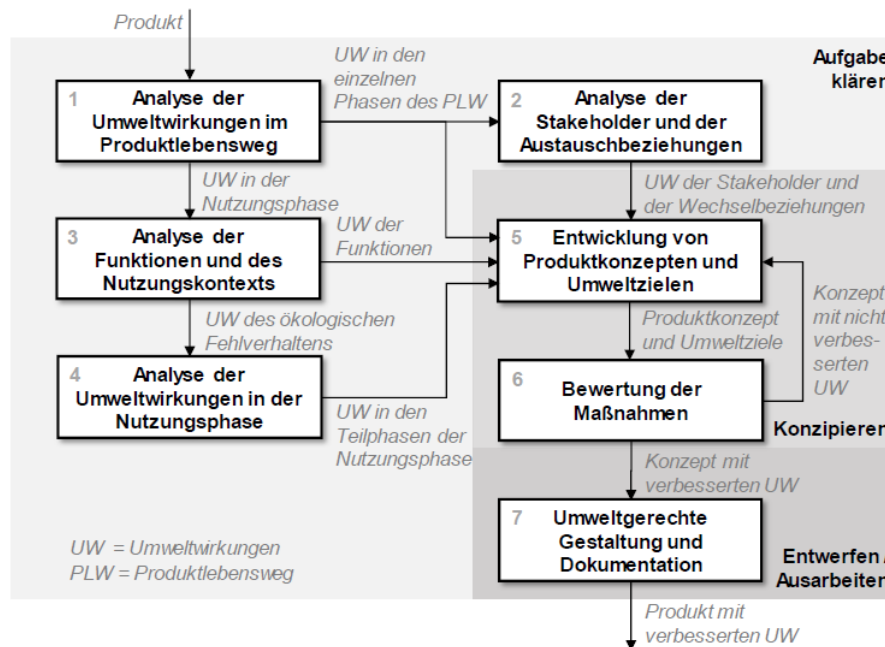


Abbildung 2-6: Die zentralen Aufgaben der umweltgerechten Produktentwicklung³⁶

Innerhalb der Veranstaltung konnten sich die Studierenden selbst in eine Gruppe mit maximal fünf Mitgliedern eintragen und ein Beispielprodukt auswählen. Das Ziel der Veranstaltung war es die Umweltwirkungen des Beispielproduktes zu verbessern. Dafür wurde ein realitätsnahes Praxisszenario konzipiert. In diesem haben die Studierenden als neue Ingenieur:innen in einem Unternehmen den Sonderauftrag erhalten, ein vorhandenes Produkt (Bodenstaubsauger, Waschmaschine oder Kaffeevollautomat) ökologisch zu verbessern und ihr erarbeitetes Konzept in einem zusammenfassenden Portfolio und als Video-Pitch der Geschäftsführung vorzustellen (siehe Abschnitt 3.2.1. und 3.2.3). Dafür sollten sie die identifizierten Aufgaben in der umweltgerechten Produktenentwicklung an ihrem Beispielprodukt bearbeiten. Zunächst wurden die einzelnen Arbeitsschritte und die zu verwendenden Methoden in Vorträgen von den Lehrenden erklärt und danach konnten die Studierenden innerhalb ihrer Gruppe die Methoden und Werkzeuge anwenden. Zur Unterstützung und zur Steuerung des Lernprozesses sollten die Studierenden außerdem Leitfragen beantworten und ihre Arbeit in einem Portfolio dokumentieren. Das Portfolio und ein Lerntagebuch (siehe Abschnitt 3.2.2), die Teilnahme an der Pre- und Postevaluation, die Ergebnispräsentation sowie eine schriftliche Klausur waren die in der Veranstaltung zu erbringenden Prüfungsleistungen. Diese wurden in Abstimmung mit den zu erreichenden Lernzielen und Kompetenzen entwickelt. Aktiv an der Veranstaltung teilgenommen haben 76 Studierende aus den Fachrichtungen MB und SEPM. In Abbildung 2-7 wird das Lehrveranstaltungs-konzept mit den einzelnen Inhalten und der Aufteilung auf die Sitzungsstunden dargestellt.

³⁵ <https://www.tchibo.de/tchibo-kaffeevollautomat-esperto-latte-p400159808.html?forceP=WEBSHOP>

³⁶ Kattwinkel (2022), S.97

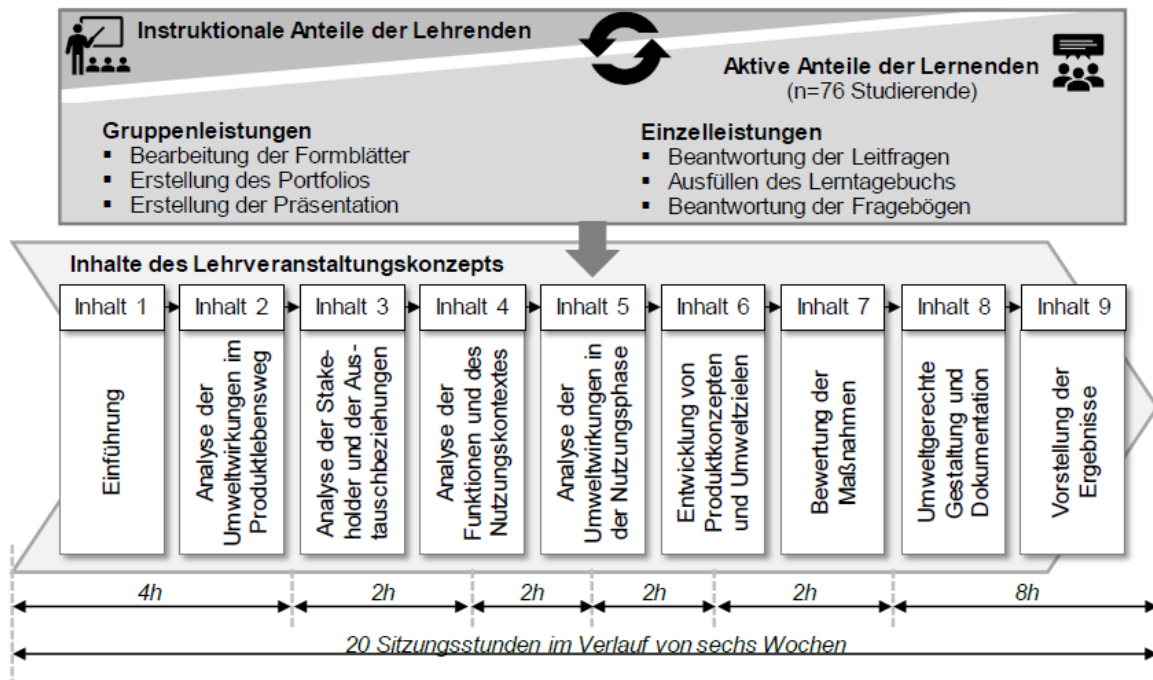


Abbildung 2-7: Übersicht des Veranstaltungskonzepts und Aufteilung der Sitzungsstunden³⁷

Neben interaktiven digitalen Übungen und Vorlesungen, die mittels Zoom-Meetings³⁸ umgesetzt wurden, beinhaltete die Veranstaltungsreihe auch Praxisvorträge. In einem Gastvortrag zum Thema Eco-design sowie in einer begleitenden praktischen Übung zur Erstellung einer Ökobilanz mit dem Online-Tool ecocockpit, stellte die Effizienzagentur NRW (EFA) die Möglichkeiten und Chancen von zirkulärem Design und Ecodesign für produzierende Unternehmen vor, präsentierte diverse Praxisbeispiele, schilderte die Grundlagen der Ökobilanzierung und begleitete die Studierenden bei der Erstellung einer eigenen kleinen Ökobilanz. Die Studierenden nahmen aktiv daran teil und reflektierten den Gastvortrag in der abschließenden Evaluation der Veranstaltungsreihe als besonders interessant und hilfreich zum Verständnis der komplexen Zusammenhänge im Themenfeld der Nachhaltigkeit und der Nachhaltigkeitsbewertung. Zwei Studierende äußerten sich dazu in ihren Lerntagebucheinträgen wie folgt:

„[...] Hilfreich war auch sicherlich die Durchführung der Methoden anhand eines von uns ausgewählten Beispielproduktes. Besonders interessant bzw. überraschend war für mich der Gastvortrag zur CO2 Bilanzierung, da ich mir absolut nicht vorstellen konnte, wie vielfältig, in welchem Maß und in welchen Bereichen die CO2 Emissionen anfallen können.“

„Besonders gut war der Gastvortrag der Effizienzagentur NRW, bei der die Software ecocockpit vorgestellt wurde. Durch die realen Zahlen wird einem eher bewusst, welcher Bereich welche Auswirkung hat. [...]“

Insgesamt wurden die meist lehrerzentrierten Vorträge in den Zoom-Meetings durch zahlreiche Umfragen, Diskussionsrunden und praktische Gruppenübungen ergänzt, um die Studierenden zu aktivieren und zur Mitarbeit zu motivieren. Hier wurde beispielweise gefragt, ob ein Stoffbeutel immer ökologischer ist als eine Plastiktüte oder ab wieviel gefahrenen Kilometern ein E-Auto ökologischer ist

³⁷ Kattwinkel (2022), S.132

³⁸ Zoom Video Communications, Inc. (2022)

als ein Dieselfahrzeug. Auch diese didaktischen Elemente wurden von den Studierenden gern angenommen und positiv in ihren Lerntagebucheinträgen zusammengefasst:

„Mir hat vor Allem in der ersten Vorlesung die Interaktion mit dem Quiz gefallen. Zum einen sind Interaktionen mit den Studierenden ein gutes Mittel, um den Stoff sich besser zu merken und zum anderen war das Thema auch interessant und hat eine sinnvolle wissenschaftliche Basis für die weiteren Vorlesungen geschaffen. Schön war auch das Aufklären von so manchen „Mythen“ in Bezug auf Nachhaltigkeit.“

Da die Studierenden aufgrund der Pandemie selbst keine Experimente und praktischen Versuche mit den Beispielprodukten (Bodenstaubsauger, Waschmaschine und Kaffeevollautomat) durchführen konnten, wurde ihnen eine umfangreiche Sammlung an Dokumenten, Fotos und Videos zur Verfügung gestellt (siehe Abschnitt 2.5.3). Diese beinhalten beispielsweise die Bedienungsanleitungen der Produkte, verschiedene Nachhaltigkeitsanalysen und Ökobilanzen, Links zu Videos zu deren Funktionsweisen, eine ausführliche Fotodokumentation der Demontage der Produkte sowie eigens erstellte Videos, die die Nutzung oder vielmehr auch ökologische Fehlnutzung der Produkte demonstrieren (siehe Abschnitt 2.5.3).

2.4 VERLÄNGERUNG (NOVEMBER 2021 – JULI 2022)

Der Fokus der Projektbearbeitung lag in der beantragten Verlängerung auf der *Weiterentwicklung der Lehrveranstaltung* (AP 4) und auf der Fertigstellung der *Evaluation* (AP4) sowie auf der *Anwendung* der praktischen Teile der entwickelten Lehrveranstaltung (AP3) und der *erneuten Durchführung* der Veranstaltung (AP 4), die aufgrund der Corona-Pandemie und der geltenden Regelungen im Voraus nicht in Präsenz durchgeführt werden konnten. Da sich die Abstands- und Hygieneregeln im Wintersemester 2021/2022 an der Ruhr-Universität verändert haben und Lehrveranstaltungen sowie Zusammenkünfte von Studierenden und Lehrenden wieder möglich waren, konnten Teile des entwickelten Lehrveranstaltungskonzepts demnach erstmalig von einer kleineren Gruppe in Präsenz umgesetzt werden. Dazu wurden die praktischen Übungsaufgaben, Experimente und praktischen Versuche für alle drei Beispielprodukte von ausgewählten Studierenden durchgeführt und bearbeitet. Evaluiert wurde dabei die praktische Durchführbarkeit der entwickelten Aufgaben. Dies geschah durch ein beobachtendes Verhalten der Lehrenden (in der Pädagogik weit verbreitet) sowie durch anschließende mündliche Befragungen der Studierenden.³⁹ Das Feedback der Studierenden zur digitalen und praktischen Umsetzung der Lehrveranstaltung wurde genutzt, um die Veranstaltungsinhalte weiter zu verbessern. Nachfolgend werden exemplarisch einzelne Elemente der praktischen Anwendung des Lehrveranstaltungskonzepts beschrieben und beispielhaft dargestellt.

Die Studierenden haben im Rahmen des praxisnahen Lernszenarios in ihrer Rolle als neue Ingenieur:innen in einem Unternehmen, wie bereits beschrieben, den Sonderauftrag erhalten, ein vorhandenes Produkt (Bodenstaubsauger, Waschmaschine oder Kaffeevollautomat) ökologisch zu verbessern. Zur Entwicklung eines verbesserten Produktkonzepts mussten sie zunächst durch theoretische Überlegungen und praktische Versuche die ökologischen Schwachstellen in ihrem Produkt und dessen Lebenszyklus analysieren. Dazu zählen auch die begleitenden Prozesse (z. B. Werkstoffherstellung) und die Stakeholder (z. B. Lieferanten). Hier wurde ein besonderer Fokus auf die Umweltwirkungen, die in der Nutzungsphase entstehen, gelegt. Dies beinhaltet auch die Ermittlung des Einflusses der Nutzer:innen sowie eines möglichen ökologischen Fehlverhaltens auf die Umweltwirkungen. Nach der

³⁹ Beywl und Schlepp-Winter (2000)

Analyse der Umweltwirkungen, entwickelten die Studierenden erste Konzepte wie das Produkt sowie die begleitenden Prozesse ökologisch verbessert werden konnten. Diese Konzepte wurden danach hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Umweltwirkungen in anderen Phasen des Produktlebenszyklus (z. B. Recycling) sowie auf weitere Produkteigenschaften (z. B. Gewicht) untersucht. Dies kann theoretisch sowie durch praktische Experimente und Konstruktionen erfolgen. Aufbauend auf den Analysen wird im letzten Schritt das von den Studierenden ausgewählte Konzept weiter ausgearbeitet und ein (virtueller) Prototyp erstellt.

Abbildung 2-8 veranschaulicht die oben beschriebene Analyse der Umweltwirkungen am Beispiel des Bodenstaubsaugers. Dargestellt wird, wie die Studierenden zunächst die Umweltwirkungen im Produktlebenslauf eines Bodenstaubsaugers anhand bereits durchgeführter Ökobilanzen⁴⁰ analysieren (siehe oben links). Die Ergebnisse ihrer Analysen halten die Studierenden auf Formblättern, Postern, am Whiteboard oder in Versuchsprotokollen fest. Es ist zu sehen, wie die Studierenden ein Stakeholder-Netzwerk auf einem Poster anfertigen (siehe oben rechts). Dies veranschaulicht die Informations- und Materialflüsse zwischen den einzelnen am Produktlebensweg beteiligten Stakeholdern.



Abbildung 2-8: Analyse der Umweltwirkungen am Beispiel des Bodenstaubsaugers

Durch grafische Elemente kennzeichnen die Studierenden auf ihrem Dokument, an welche Stellen signifikante Umweltwirkungen (Blitz) entstehen und welche Bereiche von einer Verbesserung fokussiert werden sollten (Stern). Danach demontieren sie den Bodenstaubsauger und untersuchen die Funktionsweisen und Wirkungszusammenhänge von Baugruppen, Komponenten und Bauteilen sowie deren Auswirkungen auf die Umweltwirkungen (unten rechts). Dies kann durch theoretische Überlegungen, Literaturrecherchen oder praktische Experimente realisiert werden. Ein mögliches ökologisches Fehlverhalten der Nutzer:innen untersuchen sie durch die eigene Anwendung der Produkte. Hier wird

⁴⁰ Blepp, Bommer und Quack (28.05.2013)

gezeigt, wie ein Studierender den Staubsauger bedient und die anderen Studierenden die Produktnutzung protokollieren und mögliche Nutzungsfehler festhalten (unten links). Dies dient als Grundlage zur Systematisierung der Nutzungsphase in ihre Teilphasen sowie zur Erstellung einer Nutzungs-FMEA.

Das zweite in Abbildung 2-9 dargestellte Beispiel zeigt die Entwicklung einer automatischen Waschmitteldosierung für die Waschmaschine. Damit möchten die Studierenden den Verbrauch an Waschmittel, Weichspüler und weiterer Zugaben reduzieren. Dazu untersuchen sie zunächst den in der Waschmaschine zur Verfügung stehenden Bauraum (siehe oben links) und entwickeln erste Ideen auf einem Poster (siehe unten rechts). Diese werden später von ihnen als digitales Konzept umgesetzt (siehe oben rechts) und im Detail weiter ausgearbeitet (unten rechts).

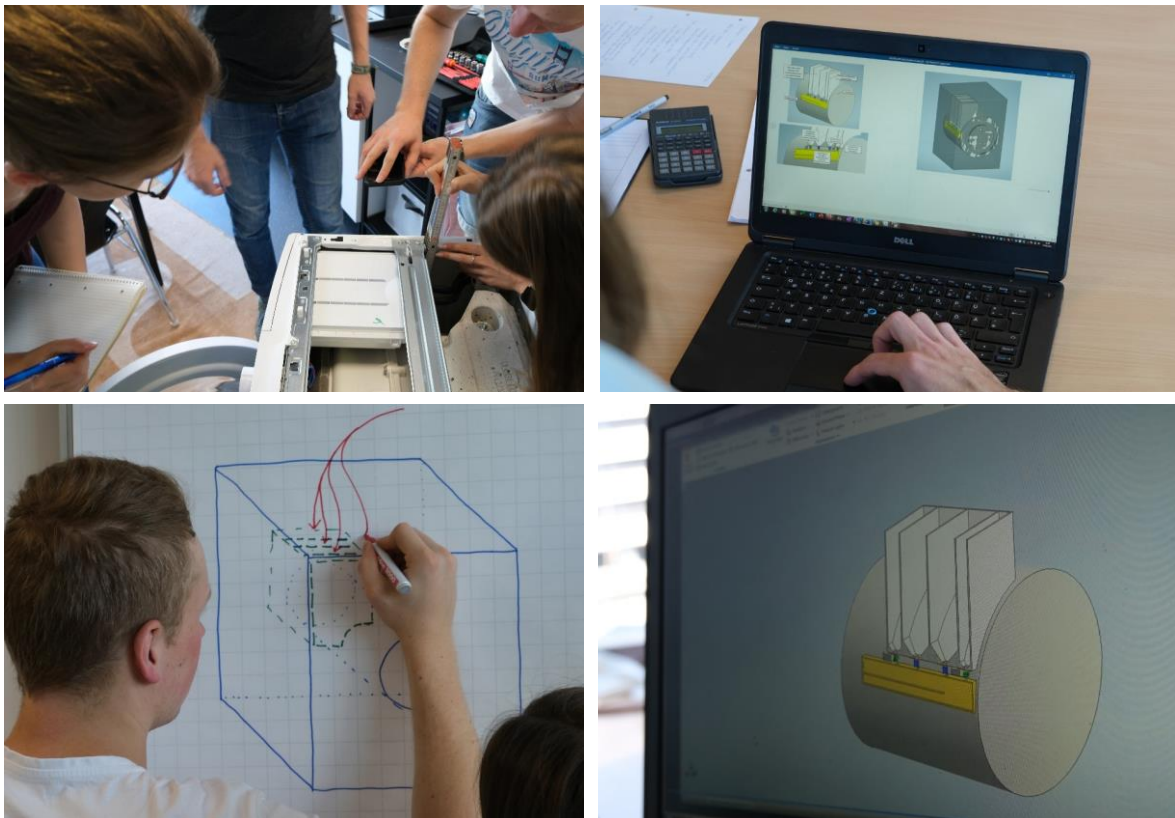


Abbildung 2-9: Entwicklung des verbesserten Produktkonzepts am Beispiel der Waschmaschine

Die Evaluation des Projekts wurde in der Verlängerung fertig gestellt und wird ausführlich in Abschnitt 3 beschrieben. Auf Basis der Evaluation der prototypischen Umsetzung des Konzepts wurde dieses im Sommersemester 2022 erneut als Vorlesungsreihe umgesetzt. Auch hier erfolgte die Umsetzung des Konzepts als digitale Lehrveranstaltungsreihe. Zwar gab es weniger strikte coronabedingte Hygiene- und Abstandsregelungen an der Ruhr-Universität Bochum, jedoch konnte es nicht vorausgesetzt werden, dass alle Studierenden an Kleingruppenarbeiten teilnehmen würden. Um für alle Teilnehmenden die gleichen Voraussetzungen zu schaffen, wurde die Veranstaltung erneut digital durchgeführt. Im Sommersemester 2022 haben 82 Studierende an der Abschlussprüfung der Veranstaltung teilgenommen.

2.5 PROJEKTPRODUKTE

Im nachfolgenden Abschnitt werden die zentralen Produkte des Projektes beschrieben. Dazu zählt das entwickelte Lehrveranstaltungskonzept zur umweltgerechten Produktentwicklung, die zusammengestellten Vorlesungs- und Übungsunterlagen, die gedrehten Videoclips und die Fotodokumentation sowie die Ausgestaltung des EcoLabs und des DesignSpace.

2.5.1 Generisches Lehrveranstaltungskonzept zur umweltgerechten Produktentwicklung

Im Rahmen des Projektes konnte ein generisches Lehrveranstaltungskonzept zur umweltgerechten Produktentwicklung entwickelt werden. Dieses eignet sich sowohl zur Umsetzung verteilt auf einzelne Sitzungstermine sowie als eine semesterlange Lehrveranstaltung und jegliche Mischform dazwischen. Darüber hinaus kann das entwickelte Konzept digital oder in Präsenz umgesetzt werden. Für eine Umsetzung als Präsenzveranstaltungen können entweder Versuche an realen Produktbeispielen durchgeführt werden, dazu muss jedoch die Infrastruktur ähnlich wie im EcoLab und DesignSpace (siehe Abschnitt 2.5.4) geschaffen werden oder es können auch die entwickelten digitalen Elemente genutzt werden. Das vollständige Konzept befindet sich in Anhang B.

Die in der Wissens- und Aufgabenanalyse identifizierten, zentralen Aufgaben repräsentieren Arbeitsaufgaben der umweltgerechten Produktentwicklung, die von den Studierenden in ihrer beruflichen Zukunft in einem Unternehmen bewältigt werden können sollen. Im vorliegenden Lehrveranstaltungskonzept werden jeder der zentralen Aufgaben der umweltgerechten Produktentwicklung Lernaufgaben und -aktivitäten zugeordnet. Diese sind nach kurzen Instruktionsphasen der Lehrenden eigenständig von den Studierenden an ihren jeweiligen Produktbeispielen zu bearbeiten (siehe auch Abbildung 2-7). Zur Festigung der Fertigkeiten und des Wissens sowie zur Reflexion der erarbeiteten Inhalte werden für jede zentrale Aufgabe zudem verschiedene Leitfragen aufgeworfen, die von den Studierenden für ihr Beispielprodukt und Unternehmen zu beantworten sind. Die Zuordnung der einzelnen Lernaufgaben, Lernaktivitäten sowie der dafür benötigten Materialien, Leitfragen und die angestrebten Lernziele sind Anhang B zu entnehmen.⁴¹

2.5.2 Vorlesungs- und Übungsunterlagen

Als Ergebnis des vorliegenden Projekts entstanden zahlreiche Vorlesungs- und Übungsunterlagen (siehe Abbildung 2-10). Um einen Wiedererkennungswert der Unterlagen zu schaffen, wurde zusammen mit einer Design-Agentur (Studio Flaer) ein neues Foliendesign entwickelt. Die im Projekt erzeugten Präsentationsfolien wurden um interaktive Elemente erweitert. Um z. B. das Interesse der Studierenden aufrecht zu erhalten und ihre Neugier für nachhaltige und umweltgerechte Fragestellungen zu wecken, wurden durch Frage-Antwort-Rückmelde-Sequenzen Reaktionen der Studierenden herausgefordert.⁴² Zur Befragung in Präsenzveranstaltungen eignet sich dazu z. B. die Software Pingo⁴³, bei der das Antworten mit einem internetfähigen Endgerät möglich ist. Bei digitalen Veranstaltungen können Befragungen z. B. direkt in der Software Zoom⁴⁴ umgesetzt werden. Im vorliegenden Veranstaltungskonzept werden die Studierenden bspw. danach gefragt, nach wie vielen gefahrenen Kilometern ein durchschnittliches Elektroauto die CO₂ Bilanz eines sparsamen Dieselfahrzeugs erreicht (unter Berücksichtigung des gesamten Produktlebenswegs) mit den Antwortmöglichkeiten

⁴¹Dieser Absatz basiert auf Kattwinkel (2022), S.110ff.

⁴² Kattwinkel (2022), S.122

⁴³ coactum GmbH (2022)

⁴⁴ Zoom Video Communications, Inc. (2022)

nach 1 km, nach 10.000 km, nach 30.000 km, nach 100.000 km oder nach 300.000 km⁴⁵. Die Studierenden können diese Frage unkompliziert anonym beantworten und die Lehrenden können in die Ergebnisse in Echtzeit mit den Studierenden teilen und als Diskussionsgrundlage nutzen. Außerdem wurden den Studierenden Videos zu relevanten Themen gezeigt z. B. über das faire Lieferkettengesetz (<https://www.bmz.de/de/themen/lieferketten>) und es konnte z. B. der eigene ökologische Fußabdruck mit dem WWF Klimarechner berechnet werden (<https://www.wwf.de/themen-projekte/klima-energie/wwf-klimarechner>).

a) Titelfolie

b) Lernziele

c) Zeitliche Aufteilung

d) Werkstoffherstellung

Abbildung 2-10: Übersicht beispielhafter Vorlesungs- und Übungsfolien

Zur Anwendung der Werkzeuge und Methoden zur Identifikation, Reduzierung und Verbesserung der Umweltwirkungen wurden unterstützende Formblätter entwickelt, die es den Studierenden vereinfachen diese Werkzeuge und Methoden anzuwenden und einzusetzen (siehe Anhang A). Die entwickelten Formblätter sowie alle Vorlesungs- und Übungsunterlagen sind aktuell für Lehrende von anderen Hochschulen über einen Link zu erreichen. Dazu wurde bisher ein Google-Drive Ordner erzeugt. Langfristig werden die Unterlagen sowie die ergänzenden Dokumente (z. B. Betriebsanleitungen der Produkte oder Ökobilanzen) auf der Internetseite des LPE zum Download zur Verfügung gestellt. Diese sind als Leitfaden zur Implementierung des Konzepts zu verstehen. Zukünftig wird angestrebt das Veranstaltungskonzept ganz oder teilweise auch an weiteren Hochschulen zu implementieren.

⁴⁵ Bei einem Verbrauch von 17,6 kWh/100km erreicht ein Elektroauto die CO₂-Bilanz eines Diesel-Fahrzeugs mit B7 Treibstoff und einem Verbrauch von 4,5 l/100 km erst nach 300.000 gefahrenen Kilometern (vgl. Kawalkowski (13.01.2021)). Bei einer durchschnittlichen Fahrleistung von 12.000 Kilometern pro Jahr würde dieser Vorgang somit 25 Jahre dauern.

2.5.3 Videoclips und Fotodokumentation

Da die Studierenden, wie bereits geschildert, aufgrund der coronabedingten Regelungen an der RUB selbst keine Experimente und praktischen Versuche mit den Beispielprodukten (Bodenstaubsauger, Waschmaschine und Kaffeevollautomat) durchführen durften, wurden ihnen Dokumenten, Fotos und Videos zur Verfügung gestellt. Dazu wurde eine umfangreiche Fotodokumentation erstellt. Diese beinhaltete Fotos der Produkte vom Kauf (in der Verpackung), während der Vorbereitung der Nutzung, während der Nutzung und bei der Demontage der Produkte. Dabei wurden die Produkte im Ganzen mit Zubehör fotografiert sowie einzelne Detailaufnahmen angefertigt. Um komplexe Bauteile zu verdeutlichen, wurden zudem Explosionszeichnungen in CAD-Programmen erstellt (siehe Abbildung 2-11).

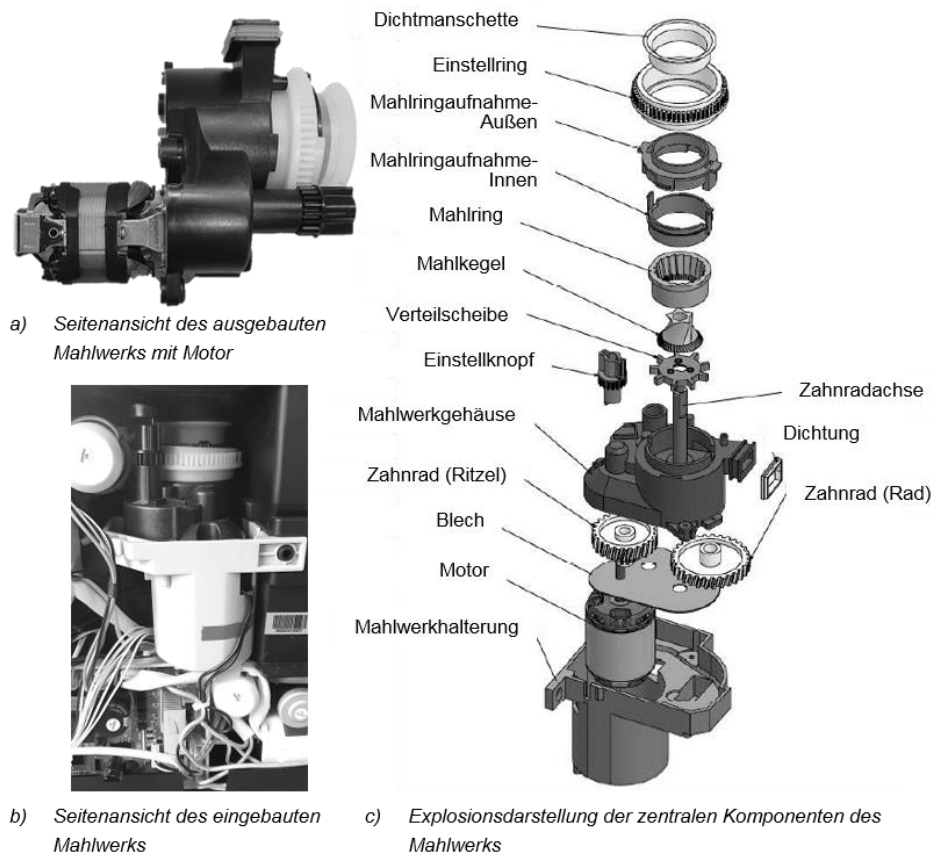


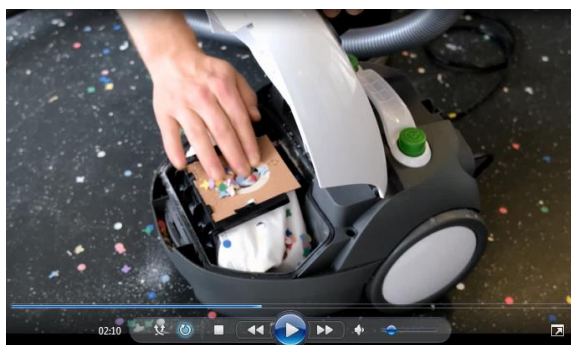
Abbildung 2-11: Verschiedene Darstellungen des Mahlwerks des verwendeten Kaffeevollautomaten⁴⁶

Zur Erstellung der Lehrvideos wurden zunächst ökologische Nutzungsfehler für jedes Beispielprodukt basierend auf einer Literaturrecherche identifiziert und deren Darstellung und Veranschaulichung im Rahmen detaillierter Drehbücher festgehalten. Diese beinhalteten zudem den Ablauf der Produktnutzung in einer für die Studierenden nachvollziehbaren Geschichte sowie die genauen Kamerapositionen in den einzelnen Szenen, Zeitangaben der Handlungen und die unterstützenden Audiokommentare. Das fertige Bildmaterial wurde im Anschluss zunächst mithilfe einer geeigneten Bearbeitungs-Software geschnitten und durch eine Tonspur ergänzt. Über folgende Links können die angefertigten Videos abgerufen werden:

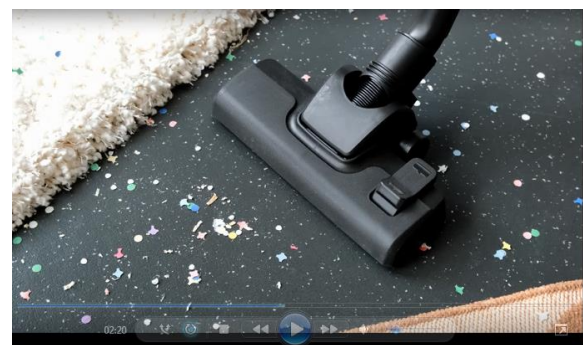
- Bodenstaubsauger: <https://youtu.be/veiog1VCD6Y>
- Waschmaschine: <https://youtu.be/ZSha-Aivv3k>
- Kaffeevollautomat: <https://youtu.be/eLHh88DYPxU>

⁴⁶ Kattwinkel (2022), S.128

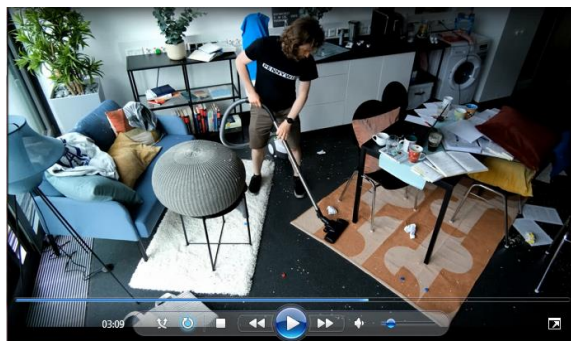
In den Lernvideos wird die Nutzung der Beispielprodukte dargestellt. Zur Darstellung einer realistischen Wohnumgebung wurden die Räumlichkeiten des EcoLabs genutzt (siehe Abschnitt 2.5.4). Die Benutzung der Produkte wird dabei in einer Art Geschichte eingebettet, in der Michael, einer Studierende im Master der Fachrichtung Maschinenbau an der Ruhr-Universität Bochum sich einen Kaffee kocht, um an seiner Masterarbeit weiter zu schreiben, seinen Pullover wäscht bevor er sich mit der Betreuerin seiner Masterarbeit trifft oder staubsaugen muss nachdem er das Bestehen seiner letzten Prüfung gefeiert hat. Durch die Darstellung realitätsnaher Szenen aus einem möglichen studentischen Leben soll ein direkter Bezug zu den Studierenden hergestellt werden. Im Rahmen der Videos nutzt Michael die Produkte nicht im ökologisch optimalsten Sinne, sondern begeht verschiedene ökologische Nutzungsfehler. Diese sollen von den Studierenden beim Schauen der Videos identifiziert werden. Zur Dokumentation der Nutzungsfehler und des Nutzungsprozesses wurde ein Formblatt entwickelt (siehe Anhang A). In Abbildung 2-12 werden verschiedene Szenen des Lernvideos zur Nutzung des Bodenstaubsaugers dargestellt.



a) Detailaufnahme des Staubsaugerbeutels



b) Detailaufnahme der Saugbürsteneinstellung



c) Übersicht zum Saugverhalten des Nutzers



d) Detailaufnahme des Filters

Abbildung 2-12: Ausschnitte des Lernvideos zur Nutzung des Bodenstaubsaugers⁴⁷

2.5.4 EcoLab und DesignSpace

Die Infrastruktur der Lernfabrik für die umweltgerechte Produktentwicklung an der Ruhr-Universität Bochum besteht aus physischen sowie aus virtuellen Komponenten, die im Sinne einer optimalen didaktischen Symbiose engverzahnt ineinandergreifen. Die Lernfabrik teilt sich in zwei miteinander verbundene Bereiche (siehe Abbildung 2-13) – den Design Space und das EcoLab – welche die beiden Sichten „Produktentwicklung“ (Festlegen von Merkmalen im DesignSpace) und „Produktnutzung“ (Beobachten von Eigenschaften im EcoLab) repräsentieren.

Das EcoLab bildet eine realitätsnahe Wohnumgebung ab, die derart gestaltet ist, dass sie im Sinne eines Laboraufbaus gezielt manipuliert werden kann (siehe Abbildung 2-14). Auf diese Weise können

⁴⁷ Kattwinkel (2022), S.124

unterschiedliche Phänomene in der Produktnutzung isoliert beobachtet werden (z. B. Einfluss der Raumvorbereitung auf die Gebrauchsdauer des Staubsaugers und damit auf dessen Ressourcenverbrauch). Manipuliert bzw. variiert werden können hierzu nicht nur die Peripherie (z. B. Mobiliar, Böden, Staubmenge), sondern auch die Beispielprodukte selbst.



Abbildung 2-13: Blick in die Räumlichkeiten des DesignSpace und des EcoLabs

So kann beispielsweise der Füllstand des Staubsaugerbeutel, dessen Größe und Material, Material und Verschmutzungsgrad des Staubfilters variiert werden oder die Ausführung von Strömungskanälen, die Oberflächenbeschaffenheit des Saugschlauchs, die Spaltmaße bzw. Abdichtung des Systems etc. untersucht werden. Diese Faktoren nehmen im konkreten Fall des Staubsaugerbeispiels einzeln und in ihrem komplexen Wechselspiel Einfluss auf die Saugleistung und damit den Energiebedarf des Gerätes. Die Auswirkungen einer gezielten Variation dieser Merkmale auf die Eigenschaft Energieverbrauch können im EcoLab mithilfe entsprechender Messtechnik (z. B. Strommessteckdosen) offengelegt werden. Bei der Waschmaschine kann der Verbrauch an Hilfsstoffen wie z. B. Waschpulver, Weichspüler, Waschtücher, Wäschedeodorant und Wasser anhand von Waagen und Behältern für verschiedene Waschprogramme und Wäschemengen analysiert werden. Für Untersuchungen am Kaffeevollautomaten stehen ebenfalls Waagen, Werkzeug und verschiedene Behälter zur Verfügung. Darüber hinaus können hier Untersuchungen bezogen auf die Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer und Wartung der Maschine angestellt werden. Ausgestattet wird das EcoLab ferner mit einer Kamertechnik, mit der das Nutzerverhalten aufgezeichnet, im Anschluss mit den Studierenden analysiert und mit den (gemessenen) Auswirkungen in Bezug gesetzt werden kann.

In direkter Nähe zum EcoLab ist das DesignSpace eingerichtet – eine Art Werkstatt und Seminarraum, in der die Studierenden die Umweltwirkungen der Beispielprodukte und Potentiale für ihre Verbesserung durch analytische Herangehensweise zu verstehen und zu optimieren lernen (siehe Abbildung 2-15). Hier können die Studierenden die Beispielprodukte für eine tiefergehende Betrachtung von Einflussfaktoren und Anknüpfungspunkten für eine Optimierung demontieren und Teilsysteme und Komponenten losgelöst von Systemverbund testen. Ausgestattet wird das DesignSpace mit Rechnerarbeitsplätzen, an denen die Studierenden u. a. verschiedene konstruktive Entwürfe realisieren und im Anschluss testen können. Die den Studierenden zur Verfügung stehenden Softwareprogramme erweitern die physische Infrastruktur der Ecodesign- Lernfabrik um virtuelle Bestandteile und decken unterschiedliche Bereiche der ökologischen Produktentwicklung ab.



Abbildung 2-14: EcoLab an der Ruhr-Universität Bochum

So können die Studierenden auf die Daten aus den Experimenten im EcoLab zugreifen und diese auswerten. Außerdem können sie die Auswirkungen von konstruktiven Veränderungen auf den Ressourcenverbrauch in der Materialbeschaffung und Herstellung ermitteln (z. B. mithilfe der CAD-Software SolidWorks Sustainability). Darüber hinaus lernen die Studierenden Ökobilanzen auszuwerten und anzufertigen (z. B. mithilfe des EcoCockpit der Effizienz-Agentur NRW). Zudem dient das DesignSpace als Seminarraum, in dem theoretische Inhalte vermittelt werden, Gruppenarbeiten von den Studierenden durchgeführt und Ergebnisse vorgestellt werden können. Dazu befinden sich im Raum Whiteboards, Poster und ein Beamer mit Leinwand.



Abbildung 2-15: DesignSpace an der Ruhr-Universität Bochum

Neben den bereits genannten virtuellen Bestandteilen ergänzen und erweitern verschiedene E-Learning-Angebote den „Lernort“ der Ecodesign-Lernfabrik. Begleitet wird die Lehrveranstaltung, von der an der RUB etablierten Lehr- und Lernplattform Moodle.⁴⁸ Diese stellt eine große Bandbreite unterschiedlicher Tools für eine attraktive Begleitung von (Selbst-)Lernaktivitäten bereit, u.a. eingebaute Testformate, Lerntagebücher, Communities und Diskussionsforen, Wettkämpfe und Ähnliches.

⁴⁸ Moodle Pty Ltd. (2021)

3. ERGEBNISSE

Gegenstand dieses Kapitels sind die Ergebnisse und die Evaluation der prototypischen Umsetzung der entwickelten Veranstaltungsreihe „Umweltgerechte Produktentwicklung“. Aktiv teilgenommen an der Veranstaltungsreihe im Sommersemester 2021 an der Ruhr-Universität Bochum haben 76 Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau und Sales Engineering and Product Management. Zunächst werden die Ergebnisse der studentischen Projekte kurz exemplarisch beschrieben. Danach werden die einzelnen von den Studierenden erbrachten Prüfungsleistungen zusammengefasst und die Ergebnisse der studentischen Lehrevaluation beschrieben. Darüber hinaus werden neben der Fragebogenkonstruktion auch die Durchführungen der Befragungen sowie erste Ergebnisse der Auswertungen vorgestellt und deskriptiv beschrieben. Zur detaillierten Analyse der erhobenen Daten werden diese auf statistische Signifikanz geprüft.

3.1 ERGEBNISSE DER STUDENTISCHEN PROJEKTE

Im Rahmen der prototypischen digitalen Durchführung der Veranstaltungsreihe wurden von den studentischen Gruppen eigene Produktkonzepte entwickelt. Ziel war es dabei die Umweltwirkungen der konkreten Beispielprodukten zu reduzieren. Die Studierenden sind bei der Entwicklung der Produktkonzepte methodisch vorgegangen und haben ihre Zwischenergebnisse im Portfolio dokumentiert. Basierend auf den von ihnen identifizierten ökologischen Schwachstellen der Produkte, legten sie Umweltziele für das Unternehmen und das Produkt selbst fest. Diese setzten sie in detaillierten Produktkonzepten um, die sie ihm Rahmen einer Videopräsentation vorstellten.

In Abbildung 3-1 werden beispielhaft die Ergebnisse der ökologischen Verbesserungen am Bodensauger dargestellt. Die meisten Studierenden identifizierten den zusätzlichen Energieverbrauch durch eine aus ökologischer Sicht fehlerhafte Nutzung des Staubsaugers als größte Schwachstelle. Zum Beispiel geschieht dies, wenn Nutzer:innen den eingeschalteten Staubsauger beim Saugen zur Seite legen, um Hindernisse aus dem Weg zu räumen. Um dieses Problem zu lösen, entschieden sich viele Gruppen dafür einen Sensor am Griff des Staubsaugers zu integrieren. Wird der Staubsaugergriff im eingeschalteten Zustand losgelassen, schaltet sich das Gerät aus. Eine Gruppe entwickelte ein Konzept mit verschiedenen Sensoren (siehe Abbildung 3-1 unten rechts), die am Staubsauger befestigt sind, einer festen Station und einer App. So kann das Saugverhalten durch die Sensoren in der App veranschaulicht werden. Den Nutzer:innen können Stellen aufgezeigt werden, die sie nie oder zu häufig saugen und Empfehlungen gegeben werden. Außerdem zeichnet die App auch den Stromverbrauch auf und visualisiert diesen für die Nutzer:innen. So können Werte verglichen und optimiert werden und die Nutzer:innen bekommen ein Gefühl für den tatsächlichen Stromverbrauch während des Saugens.

In Abbildung 3-2 werden verschiedene Beispiele der ökologischen Verbesserungen an der Waschmaschine veranschaulicht. Hier identifizierten die meisten Studierenden den Verbrauch an Waschmittel als ökologische Schwachstelle. Um Nutzer:innen bei der richtigen Dosierung des Waschmittels und ähnlicher Stoffe zu unterstützen, entwickelten sie Studierende verschiedene Ideen für Waschmitteltanks, die je nach Art oder Menge der Wäsche das Waschpulver dosieren. Eine Gruppe konzipierte zudem eine zusätzliche Wartungslampe (siehe Abbildung 3-2 unten rechts), die den Nutzer:innen anzeigt, wann die Maschine gereinigt oder gewartet werden muss. Dies kann die Lebensdauer des Gerätes verlängern und somit die Umweltwirkungen verteilt auf die Lebensdauer verbessern.

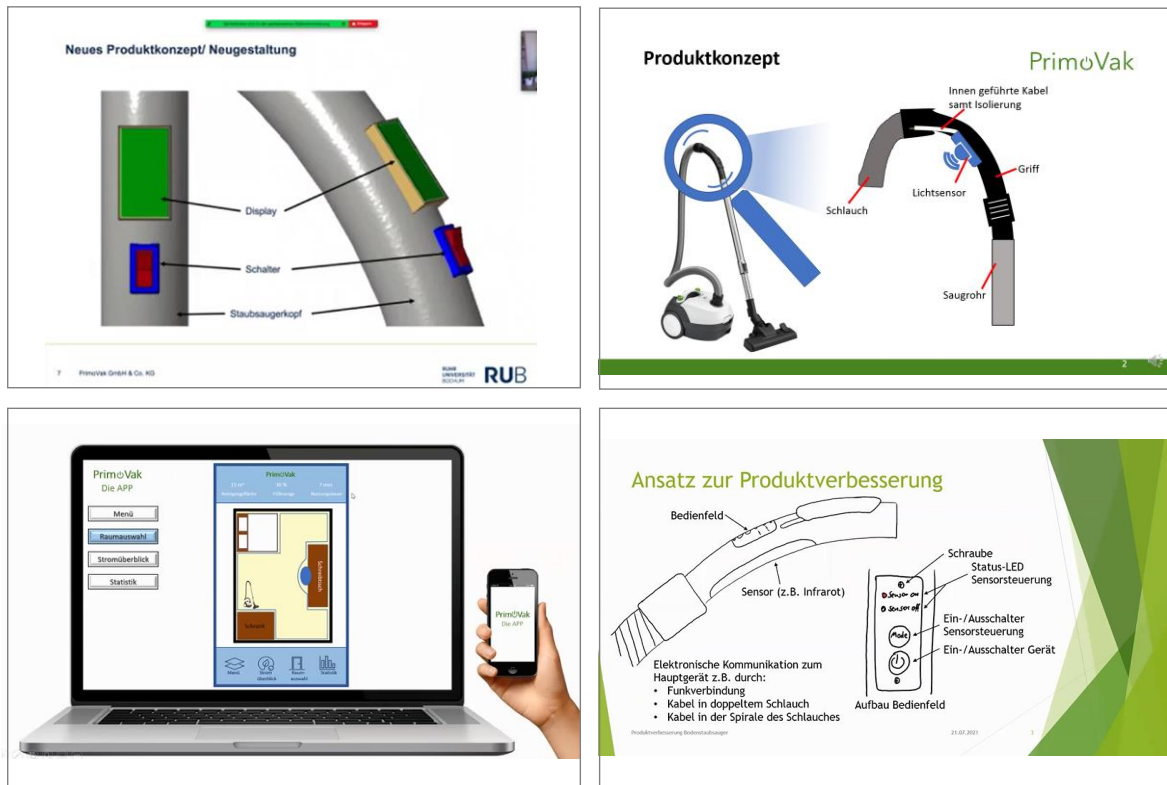


Abbildung 3-1: Beispiele der ökologischen Verbesserungen des Bodenstaubsaugers

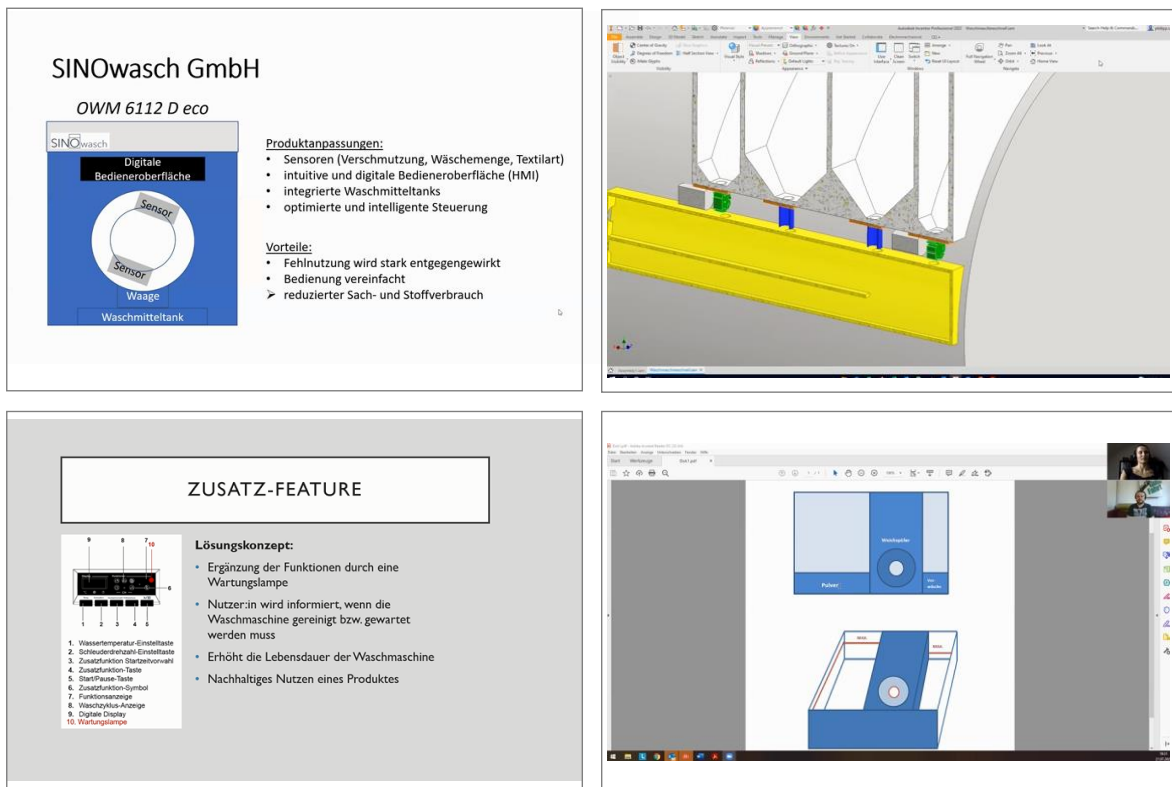


Abbildung 3-2: Beispiele der ökologischen Verbesserungen der Waschmaschine

In Abbildung 3-3 werden verschiedene Beispiele der ökologischen Verbesserungen am Kaffeevollautomaten aufgeführt. Hier verfolgten die Studierenden die Strategie die Lebensdauer des Gerätes zu verlängern. Dazu entwickelten die Studierenden verschiedene Lösungen. Zunächst identifizierten einige Gruppen für die Lebensdauer kritische Baugruppen im Gerät und entwickelten dafür geeignete

Lösungen. Aufzuführen ist hier beispielweise der Austausch des regulären Mahlwerks zu einem langlebigen Keramikmahlwerk. Andere Studierende hatten die Idee den Korpus der Kaffeemaschine verschiedenfarbig (aus recyceltem Kunststoff) zu gestalten, um so die Kaffeemaschine für mehrere Nutzer:innen optisch attraktiv zu gestalten. Da Kaffeevollautomaten meist exponiert im Küchenbereich aufbewahrt und nicht in Schränken oder Schubladen verstaut werden, ist die Optik des Gerätes ein wichtiges Kaufkriterium. Durch den Austausch der Verkleidung bekommt das Gerät ein neues Erscheinungsbild und wird evtl. länger genutzt als ein herkömmliches nicht veränderbares Gerät. Als ökologische Schwachstelle identifizierten einige Studierende die Reparierbarkeit der Maschine, da diese nur schwierig zu demontieren war. Daher entwickelten die Studierenden Konzepte, in denen der Kaffeevollautomat aus verschiedenen, einfach zu demontierenden Modulen besteht. Im Fall eines Schadens kann dann das einzelne Modul repariert bzw. ausgetauscht werden und nicht die gesamte Maschine.

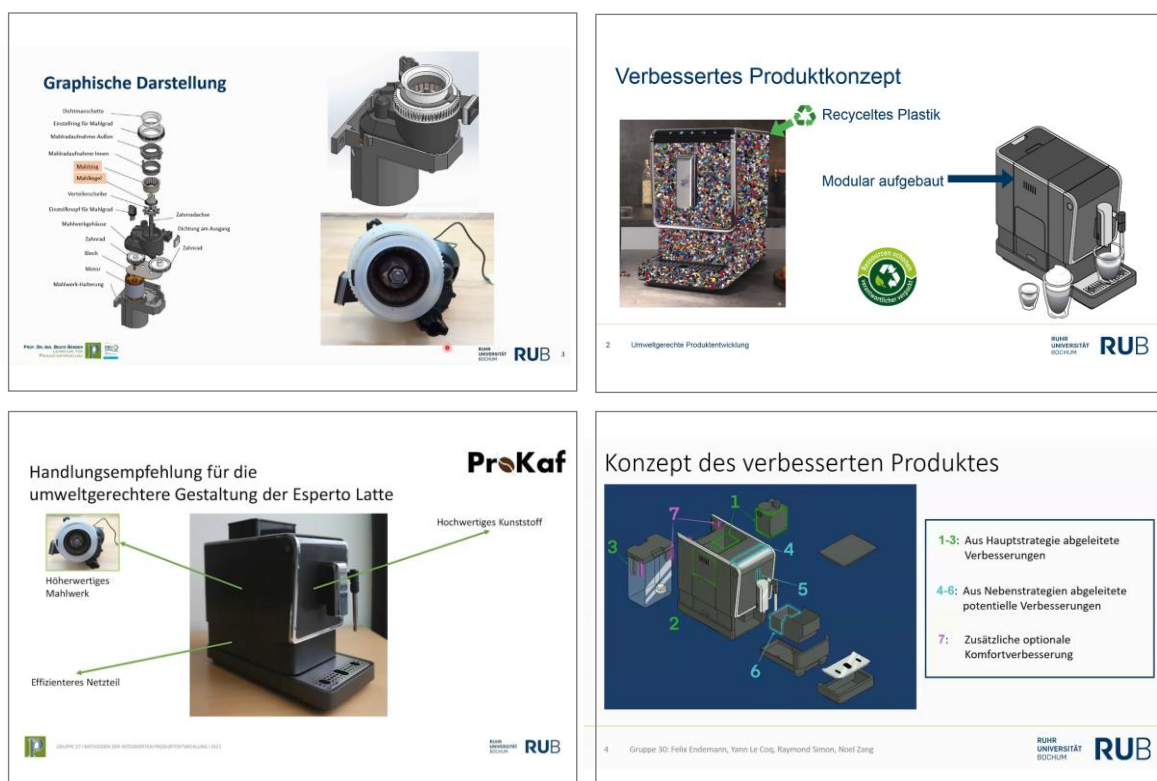


Abbildung 3-3: Beispiele der ökologischen Verbesserungen des Kaffeevollautomaten

3.2 PRÜFUNGSLEISTUNGEN DER STUDIERENDEN

Nachfolgend werden kurz die Grundlagen kompetenzorientierten Prüfens und geeigneter Prüfungsformate beschrieben. Danach werden die im Rahmen des Projektes entwickelten Prüfungsformate beschrieben und die Ergebnisse der prototypischen Durchführung aus dem Sommersemester 2021 dargestellt.

Für ein kompetenzorientiertes Prüfen eignen sich vor allem Prüfungsformate und -aufgaben, die problem- und handlungsorientiert sind und zur Bearbeitung komplexe, kognitive Leistungen erfordern, die den Kompetenzanforderungen der definierten Lernziele entsprechen.⁴⁹ Um dies zu erfüllen, sollten in

⁴⁹ Schaper und Hilkenheimer (2013)

den Prüfungen (sowie im Lernprozess selbst) realitätsnahe Aufgaben der Disziplin oder des Berufsfeldes gestellt werden.⁵⁰

3.2.1 Portfolios

Ein Portfolio ist eine Prüfungsform, bei der die Studierenden im Laufe eines Semesters (oder auch semesterübergreifend) verschiedene Aufgaben selbständig bearbeiten und ihren Entwicklungsstand bzw. Lernfortschritt innerhalb eines Fachgebiets dokumentieren.⁵¹ Damit fördert diese Prüfungsform neben Fach- und Methodenkompetenz auch die Selbstreflexionsfähigkeit der Studierenden.⁵² Im Rahmen des Portfolios im vorliegenden Veranstaltungskonzept sammeln die Studierenden die von ihnen bearbeiteten Formblätter, in denen sie die Anwendung der Methoden und Instrumente der umweltgerechten Produktentwicklung dokumentiert haben, und interpretieren ihre Ergebnisse in schriftlicher Form. Unterstützt wird dieser Prozess durch zu beantwortende Leitfragen zu den angewandten Methoden und Instrumenten, zu den Ergebnissen, zur Umsetzung einer umweltgerechten Produktentwicklung in ihrem (fiktiven) Unternehmen sowie zum Teil zur Reflexion des eigenen Lernprozesses. Neben der Beantwortung der Leitfragen soll das Präsentationsportfolio weiterführende Erläuterungen, Notizen sowie Begründungen der getroffenen Entscheidungen und eine Darstellung des verbesserten Produktkonzepts als Skizze, Zeichnung, 3D-Modell, Prototyp oder Ähnlichem beinhalten.

Insgesamt haben alle 18 an der Veranstaltungsreihe teilnehmenden Gruppen das Portfolio eingereicht. Die Beantwortung der Leitfragen wurde als Einzelleistung gewertet, bei der 71 Studierende die max. Anzahl Punkten erreichten. Für die Zusammenstellung aller bearbeiteten Dokumente und Formblätter, die Erläuterung der einzelnen Entscheidungen sowie für die Recherche von realistischen Werten, Prognosen und zu realisierenden Produktverbesserungen erlangten 17 Gruppen die max. Punkte für die Gruppenleistung. Hier können zum einen eine sehr hohe Teilnehmerquote und zum anderen eine hohe Motivation bei den Studierenden verzeichnet werden. Die Studierenden haben es als Vorteil gesehen, alle Übungen direkt an praktischen Beispielen anzuwenden und ihre eigenen Ideen umsetzen zu können. Neben der inhaltlichen Zusammenfassung der Vorlesungs- und Übungsthemen, haben die teilnehmenden Studierenden die für das Portfolio geforderte Gruppenarbeit reflektiert sowie deren Übertragbarkeit auf die berufliche Praxis eingeschätzt:

„Interessant war vor allem die gesamte Gruppenarbeit. Sämtliche erlernte Methoden in einem praxisnahen Beispiel anwenden zu können, dies in einer Gruppenarbeit mit anschließender Abgabe eines Portfolios zwingt selbst die faulsten Studenten zur Arbeit. Hinzu kommt, dass dies der berufliche Alltag ist und einen leichten Eindruck der Arbeit im Team gibt. [...]“

3.2.2 Lerntagebücher

Lerntagebücher können sowohl eine Art oder ein Teil eines Lernportfolios darstellen, aber haben sich in den letzten Jahren auch als eigenständiges Reflexionsinstrument und Prüfungsform etabliert.⁵³ Im Rahmen von Lerntagebüchern (oder Lernjournalen) können die eigenen Lernprozesse reflektiert und dokumentiert sowie die in der Lehrveranstaltung behandelten Inhalte nachbereitet und evaluiert werden.⁵⁴ Durch dieses Feedback der Lernenden z. B. über Verständnisprobleme oder die ausgewählten

⁵⁰ Ertel (2008)

⁵¹ GoBens (2016)

⁵² Schaper und Hilkenheimer (2013)

⁵³ Gläser-Zikuda und Hascher (2007)

⁵⁴ Kattwinkel (2022)

Lehr- und Lernmethoden gilt das Lerntagebuch auch als wirkungsvolles Evaluations- und Diagnoseinstrument für Lehrende.⁵⁵ Idealerweise geschieht dieser Reflexionsprozess nicht erst (rückblickend) zum Ende der Veranstaltung, sondern begleitend. Das freie Schreiben eines Lerntagebuchs führt nicht zwangsläufig zu einer Reflexion der Lerninhalte und des eigenen Lernprozesses. Daher wurden im vorliegenden Lerntagebuch zu beantwortende Leitfragen gestellt. Diese wurden online von den Studierenden über Moodle⁵⁶ beantwortet. Dabei hatten nur die Studierenden selbst sowie die Dozierenden einen Zugang zu den einzelnen Beiträgen. Die Antworten wurden dabei nicht inhaltlich bewertet, sondern nur geprüft, ob diese den gestellten Kriterien (fünf Antwortsätze in eigenen Worten pro Frage) entsprachen. Insgesamt wurden 76 Lerntagebücher von den Studierenden hochgeladen. Die maximale Punktzahl erreichten 71 Teilnehmende. Aus der Auswertung der Lerntagebucheinträge der Studierenden wurde deutlich, dass sich alle Studierenden innerhalb der von ihnen hochgeladenen Beiträge mit den im Rahmen der Veranstaltungsreihe vermittelten Inhalten analysierend auseinandergesetzt haben. Zum Beispiel antwortete ein Studierender auf die Frage welche Aspekte des Gelernten er bei gegenwärtigen oder zukünftigen Tätigkeiten im privaten oder beruflichen Umfeld anwenden könne, Folgendes:

„Ich werde privat verstärkt versuchen, die Produkte so energiesparend wie möglich zu verwenden. Ich kann jetzt auch im beruflichen Kontext besser Argumente und Methoden präsentieren, um Nachhaltigkeit stärker zu fördern. Vor dieser Vorlesung war meine Herangehensweise eher ein „okay wir sollten auch den Impact, den unser Produkt auf die Umwelt besitzt, berücksichtigen“. Aber ich hatte keine Ahnung, wie man dies umsetzen könnte und wie komplex und aufwendig die korrekte Anwendung ist. Jetzt könnte ich Nachhaltigkeit so vertreten, dass es nicht als Verzicht auf etwas gesehen wird, sondern als proaktive Chance sich mit der Firma in einem sich schnell ändernden Markt und Gesetzesumfeld stark zu positionieren.“

3.2.3 Ergebnispräsentationen

Auch mündliche Präsentationen sind Prüfungsformate, die vielseitige Kompetenzen adressieren und in der Praxis auch in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen immer häufiger verwendet werden.⁵⁷ Zunehmend werden neben fachlichen Kompetenzen ebenso kommunikative Fähigkeiten z. B. durch kooperative Arbeitsformen⁵⁸ sowie beim Halten von Präsentationen wichtiger für Ingenieur:innen. Im vorliegenden Lehrveranstaltungskonzept ist die Ergebnispräsentation eingebettet in das vorgestellte Lernszenario. In der Veranstaltung stellten die Studierenden ihre entwickelten, umweltgerechten Produktkonzepte in der Form eines Videos vor. Dafür vertonten sie Präsentationen, erstellten Animationen oder drehten einzelne Filmsequenzen. Von den insgesamt 18 an der Veranstaltungsreihe teilnehmenden Gruppen, reichten 16 Gruppen ein Video ein. Jeweils 14 Videos wurden mit der Höchstpunktzahl bewertet.

3.3 LEHREVALUATION

Die Lehrevaluation erfolgte mittels eines Fragebogens, der auf den von der Universitätskommission für Lehre (UKL) erarbeiteten Musterfragebögen basiert. Diese werden im Standardfall an der Ruhr-

⁵⁵ Venn (2011)

⁵⁶ Moodle Pty Ltd. (2021)

⁵⁷ Kattwinkel (2022), S.120

⁵⁸ Brandstetter (2012)

Universität Bochum zur Lehrevaluation genutzt.⁵⁹ Die Studierenden konnten alle Fragen anonym über Moodle beantworten. Die Befragung fand nach der prototypischen Durchführung der Veranstaltung im Sommersemester 2021 statt. Im Sommersemester 2022 wurde die Evaluation zusammen mit der Veranstaltung „Methoden der integrierten Produktentwicklung“ evaluiert und wird daher hier nicht mit aufgeführt. Die Ergebnisse der studentischen Lehrevaluation aus dem Jahr 2021 sind in Abbildung 3-4, Abbildung 3-5, Abbildung 3-6 und Abbildung 3-7 dargestellt.

Insgesamt beurteilten die Studierenden die Veranstaltung erfreulich positiv. Insgesamt bewerteten sie die Veranstaltung mit der Note „gut“ mit einem Mittelwert von 2,2 direkt nach der der Veranstaltung und mit einem Wert von 1,9 ca. zwei Monate nach dem Ende der Veranstaltung (1=sehr gut und 5=sehr schlecht).

Die insgesamt vorteilhafte Beurteilung der Struktur, Betreuung und der Inhalte der Veranstaltung wird durch die Rückmeldungen der Studierenden zu dem was ihnen besonders gut gefallen hat, widergespiegelt:

„Das man angeregt wird viel selbst zu überlegen und auszuprobieren. Man wird zur selbstständigen Mitarbeit motiviert.“

„Semesteraufgabe, gemeinsames Entwickeln von Lösungsstrategien, gerade in der aktuellen Zeit war es eine Abwechslung und hat viel Freude bereitet.“

„Die gesamte Gruppenübung vereinfacht die Vorlesungsinhalte allgemein.“

„Aktuelle Themen werden praktisch betrachtet. Ausgewählte Beispielprodukte sind sehr gut ausgewählt und zeigen die Herausforderungen sehr gut. Sehr gute Betreuung und interessanter Gastvortrag“

⁵⁹ Ruhr-Universität Bochum (02.07.2021)

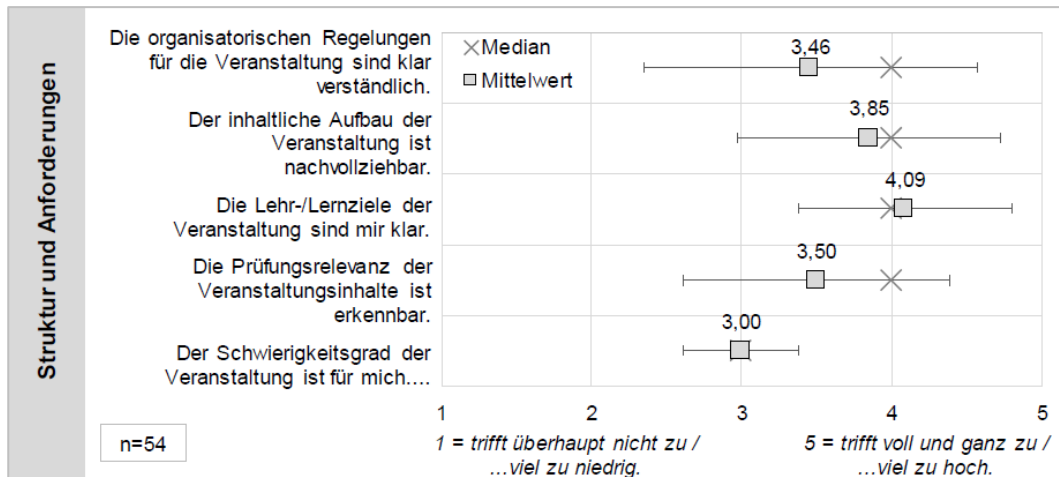


Abbildung 3-4: Auswertung der Struktur und der Anforderungen der Veranstaltung⁶⁰

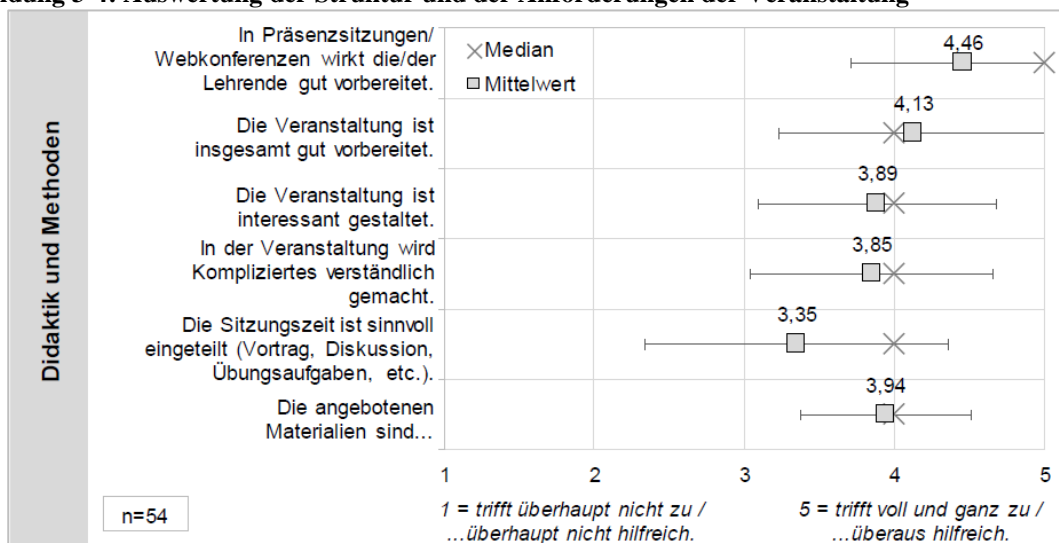


Abbildung 3-5: Auswertung der Didaktik und Methoden der Veranstaltung⁶¹

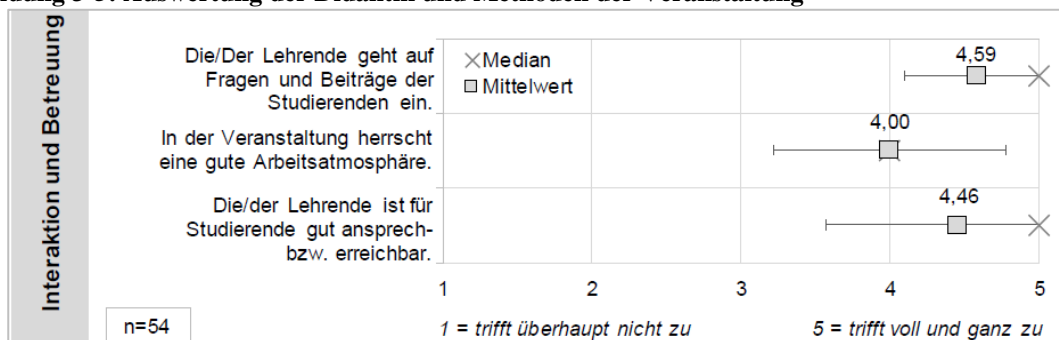


Abbildung 3-6: Auswertung der Interaktion und Betreuung der Veranstaltung⁶²

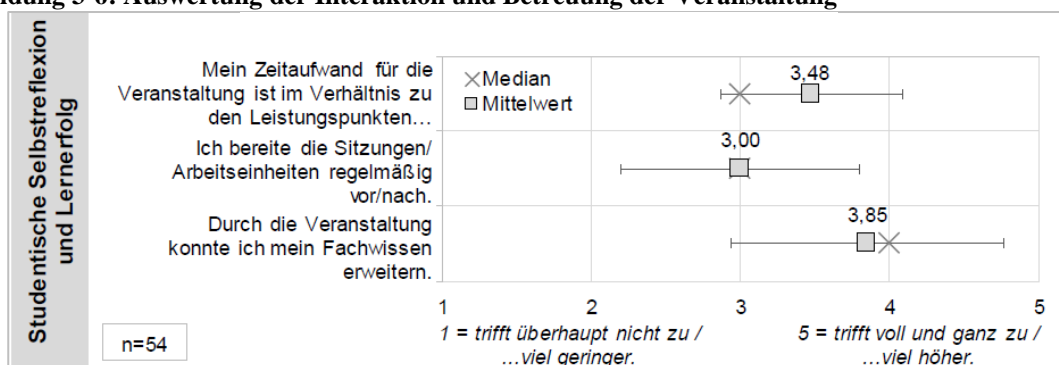


Abbildung 3-7: Auswertung der studentischen Selbstreflexion und des Lernerfolgs⁶³

3.4 FRAGEBOGENEVALUATION

Zur Evaluation des Wissens, der Fertigkeiten und Kompetenzen sowie der Einstellungen der Studierenden wurden Fragebögen konzipiert, die sie vor sowie nach dem Besuch der Veranstaltungsreihe ausfüllten. Nachfolgend werden die Erstellung, die Durchführung und die Auswertung der Fragebögen beschrieben.

3.4.1 Fragebogenkonstruktion und Durchführung der Befragung

Fragebögen werden eingesetzt, um Vorannahmen oder Hypothesen über einen Sachverhalt durch gewonnene Informationen von Personen oder Personengruppen zu bestätigen, zu ergänzen oder zu widerlegen.⁶⁴ Bereits bei der Konstruktion eines Fragebogens sollten aus der Theorie abgeleitete Hypothesen zu den möglichen Ergebnissen und daraus abzuleitenden Schlussfolgerungen festgelegt werden, um eine zielgerichtete und objektive Auswertung der Daten zu ermöglichen.⁶⁵ Die zentrale, zu untersuchende Forschungshypothese dieser Evaluation lautet:⁶⁶

Eine Teilnahme an der Lehrveranstaltungsreihe beeinflusst die Einstellungen, den Wissensstand, die Fertigkeiten und die Kompetenzen der Studierenden im Bereich der umweltgerechten Produktentwicklung sowie ihre Bereitschaft diese in ihrer beruflichen Zukunft anzuwenden.

Befragt wurden dazu Studierende der Ruhr-Universität Bochum, die im Sommersemester 2021 an der Veranstaltungsreihe „Umweltgerechte Produktentwicklung“ teilgenommen haben. Zur Teilnahme an den Befragungen wurden die Studierenden sowohl per E-Mail, systemintegrierter Ankündigung (in Moodle) sowie mündlich aufgefordert. Jeder/m Studierenden wurde ein individuelles Identifikationskürzel zugeteilt, mit dem die Fragebögen vor und nach der Veranstaltungsreihe einander zugeordnet werden konnten. Insgesamt wurden die Studierenden aufgefordert, drei Fragebögen T1 (vor der Veranstaltungsreihe), T2 (unmittelbar nach der Veranstaltungsreihe) und T3 (nach der Veranstaltungsreihe) zu beantworten. Für die Beantwortung der Fragebögen wurde den Studierenden ein Zeitraum von vier (T1) bzw. zwei Wochen (T2 und T3) bereitgestellt. Die Fragebögen standen dafür online auf der Lernplattform Moodle zur Verfügung. Jeder Studierende konnte jeden Fragebogen nur einmal ausfüllen. Die Fragebögen enthielten sowohl geschlossene Fragen, deren Antwortmöglichkeiten aus einem Dropdown-Menü ausgewählt werden konnten (bspw. *weiblich / männlich / divers / keine Angabe*) oder auf einer Intervallskala (bspw. *1 = stimmt nicht / trifft nicht zu / überhaupt nicht hilfreich* bis zu *5 = stimmt sehr / trifft voll und ganz zu / überaus hilfreich*) zu bewerten waren als auch offene Fragen (bspw. *„Was ist besonders gut an der Veranstaltungsreihe?“*).

Den ersten Fragebogen vor dem Beginn der Veranstaltungsreihe (T1) füllten insgesamt 87 Studierende aus, den Fragebogen unmittelbar nach der Veranstaltungsreihe (T2) beantworteten 76 Studierende und im Fragebogen nach der Veranstaltung (T3) waren es 31 Studierende. Durch die Zuordnung der Identifikationskürzel von T1 und T2 konnte eine Stichprobe von n=54 Personen sowie für T3 von n=31 Personen ausgewertet werden. Im Fragebogenteil zum Zeitpunkt T3 wurden die Studierenden gebeten für ein Siegervideo abzustimmen und die Veranstaltung noch einmal rückwirkend zu bewerten. Die

⁶⁰ Kattwinkel (2022), S.149

⁶¹ Kattwinkel (2022), S.150

⁶² Kattwinkel (2022), S.151

⁶³ Kattwinkel (2022), S.151

⁶⁴ Kattwinkel (2022), S.142

⁶⁵ Hollenberg (2016)

⁶⁶ Siehe dazu auch Kattwinkel (2022)

Ergebnisse dieser Umfrage werden nachfolgend nicht beschrieben, sondern die Daten der Erhebungen zum Zeitpunkt T1 und T2 analysiert.

3.4.2 Exemplarische Ergebnisse der Erhebungen

Nachfolgend wird zunächst die Zusammensetzung der Stichprobe beschrieben. Danach werden die Daten zunächst initial durch einen Mittelwertvergleich vor und nach der Teilnahme an der Veranstaltung beschrieben und anschließend eine statistische Hypothesenprüfung durchgeführt.⁶⁷

In Abschnitt A des Fragebogens wurden allgemeine Angaben zur Person als empirische Kontrollvariablen erhoben. Einige der zentralen Ergebnisse sind in Abbildung 3-8 dargestellt. Der überwiegende Anteil der teilnehmenden Studierenden der Lehrveranstaltungsreihe ist männlich (87%). Die meisten Studierenden sind zwischen 23-25 Jahren alt (63%) und studieren im ersten (40,7%) oder zweiten (37%) Mastersemester. Keine/r der Teilnehmenden ist noch im Bachelorstudiengang eingeschrieben. Die Verteilung zwischen Studierenden des Maschinenbaus (57,4%) und des Faches Sales Engineering and Product Management (42,6%) ist ausgewogen.

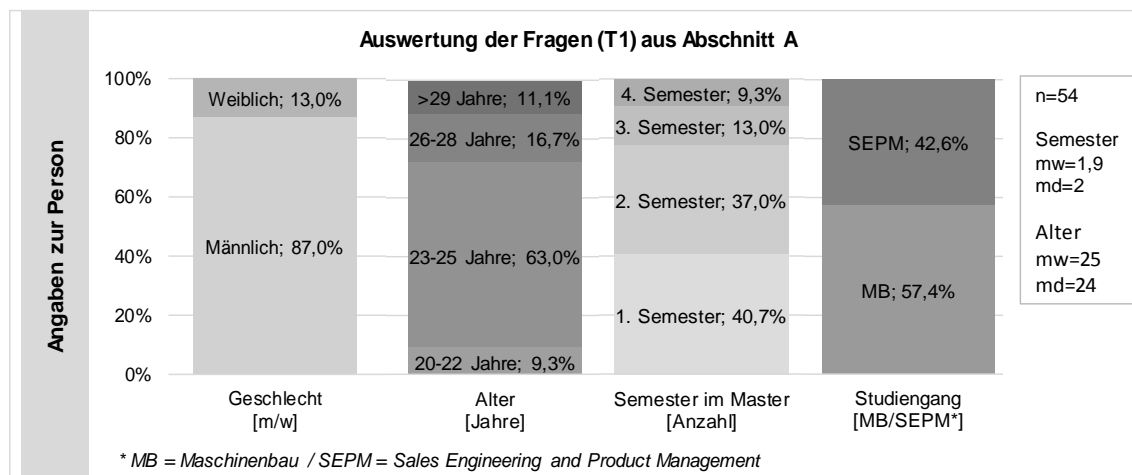


Abbildung 3-8: Die Zusammensetzung der Stichprobe n⁶⁸

In Abschnitt B werden die Studierenden zu ihren Einstellungen, ihrem Wissen, ihren Fertigkeiten und ihren Kompetenzen zu den Themen Nachhaltigkeit und Umweltgerechtigkeit befragt. Die ersten Vergleiche der Mittelwerte der Antworten der Studierenden vor und nach der Teilnahme an der Veranstaltung (T1 und T2) sind in Abbildung 3-9 dargestellt. Dabei werden pro Frage jeweils das arithmetische Mittel mw und der Median, md der Antworten (zwischen 1=stimmt nicht und 5= stimmt sehr) sowie die Standardabweichung bzw. Streuung der Mittelwerte abgebildet.

Hervorzuheben ist hier die hohe Umweltmotivation der Studierenden. So empfanden sie die Themen Nachhaltigkeit und Umweltgerecht schon vor dem Beginn der Veranstaltung ($md_{T1}=5$; $mw_{T1}=4,37$), genauso wichtig wie danach ($md_{T2}=5$; $mw_{T2}=4,37$). Jedoch fühlten die Studierenden sich erst nach der Teilnahme an der Veranstaltung in der Lage Werkzeuge, Methoden und Richtlinien zur Quantifizierung und Reduzierung der Umweltwirkungen von Produkten auszuwählen und anzuwenden ($md_{T1}=2$; $mw_{T1}=2,72$ und $md_{T2}=3$; $mw_{T2}=3,87$). Außerdem gaben sie an nach der Veranstaltung den Lebenszyklus eines Produktes erläutern und Umweltwirkungen besser benennen zu können ($md_{T1}=3$; $mw_{T1}=3,28$ und $md_{T2}=4$; $mw_{T2}=4,20$). Auch fühlten sie sich nach dem Besuch der Veranstaltung eher in der Lage eigenständig neue Ideen und Konzepte für nachhaltige Produkte entwerfen zu können ($md_{T1}=3$;

⁶⁷Siehe dazu Kattwinkel (2022)

⁶⁸ Kattwinkel (2022), S.145

$mw_{T1}=3,08$ und $md_{T2}=4$; $mw_{T2}=3,78$). Zukünftig möchten sie nach der Veranstaltung ihr Wissen, ihre Fertigkeiten und Kompetenzen in den Bereichen Nachhaltigkeit und Umweltgerechtigkeit in Unternehmen zu tragen und sich an der Umsetzung nachhaltiger Projekte zu beteiligen ($md_{T1}=3$; $mw_{T1}=3,29$ und $md_{T2}=4$; $mw_{T2}=3,87$).

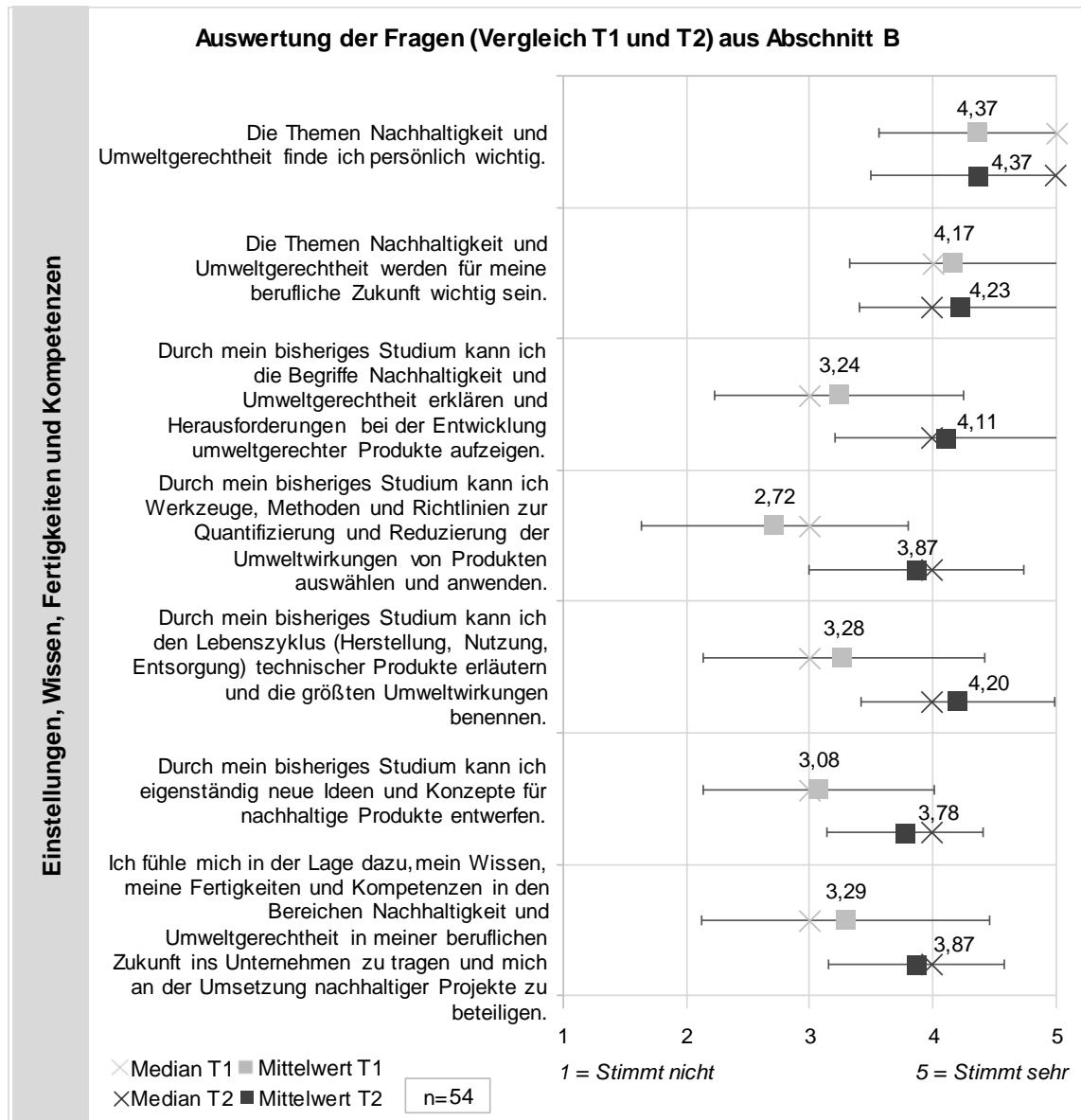


Abbildung 3-9: Auswertung der Einstellungen, des Wissens, der Fertigkeiten und Kompetenzen vor und nach der Teilnahme an der Veranstaltungsreihe (T1 und T2)⁶⁹

Die nachfolgenden Ergebnisse wurden mithilfe des Statistikprogramm IBM® SPSS®-Statistics 28⁷⁰ berechnet worden. Zunächst wurde die Reliabilität oder der Grad der Messgenauigkeit des Instruments (in diesem Fall des Fragebogens) ermittelt. Je höher diese ist ($Rel_{max} = 1$), desto kleiner ist der einem Messwert innewohnende Fehleranteil.⁷¹ Für den Reliabilitätskoeffizienten eines guten Tests gilt $Rel > 0,7$.⁷² Die Reliabilität der eingesetzten Skalen im Fragebogenteil B zeigt sich sowohl für den

⁶⁹ Kattwinkel (2022), S.146

⁷⁰ Siehe IBM Deutschland GmbH (2022)

⁷¹ Vgl. Bortz und Döring (2016), S.196

⁷² Vgl. Moosbrugger und Kelava (2011), S.11

Test zum Zeitpunkt T1 (0,753) als auch zum Zeitpunkt T2 (0,748) als zufriedenstellend, da sie größer als 0,7 sind. Mittels des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests, der auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ testet, konnte eine Normalverteilung der Ergebnisse aus Fragebogenteil B zum Zeitpunkt T1 (0,200) und T2 (0,055) ermittelt werden.⁷³ Anschließend wurde eine Varianzanalyse (engl. Analysis of Variance, ANOVA) zur Überprüfung der Unterschiede der Mittelwerte der Stichprobe zum Zeitpunkt T1 und T2 durchgeführt. Mit der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen lässt sich überprüfen, ob sich die Mittelwerte der Stichproben vom Zeitpunkt T1 zu T2 signifikant verändert haben.⁷⁴

Tabelle 3-1 verdeutlicht, dass ein **signifikanter Unterschied** der Messzeitpunkte T1 und T2 bezogen auf die Einstellungen, das Wissen, die Fertigkeiten und die Kompetenzen der Studierenden ($F(1,54) = 43,92, p < 0,001, \eta^2 = 0,45$) für die Gesamtstichprobe ($n=54$) bestand. Dies bedeutet, dass es über die Gesamtstichprobe hinweg einen statistisch signifikanten Einfluss der Vorlesungsreihe auf die Einstellungen, das Wissen, die Fertigkeiten und die Kompetenzen der Studierenden gab, da der ermittelte Signifikanzwert $p < 0,001$ deutlich unter dem festgelegten Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ lag. Insgesamt konnten 45% der Varianz der Einstellungen, des Wissens, der Fertigkeiten und Kompetenzen durch die Variabilität der Messzeitpunkte, also vor (T1) und nach (T2) der Teilnahme an der Lehrveranstaltungsreihe, erklärt werden. Durch die Berechnung der Effektgröße $\eta^2 = 0,45$ und der Effektstärke $f = 0,547$ nach Cohen lag in diesem Fall ein großer Effekt vor.⁷⁵

Tabelle 3-1: Ergebnisse der Signifikanzuntersuchung zum Zeitpunkt T1 und T2 von Fragebogenteil B⁷⁶

n=54	Varianz F	Signifikanz p	Effektgröße η^2	Effektstärke f
Gesamtstichprobe	43,922	<0,001	0,453	0,547

⁷³ Vgl. Bortz, Lienert und Boehnke (2008), S.319ff.

⁷⁴ Vgl. Bortz und Döring (2016), S.618

⁷⁵ Die Grenzen für die Größe der Effektstärke liegen nach COHEN bei $0,1 \leq f < 0,25$ für einen schwachen Effekt, bei $0,25 \leq f < 0,4$ für einen mittleren Effekt und bei $f > 0,4$ für einen großen Effekt (siehe Cohen (1988), S.284ff.).

⁷⁶ Kattwinkel (2022), S.156

4. ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit wurde das Projekt, dessen Inhalte und Ergebnisse innerhalb der Projektlaufzeit vom LPE sowohl im Rahmen von Veranstaltungen, Erfahrungsaustauschen und Diskussionen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen vorgestellt. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projektes eine Dissertation und fünf fachwissenschaftliche Arbeiten erstellt. Nachfolgend werden die einzelnen Beiträge in chronologischer Reihenfolge kurz beschrieben und anschließend zusammenfassend dargestellt.

Im Juni 2019 hat der LPE an dem Erfahrungsaustausch **Kompetenzorientierung in den Ingenieurwissenschaften** in der Geschäftsstelle der Hochschulrektorenkonferenz in Bonn teilgenommen. Neben dem persönlichen und fachlichen Austausch konnten viele interessante Impulse zu den Themen soziale Verantwortung für Ingenieure und Gestaltung einer praxisgerechten Ingenieurausbildung gewonnen werden. Zudem konnten Kontakte zum Elli2 Projekt (Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften³), einem Verbundprojekt der Ruhr-Universität Bochum, der RWTH Aachen und der Technischen Universität Dortmund geknüpft werden, sodass der LPE eine Lehrkooperation im Fach Grundlagen der Produktentwicklung mit der „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“ eingegangen ist. Eine weitere Projektvorstellung erfolgte im Zuge der **WiGeP-Herbsttagung** (Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung) im Oktober.

Das Vorgehen zur Ermittlung der Kompetenzen für die Entwicklung umweltgerechter Produkte wurde verschriftlicht und ein Beitrag für die **DESIGN Conference 2020** in Dubrovnik unter dem Titel „**Competences for the development of Ecodesign products**“ zusammengefasst. In dieser Veröffentlichung wurde untersucht, welche spezifischen Kompetenzen aus den Kompetenzbereichen systemisches Denken und Kommunikation für die Entwicklung von umweltgerechten-Produkten besonders wichtig sind und im Rahmen, der in diesem Projekt zu konzipierenden Lehrveranstaltung adressiert werden sollten. Der Beitrag musste durch die mit dem Corona-Virus in Verbindung stehenden Reise- und Versammlungseinschränkungen online vorgestellt und diskutiert werden. Der begleitende Konferenzband wurde im Mai 2020 veröffentlicht. Hier konnte das Projekt sowie die ersten Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit aus dem Bereich der Produktentwicklungsforschung vorgestellt werden.

Außerdem konnte das gesamte Projekt im Rahmen des **Symposiums für Nachhaltigkeit in technischen Fächern und Studiengängen** organisiert von der European School of Sustainability Science and Research (ESSSR) an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Hamburg am 13.03.2020 digital vorgestellt werden. Das Symposium diente zum Austausch von Lehrenden und Forschenden aus unterschiedlichen technischen Disziplinen darüber wie sich Nachhaltigkeit in die technische Ausbildung integrieren lässt.

Im Rahmen des Buchkapitels „**Introduction of the research project EcoING – Development and implementation of an Ecodesign Learning Factory for the university engineering education**“ hat der LPE im Jahr 2020 das Projekt, die Problemstellung und Motivation, die zu erarbeitenden Inhalte sowie das Vorgehen zu Bearbeitung und erste Projektergebnisse vorgestellt. Das gesamte Buch trägt den Titel **“Universities, Sustainability and Society: Supporting the Implementation of the Sustainable Development Goals”** und wurde 2021 vom Springer Verlag veröffentlicht. Die Kapitel des Buches beschreiben, wie Theorie und Praxis der nachhaltigen Entwicklung zusammenwirken, und zeigen die Notwendigkeit einer Fortsetzung des Dialogs zwischen Nachhaltigkeitswissenschaftler:innen und -praktiker:innen auf, um aktuelle Fragen, Themen und Probleme anzugehen. Das Spektrum

der in diesem Buch behandelten Themen umfasst auch die Anwendung von Umweltwerten und -ethik sowie die Beziehung zwischen sozialer, biologischer und kultureller Vielfalt.

Im Rahmen des Web-Seminars „**Mind the User - Nutzer:innenzentrierung als Erfolgsfaktor bei nachhaltigen Produkt- und Serviceinnovationen**“ des Prosperkollegs am 03.12.2020 hielt der LPE einen Vortrag zum Thema „**Nutzer:innen im Zentrum nachhaltiger Produkt- und Serviceinnovationen**“ und stellte dabei auch das Projekt EcoING vor einem interdisziplinären Fachpublikum vor. Nach dem Vortrag gab es eine virtuelle Podiumsdiskussion.

Darüber hinaus konnte der LPE im Herbst 2020 zusammen mit dem Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik der Technischen Universität Berlin eine wissenschaftliche Veröffentlichung verfassen. Diese trägt den Titel „**Sustainability in Engineering Education - Description and Comparison of two University Courses**“ und wurde im August 2021 auf der **ICED (International Conference on Engineering Design)** vorgestellt (siehe Abbildung 4-1). Innerhalb des Beitrags werden die Vorgehensweise und die Inhalte einer nachhaltigkeitsbezogenen Lehrveranstaltung der TU Berlin mit der im Rahmen dieses Projektes entstehenden Lehrveranstaltung verglichen. Dazu werden Gemeinsamkeiten (z.B. ähnliche Lernziele, praktische Beispielprodukte) aufgezeigt und zentrale Unterschiede (größere ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung vs. Lebenslaufbetrachtung aus technischer Sicht) beschrieben.



Abbildung 4-1: Ausschnitt des Videopräsentation für die ICED 2021

Durch den Kontakt und Austausch mit dem Umweltbundesamt nimmt der LPE seit dem Jahr 2021 regelmäßig an der Online-Workshopreihe „**Ecodesign in der Lehre**“. Der erste Termin wurde vom Umweltbundesamt zusammen mit der Z-U-G, „Zukunft – Umwelt – Gesellschaft gGmbH“, organisiert. Ziel der Workshops ist es, Ideen zu entwickeln, wie Ecodesign stärker in der Lehre verankert werden kann und die Akteur:innen in diesem Feld untereinander besser zu vernetzen.

Darüber hinaus hat der LPE im Jahr 2021 in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik der Technischen Universität Berlin einen digitalen Vortrag auf dem **University:Future Festival (U:FF)**, das vom 2.-4. November 2021 virtuell stattfand, präsentiert. Das

Hochschulforum Digitalisierung (HFD) und die Stiftung Innovation in der Hochschullehre richteten das Festival gemeinsam als Veranstaltungspartner aus. Der Vortragstitel lautete „**Nachhaltigkeit in der Ingenieurlehre - Beschreibung und Vergleich von zwei Universitätskursen**“. Innerhalb des Vortrags wurden die Vorgehensweise und die Inhalte einer nachhaltigkeitsbezogenen Lehrveranstaltung der TU Berlin sowie die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Lehrveranstaltung beschrieben. Der LPE nutzte dieses Forum, um die Bekanntheit des Projektes EcoING zu vergrößern.

Im Juli 2022 hat Frau Kattwinkel ihre Dissertation mit dem Titel „**Umweltgerechte Produktentwicklung – Systematische Entwicklung, Umsetzung und Evaluation eines Lehrveranstaltungskonzepts in den Ingenieurwissenschaften**“ an der Fakultät Maschinenbau der Ruhr-Universität Bochum eingereicht. In dieser Arbeit wird ein Lehrveranstaltungskonzept im Themenfeld der umweltgerechten Produktentwicklung vorgestellt. Auf der Grundlage eines bestehenden und hinsichtlich seiner praktischen Anwendbarkeit erprobten Ansatzes des Instruktionsdesigns wird ein Vorgehen zur Entwicklung des Lehrveranstaltungskonzepts abgeleitet und prototypisch umgesetzt. Zwecks der Analyse der grundsätzlichen Anwendbarkeit des entworfenen Konzepts und der Erreichung der festgelegten Lernziele wird die prototypische Umsetzung evaluiert.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen:

- **Kattwinkel, D.; Bender, B.** (2020): Competences for the development of ecodesign products. In *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference. Cambridge University Press, 1, May 2020*, S. 1735–1744. doi: 10.1017/dsd.2020.43.
- **Kattwinkel, D.; Bender, B.** (2021): Introduction of the Research Project EcoING—Development and Implementation of an Ecodesign Learning Factory for the University Engineering Education. In: *Universities, Sustainability and Society: Supporting the Implementation of the Sustainable Development Goals*, hg. v. W. Leal Filho, A. L. Salvia, L. Brandli, U. Azeiteiro und R. Pretorius. Springer. 10.1007/978-3-030-63399-8.
- **Kattwinkel, D.; Heide, L.; Syré, A.; Grahle, A.; Bender, B.; Göhlich, D.** (2021): Sustainability in Engineering Education - Description and Comparison of two University Courses. In: *Proceedings of the Design Society: 23rd International Conference on Engineering Design (ICED21)*, S. 2861–70. doi: 10.1017/pds.2021.547
- **Kattwinkel, D.** (2022): Umweltgerechte Produktentwicklung – Systematische Entwicklung, Umsetzung und Evaluation eines Lehrveranstaltungskonzepts in den Ingenieurwissenschaften (in Druck). Dissertation, Ruhr-Universität Bochum.

Präsentationen und Vorträge:

- Symposium für Nachhaltigkeit in technischen Fächern und Studiengängen – März 2020
- DESIGN Conference 2020 – Oktober 2020
- Mind the User - Nutzer:innenzentrierung als Erfolgsfaktor bei nachhaltigen Produkt- und Serviceinnovationen – Dezember 2020
- International Conference on Engineering Design (ICED21) - August 2021
- University:Future Festival (U:FF) – November 2021

Veranstaltungen:

- WiGeP Tagungen – seit 2018
- Kompetenzorientierung in den Ingenieurwissenschaften – Juni 2019

- Online Workshopreihe – Ecodesign in der Lehre – seit 2021

Studentische Arbeiten:

- **Al Tabbaa, E., E.** (2021): Umweltgerechte Produktentwicklung – Erhöhung der Nutzungsdauer eines Kaffeevollautomaten durch Upgrading-Strategien. Unv. Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum.
- **Drobig, M.** (2021): Entwicklung und Umsetzung eines Elektromotorenprüfstandes zur Analyse des Einflusses des Motors auf den Stromverbrauch. Unv. Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum.
- **Enstrup, H.** (2021): Konzeption eines Lehrvideos zur Unterstützung der Lehre im Bereich der umweltgerechten Produktentwicklung. Unv. Semesterarbeit, Ruhr-Universität Bochum.
- **Mesmouki, A.** (2020): Untersuchung der Bedeutung von systemischem Denken und kommunikativen Fähigkeiten zur Entwicklung umweltgerechter Produkte. Unv. Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum.
- **Han, S.** (2018): Entwicklung eines Leitfadens zum Aufbau eines Lernlabors in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung. Unv. Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum.

Weitere Veröffentlichungen:

- Interview der Stadtwerke Bochum zum Thema Ecodesign mit Daniela Kattwinkel
 - <https://www.stadtwerke-bochum.de/geschaeftskunden/magazin/ecodesign>
 - <https://www.stadtwerke-witten.de/service/kundenzeitschriften/newsletter/ecodesign>
 - <https://www.stadtwerke-herne.de/geschaeftskunden/magazin-aktuell/magazin-aktuell/ecodesign>

5. FAZIT UND AUSBLICK

Im Rahmen des Projektes konnte ein Lehrveranstaltungskonzept zur umweltgerechten Produktentwicklung entwickelt sowie eine dafür geeignete Lernumgebung ausgestaltet werden. Dafür wurden Räumlichkeiten an der Ruhr-Universität Bochum als DesignSpace und EcoLab eingerichtet und gestaltet. Aufgrund der in den Jahren 2020 bis 2022 infolge des Corona-Virus geltenden Abstands- und Hygieneregulungen an der Ruhr-Universität Bochum wurde das entwickelte Konzept zunächst digital umgesetzt. Implementiert wurde das Konzept als digitale Lehrveranstaltungsreihe im Masterfach „Methoden der integrierten Produktentwicklung“ im Sommersemester 2021 und 2022. Darüber hinaus wurden auch erste Kleingruppenarbeiten in der entwickelten Lernumgebung bzw. im DesignSpace und im EcoLab durchgeführt.

Die ausführliche Evaluation der digitalen Durchführung konnte zeigen, dass das entwickelte Konzept digital angewendet werden konnte und die konzipierten Lernaktivitäten und -aufgaben sowie die entwickelten Prüfungsformate von den Studierenden bearbeitet werden konnten. Die Evaluation verdeutlichte zudem, dass alle im Voraus festgelegten Lernziele von den an der Veranstaltungsreihe teilnehmenden Studierenden erreicht werden konnten. Insgesamt nahmen in den beiden Durchführungen des Veranstaltungskonzepts bisher ca. 160 Masterstudierende der Fachrichtungen Maschinenbau und Sales Engineering and Product Management teil. Nach der Teilnahme an der Veranstaltung fühlt sich die Mehrheit der Studierenden nun eher in der Lage dazu eigenständig neue Ideen und Konzepte für nachhaltige Produkte zu entwerfen und ihr Wissen, ihre Fertigkeiten und Kompetenzen im Bereich der Nachhaltigkeit und Umweltgerechtigkeit in ihrer beruflichen Zukunft ins Unternehmen zu tragen sowie sich dort an der Umsetzung nachhaltiger Projekte zu beteiligen. Diese positiven Ergebnisse wurden durch die statistische Hypothesenprüfung bestätigt. Diese ergab, dass es über die Gesamtstichprobe hinweg einen statistisch signifikanten Einfluss der Vorlesungsreihe auf die Einstellungen, das Wissen, die Fertigkeiten und die Kompetenzen der Studierenden gab, da der ermittelte Signifikanzwert $p < 0,001$ deutlich unter dem festgelegten Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ lag. Auch die entwickelten praktischen Elemente des Lehrveranstaltungskonzepts konnten von Studierenden vor Ort im DesignSpace und EcoLab im Wintersemester 2021 angewendet und bearbeitet werden.

Insgesamt arbeiteten die Studierenden sehr motiviert und engagiert in der Lehrveranstaltungsreihe mit. Dies spiegelt sich in der hohen Teilnehmerquote und den sehr guten Bewertungen wider. Sowohl die Lerntagebucheinträge als auch die Portfolios und Ergebnispräsentationen wurden von fast allen an der prototypischen Umsetzung im Sommersemester 2021 teilnehmenden Studierenden angefertigt und eingereicht. Die meisten Studierenden konnten dabei die höchst mögliche Punktzahl für ihre Leistungen erreichen. Außerdem wurden im Rahmen des Projektes von allen Gruppen von Studierenden eigene Produktkonzepte mit verbesserten Umweltwirkungen entwickelt. Als besonders positiv hervorzuheben sind hier die Rückmeldungen, die von den Studierenden bezüglich der Lehrveranstaltung geäußert wurden. Einige Studierende fassen ihre Erfahrungen wie folgt resümierend in ihren Lerntagebucheinträgen zusammen:

„Im Allgemeinen fand ich interessant, dass überhaupt einmal in einer Vorlesung das Thema Nachhaltigkeit, umweltgerechte Produktentwicklung, ökologische Konsequenzen etc. besprochen wird. Obwohl dieses Thema heutzutage relevanter ist wie nie zuvor, wird es konsequent ignoriert, bis wir selbst davon betroffen werden (siehe Überflutung in NRW).“

„Verbesserungen/Änderungen mit Blick auf die umweltgerechte Entwicklung war mir weitestgehend neu. Die Vorlesungs-/Übungsreihe [...] ist nicht nur zeitgerecht, sondern hat ein Bewusstsein für den Einfluss des Ingenieurs im ganzheitlichen Kontext geschaffen. Neben den Aspekten wie Wirtschaftlichkeit, Qualität, Sicherheit wird der Umweltaspekt in den Vordergrund gerückt.“

Darüber hinaus haben sich einige Studierende gewünscht, die Veranstaltung sogar noch auszuweiten und Inhalte zu vertiefen. Viele Studierende gaben auch als Rückmeldung, dass sie durch die Teilnahme an der Veranstaltung ihr eigenes Verhalten hinsichtlich der Umwelt ab sofort verändern möchten. Auch die didaktische Umsetzung und Angemessenheit wurde von den Studierenden insgesamt positiv bewertet. Besonders gut bewertet wurde die Interaktion und Betreuung durch die Lehrenden. Hier lobten die Studierenden z. B. auch den Einsatz der Lernvideos in der Veranstaltungsreihe. Die Lernvideos, deren Inhalte und Auswirkungen auf die Einstellungen und Handlungsweisen der Studierenden, reflektierten diese wie folgt:

„[...] Ein Lob übrigens nochmal für die Youtube-Videos. Sie haben mich tatsächlich sehr an die Sendung-mit-der-Maus-Videos von Christoph mit dem grünen Pullover erinnert, die ich früher (und auch eigentlich jetzt noch) immer sehr gern mochte. Die Videos waren wirklich sehr liebevoll ausgearbeitet.“

„[...] An dieser Stelle möchte ich auch ein kurzes Lob aussprechen. Man sieht und merkt, dass in dieses Projekt sehr viel Arbeit geflossen ist, angefangen bei den sehr coolen „Sendung mit der Maus“-Erklärvideos bis zu den gut gemachten Beispielen - vielen Dank dafür.“

„Nachdem ich das zur Verfügung gestellte Video auf ökologische Fehlverhalten analysiert habe, habe ich ebenfalls interessehalber mein Nutzerverhalten an verschiedenen Geräten analysiert. Dabei musste ich leider feststellen, dass auch ich elektrische Geräte wie beispielsweise den Wasserkocher nicht optimal nutze, indem ich den Wasserkocher zu viel Wasser für eine Tasse Tee oder Kaffee kochen lasse. [...]“

„Als ich das Video zu der Waschmaschine sah, habe ich mich selbst vor 5 Jahren dort stehen gesehen. Unwissend befüllte ich die Waschmaschine mit Waschmittel, ohne darüber nachzudenken, welche Umweltwirkungen dabei entstehen könnten. Ich habe mir damals keine Gedanken dazu gemacht, was beispielsweise mit dem Waschmittel nach dem Waschgang passiert. Durch Vorlesungsreihen, wie diese, fängt man als Mensch an darüber nachzudenken, wie umweltgerecht gehandelt werden kann. [...]“

„[...] Alles was im Video vorkam, gehörte einst auch zu meinen Alltag und das hat mir die Augen geöffnet. Ich weiss definitiv jetzt, wie ich einiges besser machen kann.“

Neben diesen positiven Rückmeldungen aus den Lerntagebucheinträgen und Fragebögen hat der LPE zudem nach der ersten prototypischen Durchführung der Veranstaltung zahlreiche Anfragen zur Betreuung von Masterarbeiten auf dem Gebiet der umweltgerechten Produktentwicklung erhalten. Auch dies zeigt das große Interesse der Studierenden an umweltgerechten und nachhaltigen Themen, dass im Rahmen der Veranstaltung adressiert werden konnte.

Die größten Herausforderungen in der Bearbeitung des Projekts resultierten aus den Einschränkungen, die in Verbindung mit der Corona-Situation standen. So waren, wie bereits beschrieben, keine (unbedingt notwendigen) Präsenzlehrveranstaltungen an der Ruhr-Universität Bochum durchzuführen und persönliche Treffen zu vermeiden. Dies erschwerte die Umsetzung des Konzepts und erforderte eine kostenneutrale Projektverlängerung, da für die geplanten praktischen Tätigkeiten vor Ort im DesignSpace und im EcoLab nun zusätzliche digitale Lösungen erarbeitet werden mussten. Dies beinhaltete z. B. die Zusammenstellung einer aufwendigen Fotodokumentation der Beispielprodukte sowie die Entwicklung und Umsetzung der Lernvideos. Außerdem musste das Konzept auch didaktisch verändert werden, um den Besonderheiten einer rein digitalen Lehrveranstaltung gerecht zu werden. So wurden verschiedene aktivierende Elemente (z. B. kurze Umfragen) umgesetzt, um die Studierenden vor den Bildschirmen miteinzubeziehen. Dennoch wurde durch das Onlineformat der Austausch zwischen den Studierenden selbst sowie mit den Lehrenden erschwert. Dies galt auch für die Zusammenarbeit mit den Projektpartner:innen. Nach den ersten zwei Projekttreffen vor Ort mussten der weitere Kontakt über Videokonferenzen, Telefonate und E-Mails umgesetzt werden. Dennoch zeigten die Projektpartner:innen und Beiratsmitglieder stets ein großes Interesse und Engagement hinsichtlich der Projektthemen. Dies zeigte sich z. B. durch Praxisvorträge (z. B. der Effizienzagentur NRW) und Rückmeldungen zu den Inhalten der Veranstaltung. Hervorzuheben ist hier auch die überaus positive Feedback zu den Inhalten des Projekts EcoING nicht nur von Projektpartner:innen und Beiratsmitgliedern selbst, sondern auch von allen Dritten, denen über das Projekt berichtet wurde. So entstanden durch den Austausch in Arbeitsgruppen und Workshops neue Möglichkeiten zur Kooperation und viele weitere interessante Kontakte. Leider wurden im Zuge der Corona-Pandemie viele Konferenzen, Symposien oder Workshops an denen der LPE teilnehmen wollte, abgesagt oder ausschließlich digital durchgeführt.

Dennoch möchten wir abschließend ein sehr positives Fazit zur Projektbearbeitung und den Projektergebnissen ziehen. Auch die Rückmeldungen anderer Lehrender und Dozierender fielen sehr positiv aus. Herr Dr.-Ing. Marcel Bartz, Leiter des Forschungsbereichs Maschinenelemente und Tribologie und Oberingenieur des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, hat bspw. bereits Inhalte der umweltgerechten Produktentwicklung (aus dem vorliegenden Projekt) auch in dortige Lehrveranstaltungen im Themenbereich der Maschinenelemente übernommen. Zurzeit werden weitere Gespräche mit Professor:innen verschiedener Hochschulen in Deutschland geführt, um zukünftig die Inhalte des entwickelten Veranstaltungskonzepts auch in weiteren Lehrveranstaltungen umzusetzen. Langfristig ist hier auch eine Verteilung bzw. Vernetzung der erstellten Inhalte mit anderen Hochschulen über das Netzwerk der WiGeP (Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung) angedacht.

LITERATURVERZEICHNIS

- Abel, M.; Czajkowski, S.; Faatz, L.; Metternich, J.; Tenberg, R.** (2013): Kompetenzorientiertes Curriculum für Lernfabriken, Ein didaktisch hinterlegtes Konzept für Lernfabriken. In: *wt Werkstatttechnik online*, 103 (3).
- Abele, E.; Anderl, R.; Birkhofer, H.; Rüttinger, B.** (2008): EcoDesign, Von der Theorie in die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. -ISBN: 978-3-540-75437-4.
- Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.** (Hg.) (2001): A taxonomy for learning, teaching, and assessing, A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York: Longman. -ISBN: 0-8013-1903-X.
- Beywl, W.; Schlepp-Winter, E.** (2000): Zielgeführte Evaluation von Programmen, Ein Leitfaden (Materialien zur Qualitätssicherung in der Kinder- und Jugendhilfe, Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (Hg.). Düsseldorf, zugegriffen am 01.09.2021.
- Birkhofer, H.; Schulze, K.; Zhao, S.; Sarnes, J.** (2018): Umweltgerechtes Konstruieren. In: *Handbuch Konstruktion*. 2. Aufl., Rieg, F. (Hg.), 599-620. München: Hanser.
- Blepp, M.; Bommer, E.; Quack, D.** (2013): PROSA Staubsauger für den Hausgebrauch, Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenen Umweltzeichen. Studie im Rahmen des Projekts "Top 100 - Umweltzeichen für klimarelevante Produkte", Öko-Institut e.V. (Hg.). Freiburg, veröffentlicht am 28.05.2013.
- Bortz, J.; Döring, N.** (2016): Forschungsmethoden und Evaluation, In den Sozial- und Humanwissenschaften. 5. Aufl. Berlin: Springer-Verlag.
- Bortz, J.; Lienert, G. A.; Boehnke, K.** (2008): Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, Mit 247 Tabellen. 3. Aufl. Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch Bachelor, Master).
- Brandstetter, D.** (2012): Komplementäre Ingenieurausbildung, Eine hochschuldidaktische Aktionsforschung als Lern- und Veränderungsprozess am Beispiel der Soft Skills-Lehre an einer ingenieurwissenschaftlichen Fakultät. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität.
- coactum GmbH** (2022): PINGO. Verfügbar unter <https://www.stylebook.de/life/stofftasche-plastiktüte-tipps-zur-nachhaltigkeit>, veröffentlicht am 2022, zugegriffen am 21.03.2022.
- Cohen, J.** (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2. Aufl. Hillsdale, NJ: Erlbaum. -ISBN: 0-8058-0283-5.
- Crawley, E. F.; Malmqvist, J.; Lucas, W. A.; Brodeur, D. R.** (2011): The CDIO Syllabus v2.0, An Updated Statement of Goals for Engineering Education. In: *Proceedings of the 7th International CDIO Conference, Technical University of Denmark, Copenhagen, June 20-23, 2011*.
- Dannheim, F.** (1999): Die Entwicklung umweltgerechter Produkte im Spannungsfeld von Ökologie und Ökonomie, Eine Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Nutzungsphase. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 1999. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1, Konstruktionstechnik, Maschinenelemente: 320). -ISBN: 3183320010.
- DIN-Fachbericht ISO/TR 14062:2002:** Umweltmanagement, Integration von Umweltaspekten in Produktdesign und -entwicklung. Berlin, Wien, Zürich: Beuth.
- Ertel, H.** (2008): Lehre, Lernen und Assessment. In: *Lernprozesse fördern an der Hochschule: Beiträge aus der hochschuldidaktischen Praxis*. 1. Aufl., Wehr, S. und Ertel, H. (Hg.), S. 13–46. Bern: Haupt.

- Frei, M.** (1999): Öko-effektive Produktentwicklung, Grundlagen - Innovationsprozess - Umsetzung. Wiesbaden: Gabler. -ISBN: 978-3-409-11425-7.
- Gläser-Zikuda, M.; Hascher, T.** (Hg.) (2007): Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und beurteilen, Lerntagebuch und Portfolio in Bildungsforschung und Bildungspraxis. Bad Heilbrunn: Klinckschardt. -ISBN: 978-3-7815-1531-4.
- Goßens, P.** (2016): Portfolioprüfung, Methodenblatt. In: *Wissen, was zählt: Ideen für die Lehre*. 2. Aufl., Interne Fortbildung und Beratung, Ruhr-Universität Bochum (Hg.), S. 116–17. Bönen: Druckerei Kettler.
- Hollenberg, S.** (2016): Fragebögen, Fundierte Konstruktion, sachgerechte Anwendung und aussagekräftige Auswertung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (essentials. doi: 10.1007/978-3-658-12967-5. -ISBN: 978-3-658-12966-8 .
- IBM Deutschland GmbH** (2022): IBM SPSS-Software. Verfügbar unter <https://www.ibm.com/de-de/analytics/spss-statistics-software>, zugegriffen am 30.03.2022.
- Kattwinkel, D.** (2022): Umweltgerechte Produktentwicklung - Systematische Entwicklung, Umsetzung und Evaluation eines Lehrveranstaltungs-konzepts in den Ingenieurwissenschaften. unv. Diss., Ruhr-Universität Bochum.
- Kattwinkel, D.; Bender, B.** (2020): Competences for the development of Ecodesign products. In: *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 1*, S. 1735–44.
- Kattwinkel, D.; Song, Y.-W.; Bender, B.** (2018): Analysis of Ecodesign and sustainable design in higher education. In: *Proceedings of the DESIGN 2018*, S. 2451–60.
- McAloone, T. C.; Pigosso, D. C.** (2021): Ökodesign, Entwicklung von Produkten mit verbesserter Ökobilanz. In: *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*, Bender, B. und Gericke, K. (Hg.), S. 975–1021. Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-57303-7.
- Moodle Pty Ltd.** (2021): Moodle. Verfügbar unter <https://moodle.com/>, zugegriffen am 20.09.2021.
- Moosbrugger, H.; Kelava, A.** (2011): Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In: *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. 2. Aufl., Moosbrugger, H. und Kelava, A. (Hg.), S. 8–26. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- Niegemann, H.; Domagk, S.; Hessel, S.; Hein, A.; Hupfer, M.; Zobel, A.** (Hg.) (2008): Kompendium multimediales Lernen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-540-37226-4.
- Oberender, C.** (2006): Die Nutzungsphase und ihre Bedeutung für die Entwicklung umweltgerechter Produkte. Düsseldorf: VDI Verlag (Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 1, Konstruktionstechnik/Maschinenelemente: nr. 385). -ISBN: 978-3-18-338501-0.
- Ouden, H. d.; Rottlaender, E.-M.** (2017): Hochschuldidaktik in der Praxis: Lehrveranstaltungen planen, Ein Workbook. Opladen, Toronto: Verlag Barbara Budrich (utb: 8719). -ISBN: 9783825287191.
- Rossi, M.; Germani, M.; Zamagni, A.** (2016): Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. In: *Journal of Cleaner Production*, 129, S. 361–73. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.04.051.
- Ruhr-Universität Bochum** (2021): Qualitätsmanagement in der Lehre, Weiterführende Informationen zur Lehrveranstaltungsbewertung. Ruhr-Universität Bochum. Verfügbar unter

http://www.uv.ruhr-uni-bochum.de/dezernat1/aufgaben/abteilung1/qmp/instrumente/lvb/inst_lvb_infos.html, veröffentlicht am 02.07.2021, zugegriffen am 09.10.2021.

- Schaper, N.; Hilkenheimer, F.** (2013): Umsatzhilfen für kompetenzorientiertes Prüfen. nexus, veröffentlicht am 2013, zugegriffen am 02.05.2021.
- Seel, N. M.** (1999): Instruktionsdesign: Modelle und Anwendungsgebiete. In: *Unterrichtswissenschaft*, 1 (27), S. 2–11.
- Terkowsky, C.; Frye, S.; Haertel, T.; May, D.; Wilkesmann, U.; Jahnke, I.** (2018): Technik- und Ingenieurdidaktik in der hochschulischen Bildung. In: *Technikdidaktik: Eine Bestandsaufnahme.*, Pittich, D., Zinn, B. und Tenberg, R. (Hg.), S. 87–97. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Tischner, U.; Moser, H.** (Hg.) (2015): Was ist Ecodesign, Praxishandbuch für Ecodesign inklusive Toolbox. 1. Aufl. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. -ISBN: 978-3-9808710-1-3.
- Venn, M.** (2011): Lerntagebücher in der Hochschule. In: *journal hochschuldidaktik*, (1), zugegriffen am 08.01.2021.
- Zhao, S.** (2013): Integriertes Management von ökonomischen und ökologischen Produkteigenschaften, Eine EcoDesign-Methodik für kleine und mittlere Unternehmen. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2012. Düsseldorf: VDI-Verl. (Berichte aus dem Fachgebiet Produktentwicklung und Maschinenelemente der TU Darmstadt: 419). -ISBN: 978-3-18-341901-2.
- Zoom Video Communications, Inc.** (2022): zoom. Verfügbar unter <https://zoom.us/>, veröffentlicht am 2022, zugegriffen am 21.03.2022.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Geplantes Layout des DesignSpaces (oben) und des EcoLabs (unten)	2
Abbildung 2-1: Aufteilung der Arbeitspakete auf die Projektjahre	4
Abbildung 2-2: Vorgehen in der Aufgaben- und Wissensanalyse	7
Abbildung 2-3: Ergebnisse der Umfrage aus dem Sommersemester 2020 von Studierenden des Faches "Methoden der integrierten Produktentwicklung"	8
Abbildung 2-4: Ergebnisse der Umfrage aus dem Wintersemester 2019/2020 von Studierenden der Fakultät Maschinenbau.....	10
Abbildung 2-5: Übersicht der Systematisierung des Maßnahmenkatalogs.....	11
Abbildung 2-6: Die zentralen Aufgaben der umweltgerechten Produktentwicklung	13
Abbildung 2-7: Übersicht des Veranstaltungskonzepts und Aufteilung der Sitzungsstunden.....	14
Abbildung 2-8: Analyse der Umweltwirkungen am Beispiel des Bodenstaubsaugers	16
Abbildung 2-9: Entwicklung des verbesserten Produktkonzepts am Beispiel der Waschmaschine	17
Abbildung 2-10: Übersicht beispielhafter Vorlesungs- und Übungsfolien.....	19
Abbildung 2-11: Verschiedene Darstellungen des Mahlwerks des verwendeten Kaffeevollautomaten	20
Abbildung 2-12: Ausschnitte des Lernvideos zur Nutzung des Bodenstaubsaugers	21
Abbildung 2-13: Blick in die Räumlichkeiten des DesignSpace und des EcoLabs	22
Abbildung 2-14: EcoLab an der Ruhr-Universität Bochum	23
Abbildung 2-15: DesignSpace an der Ruhr-Universität Bochum	23
Abbildung 3-1: Beispiele der ökologischen Verbesserungen des Bodenstaubsaugers	25
Abbildung 3-2: Beispiele der ökologischen Verbesserungen der Waschmaschine	25
Abbildung 3-3: Beispiele der ökologischen Verbesserungen des Kaffeevollautomaten	26
Abbildung 3-4: Auswertung der Struktur und der Anforderungen der Veranstaltung.....	30
Abbildung 3-5: Auswertung der Didaktik und Methoden der Veranstaltung	30
Abbildung 3-6: Auswertung der Interaktion und Betreuung der Veranstaltung	30
Abbildung 3-7: Auswertung der studentischen Selbstreflexion und des Lernerfolgs	30
Abbildung 3-8: Die Zusammensetzung der Stichprobe n	32
Abbildung 3-9: Auswertung der Einstellungen, des Wissens, der Fertigkeiten und Kompetenzen vor und nach der Teilnahme an der Veranstaltungsreihe (T1 und T2).....	33
Abbildung 4-1: Ausschnitt des Videopräsentation für die ICED 2021	36


TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Rangfolge der Kompetenzen des CDIO als Ergebnis aus der Literaturanalyse und den Befragungen.....	6
Tabelle 2-2: Kognitive und affektive Lernziele für die Lehrveranstaltung.....	9
Tabelle 3-1: Ergebnisse der Signifikanzuntersuchung zum Zeitpunkt T1 und T2 von Fragebogenteil B	34

ANHANG A – UNTERSTÜTZENDE FORMBLÄTTER⁷⁷


Formblatt – Umweltwirkungen im Produktlebenszyklus

Werkstoffherstellung	Produktion	Nutzung	Recycling / Entsorgung	Logistik	Allgemeine Umweltwirkungen
Produkt:	Unternehmen:	Bearbeitung durch:	Datum / benötigte Dauer:		


 DANIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG I SS21

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM **RUB**

Formblatt – Stakeholder-Netzwerk



Produkt:	
Unternehmen:	
Bearbeitet durch:	
Datum / benötigte Zeit:	
Signalfluss	- - - ->
Materialfluss	====>
Energiefluss	====>
Signifikante Umweltwirkungen	⚡
Fokusbereiche	★

 DANIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG I SS21

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM **RUB**

⁷⁷ Siehe Kattwinkel (2022), S.185ff.

Formblatt – Umsatzorientiertes Funktionsmodell

Produkt:	
Unternehmen:	
Bearbeitet durch:	
Datum / benötigte Zeit:	
Signalfluss	--->
Materialfluss	====>
Energiefluss	====>
Signifikante Umweltwirkungen	⚡

DANIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG | SS21

 RUB

Formblatt – Analyse des Nutzungskontextes

Produkt:		Unternehmen:	
Zielgruppe	Nutzungsdauer / Lebensdauer	Nutzungshäufigkeit	Mehrwert für den Nutzer
Bearbeitet durch:		Datum / benötigte Zeit:	

DANIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG | SS21

 RUB

Formblatt – Versuchsprotokoll der Produktnutzung



Thema:		Video zur Nutzung der Beispielprodukte			
Produkt:					
Beobachtungen	Tätigkeiten in den Teilphase:	Identifiziertes (ökologisches) Fehlverhalten:			
Phasen während der Nutzung	Vorbereitung:				
	Einsatz:				
	Nachbereitung:				
Sonstiges (z.B. Produkteigenschaften)					
Bearbeitet durch:		Datum und benötigte Zeit:		Unternehmen:	

DANIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG | SS21

 RUB

Formblatt – Nutzungs-FMEA



Nutzungs-FMEA		Produkt:		Unternehmen:	Bearbeitet durch:	Datum / benötigte Zeit:	
Prozess	Fehlverhalten	Sachbilanzfolge		Menschbezogene Ursache	Bewertung		Maßnahme
		En	Stoff		Auftritts WS	Bedeutung	

 DANIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG I SS21  RUB

Formblatt – Use-Phase-Analysis Matrix N

UPA-Matrix N	Prozesse	Material		Energie		Einfluss des Nutzers
		Art	Menge	Art	Menge	
Inbetriebnahme						
Vorbereitung						
Einsatz						
Nachbereitung						
Wartung / Reparatur						



Produkt: _____ | Unternehmen: _____ | Blattnr.: _____ | I = Input, O = Output | Datum / benötigte Zeit: _____ | Bearbeitung durch: _____

 DANIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG I SS21  RUB

Formblatt – Umweltwirkungen in der Nutzungsphase


Inbetriebnahme	Vorbereitung	Einsatz	Nachbereitung	Wartung / Reparatur	Allgemeine Umweltwirkungen


Unternehmen: _____ | Produkt: _____ | Bearbeitet durch: _____ | Datum / benötigte Dauer: _____

 DANIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG I SS21  RUB

Formblatt – Auswahl von Maßnahmen


Ökologische Schwachstellen	Maßnahmen zur Lösung der Schwachstellen (aus dem Maßnahmenkatalog)					Mögliche (konstruktive) Umsetzung der Maßnahmen im Produkt
	1. Ebene	2. Ebene	3. Ebene	4. Ebene	5. Ebene	
1.						
2.						
3.						
Produkt:		Unternehmen:		Bearbeitung durch:		Datum / Dauer:



 DAVIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG | SS21


RUB

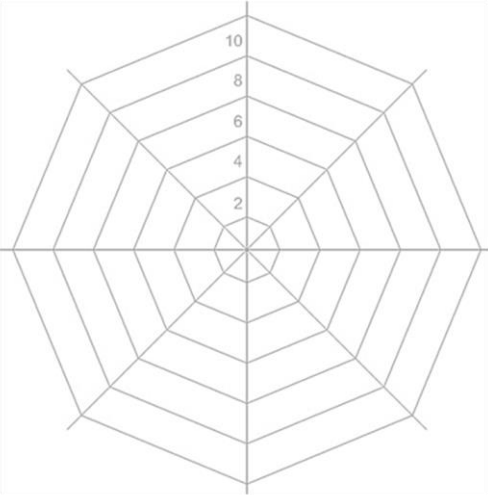
Formblatt – Bewertung der Maßnahmen

Maßnahme	Mögliche konstruktive Umsetzung der Maßnahme	Lösung, welcher identifizierten ökol. Schwachstellen	Vorteile (mind. 2)	Nachteile (mind. 2)	Begründung für eine und gegen zwei Maßnahmen
1.					
2.					
3.					
Produkt:		Unternehmen:		Bearbeitet durch:	
				Datum / Dauer:	



 DAVIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG | SS21



RUB

Formblatt – Umweltziele




Produkt:	
Unternehmen:	
Bearbeitet durch:	
Datum / benötigte Zeit:	



 DAVIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG | SS21


RUB

Formblatt – Auswirkungen der Entscheidungen (1)


Veränderte Eigenschaften		Konstruktive Veränderungen zur Verbesserung der Umweltwirkungen in der Nutzungsphase:	Veränderte Merkmale	
Welche Produkteigenschaften verändern sich aufgrund Ihres verbesserten Produktkonzeptes?			Welche Produktmerkmale verändern sich aufgrund Ihres verbesserten Produktkonzeptes?	
Sind diese Veränderungen positiv oder negativ (für die Umweltwirkungen)?				
Wie können Sie negative Veränderungen mindern?				
Produkt:	Unternehmen:	Bearbeitet durch:	Datum / benötigte Dauer:	



 DAWIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG I SS21



Formblatt – Auswirkungen der Entscheidungen (2)

Phasen	Material-gewinnung	Herstellung	Nutzung	Recycling	Entsorgung
Welche Prozesse verändern sich und wie?			Konstruktive Veränderungen zur Verbesserung der Umweltwirkungen in der Nutzungsphase:		
Welche Energie- und Materialflüsse verändern sich in den anderen Phasen?					
Sind diese Veränderungen positiv oder negativ (für die Umweltwirkungen)?					
Wie können Sie negative Veränderungen mindern?					
Produkt:	Unternehmen:		Bearbeitet durch:	Datum / benötigte Dauer:	


 DAWIELA KATTWINKEL | METHODEN DER INTEGRIERTEN PRODUKTENTWICKLUNG I SS21



ANHANG B – ÜBERSICHT DER INHALTE DES LEHRVERANSTALTUNGSKONZEPTES⁷⁸⁷⁹

Inhalte	Erforderliches Wissen	Erforderliche Fertigkeiten	Lernaufgaben	Methoden / Instrumente	Benötigte Materialien	Lernaktivitäten	Leitfragen	Lernziel
1 - Einführungsveranstaltung								
Einführung	-	-	-	-	Präsentationsfolien, Vorstellung der drei ausgearbeiteten Lernszenarien, Aufteilung in Gruppen, Abstimmungen (z. B. per Zoom oder Pingo), Video "Ein Gesetz für faire Lieferketten"	Meist rezeptives Verhalten, Beantwortung der Abstimmungsfragen, Erste Gruppenarbeit und Diskussion	-Was bedeutet umweltgerechte Produktentwicklung und Ecodesign? -Was ist Nachhaltigkeit? -Was sind Gründe für Ihr Unternehmen eine umweltgerechte Produktentwicklung umzusetzen? -Was sind Umweltwirkungen?	KL-1
Zentrale Begrifflichkeiten	Produktlebensweg, Produktentwicklungsprozess, Nachhaltigkeit, Sustainable Design, Modelle der Nachhaltigkeit, Ecodesign, Umweltgerechtigkeit, Umweltwirkungen, Methoden der umweltgerechten Produktentwicklung, Gründe für die Integration von Nachhaltigkeit, Gesetze und Richtlinien	Beschreibung und Definition der Fachbegriffe und Herausforderungen		Berechnung des persönlichen Footprints mit dem WWF-Klimarechner, Abfrageinstrument, Endgerät mit Internetzugang				
2 - Analyse der Umweltwirkungen im Produktlebensweg								
Produktlebensweg	Prozesse und wesentliche Umweltwirkungen in der Werkstoffherstellung, in der Produktion, in der Nutzung, im Recycling / der Entsorgung, Logistik per Schiff, Zug, Flugzeug, LKW und PKW, Vertrieb, Wiederverwendung, Weiterverwendung, Wiederverwertung	Definition der Begriffe, Interpretation einer Ökobilanz (LCA), Kurzbilanzierungen; Analyse der Umweltwirkungen	Analyse des Produktlebensweg eines Beispielprodukts und der damit verbundenen Umweltwirkungen	Brainstorming, Gruppendiskussion, Formblatt: Analyse der Umweltwirkungen im Produktlebensweg, Recherche	Präsentationsfolien, Produktspezifikationen, Ökobilanzen, Formblätter zur Ergebnissicherung, Endgerät mit Internetzugang	Gruppenarbeit und Diskussion, Analyse der ausgehändigte Ökobilanzen, Recherche, Dokumentation der Ergebnisse	-Wo im Produktlebensweg entstehen Umweltwirkungen? -Wie verteilen sich die Umweltwirkungen in den Produktlebenswegphasen der Herstellung, Nutzung und der Entsorgung?	KL-2
Kurzbilanz	Funktionale Einheit des Produkts, Materialien und Mengen, Lebenslaufprozesse, Nutzungs- und Entsorgungsszenarios, Sachbilanzdaten	Quantifizierung der Mengen, Festlegen der Systemgrenze, Anfertigung einer Kurzbilanz, Umgang mit entsprechender Software	Anfertigung einer vereinfachten Ökobilanz (mit Hilfestellungen) für ein einfaches Produktbeispiel	Software Ecocockpit, GEMIS, Endgerät mit Internetzugang	Produktdatenblätter, PC mit Internetzugang	Erstellung einer vereinfachten Ökobilanz am PC, Diskussion der Ergebnisse und Besonderheiten	-Wie entstehen diese Umweltwirkungen? -Wie können diese Umweltwirkungen gemessen werden?	

⁷⁸ Die vorgestellte Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und muss entsprechend des jeweiligen Anwendungsfalls angepasst werden.

⁷⁹ Siehe Kattwinkel (2022), S.190ff.

Inhalte	Erforderliches Wissen	Erforderliche Fertigkeiten	Lernaufgaben	Methoden / Instrumente	Benötigte Materialien	Lernaktivitäten	Leitfragen	Lernziel
3 - Analyse der Stakeholder und der Austauschbeziehungen								
Stakeholder	Prozesse im Produktlebensweg und daran beteiligte Stakeholder (Hersteller, Komponentenzulieferer, externe Produktdesigner:innen, Staat, Behörden, Kunden:innen, Nutzer:innen, Entsorgungsunternehmen etc.)	Analyse der Prozesse im Produktlebensweg, Identifikation relevanter Stakeholder	Identifikation der relevanten Stakeholder, Graphische Darstellung der Wechselwirkungen, Informations- und Materialflüsse sowie daraus resultierenden Umweltwirkungen in einem Stakeholder-Netzwerk, Priorisierung der Umweltwirkungen bzw. Stakeholder	Brainstorming, Formblatt: Stakeholder-Netzwerk, Recherche	Präsentationsfolien, Zutreffende Gesetze, Richtlinien, Hilfezettel zur Erstellung eines Stakeholder-Netzwerks am Beispiel der Küchenmaschine, Formblätter zur Ergebnissicherung, Endgerät mit Internetzugang	Gruppenarbeit, Recherche, Anfertigung des Stakeholder-Netzwerks und Diskussion	-Was sind Stakeholder? -Welche Stakeholder können Ihnen bei der Verbesserung der Umweltwirkungen Ihres Produkts helfen? -Welche Umweltanforderungen sollten Ihre Lieferanten und die Werkstoffhersteller zukünftig erfüllen? -Was erwarten die Kund:innen in Bezug auf die Umweltwirkungen Ihres Produkts?	KL-3
Austausche	Informationsaustausche, Materialflüsse, rechtliche Rahmenbedingungen, Unternehmensvorgaben	Erkennen der Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den Stakeholdern; Zusammenstellung der Informationsaustausche, Materialflüsse und den daraus resultierenden Umweltwirkungen; Graphische Darstellung des Netzwerks						
Umweltwirkungen	Umweltwirkungen aus dem Stakeholder-Netzwerk	Bewertung und Priorisierung der Umweltwirkungen aus den Wechselbeziehungen		Gruppendiskussion				
Lerntagebuch 1								AL-2

Inhalte	Erforderliches Wissen	Erforderliche Fertigkeiten	Lernaufgaben	Methoden / Instrumente	Benötigte Materialien	Lernaktivitäten	Leitfragen	Lernziel
4 - Analyse der Funktionen und des Nutzungskontexts								
Aufgaben	Aufgaben des Produkts, technische und physikalische Grundlagen, technologische Prinzipien, Wirkprinzipien, physikalische Effekte	Identifikation und Beschreibung der Ziele der Produktnutzung, Identifikation und Beschreibung der zentralen Aufgaben des Produkts, Demontage des Produkts	Identifikation der zentralen Aufgaben	Brainstorming, Gruppendiskussion, Analyse des demontierten Produkts	Präsentationsfolien, Beispielprodukte, Werkzeuge zur Demontage oder Fotos des demontierten Produkts, Produktspezifikationen, PROSA-Analysen	Gruppenarbeit, Analyse des Produkts evtl. durch Demontage, Anfertigung eines umsatzorientierten Funktionsmodells und Diskussion	-Welche Energie-, Material- und Signalflüsse gibt es in Ihrem Produkt? -Welche Funktionen verursachen die größten Umweltwirkungen?	KL-4
Funktionen	Funktionen, Hierarchisierung von Funktionen, Funktionsbeschreibungen, Aufbau und Elemente umsatzorientierter Funktionsmodelle	Definition der Begriffe, Beschreibung von Funktionen, Formulierung von umsatzorientierten Funktionsmodellen	Identifikation der Funktionen des Produkts, Erstellung eines umsatzorientierten Funktionsmodells	Funktionsmodellierung, Formblatt: Funktionsmodell, Abfrageinstrument	Präsentationsfolien, Abstimmungen (z. B. per Zoom oder Pingo), Rückblick auf Funktionen, Funktionsmodelle, Hilfezettel zur Erstellung eines umsatzorientierten Funktionsmodells am Beispiel der Küchenmaschine, Formblätter zur Ergebnissicherung			
Umweltwirkungen	Umweltwirkungen der Funktionen	Bewertung und Priorisierung der Umweltwirkungen der Funktionen	Identifikation der Funktionen mit den größten Umweltwirkungen	Gruppendiskussion				

Inhalte	Erforderliches Wissen	Erforderliche Fertigkeiten	Lernaufgaben	Methoden / Instrumente	Benötigte Materialien	Lernaktivitäten	Leitfragen	Lernziel
4 - Analyse der Funktionen und des Nutzungskontexts								
Nutzungskontext	Nutzer:innen, Zielgruppen, Wertschöpfung für die Kund:innen, Kundennutzen, Nutzungsdauer, Nutzungshäufigkeit, Nutzungsphase, Nutzerverhalten, Nutzereinfluss, Zusammenhänge in technischen Systemen, Lebensdauer, Obsoleszenz	Definition der Begriffe, Identifikation von Zielgruppen, Beschreibungen von Nutzergruppen; Analyse des Produktnutzens und der Wertschöpfung, Beschreibung und Quantifizierung der Nutzungsdauer, -häufigkeit und Lebensdauer	Beschreibung der Zielgruppe für das Produkt, Beschreibung und Quantifizierung der Nutzungsdauer, Nutzungshäufigkeit und Lebensdauer	Brainstorming, Gruppendiskussion, Formblatt: Nutzungskontext, Recherche	Präsentationsfolien, Hilfezettel zur Festlegung des Nutzungskontexts am Beispiel der Küchenmaschine, PROSA-Analysen, Formblätter zur Ergebnissicherung, Endgerät mit Internetzugang	Gruppenarbeit, Recherche der Werte, Bearbeitung des Formblattes, Diskussion	-Wer benutzt das Produkt für wie lange und wie oft? -Welchen Mehrwert stiftet das Produkt für die Nutzer:innen?	KL-4
Fehlverhalten	Bedienung der Beispielprodukte	Beobachtungen der Produktnutzung, Nutzungsphase, Protokollanfertigung	Reale Nutzung der Produkte, Anschauen der Lernvideos, Beobachtung und Dokumentation des gesamten Nutzungsvorgangs, Identifikation eines möglichen ökologischen Fehlverhaltens	Praktische Versuche, Video, Formblatt: Versuchsprotokoll-Produktnutzung	Beispielprodukte, Lernvideos Formblatt: Versuchsprotokoll-Produktnutzung	Gruppenarbeit, reale Nutzung der Produkte, Anschauen der Lernvideos, Beobachtung bzw. Dokumentation, Bearbeitung des Formblattes, Diskussion	-Welches Fehlverhalten während der Nutzung Ihres Produkts verursacht die größten Umweltwirkungen?	
Nutzungs-FMEA	Ökologisches Fehlverhalten, Ökologische Nutzungsprobleme, Effektivitäts-bzw. Aufgabenstellungsprobleme, Funktionsprozess, Optimalverhalten, Fehlverhalten, Realverhalten, FMEA, Nutzungs-FMEA	Definition der Begriffe, Analyse des Fehlverhaltens, Abschätzen der Konsequenzen auf die Umweltwirkungen (Energie- und Stoffverbrauch), Identifikation menschbezogener Ursachen, Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit und der Bedeutung, Aufstellen von Maßnahmen	Durchführung einer Nutzungsphasen FMEA	Formblatt: Nutzungsphasen-FMEA, Gruppendiskussion	Präsentationsfolien, Hilfezettel zur Durchführung der Nutzungs-FMEA am Beispiel der Küchenmaschine, Formblätter zur Ergebnissicherung	Gruppenarbeit, Bearbeitung einer Nutzungsphasen FMEA	-Was sind die größten Nutzungsfehler der Nutzer:innen? -Welche Maßnahmen sollten aus welchen Gründen umgesetzt werden?	
Lerntagebuch 2								AL-2

Inhalte	Erforderliches Wissen	Erforderliche Fertigkeiten	Lernaufgaben	Methoden / Instrumente	Benötigte Materialien	Lernaktivitäten	Leitfragen	Lernziel
5 - Analyse der Umweltwirkungen in der Nutzungsphase								
Umweltwirkungen in den Teilphasen der Nutzungsphase	Prozesse in der Inbetriebnahme, beim Vorbereiten des Einsatzes, beim Einsatz, beim Nachbereiten, bei der Wartung / Reparatur, beispielhafte Ausprägungen der Prozesse, Transportprozesse, mögliche Einflussnahme durch die Produktentwicklung oder das Nutzerverhalten	Definition der Begriffe, Analyse der Umweltwirkungen in der Inbetriebnahme, beim Vorbereiten des Einsatzes, beim Einsatz, beim Nachbereiten des Einsatzes, bei der Wartung / Reparatur; Verständnis über Prozesse, Ausprägungen und Umweltwirkungen	Identifikation der Umweltwirkungen in den Teilphasen der Nutzungsphase	Brainstorming, Formblatt: Umweltwirkungen in der Nutzungsphase	Präsentationsfolien, Hilfezettel zur Durchführung des Brainstormings am Beispiel der Küchenmaschine, Formblätter zur Ergebnissicherung	Gruppenarbeit, Brainstorming zu den Umweltwirkungen in den Teilphasen der Nutzungsphase	<ul style="list-style-type: none"> -In welcher Teilphase der Nutzungsphase entstehen bei Ihrem Produkt die größten Umweltwirkungen und warum? -In welchem Prozess einer Teilphase entstehen bei Ihrem Produkt die größten Umweltwirkungen und warum? - Wissen die Nutzer:innen welche Umweltwirkungen sie kaufen? Wie können sie dies im Rahmen der Produktentwicklung beeinflussen? - Liegen die Hauptumweltwirkungen Ihres Produkts im Material- oder Energieverbrauch oder in einem anderen Bereich? 	KL-5
Allgemeine Umweltwirkungen	Allgemeine Umweltwirkungen z. B. soziale Unternehmensverantwortung, Produktlebensdauer, Obsoleszenz, Produkt-Service Systeme	Verständnis von Umweltwirkungen und Analyse allgemeiner Umweltwirkungen						
Use-Phase-Analysis Matrix N	Funktionelle Einheit, Haushaltgröße, Produktfunktionen, Nutzerinformationen, Lebensdauer, Prozesse der Inbetriebnahme, der Vorbereitung, des Einsatzes, der Nachbereitung, der Wartung / Reparatur, Art und Menge von Material- und Energieverbräuchen, Einfluss des Nutzers, ökologisches Fehlverhalten, UPA-Matrix, UPA-Checkliste	Festlegung der Systemgrenze, Festlegung und definieren der funktionellen Einheit, Ableitung der detaillierten produktspezifischen Nutzungsprozesse der Nutzungsteilphasen, Ermittlung und Quantifizierung der Art und Menge von Material- und Energieverbräuchen durch Literaturrecherche, Experimente oder theoretische Überlegungen, Ermittlung des Nutzereinflusses auf die Nutzungsprozesse	Durchführung einer UPA Matrix N für das Beispielprodukt, Ermittlung und Quantifizierung der Art und Menge der Material- und Energieverbräuche, Ermittlung der Nutzereinflüsse auf die Prozesse, Ermittlung von ökologisch kritischen Prozessen, Identifikation der maßgeblichen ökologischen Schwachstellen in der Nutzungsphase	Formblatt: UPA Matrix N, UPA Checkliste, Brainstorming, Experimente, Recherche	Präsentationsfolien, Hilfezettel zur Durchführung der UPA Matrix am Beispiel der Küchenmaschine, UPA Checkliste, PROSA-Analysen, Protokolle der Produktnutzung, Formblätter zur Ergebnissicherung, Endgerät mit Internetzugang, Materialien zur Durchführung der Experimente	Gruppenarbeit, Bearbeitung einer UPA-Matrix N, Recherche der Sachbilanzdaten oder eigene Experimente zu den Material- und Energieverbräuchen und Lebensdauern in den Teilphasen der Nutzungsphase	<ul style="list-style-type: none"> -Wie haben Ihnen die UPA-Matrix N und die UPA-Checkliste geholfen ökologische Schwachstellen in Ihrem Produkt zu ermitteln? - Wer in Ihrem Unternehmen sollte für umweltrelevante Verbesserungen in der Produktentwicklung verantwortlich sein? -Wie können diese Personen im Unternehmen erkennbar/bekannt gemacht werden? 	
Lerntagebuch 3								AL-2

Inhalte	Erforderliches Wissen	Erforderliche Fertigkeiten	Lernaufgaben	Methoden / Instrumente	Benötigte Materialien	Lernaktivitäten	Leitfragen	Lernziel
6 - Entwicklung von Produktkonzepten und Umweltzielen								
Auswahl von Maßnahmen	Ökologische Schwachstellen und ökologische Stellhebel, Sachbilanzdaten, Funktionen, Umweltwirkungen der einzelnen Phasen im Produktlebensweg, der Stakeholder, der Austauschbeziehungen und der Funktionen des Produkts, mögliches ökologisches Fehlverhalten, Umweltwirkungen in den Teilphasen der Nutzungsphasen und der einzelnen Prozesse	Identifikation der größten ökologischen Schwachstellen und Stellhebel, Umgang mit dem Maßnahmenkatalog, Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltwirkungen; Analyse der Maßnahmen, Umsetzung der Maßnahmen in Produktkonzepten	Ausarbeiten von drei Maßnahmen pro Beispielprodukt, Überlegung zur Umsetzung bzw. Untersuchung der Maßnahmen; Entwicklung von verbesserten Produktkonzepten	Brainstorming, Checklisten, Maßnahmenkatalog, Experimente, Formblatt: Auswahl der Maßnahmen, Recherche	Präsentationsfolien, Maßnahmenkatalog, Beispielprodukte, Werkzeuge, Hilfsmittel zur Durchführung der Experimente, PC, Software, Hilfefzettel zur Auswahl der Maßnahmen am Beispiel der Küchenmaschine, Formblätter zur Ergebnissicherung	Gruppenarbeit, Demontage und Analyse der Beispielprodukte, Recherche zur Umsetzung der Maßnahmen, Experimente und Untersuchungen zur Realisierung der Maßnahmen	-Welche zentralen ökologischen Schwachstellen konnten sie im Rahmen Ihrer bisherigen Analysen identifizieren? -Welche Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltwirkungen eignen sich besonders für Ihr Produkt und warum? -Welche Maßnahme möchten sie wie konstruktiv umsetzen? -Wie können die verbesserten Umweltwirkungen gezielt im Marketing genutzt werden?	KL-6
Bewertung der Konzepte	Ökologische Schwachstellen und ökologische Stellhebel, Sachbilanzdaten, Funktionen, Fehlernutzung	Bewertung der entwickelten Produktkonzepte und Auswahl des vielversprechendsten Konzepts	Identifikation der Vor- und Nachteile der Strategien, Auswahl einer Strategie und Begründung der Entscheidung	Gruppendiskussion, Formblatt: Bewertung der Maßnahmen, Recherche	Präsentationsfolien, Hilfefzettel zur Bewertung der Maßnahmen am Beispiel der Küchenmaschine, Formblätter zur Ergebnissicherung, Endgerät mit Internetzugang			
Festlegung von Umweltzielen	Ökologische Schwachstellen und ökologische Stellhebel, Sachbilanzdaten, Funktionen, Umweltwirkungen der einzelnen Phasen im Produktlebensweg, der Stakeholder, der Austauschbeziehungen und der Funktionen des Produkts, mögliches ökologisches Fehlverhalten, Umweltwirkungen in den Teilphasen der Nutzungsphasen und der einzelnen Prozesse, verbessertes Produktkonzept, Unternehmensorganisation, Arten von Umweltzielen	Definition der Begriffe, Zusammenstellung und Beurteilung der identifizierten ökologischen Schwerpunkte, Stellhebel und Treiber; Festlegung von zu erreichenden Zielen für die Umweltprioritäten und Auswahl einer geeigneten Messskala, Graphische Darstellung; Festlegung von Verantwortlichkeiten in der Organisation	Festlegung von Ziele für die ökologische Produktverbesserungen basierend auf allen bisher erarbeiteten Informationen; Auswahl von Kategorien für diese Ziele, Graphische Darstellung in einem Spinnendiagramm, Vergleich des Ausgangsprodukts mit dem verbesserten Produktkonzept	Gruppendiskussion, Formblatt: Spinnendiagramm	Präsentationsfolien, Hilfefzettel zur Erstellung des Spinnendiagramms am Beispiel der Küchenmaschine, Formblätter zur Ergebnissicherung	Gruppenarbeit, Bearbeitung des Spinnendiagramms	-Welche Umweltwirkungen, die aus den Tätigkeiten, Produkten und Dienstleistungen des Unternehmens resultieren, sollte Ihr Unternehmen aktuell bei der Festlegung von Umweltzielen berücksichtigen? -Welche Umweltziele sollte Ihr Unternehmen für sich und für das verbesserte Produkt festlegen und warum? -Wie kann eine umweltgerechte und nachhaltige Produktentwicklung langfristig im Unternehmen integriert werden?	KL-7
Lerntagebuch 4								AL-2

Inhalte	Erforderliches Wissen	Erforderliche Fertigkeiten	Lernaufgaben	Methoden / Instrumente	Benötigte Materialien	Lernaktivitäten	Leitfragen	Lernziel
7 - Bewertung der Maßnahmen								
Auswirkungen der Produktverbesserungen	Produktlebensweg, Produktlebenswegphasen, Produktfunktionen, Sachbilanzdaten, Produkteigenschaften, Produktmerkmale	Bewertung des ausgewählten Produktkonzepts, Analyse der Auswirkungen der veränderten Produkteigenschaften auf andere Eigenschaften oder Lebenswegphasen sowie die damit verbundenen Umweltwirkungen	Analyse der Auswirkungen der getroffenen Entscheidungen zur Verbesserung der Umweltwirkungen der Produkte, Analyse der Auswirkungen auf die Produktmerkmale und Produkteigenschaften sowie auf die Produktlebenswegphasen, Beurteilung der veränderten Prozesse, der veränderten Energie- und Materialflüsse	Gruppendiskussion, Formblatt: Auswirkungen der Entscheidungen 1 + 2, Recherche	Präsentationsfolien, Werkzeuge zur Demontage, Hilfefzettel zur Analyse der Auswirkungen am Beispiel der Küchenmaschine, Formblätter zur Ergebnissicherung, Endgerät mit Internetzugang	Gruppenarbeit, Demontage und Analyse der Beispielprodukte, Recherche zu den Auswirkungen, Experimente und Untersuchungen der Auswirkungen	-Wie verändern sich die Umweltwirkungen in den Lebenswegphasen vor und nach der Nutzungsphase durch Ihre (konstruktiven) Veränderungen im Produkt? -Welche Systemeigenschaften verändern sich wie durch Ihre (konstruktiven) Veränderungen im Produkt?	KL-8
8 – Umweltgerechte Gestaltung und Dokumentation								
Produktkonzept	Alle bisher genannten	Zusammenstellung der bisherigen Ergebnisse und Detaillierung des ausgewählten Konzepts	Ausgestaltung des Produktkonzepts ggf. realer oder virtueller Prototypen des Systems, des Produkts oder einer Komponente	Gruppendiskussion	evtl. Prototypenbau aus Papier, Karton, Lego, 3 D Druck Filament, Werkzeug, Kleber, CAD Programm	Ausarbeitung des Produktkonzepts (mittels Fotos, techn. Zeichnungen oder einem Prototypenbau)	-Wie sieht das verbesserte Produktkonzept aus? -Welche Vorteile ergeben sich für Ihr Unternehmen und für die Kund:innen?	KL-9
9 – Vorstellung der Ergebnisse								
Ergebnispräsentation	Alle bisher genannten	Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse, graphische Aufarbeitung der Ergebnisse, Entwicklung / Umsetzung eines detaillierten Konzepts, Halten eines Vortrags	Vorstellung des Vorgehens, der zentralen Ergebnisse und Vorteile des Konzepts	-	Power Point Vorlage	Vortrag und Präsentation der Ergebnisse vor Lehrenden, Mitstudierenden und ggf. einer Fachjury aus Unternehmensvertreter:innen	-	AL-1
Präsentationsportfolio	Alle bisher genannten	Schriftliche Ausdrucksfähigkeit, Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	Zusammenfassung aller Arbeitsergebnisse in einem übersichtlichen Dokument	-	Word Vorlage	Übersichtliche Zusammenstellung aller Arbeitsergebnisse und Beantwortung alle Leitfragen	-	-
Lerntagebuch 5								AL-2

ANHANG C - MAßNAHMENKATALOG⁸⁰

Maßnahmen zur Unterstützung der strategischen Unternehmens- und Produktplanung

Ebene 1	1	Lege Umweltziele fest.
Ebene 2	1	Lege Umweltziele für interne Stakeholder fest.
Ebene 3	1	Lege Umweltziele für das Management fest.
	1	Stelle eine Übereinstimmung zwischen den strategischen und operativen Dimensionen hinsichtlich der Umweltauswirkungen sicher.
	2	Beziehe Umweltaspekte in die technologische Strategieplanung ein.
	3	Bestimme Ziele, Strategien und Umwelt - Roadmaps auf strategischer Ebene.
	4	Formuliere eine Umweltstrategie oder -richtlinie für das Unternehmen.
	5	Richte ein priorisiertes Ecodesign-Programm im Unternehmen ein.
	6	Führe ein internes (zur Erreichung von Umweltverbesserungszielen) und externes (zum Verstehen was Wettbewerber im Bereich Umwelt umsetzen) Benchmarking durch.
Ebene 4	7	Stelle das Engagement, die Unterstützung und die Ressourcen zur Umsetzung von umweltgerechten Aktivitäten sicher.
	8	Verteile produktbezogene Umweltverantwortlichkeiten unter den Mitarbeitern auf verschiedenen Organisationsstufen.
	9	Stelle eine geeignete Kommunikation zwischen den Abteilungen und Organisationseinheiten hinsichtlich produktbezogener Umweltthemen sicher.
	10	Integriere Umweltthemen in die Unternehmensstrategie.
	11	Identifiziere geeignete Funktionen des Unternehmens, die bei Implementierung umweltgerechter Strategien involviert werden.
	12	Implementiere eine lebenszyklusbezogene Denkweise (Life-Cycle Thinking) im Unternehmen.
	13	Definiere und messe Kennzahlen für die Umweltauswirkungen umweltgerechter Programme.
Ebene 3	2	Lege die Umweltziele für die Produktentwicklung fest.
	14	Integriere Umweltgesichtspunkte als Aspekt während der Entscheidungsfindung gemeinsam mit den klassischen Produktentwicklungszielen.
	15	Definiere Umweltziele für das gesamte Unternehmen klar und wende diese in der Produktentwicklung an.
	16	Biete umweltgerechte Trainings und Weiterbildungen für Mitarbeiter der Produktentwicklung und verwandter Prozesse an.
Ebene 4	17	Integriere Nachhaltigkeit in die Arbeitsprozesse der Produktentwicklung und verwandter Prozesse.
	18	Führe Managementaudits bezüglich der Effektivität der Berücksichtigung der Umweltthemen in der Produktentwicklung und verwandten Prozessen durch.
	19	Wähle umweltgerechte-Techniken/Werkzeuge gemäß den Bedürfnissen des Unternehmens aus und implementiere und passe diese an.
	20	Entwickle den technischen Supportprozesses (z. B. Wartung, Austausch von Ersatzteilen, etc.) unter Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten.
	21	Verbessere die Interaktion zwischen Produkt- und Dienstleistungsentwicklung, um das Potenzial zu erkunden, Lösungen mit geringeren Umweltauswirkungen anzubieten.

⁸⁰ Siehe Kattwinkel (2022), S.197ff.

Ebene 3	3	Lege Umweltziele für die Mitarbeiter:innen fest.
	22	Integriere umweltgerechte Aufgaben als Teil der täglichen Routine für entsprechende Mitarbeiter:innen.
Ebene 4	23	Erwerbe und verbreite das Wissen über umweltgerechte Ansätze und Praktiken.
	24	Entwickle ein grünes Anreizsystem für Manager:innen und Mitarbeiter:innen.
	25	Beginne der Implementierung nachhaltiger Strategien durch eine Veränderung der Einstellungen und des Bewusstseins der Mitarbeiter:innen.
Ebene 3	4	Lege Umweltziele für das Produkt fest.
	26	Wende eine Umweltstrategie oder -richtlinie für Produkte an.
	27	Berücksichtige die Umweltziele in den Produktspezifikationen.
	28	Definiere klare Ziele zur Verbesserung der Umweltwirkungen der Produkte (gemäß Gesetz, Benchmarking, Phasen/Aspekte mit höherem Verbesserungspotential usw.).
	29	Stelle eine Übereinstimmung der Umweltziele des Produkts mit denen des Unternehmens bei der strategischen Planung sicher.
	30	Analysiere und überwache die Umweltverträglichkeit der Entwicklungsprojekte.
	31	Überwache die Umweltwirkungen des Produkts während der Lebenszyklusphasen (z. B. Nutzung und Entsorgung).
	32	Berücksichtige die Umweltgesichtspunkte im Portfoliomanagement des Unternehmens.
	33	Lege Prioritäten für die zu minimierenden Umweltwirkungen (Investition von Zeit und Aufwand in Aktivitäten mit hohem ökologischem Beitrag) fest.
	34	Finde Kompromisse zwischen verschiedenen umweltgerechten Strategien, dem Produktlebenszyklen und den traditionellen Anforderungen an ein Produkt (Qualität, Kosten, Ästhetik usw.).
Ebene 4	35	Wähle geeignete umweltgerechte Strategien/ Richtlinien/ Designoptionen entsprechend den Umweltzielen des Produkts aus und analysiere diese.
	36	Passe Strategien/ Richtlinien/ Designoptionen für individuelle Änderungen des Produktdesigns zur Erreichung der Umweltziele an.
	37	Stelle eine Kohärenz zwischen den Umweltzielen und der Produktarchitektur sicher (z. B. Entwickle einfache zerlegbare Produkte, wenn es darum geht, die Wiederaufbereitung zu verbessern).
	38	Beziehe Verpackungs- und Vertriebsprozesse des Produkts unter Berücksichtigung der Umweltgerechtigkeit ein.
	39	Definiere eine Rücknahmelogistikstrategie, die entsprechend der End-of-Life-Phase des Produkts zu berücksichtigen ist.
	40	Definiere klare ökologische Kennzahlen und die Methodik, die während der Gates anzuwenden sind (zur Bewertung).
	41	Überprüfe die Umweltwirkungen der Produkte in den Gate-Prozessen systematisch.
	42	Definiere und messe die Kennzahlen für die Umweltwirkungen von nachhaltigen Projekten und Produkten gemäß den vereinbarten Zielen.
	43	Entwickle Produkte, die in geschlossenen Kreisläufen verwaltet werden sollen.

Ebene 2	2	Lege Umweltziele für externe Stakeholder fest.
Ebene 3	1	Lege Umweltziele entsprechend der Angaben in Gesetzen, Normen und Richtlinien fest.
	1	Sammle Informationen über umweltspezifische, produktbezogene Rechtsfragen und Normen.
Ebene 4	2	Formuliere und überwache vorgeschriebene Regeln bezüglich der Umweltthemen für das Unternehmen, die den Gesetzen/Normen und Standards/Zielen entsprechen.
	3	Untersuche relevante externe Treiber (Gesetzgebung/Regulierung) für die Einführung einer umweltgerechten Produktentwicklung.
Ebene 3	2	Berücksichtige die Kund:innen.
	4	Kommuniziere die Umweltverträglichkeit des Produktportfolios an Kund:innen und Stakeholder (Umweltberichte; Broschüren am Point of Sale; Werbebotschaften; Internet; Pressemitteilungen/ freie Werbung; Technik).
	5	Kommuniziere die Umweltvorteile des Produkts als Teil des Gesamtwertes des Produkts.
Ebene 4	6	Identifiziere die Kunden- und Stakeholder-Anforderungen sowie -Prioritäten bezüglich der Umweltwirkungen.
	7	Informiere die Kund:innen über die Umweltwirkungen des Produkts und spreche Empfehlungen für die Nutzungs- und End-of-Life-Phasen aus.
	8	Untersuche externe Treiber (Kundenanforderungen) für die Einführung einer umweltgerechten Produktentwicklung.
Ebene 3	3	Berücksichtige Wettbewerber, Partner:innen und Lieferanten.
	9	Lege Kooperationsprogramme und gemeinsame Ziele mit Lieferanten/ Partner/ Hochschulen fest, um die Umweltwirkungen von Produkten zu verringern.
	10	Führe interne (zur Erreichung von Umweltverbesserungszielen) und externe (zum Verstehen was Wettbewerber im Bereich Nachhaltigkeit umsetzen) Benchmarkings durch.
	11	Suche Technologien, die zur Verbesserung der Umweltwirkungen und zur Erreichung der Umweltziele beitragen können.
Ebene 4	12	Bewerte Technologie- und Markttrends (einschließlich neuer Kundenanforderungen), welche die Trends von Produkten mit besserer Umweltverträglichkeit berücksichtigen und entwickle eine Liste möglicher Produkte und Marktstrategien gemäß den neuen Trends.
	13	Versorge den Produktentwicklungsprozess mit Informationen aus der Lieferkette hinsichtlich der Umweltwirkungen des Produkts (wie Materialien, Komponenten, Prozesse usw.) und empfehle bei Bedarf Änderungen des Produkts, Prozesses, der Verpackung, des End-of-Life usw.
	14	Beziehe die gesamte Wertschöpfungskette inklusive vorgelagerter (Lieferanten) und nachgelagerter Prozesse (After Sales, Dienstleister, Recycler) ein, um die Umweltwirkungen der Produkte zu verringern.
	15	Berücksichtige die Umweltgesichtspunkte bei der Identifikation/ Qualifizierung potenzieller Lieferanten.

Maßnahmen zur Unterstützung der operativen Produktentwicklung

Ebene 1	1	Verbessere den Ressourceneinsatz.	
Ebene 2	1	Verbessere den Energieeinsatz.	
Ebene 3	1	Reduziere die Fehlnutzung.	
Ebene 4	1	Binde digitale oder dynamische Unterstützungssysteme ein.	
	2	Stelle Informationen für die Kund:innen bereit, um die Nutzung unter energetischen Gesichtspunkten zu optimieren.	
	3	Überwache und zeige Informationen über den Energieverbrauch während des Produktgebrauchs an.	
	4	Weise auf eine mögliche Fehlnutzung (hinsichtlich des Energieverbrauchs) in der Bedienungsanleitung hin.	
Ebene 3	2	Reduziere die Verlustleistung.	
Ebene 4	5	Setze hocheffiziente Energieumwandlungssysteme ein.	
	6	Entwickle und setze hocheffiziente Motoren ein.	
	7	Entwerfe hocheffiziente Kraftübertragung.	
	8	Vermeide / minimiere Energiewandlungen.	
	9	Vermeide / minimiere Energieleitungen.	
	10	Reduziere die mechanischen Verluste (Reibungs- oder Strömungsverluste) entlang der Wirkungskette.	
	11	Reduziere die thermischen Verluste.	
	12	Optimiere die strömungstechnische Gestaltung der Geometrie und Oberfläche.	
	13	Optimiere die Gestaltung von Brennkammern.	
	14	Verwende reibungsminimierenden Werkstoffpaarungen.	
Ebene 4	15	Nutze Selbstschmierung aus.	
	16	Nutze Restenergien oder Verluste.	
	17	Verwende hochdichte Materialien und technische Komponenten.	
	Ebene 3	3	Reduziere den Energiebedarf.
	Ebene 4	18	Führe weitere Leistungsoptionen (Schlafmodus etc.) ein.
		19	Erstelle ein Design für energieeffiziente Betriebsphasen.
		20	Verwende leichte Werkstoffe bei bewegten und häufig beschleunigten Teilen.
		21	Minimiere den Energieverbrauch.
		22	Rüste Maschinen mit intelligenten Abschaltfunktionen aus.
		23	Entwerfe den Standardzustand des Produkts bei minimalem Energieverbrauch.
		24	Aktiviere Sensoren, um den Verbrauch den unterschiedlichen Betriebsphasen anzupassen.
		25	Stelle Optionen zur Anpassung des Stromverbrauchs basierend auf der Intensität der Aktivität des Produkts oder der Komponente bereit.
		26	Binde On-off Steckverbinder im Produkt ein.
		27	Entwerfe dynamische Energieverbrauchssysteme für differenzierte Betriebsphasen.
	Ebene 4	28	Entwerfe Energierückgewinnungssysteme.
		29	Entwerfe Energiesparsysteme.
		30	Integriere Designmerkmale zur Energieeinsparung.
31		Analysiere die Energie, die zur Funktion oder Unterfunktion beiträgt, sowie die abgeführte Energie für ein bestimmtes Produkt, Teil oder eine Komponente.	

	32	Minimiere den Energiebedarf in der Nutzungsphase durch eine geeignete Wahl von Lösungsprinzipien.
	33	Bewerte und nimm Technologien in Anspruch, die geringere Umweltauswirkungen ermöglichen.
	34	Entwerfe ein Design für eine energieeffiziente Instandhaltung.
	35	Untersuche und beziehe Alternativen zum Energieverbrauch ein, wo immer dies möglich ist.
Ebene 3	4	Substituiere die Energiequelle.
	36	Nutze alternative Energiequellen (z. B. Solarenergie).
Ebene 4	37	Nutze menschliche Energie.
	38	Steige auf wiederaufladbare Batterien um.
	39	Entwerfe eine dezentrale Energieversorgung.
Ebene 2	2	Verbessere den Materialeinsatz.
Ebene 3	1	Reduziere die Fehlnutzung.
	1	Erleichtere die Reduzierung des Material- oder Hilfsstoffverbrauchs durch die Nutzer:innen.
	2	Stelle eine einfache Bedienung und ein einfaches Verständnis für den Hilfsstoffverbrauch der Bedienung sicher.
Ebene 4	3	Aktiviere digitale Unterstützungssysteme mit dynamischen Konfigurationen.
	4	Verwende Feedback-Mechanismen im Produkt, um die Menge der verbrauchten Hilfsstoffe anzuzeigen.
	5	Stelle Informationen für die Nutzer:innen bereit, um den Verbrauch an Hilfsstoffen zu optimieren.
	6	Weise auf eine mögliche Fehlnutzung (hinsichtlich des Material- oder Hilfsstoffverbrauchs) in der Bedienungsanleitung hin.
Ebene 3	2	Reduziere den Material- oder Hilfsstoffbedarf.
	7	Erstelle ein Design für einen effizienteren Verbrauch von Material und Hilfsstoffen.
	8	Lege den Standardzustand des Produkts auf minimalem Material- oder Hilfsstoffverbrauch fest.
	9	Verwende einen Standardmechanismus zur effizienteren Nutzung von Material und Hilfsstoffen.
	10	Entwerfe einen dynamischen Material- oder Hilfsstoffverbrauch für verschiedene Betriebsphasen.
Ebene 4	11	Aktiviere Sensoren, um den Material- oder Hilfsstoffverbrauch entsprechend den unterschiedlichen Betriebsstufen anzupassen.
	12	Reduziere den Material- oder Hilfsstoffverbrauch im Standardzustand des Produkts.
	13	Minimiere den Bedarf an periodischer Entsorgung von festen Abfällen wie Kartuschen, Behältern oder Batterien.
	14	Verändere den Nutzungsprozess, um die geringste Menge an Materialien zu verbrauchen.
	15	Bewerte und nimm Technologien in Anspruch, die geringere Umweltauswirkungen ermöglichen.
	16	Entwickle das Produkt für einen minimalen Material- und Hilfsmittelverbrauch während des Einsatzes.

Ebene 3	3	Verwende Materialien oder Hilfsstoffe wieder.
	17	Implementiere Verfahren zur Wiederverwendung und -verwertung des größtmöglichen Anteils an Material oder Hilfsstoffen.
	18	Entwickle Prozesse zur Verwendung von recycelten Materialien oder Hilfsstoffen durch externe Anbieter.
	19	Schließe den Kreislauf der Verbrauchsmaterialien oder Hilfsstoffe, die während der Produktnutzung verwendet werden.
Ebene 4	20	Vereinfache das Recycling von Materialien in Bauteilen mit geringeren mechanischen Anforderungen.
	21	Vereinfache das Recycling von Materialien in Bauteilen mit geringeren ästhetischen Anforderungen.
	22	Verwende recycelte Materialien oder Hilfsstoffe, sofern möglich.
	23	Beziehe in die Produktentwicklungen die Verwendung von Sekundärstoffen nach dem Recycling ein.
	24	Vermeide potenzielle Hindernisse für das Recycling, wie z. B. die Verwendung von Additiven, Kunststoffen, Metallbehandlungen, das Auftragen von Farben in Kunststoffen oder die Verwendung einer unbekanntem Materialzusammensetzung.
Ebene 3	4	Substituiere Materialien oder Hilfsstoffe.
	25	Verwende recycelte Materialien oder Hilfsstoffe, wo dies möglich ist.
	26	Untersuche und beziehe Alternativen zum Einsatz von Material und Hilfsstoffen ein, wo immer dies möglich ist.
Ebene 4	27	Verwende Materialien und Hilfsstoffe aus erneuerbaren Quellen.
	28	Vermeide die Verwendung von Materialien und Hilfsstoffen, die aus begrenzten Ressourcen bestehen.
	29	Vermeide die Verwendung von toxischen oder unerwünschten Stoffen in Materialien und Hilfsstoffen. Wenn möglich, erforsche und beziehe Alternativen zur Verwendung dieser Stoffe ein.
Ebene 1	2	Verbessere die Produktnutzungsdauer.
Ebene 2	1	Verlängere die Produktnutzungsdauer.
Ebene 3	1	Reduziere die Fehlnutzung.
	1	Entwickle Produkte, die einfach zu bedienen sind.
	2	Kennzeichne den Verschleiß zur besseren Übersicht (Angabe von erforderlichen Wartungsintervallen).
	3	Statte das Produkt mit Diagnose- und/oder Autodiagnosesystemen für wartbare Komponenten aus.
Ebene 4	4	Entwickle wartungsarme Produkte.
	5	Entwickle Produkte, die eine möglichst geringe Reinigung erfordern.
	6	Statte Produkte mit einem automatischen Schadensdiagnosesystem aus.
	7	Stelle eine einfache Montage durch Reduzierung der verwendeten Teile sicher.
	8	Vereinfache Produkte.
	9	Statte Produkte mit Anwendungs-, Wartungs- und Reparaturhinweisen aus.

Ebene 3	2	Verbessere die Produkterweiterbarkeit.
	10	Ermögliche und erleichtere ein Software-Upgrading.
	11	Ermögliche und erleichtere ein Hardware-Upgrading.
Ebene 4	12	Entwickle modulare und dynamisch konfigurierte Produkte, um die Anpassung an sich ändernde Umgebungen zu erleichtern.
	13	Entwickle vor Ort aufrüstbare und anpassungsfähige Produkte.
	14	Entwickle ergänzende Tools und Dokumentationen für Produkt-Upgrades und -anpassungen.
Ebene 3	3	Passe die Lebensspannen an.
	15	Entwickle Komponenten mit einer hohen Lebensdauer.
	16	Entwickle austauschbare Komponenten mit Lebensdauern gemäß der geplanten Nutzungsdauer.
	17	Wähle langlebige Materialien entsprechend der Produktleistung und Lebensdauer aus.
	18	Entwickle das Produkt in einer modularen Bauweise, sodass Obsoleszenz in den Komponenten und nicht im gesamten Produkt eintritt.
Ebene 4	19	Vermeide die Auswahl langlebiger Materialien für kurzlebige Produkte.
	20	Stelle sicher, dass das Produkt langlebig genug ist, um es wiederzuverwenden, zu überholen und / oder wiederaufzubereiten.
	21	Designe modulare und austauschbare Komponenten.
	22	Beschrifte Komponenten mit der Angabe der Restlebensdauer.
	23	Entwickle Produkte für eine lange Lebensdauer.
	24	Vermeide korrosionsanfällige Werkstoffe.
Ebene 3	4	Vereinfache die Wartung / Reparatur.
	25	Vereinfache den Zugang und die Demontage von zu wartenden Komponenten oder beschädigten Bauteilen.
	26	Vermeide schmale Schlitz und Löcher, um den Zugang zur Reinigung zu erleichtern.
	27	Vereinfache den Austausch von kurzlebigen Komponenten.
	28	Statte das Produkt mit leicht zu bedienenden Werkzeugen für die Wartung aus.
	29	Entwickle das Produkt für eine einfache Wartung / Reparatur vor Ort.
	30	Entwickle ergänzende Wartungs-/Reparaturtools und Dokumentationen.
	31	Entwickle Teilkomponenten für die Wartung und nicht für die Entsorgung nach einer Fehlfunktion.
	32	Konstruiere einzelne reparierbare oder austauschbare, mechanische Teile.
Ebene 4	33	Erstelle ein Design für einen effizienteren Einsatz von Wartungsmaterialien.
	34	Entwickle Module für eine schnelle Entfernung durch die Nutzer:innen.
	35	Vermeide die Verwendung von giftigen oder unerwünschten Stoffen, die bei Wartungsarbeiten schädliche Umweltauswirkungen verursachen können.
	36	Bündele den Verschleiß auf austauschbare Komponenten des Produkts.
	37	Konstruiere Komponenten normgerecht, um den Austausch von beschädigten Teilen zu erleichtern.
	38	Stelle eine selbsterklärende Struktur oder Angabe von Informationen zur Reparatur des Produkts sicher.
	39	Stelle die Verfügbarkeit von Ersatzteilen sicher.
	40	Standardisiere Komponenten und / oder verwende dieselben Strukturkomponenten für verschiedene Produktvarianten.
	41	Stelle das Recycling von verschlissenen Komponenten sicher.
Ebene 2	2	Intensiviere die Nutzung.

Ebene 3	1	Erleichtere die Weiter- und Wiederverwendung.
	42	Erhöhe die Widerstandsfähigkeit von Bauteilen.
	43	Verwende wiederaufbereitete Komponenten und Ersatzteile.
	44	Konstruiere wiederverwendbare Hilfstteile.
	45	Entwickle Produkte für den sekundären Gebrauch.
Ebene 4	46	Betrachte überdimensionale Materialkomponenten und verwende sie wieder.
	47	Verwende Teile und standardisierte Komponenten zur Erleichterung der Wiederverwendung.
	48	Verwende Komponenten in anderen Produkten wieder.
	49	Verwende Teile und wiederaufgearbeitete Komponenten wieder.
	50	Entwickle Komponenten / Teile mit hoher Wertschöpfung zur Wiederverwendung.
Ebene 3	2	Verbessere die Nutzbarkeit.
	51	Entwickle anwenderorientierte Produkte mit dem Ziel einer hohen Nutzungshäufigkeit.
	52	Gestalte eine ergonomische Mensch-Maschine-Schnittstellen.
	53	Entwickle das Produkt für eine große Anpassungsfähigkeit an vers. Nutzer:innen.
	54	Minimiere den Platzbedarf für die Lagerung des Produkts bei Nichtgebrauch.
	55	Minimiere den Zeitaufwand für die Vorbereitung und Überwachung des Produkts.
Ebene 4	56	Entwickle Produkte mit zeitlosem Design.
	57	Stelle eine hohe Wertschätzung des Produkts durch die Nutzer:innen sicher.
	58	Erstelle ein Design für eine emotionale Produktbindung.
	59	Stelle nutzungsfreundliche Oberflächen sicher.
	60	Entwickle Produkte für den kollektiven Gebrauch (gemeinschaftliche Nutzungskonzepte wie Produkt-Service-Systeme).
Ebene 3	3	Erhöhe die Produktzuverlässigkeit.
	61	Eliminiere schwache Verbindungen.
Ebene 4	62	Stelle eine qualitativ hochwertige Funktion (Zusammenspiel von Teilen und Komponenten) des Produkts sicher und minimiere mögliche Störungen.
	63	Entwickle widerstandsfähige Produkte.
	64	Stelle eine hohe Zuverlässigkeit des Produkts sicher.
Ebene 3	4	Optimiere die Funktionen.
	65	Entwickle Produkte für multifunktionale Anwendungen.
	66	Entwickle einer Modularisierung der Funktionalität.
Ebene 4	67	Führe einen Paradigmenwechsel zur Bereitstellung der gleichen Funktionen/Funktionalität durch.
	68	Führe eine Funktionsanalyse durch und identifiziere neue Wege/Lösungen, um dieselben Funktionen mit geringeren Umweltauswirkungen zu realisieren.
	69	Eliminiere unnötige Funktionen.
	70	Entwickle einfache Funktionsprinzipien.
Ebene 3	5	Reduziere Komponenten.
	71	Reduziere die Gesamtzahl der Komponenten.
Ebene 4	72	Eliminiere überflüssige Komponenten, die auf die Konstruktionshistorie zurückzuführen sind.
	73	Minimiere die Verkabelung und die Verdrahtung zwischen den Unterbaugruppen durch eine geeignete Produktarchitektur.