

Institut für Kolbenmaschinen (IFKM)
Rintheimer Querallee 2
76131 Karlsruhe



**Vermittlung von Werkzeugen und
Schlüsselkompetenzen zur nachhaltigen
Produktentwicklung für Ingenieure
(NaProIng)**

Abschlussbericht

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Az. 35600/76

eingereicht von

Dr.-Ing. Olaf Toedter; PD Dr. habil Dirk Scheer
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Autor:innen:

Olaf Toedter, Dirk Scheer, Janine Gondolf, Paul Förster Ribet

Projektlaufzeit: 01.01.2021 - 30.06.2024
Karlsruhe, September 2024

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	35600/76	Referat	/0	Fördersumme	242.634 EUR
----	-----------------	---------	-----------	-------------	--------------------

Antragstitel **NaProIng**

Stichworte Education for Sustainability Development, Nachhaltigkeit in der Lehre

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
36 Monate	01.01.2021	30.06.2024	1

Zwischenberichte	24.08.2022	31.03.2023
------------------	------------	------------

Bewilligungsempfänger	Karlsruher Institut für Technologie	Tel	0721 608 43639
	Institut für Kolbenmaschinen	Fax	0721 608 48578
	Rintheimer Querallee 2	Projektleitung	Dr.-Ing. Olaf Toedter
	76131 Karlsruhe	Bearbeiter	PD Dr. habil Dirk Scheer M.A. Janine Gondolf B.Ed. Paul Förster Ribet

Kooperationspartner Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)

Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Nachhaltige Produkte erfordern, dass Ingenieurinnen und Ingenieure, die bereits in der Phase der Technologieentwicklung Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigen, potenzielle Dilemmata und Unsicherheiten von Technologien in Bezug auf Nachhaltigkeit erkennen und möglichst minimieren oder sogar vermeiden. Die Ausbildung vermittelt den Studierenden ein reichhaltiges Fachwissen und vielfältige Methoden zur Entwicklung und Optimierung von technischen Lösungen, während fachübergreifendes Denken und Handeln, insbesondere im Kontext von Nachhaltigkeitsfragen, wenig ausgeprägt sind. Die Erarbeitung von Vorlesungsmodulen für die Vermittlung von Werkzeugen und Schlüsselkompetenzen einer nachhaltigen Produktentwicklung für Ingenieurinnen und Ingenieure setzt hier an. Sie sollen in bestehende ingenieurwissenschaftliche Vorlesungen verschiedener Fachrichtungen integriert werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die bestehenden Vorlesungen werden hinsichtlich potentieller Schnittstellen analysiert. Dadurch sollen die Studierenden dort abgeholt werden, wo sie sich thematisch zu Hause fühlen. Damit es nicht bei einer abstrakten Integration der Nachhaltigkeitsausrichtung in die Ingenieursausbildung bleibt und das Projekt rasche Wirkung hinterlässt, ist eine Bereitschaft und Akzeptanz aller Beteiligten notwendig. Hierzu gehört zuallererst die Interaktion mit den Dozierenden, die heute für die Vorlesungen in der Ingenieursausbildung verantwortlich sind. In Abstimmung mit den Dozierenden und Prodekanen der unterschiedlichen Fachrichtungen werden erst Vorlesungsinhalte, dann Skripte für Vorlesungs-Module und anschließend daraus Kurzvideos und Transkripte hierzu entwickelt

Ergebnisse und Diskussion

Entsprechend den Methoden sind folgende Ergebnisse erzielt worden:

- Gliederung der Nachhaltigkeits-Themen in fünf Themenkomplexe: Nachhaltigkeits-Dachkonzept, Werkstoffe in der Nachhaltigkeit, Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung und Nachhaltigkeits-Dilemmata, Nachhaltigkeitsbewertung.
- Fünf Skripte zu den fünf Themenfeldern
- Fünf Drehbücher zu den fünf Themenfeldern
- Fünf Kurzvideos à je gut 5 Minuten inkl. Transkripten zu den fünf Themenfeldern, die online frei zur Verfügung gestellt worden sind und exemplarisch ausgewählten Studienkommissionen vorgestellt wurden.
- Fünf Foliensätze zu den Inhalten der fünf Kurzvideos

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Projektes werden auf dem open access repository des KIT (KITOpen) und einem geeigneten YouTube-Kanal in Form von Kurzvideos, Videobeschreibungen und Video-Transkripten für die Dozenten frei zugänglich präsentiert. Die Lerninhalte sind systematisch erarbeitet und decken die wesentlichen für die Lehre notwendigen Bereiche ab. Ferner wird das erläuternde Abschlussdokument des Projektes open Access bereitgestellt.

[1] Scheer, D.; Gondolf, J.; Toedter, O., Nachhaltige Materialien als Zukunftsstrategie: Ansatzpunkte für ein unternehmerisches Materialmanagement, 2024; Industry 4.0 Science, (1), 44–49

Fazit

Das Projekt NaProIng hat wesentliche Lerninhalte der Nachhaltigkeitslehre in Form von Transkripten und Kurzvideos erarbeitet. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die Lerninhalte nahtlos in bestehende Vorlesungen im Ingenieurbereich integrieren lassen und es somit den Dozenten ermöglichen, bestehende Vorlesungen um die Nachhaltigkeits-Aspekte zu ergänzen.

Durch das Konzept der Gliederung der Lerninhalte an der Struktur der Nachhaltigkeit konnten ausreichend kompakte und in sich geschlossene Lerninhalte definiert werden, dass sie sich als Kurzvideo und als integrierbare Lerninhalte eignen.

Alle erarbeiteten Lernmodule sind online frei zugänglich zur Verfügung gestellt worden.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	Projektgegenstand und -zielsetzung.....	4
2.1	Projektgegenstand.....	4
2.2	Zielsetzung.....	5
3	Hintergrund.....	6
3.1	Bildung für nachhaltige Entwicklung.....	6
3.2	Lernvideos als Medium der BNE.....	7
3.3	Wissenschaftlichen Einordnung von Lernvideos.....	8
4	Projektverlauf: Arbeitsschritte und Methoden.....	13
4.1	Baustein 1: Entwicklung der zentralen Lehrstrategie.....	13
4.2	Baustein 2: Festlegung von Nachhaltigkeitsthemen, Lernzielen und Lerninhalten.....	15
4.3	Baustein 3: Nachhaltigkeit im Lehrbetrieb.....	18
4.4	Baustein 4: Nachhaltigkeit in Lernvideos.....	20
5	Kurzdarstellung der Ergebnisse.....	21
5.1	Nachhaltigkeit im Lehrbetrieb.....	21
5.1.1	Lehrinhalte „Dachkonzept Nachhaltigkeit“.....	22
5.1.2	Lehrinhalte „Dachkonzept Nachhaltigkeit“.....	23
5.1.3	Lehrinhalte „Nachhaltige Produktentwicklung“.....	24
5.1.4	Lehrinhalte „Nachhaltigkeitsbewertung“.....	25
5.1.5	Lehrinhalte „Nachhaltigkeitsdilemmata“.....	26
5.2	Nachhaltigkeit in Lernvideos.....	27
5.2.1	Transkript Video „Dachkonzept Nachhaltigkeit“.....	28
5.2.2	Transkript Video „Nachhaltige Materialien“.....	30
5.2.3	Transkript Video „Nachhaltige Produktentwicklung“.....	32
5.2.4	Transkript Video „Nachhaltigkeitsbewertung“.....	34
5.2.5	Transkript Video „Nachhaltigkeitsdilemmata“.....	36
5.3	Dissemination der Ergebnisse.....	39
5.3.1	Wissenschaftliche Artikel.....	39
5.3.2	Lehrmaterial und Lernvideos.....	39
5.3.3	Öffentlichkeitsarbeit.....	41
6	Schlussbetrachtung.....	41
6.1	Diskussion.....	41
6.2	Fazit.....	42
7	Literatur.....	42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Orientierungsrahmen für BNE in der Hochschullehre	6
Abbildung 2: Entwicklung von Lehr- und Lernmaterial zur Nachhaltigkeit	15
Abbildung 3: Screenshot des KIT Youtube-Kanals "Lehre und Wissen"	27
Abbildung 4: Screenshot Playlist NaProIng Nachhaltigkeit (KIT Kanal "Lehre und Wissen")	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lernziel-Operatoren für MINT-Fächer.	10
Tabelle 2: Kriterien der didaktischen Rekonstruktion (nach Bleichroth 1991, Kircher 2015). 11	
Tabelle 3 : Spezifische Lernziele bei den fünf Nachhaltigkeitsthemen	16
Tabelle 4: Zusammenstellung des öffentlichen Zugangs für die NaProIng-Produkte	40

Abkürzungsverzeichnis

BNE	Bildung für nachhaltige Entwicklung
ESD	Education for Sustainability Development (Programm der UNESCO zur Entwicklung von Nachhaltigkeits-Bildung)
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LCA	Life Cycle Assessment - Lebenszyklusanalyse
NAP	Nationalen Aktionsplan
NaProIng	nachhaltige Produktentwicklung für Ingenieure
SDG	Sustainable Development Goals – Nachhaltigkeitsziele

1 Zusammenfassung

Nachhaltige Produkte brauchen auf Nachhaltigkeit ausgerichtete und ausgebildete Ingenieure. Ingenieurinnen und Ingenieure mit Nachhaltigkeit vertraut zu machen und ihnen methodischen Handwerkszeug mit auf dem Weg zu geben, ist zentraler Projektgegenstand des Vorhabens „ESD for 2030: Vermittlung von Werkzeugen und Schlüsselkompetenzen zur nachhaltigen Produktentwicklung für Ingenieure (NaProIng)“.

Die Vermittlung von Nachhaltigkeitskompetenzen muss integraler Bestandteil der Ingenieurausbildung sein, damit Ingenieure nachhaltige Produkte und Dienstleistungen entwickeln können. In einer komplett diversifizierten Ausbildungsstruktur sind zusätzliche Vorlesungen und Studiengänge nur von beschränktem Einfluss (Impact). Ziel der Anpassung der Ausbildung muss die integrierte Vermittlung von Nachhaltigkeits-Kompetenzen in den bestehenden Studiengängen sein.

Erste Gespräche mit den Studienkommissionen der Ingenieurstudiengänge am KIT haben gezeigt, dass zwar ein grundsätzliches Interesse besteht, aber gleichzeitig eine Hemmnis vor zu großen Veränderungen der eigenen Vorlesung. Die gewünschten Lernmodule mussten nach Wunsch der Dozenten kompakt sein.

Hierzu wurden Lernmodule erarbeitet, die es erlauben, in bestehende Vorlesungen integriert zu werden, ohne die Vorlesungen grundsätzlich anpassen oder gar gänzlich neue Vorlesungen zu den Themenfeldern aufsetzen zu müssen.

Die gewählte Methodik, ein Foliensatz mit allen Inhalten zu erstellen und an die Vorlesungen anzupassen, hat zu überkomplexen Vorlesungsinhalten geführt, als sie sich nahtlos in die bestehenden Vorlesungen integrieren ließen. Erst die Gliederung der Lerninhalte anhand der Lebensphasen der Produkte und Dienstleistungen und damit der Gliederung der Nachhaltigkeits-Themenkomplexe hat es ermöglicht, ausreichend kompakte Lernmodule zu formulieren.

Ausgehend von diesen Lernmodulen wurden dann Skripte erarbeitet, die in Zusammenarbeit mit einem unterbeauftragten Dienstleister in Lernvideos umgewandelt wurden. Diese Lernvideos waren wiederum Ausgangspunkt von Transkripten und Foliensätzen, die den Dozenten zusätzlich zu den Lernvideos an die Hand gegeben werden.

Die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse wurden umfangreich auf Fachtagungen vorgestellt und in Fachzeitschriften sowie in anderer Form veröffentlicht.

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Forschungsprojektes unter AZ 35600 und bei dem Begleitkreis und seinen Teilnehmern für die fruchtbaren Diskussionen.

2 Projektgegenstand und -zielsetzung

2.1 Projektgegenstand

Nachhaltige Produkte brauchen auf Nachhaltigkeit ausgerichtete und ausgebildete Ingenieure. Ingenieurinnen und Ingenieure mit Nachhaltigkeit vertraut zu machen und ihnen methodischen Handwerkszeug mit auf dem Weg zu geben, ist **zentraler Projektgegenstand** des Vorhabens

„ESD for 2030: Vermittlung von Werkzeugen und Schlüsselkompetenzen zur nachhaltigen Produktentwicklung für Ingenieure (NaProlng)“.

Die Ingenieur-Ausbildung ist eine sich stetig verändernde und hoch diversifizierte Ausbildung, die den Studierenden ein reichhaltiges Fachwissen und vielfältige Methoden zur Entwicklung und Optimierung von technischen Lösungen vermittelt. Bedingt durch die Diversifikation und die hohe Komplexität der Technologien ist die Ausbildung schwerpunktmäßig auf Methoden der technischen Machbarkeit, zur Funktionsentwicklung und -optimierung und auch Robustheit von Produkten und Innovationen ausgelegt. Im Beruf in der Industrie angekommen, wird der Werkzeugkasten meist nur um Methoden erweitert, die die Robustheit in Abwägung zur Kostenoptimierung (hinsichtlich Nutzung und Herstellung) im Fokus haben. Methodische Schlüsselkompetenzen für nachhaltige Produktentwicklung sind in der Regel nicht fester Bestandteil von Ausbildung und Beruf – und werden allenfalls aus Eigeninteresse aufgebaut.

2.2 Zielsetzung

An diesem Punkt setzt das Projekt NaProlng an. **Zentrale Zielsetzung** ist es, kurzfristig die Vermittlung von Werkzeugen und Schlüsselkompetenzen zur nachhaltigen Produktentwicklung für Ingenieure zu entwickeln und anzubieten. Dabei wurden zwei strategische Lehr- und Kommunikationsformate entwickelt und umgesetzt

- Integration von Nachhaltigkeitsthemen in den laufenden Lehrbetrieb des der ingenieurwissenschaftlichen KIT Curricula
- Bereitstellung von frei verfügbaren Lernvideos als prägnante und aussagekräftige Kurzvideos zu ausgewählten Nachhaltigkeitsthemen auf dem KIT-Kanal „Lehre und Wissen“.

Warum ist die Vermittlung von Themen der Nachhaltigkeit an angehende Ingenieur:innen von zentraler Bedeutung? Angehende Ingenieur:innen sind zentrale zukünftige Entscheidungsträger:innen, die technische Entwicklungen und Umsetzungen entscheidend mitgestalten. Ingenieur:innen beeinflussen die damit auch das Nachhaltigkeitsprofil der zukünftigen Produkte, Energieversorgung und Wirtschaft durch einsetzen ihre Fachkompetenz. Im Rahmen ihrer Ausbildung ist der Ingenieur-Bereich stark diversifiziert mit vielen Segmentierungen und thematischen Vertiefungen. Ein Schwerpunkt der Ausbildung im Ingenieurbereich fokussiert dabei auf theoretische Grundlagen und Methoden zur Technik- und Produktentwicklung. Aufgrund der vielfältigen, diversifizierten Studiengänge ist ein einzelner Nachhaltigkeitsstudiengang wenig wirksam und braucht sehr lange, bis er konzipiert und zertifiziert – und damit freigegeben – ist.

NaProlng geht hier einen anderen Weg: das Projekt verfolgt die Strategie, Themen der Nachhaltigkeit integriert in bereits existierende Lehrveranstaltungen und Studienthemen parallel „einzuweben“. Damit soll gewährleistet werden, dass Nachhaltigkeitsthemen besser vermittelt werden, um die gedankliche Ausrichtung und Zielsetzung zu beeinflussen. Ziel war es, geeignete Lernmodule zu erarbeiten, die in bestehende Vorlesungen integrierbar sind und von den Dozenten integriert werden, um größten Multiplikationseffekt zu erzielen. Die erarbeiteten Lernmodule wurden über zwei unterschiedliche Formate entwickelt. Zum einen über die Erarbeitung von Lehrmaterial im Rahmen von Vortragsfolien sowie zum anderen über die Erarbeitung von Lehrvideos.

3 Hintergrund

Das Projekt NaProIng ist im Themenfeld der „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (BNE) angesiedelt. Die genaue Bedeutung von BNE wird im Folgenden diskutiert. Dabei wird auf den Nationalen Aktionsplan BNE (NAP BNE) der Nationalen Plattform BNE (NP BNE) und anschließend auf Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung (H-BNE) eingegangen.

3.1 Bildung für nachhaltige Entwicklung

BNE ist ein Teilziel des vierten Sustainable Development Goals (SDG) der Vereinten Nationen (UN 2015, S. 18). Das BMBF (2023) definiert BNE als „[...] eine Bildung, die Menschen zu zukunftsfähigem Denken und Handeln befähigt. Sie ermöglicht jedem Einzelnen, die Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Welt zu verstehen“. Durch BNE sollen Lernende zu transformativem und nachhaltigem Handeln befähigt werden. Dadurch trägt sie dazu bei, die Transformationen anzustoßen und umzusetzen, die nötig sind, um eine nachhaltige Entwicklung zu fördern (NP BNE 2017, S. 7). Unter Berücksichtigung dieses Ziels wird klar, dass es sich bei BNE nicht nur um Kompetenz- und Wissensvermittlung handelt. Es werden auch affektive Lernziele verfolgt. Diese zeichnen sich durch einen Bezug auf „Veränderungen von Interessenlagen, auf die Bereitschaft, etwas zu tun oder zu denken, auf Einstellungen und Werte und auf die Entwicklung von Werthaltungen“ aus (Velica 2010, S. 8 f.)¹.

Zentrale Akteure und Vorhaben zur Umsetzung von BNE sind im NAP BNE festgehalten. Für verschiedene Bildungsbereiche werden Handlungsfelder (HF) mit zugehörigen Zielen, entsprechende Maßnahmen und Commitments unterschiedlicher Institutionen festgehalten. Einer der Bildungsbereiche ist die Hochschulbildung. Darüber hinaus soll BNE in den Bildungsbereichen Frühkindliche Bildung, Schule, Berufliche Bildung, Non-formales und informelles Lernen/Jugend sowie Kommunen vorangetrieben werden.

Abbildung 1: Orientierungsrahmen für BNE in der Hochschullehre

BNE- Didaktik & Curriculum Design	Warum & Wofür: Orientierung	Begründung	NE braucht ein Bildungskonzept: BNE
		Ziele	NE braucht besondere Kompetenzen
	Was: Lernbereiche	Inhalt	NE braucht eigene Lehr-Inhalte
		Ethik	NE braucht neue Methoden
		Wissenschaft	NE braucht „ethical literacy“
		Praxis	NE braucht „sustainability professionals“
	Wie: Lehre und Lernen	Partizipation	NE braucht Zusammenarbeit und Teilhabe
		Methodik	BNE braucht transformative Lehr-Lern-Umgebungen
	Wohin: Weiterentwicklung	Evaluation	BNE braucht neue Evaluationsformen
		Capacity Building	BNE braucht besondere Lehr-Kompetenzen
Qualität		BNE braucht Qualitätsmanagement	

Quelle: Bellina et al. 2020

Einer der zentralen Bildungsbereiche ist die **Hochschulbildung**. Bellina et al. (2020, Portal 1) präsentieren einen Orientierungsrahmen für die Konzeption von H-BNE. Dessen Kernelemente sind in Abbildung 1 dargestellt. Bei der Implementierung von BNE in die Hochschullehre sind alle Kernelemente einzubeziehen. Die genaue Umsetzung wird an

Standort, Hochschulart und sonstige Rahmenbedingungen angepasst (Bellina et al. 2020, S. 26).

Neben der Lehre sollen auch Forschung und Betrieb der Hochschulen sowie die Themen Nachhaltigkeitsberichterstattung, Governance und Transfer bezüglich NE weiterentwickelt werden (Bassen et al. 2020, S. 3). Durch die Ausbildung pädagogischer Fach- und Lehrkräfte können Hochschulen nach der NP BNE (2017, S. 51) einen wichtigen Beitrag zur gesellschaftlichen Transformation beitragen. Die hier durchgeführte Forschung erzeugt darüber hinaus Wissen und Innovationen, die für eine NE notwendig sind. Diese zentrale Rolle und die damit einhergehende Verantwortung bestätigt die Hochschulrektorenkonferenz (HRK 2018). Neben pädagogischen Fach- und Lehrkräften sind jedoch auch Studierende der Ingenieurwissenschaften wichtige Multiplikator:innen. Werden sie mit den nötigen Schlüsselkompetenzen und Werkzeugen ausgestattet, können sie einen enormen Teil zur NE beitragen.

Nachhaltigkeitsberichte, die einem dafür entwickelten Kodex (vgl. Bassen et al. 2018) genügen, zeigen die ernsthafte Auseinandersetzung mit den Zielen und Maßnahmen des NAP BNE (NP BNE 2017, S. 59). Dadurch nehmen Hochschulen potentiell eine Vorbildfunktion für andere Institutionen und Akteur:innen ein. Exemplarisch ist das Konzept Green Campus zu nennen (NP BNE 2017, S. 60). Die Optimierung von Beschaffung, Abfallmanagement, Mobilität, Gebäude- und Energiemanagement etc. erfolgt nach Günther et al. (2018, S. 2 f.) zwar vor allem hinsichtlich ökologischer Gesichtspunkte, diese haben jedoch einen Einfluss auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Betroffenen (Hoffmann 2012). Best Practices aus der nachhaltigen Gestaltung des Campus können auf größeren Ebenen erprobt werden.

Für diese Arbeit ist das HF III des Bildungsbereichs Hochschulbildung besonders relevant. Hier lautet das fünfte Ziel: „Die Digitalisierung ermöglicht es, Lehr-/Lernarrangements für BNE/Nachhaltigkeit zeit- und raumunabhängig zur Verfügung zu stellen und damit eine immense Kapazität an BNE-/Nachhaltigkeitsveranstaltungen für alle Hochschulen zu schaffen. Durch die Vernetzung und Kooperation der kompetenten Anbieter wird das Angebot (inhaltlich) ausgebaut und (qualitativ) weiterentwickelt.“ (NP BNE 2017, S. 60)

Dazu sollen Nachhaltigkeitsthemen in die Curricula aller Studiengänge integriert und digitale Lehr-Lern-Angebote mit Nachhaltigkeitsbezug erstellt und anerkannt werden (NP BNE 2017, S. 61). Im Allgemeinen spiegeln sich die Bestrebungen zur Stärkung von BNE 2020 noch nicht in der Hochschullehre wieder (NP BNE 2020, S. 39). Die Erstellung onlinebasierter Lehr-Lern-Angebote wurde jedoch umgesetzt (NP BNE 2020, S. 108). Diesbezüglich verweist das BMBF auf die sogenannte „Virtuelle Akademie Nachhaltigkeit“ (VAN)².

Neben offiziellen Lehr-Lern-Angeboten sollen auch audiovisuelle Materialien erstellt werden, die transformative Narrative fördern (NP BNE 2017, S. 67). Onlinebasierte Angebote sind für beide Zwecke vor allem deshalb gut geeignet, weil sie ohne Zeitverzögerung allen Bürger:innen zugänglich gemacht werden können (NP BNE 2017, S. 61). Auf weitere Vor- und Nachteile von Lernvideos sowie deren Erstellung wird in Abschnitt 2.4 eingegangen.

3.2 Lernvideos als Medium der BNE

Lernvideos sind ein wichtiges Medium für flexibles Lernen. Sie werden vielfach in der Vorbereitung bei Inverted Classroom (IC) oder im Rahmen von Massive Open Online Courses (MOOCs) eingesetzt. Neben dem Einsatz im Rahmen übergeordneter Lehr-Lern-Angebote können Lernvideos auch eigenständig eingesetzt und konsumiert werden. Nach Li und Wong

(2018) gibt es folgende acht Flexibilitäts-Dimensionen des Lernens (zitiert nach Mertens et al. 2019, S. 4):

- Zeit
- Bereitstellung
- Didaktische Gestaltung
- Lernressourcen und Support
- Inhalt
- Zugangsvoraussetzungen
- Beurteilung und Bewertung
- Orientierung und Ziele

Lernvideos und deren Einsatz erfüllen mehrere der obigen Flexibilitätsdimensionen. Hinsichtlich der Zeit als Flexibilitätsdimension sind vor allem die Möglichkeiten, die Videos zu pausieren, zurück zu spulen oder mehrfach und uhrzeitunabhängig anzusehen zu nennen. Unter anderem aufgrund der zeitlichen Flexibilität ist die Nutzung von Lernvideos unter digitalen Lehr-Lern-Angeboten bei Studierenden besonders hoch (Henderson et al. 2016, S. 8). Das gelte für offizielle, von der Hochschule bereitgestellte, aber auch inoffizielle Angebote, etwa auf Videoplattformen wie YouTube.

Da studentische eigenständige Lernaktivitäten vielfach mithilfe audiovisueller Materialien stattfinden, ist das Lernvideo ein gutes Medium, um möglichst viele Studierende zu erreichen. Das wird durch die flexible Bereitstellung sowie Zugangsvoraussetzungen begünstigt. Zwar steht mit dem Lernvideo das Medium fest, bei Erstellung und Einsatz besteht jedoch ansonsten eine hohe Offenheit bezüglich der didaktischen Gestaltung. Gegebenenfalls können Inhalte in das Video eingebunden werden, die live nicht gezeigt werden könnten.

Dem gegenüber steht, dass Anpassungen am Lernvideo nach dessen Fertigstellung aufwendig sind. Improvisation und direkte Reaktion auf die Bedürfnisse der Lernenden sind nicht möglich. Außerdem kann beim Einsatz von Lernvideos ohne Einbindung in ein übergeordnetes Lehr-Lern-Setting kein sogenanntes formatives Feedback durch die Lehrperson erfolgen. Formatives Feedback ist jedoch einer der wichtigsten Aspekte bei der Optimierung von MOOCs (Kasch et al. 2021, S. 10). Die Dimensionen Lernressourcen und Support sowie Beurteilung und Bewertung werden daher von Lernvideos nicht abgedeckt. Die Ziele eines Lernvideos können in dessen Rahmen kommuniziert werden, werden von Studierenden im IC-Kontext aber oft „nicht konsequent verfolgt“ (Mertens et al. 2019, S. 12). Es ist nicht davon auszugehen, dass sie bei isolierter Betrachtung der Lernvideos konsequenter verfolgt werden. Das Lernvideo ist eine rein instruktive Lernsituation. Der partizipative Charakter der BNE wird daher beim Einsatz von Lernvideos ohne übergreifende Lehr-Lern-Kontexte nicht unterstützt. Auch die sogenannte kognitive Aktivierung, die sich vor allem auf vertiefte Auseinandersetzung Lernender mit dem Lerngegenstand bezieht (Fauth und Leuders 2018, S. 6), wird dadurch erschwert.

3.3 Wissenschaftlichen Einordnung von Lernvideos

Wie lassen sich Lernvideos aus einer **kommunikationswissenschaftlichen Perspektive** einordnen? Ein gutes Drehbuch ist die Grundlage für einen guten Film (Modlinger 2020, S. 1). Daher müssen die Fragen geklärt werden, was ein gutes Drehbuch ausmacht und wie die Arbeit am Drehbuch zu organisieren ist.

Das Drehbuch enthält üblicherweise alle sicht- und hörbaren Informationen zur Handlung sowie die Szenennummer (Engel 2013, Folie 7). Dagegen enthält es ausdrücklich keine

Gedanken oder Gefühle der Figuren (Schnell und Simonovic 2017, S. 21 f.). Drehbücher für Lernvideos werden üblicherweise tabellarisch dargestellt (Modlinger 2020, S. 129). In Lernvideos ist der Sprecher:innentext oft vordergründig. Bei dessen Formulierung sind diverse Regeln zu beachten (Modlinger 2020, S. 100).

Bevor die eigentliche Arbeit am Drehbuch beginnt, sind grundlegende Fragen zu klären (Schnell und Simonovic 2017, Kapitel 2). Im Fall der Lernvideoproduktion sind bereits einige dieser Fragen geklärt. Die Aussage etwa orientiert sich an den Lernzielen. Außerdem gibt es unterschiedlichste filmische Grundmuster, die zur Orientierung genutzt werden können (Schnell und Simonovic 2017, S. 12 f.). Eine vertiefte wissenschaftliche „Untersuchung von Erzähl- und Affektstrukturen“ (Henschen et al. 2022, S. 8) findet in Deutschland kaum statt (S. 9). Allerdings können die Erzählstrukturen, die in amerikanischen Filmen identifiziert werden, eingesetzt werden. Um die Aufmerksamkeit und intrinsische Motivation der Zielgruppe aufrecht zu erhalten, kann der zusätzliche Einsatz passender dramaturgischer Mittel dienen. Schnell und Simonovic (2017, S. 31 f.) heben etwa die besondere dramaturgische Relevanz eines effektvollen Anfangs und rechtzeitigen Endes von Filmen sowie einzelnen Szenen hervor und nennen die Rückblende, Plant und Payoff (P&P), Off-Erzähler:innen und Rahmenhandlungen als weitere relevante dramaturgische Gestaltungsmittel. P&P bezeichnet den Grundsatz, dass alle gezeigten Elemente zur Geschichte beitragen und ist auch als Chekovs's Gun bekannt. Die Umsetzung lässt sich anhand der namensgebenden Metapher beschreiben: Wenn im ersten Akt eine Pistole an der Wand hängt, so muss sie im letzten Akt abgefeuert werden (Hellerman 2019).

Da das Lernvideo nicht vordergründig unterhalten, sondern Lernerfolg fördern soll, sind Erzählstrukturen sowie dramaturgische Gestaltungsmittel so auszuwählen, dass sie den Lernzielen dienen. Neben der Lernzielorientierung sind nach Modlinger (2020, S. 90) weitere Qualitätsmerkmale für eLearning-Drehbücher die Zielgruppengerechtigkeit, fachliche Korrektheit sowie einheitliche Gestaltung in visueller, auditiver und sprachlicher Hinsicht. Diese lassen sich auf Lernvideos übertragen. Ein wichtiges Merkmal des Drehbuchs ist dessen Prozessualität (Henschen et al. 2022, S. 9). Ein Drehbuch ist stets nur die aktuellste Version seiner selbst. Es ist mehrfach zu überarbeiten, bevor die Produktion beginnt.

Lehr-Lern-Angebote sollten sich an den Lernenden orientieren – damit stellen sich **bildungswissenschaftliche Herausforderungen**. Das gilt auch in der Hochschulbildung (Schmidt und Tippelt 2005, S. 4). Für die Orientierung an Lernenden erfolgt eine Abkehr von Lehrzielen hin zu Lernzielen (Velica 2010, S. 1). Dazu werden Ziele bezüglich des Kompetenzerwerbs aufgrund der Lehr-Lern-Situation formuliert. Erst anschließend werden Inhalte, Methoden und Medien ausgewählt, welche dazu beitragen, die Lernziele zu erreichen. Das hilft unter anderem dabei, die Lernenden kognitiv zu aktivieren (Fauth und Leuders 2018, S. 4). Dieses Vorgehen ist allgemeiner Natur und lässt sich somit auch auf die Konzeption von Lernvideos übertragen. Die einzige Ausnahme bildet die Auswahl von Medien. Das Lernvideo selbst ist das Medium. Allerdings können auch im Lernvideo unterschiedliche Medien eingesetzt werden.

Lernziele lassen sich in Anlehnung an Velica (2010, S. 5–8) anhand unterschiedlicher Kategorien klassifizieren. Die Klassifizierung erfolgt unter anderem hinsichtlich ihrer Präzisierung. Mit absteigendem Abstraktionsgrad respektive aufsteigender Präzisierung können Richtziele, Grobziele, Feinziele und Teilziele unterschieden werden. Weitere Klassifizierungskategorien sind Anforderungsbereich (AFB) und Lernzieldimension. Die Lernzieldimensionen sind sozial, affektiv und psychomotorisch (Volk 2020, S. 4). Üblicherweise erfolgt die Formulierung der Lernziele nacheinander mit steigender

Präzisierung. Dabei werden sie operationalisiert. Dadurch soll der Lernerfolg messbarer zumindest beobachtbar werden (Velica 2010, S. 9). Lernerfolg ist in dem Zusammenhang als Erreichen der Lernziele zu verstehen.

Bei der Operationalisierung der Lernziele werden Operatoren eingesetzt. Diese sind als „handlungsleitende Verben“ (Bildungsplan Gymnasium Physik BW 2016, S. 40) definiert. Sie sind gemäß den Bildungsstandards drei Anforderungsbereichen zugeordnet. Diese sind Reproduktion (AFB 1), Reorganisation (AFB 2) und Transfer/Bewertung (AFB 3) (KMK 2020, S. 23). Lernvideos haben meist eine kurze Laufzeit und werden oft ohne Kontext konsumiert. Daher erscheinen bei der isolierten Betrachtung nur Lernziele umsetzbar, die Kompetenzen des AFB 1 oder 2 anstreben. Erst in einem umfassenderen Kontext, in den das Lernvideo gegebenenfalls eingebettet ist, sind Lernziele des AFB 3 realistisch. Eine Auswahl denkbarer Operatoren zur Formulierung von Lernzielen für Lernvideos ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Lernziel-Operatoren für MINT-Fächer.

Operator	Kurzbeschreibung	AFB
Benennen	Fachbegriffe kriteriengeleitet zuordnen.	AFB I
Beschreiben	Sachverhalte schlüssig wiedergeben.	AFB II
Darstellen	Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden und Ergebnisse strukturiert wiedergeben.	AFB II
Erkennen	Kognitiver Prozess der Abstraktion, bei dem eine Wahrnehmung einem Begriff oder Konzept zugeordnet wird. Dieser Prozess ist nur durch beobachtbare Folgehandlungen operationalisierbar.	AFB I
Erklären	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen.	AFB II
Nennen	Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten, Fakten ohne Erläuterung wiedergeben.	AFB I

Quelle: Förster Ribet 2023

Um die Lernziele zu erreichen, erfolgt eine didaktische Rekonstruktion der ausgewählten Inhalte. Dabei gilt es nach Kircher (2015, S. 5) sicherzustellen, dass die Rekonstruktion fachgerecht, lernendengerecht und zielgerecht ist. Alternativ können die Kriterien angemessen für die geistige Struktur der Lernenden, fachlich richtig sowie entwicklungsfähig angeführt werden (Bleichroth 1991, S. 7 f.). Die genannten Kriterien widersprechen sich teilweise. Darum erfolgt eine kurze, begründete Auswahl.

Modelle, die nur in sehr begrenztem Rahmen fachlich korrekt sind, können nach Kircher (2015, S. 5) trotzdem als fachgerecht gelten. Zugleich sollen die didaktisch rekonstruierten Inhalte erweiterbar sein (Kircher 2015, S. 6). Bleichroth (1991, S. 8) weist hingegen explizit auf die Gefahr hin, dass bei der Elementarisierung, die ein Bestandteil der didaktischen Rekonstruktion ist, fachliche Fehler entstehen können, die zu vermeiden sind. Die Erweiterbarkeit fordert er in einem eigenen Kriterium. Denn auch wenn die fachliche Korrektheit gewahrt werden soll, erfolgen Vereinfachungen, die später gegebenenfalls nicht mehr vorgenommen werden. Für einen möglichst bruchlosen Übergang zu einem allgemeineren Modell, also für Erweiterbarkeit, ist es wichtig, die Grenzen vereinfachter Modelle zu thematisieren.

Tabelle 2: Kriterien der didaktischen Rekonstruktion (nach Bleichroth 1991, Kircher 2015)

Kriterium	Überprüfende Fragestellung
Fachliche Korrektheit	<ul style="list-style-type: none"> Ist die didaktisch rekonstruierte Sachstruktur fachlich korrekt?
Entwicklungsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Ist die didaktisch rekonstruierte Sachstruktur bruchlos zu verallgemeinern?
Zielgerechtheit	<ul style="list-style-type: none"> Sind alle Inhalte der didaktisch rekonstruierten Sachstruktur notwendig, um die Lernziele zu erreichen? Fehlen Inhalte um die Lernziele zu erreichen?
Lernendengerechtheit	<ul style="list-style-type: none"> Verfügen die Lernenden über die notwendigen Vorkenntnisse, um die didaktisch rekonstruierte Sachstruktur zu verstehen? Unterfordert sie die Lernenden?

Quelle: Förster Ribet 2023

Die Lernendengerechtheit (Kircher 2015) und Angemessenheit für die geistige Struktur der Lernenden (Bleichroth 1991) sind weitgehend identisch. Die zeitgemäßere Formulierung „lernendengerecht“ wird übernommen. Es handelt sich um ein wichtiges Kriterium, da die Sachstruktur nur dann angemessen didaktisch rekonstruiert werden kann, wenn die Vorkenntnisse und Interessen der Zielgruppe bedacht werden. Die Lernendengerechtheit ist wichtig, um kognitive Aktivierung zu fördern (Fauth und Leuders 2018, S. 9). Die Zielgerechtheit wird von Bleichroth (1991) nicht aufgegriffen. Aufgrund der zuvor diskutierten Lernzielorientierung nimmt sie allerdings eine wichtige Rolle ein. Ein möglicher Kriterienkatalog zur didaktischen Rekonstruktion ist Tabelle 2.3 zu entnehmen. Zu den Kriterien sind jeweils Fragestellungen aufgeführt, mit denen überprüft werden kann, ob die jeweiligen Kriterien erfüllt werden.

Neben starkem Bezug auf Vorwissen und Lernzielorientierung ist beim Versuch kognitive Aktivierung zu fördern auch eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand seitens der Lernenden anzustreben (Fauth und Leuders 2018, S. 8). Dafür gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Im Fall von Lernvideos haben unter anderem die Unterteilung in Abschnitte sowie Gelegenheiten zu Selbsterklärungen einen positiven Effekt auf den Lernerfolg (Zheng et al. 2022, S. 13 f.). Diese sind vermutlich der Erhöhung der Interaktivität zuzuordnen. Eine gezielte Erhöhung der Interaktivität ist besonders bei digitalen Lernumgebungen sinnvoll, da Individualisierung durch adaptives Lerndesign mit enormem Aufwand verbunden ist (Schulmeister 2004, S. 8). Kleine Interaktionen, wie das Pausieren und Zurückspulen, reichen aus, um den Lerneffekt zu steigern (Merkt et al. 2011, S. 14). Dafür können diese Interaktionen bewusst provoziert werden. Allerdings sollte das dosiert geschehen, damit Lernende den Überblick nicht verlieren.

Aus einer **psychologischen Betrachtung** zielt Emotional Design (ED) darauf ab, mithilfe gestalterischer Elemente positive Emotionen in Lernenden hervorzurufen und dadurch den Lerneffekt zu verbessern (Um et al. 2012, S. 2). In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass ED Verständnis, Transferkompetenz und Motivation der Lernenden fördert (Brom et al. 2018, S. 39; Plass et al. 2014, S. 10; Um et al. 2012, S. 8-10). Endres et al. (2020, S. 9) kommen hingegen zu dem Ergebnis, dass ED erst bei längeren Lernsituationen zu erhöhtem Lernerfolg führen. Die verbesserten Lernerfolge stellen sich demnach erst bei einer Dauer der Lehr-Lernsituation von etwa zehn Minuten ein. Das könnte die Sinnhaftigkeit des Einsatzes

von ED bei Lernvideos auf solche über der besagten Länge oder beim Einsatz im Rahmen von MOOCs oder IC einschränken (Endres et al. 2020, S. 10).

Prominente ED-Aspekte sind der Einsatz mehrerer, bevorzugt warmer Farben und Athropomorphismen (Brom et al. 2018, S. 38 f. Plass et al. 2014, S. 10 f.). Außerdem sind runde Formen eckigen vorzuziehen (Um et al. 2012, S. 4). Auch die individuell wahrgenommene Ästhetik hat einen positiven Einfluss auf den Gefühlszustand und den Lernerfolg (Heidig et al. 2015, S. 11 f.). Darüber hinaus kann ein pedagogical agent (PA) eingesetzt werden. Hierbei sind mehrere Aspekte zu beachten. Die humanoide und möglichst realistische Animation des PA fördert dessen Effektivität, gelingt jedoch selten (Dai et al. 2022, S. 11). PAs in Form von Strichmännchen oder nicht-humanoide sind demnach vermutlich weniger effektiv. Einige der Vorteile von PAs, wie Hinweise auf relevante Informationen durch Mimik und Gestik sind unabhängig davon, wie sie gestaltet sind. Dai et al. (2022, S. 11) merken außerdem an, dass PAs den Lernerfolg vor allem bei Lernzielen niedriger Anforderungsbereiche steigern. Bei der Gestaltung einer Lernsituation nach den genannten ED-Prinzipien ist darauf zu achten, nur zentrale Inhalte mit ED-Prinzipien hervorzuheben. Weniger relevante Aspekte können durch eine solche Akzentuierung zu verführerischen Details werden und den Lernerfolg dadurch verringern (Mayer und Estrella 2014, S. 6).

Aus Perspektive der **wissenschaftlichen Wirkungsforschung** wird nach der Lernbewertung von Lernvideos gefragt. Lehr-Lern-Situationen können anhand des Lernerfolgs, festgelegter Qualitätsmerkmale oder der subjektiven Wahrnehmung einzelner Lernender bewertet werden. Subjektive Wahrnehmung und Lernerfolg weisen eine geringe positive Korrelation auf, allerdings lassen positive subjektive Bewertungen der Videoqualität nicht auf gute Lernergebnisse schließen (Sailer und Figas 2015, S. 12 & 14).

Die Bewertung anhand des Lernerfolgs gibt Auskunft darüber, wie gut das Video geeignet ist um die Lernziele zu erreichen. Soll ein Lernvideo anhand des Lernerfolgs bewertet werden, muss dieser gemessen werden. In Anlehnung an Häußler (2015, S. 3) wird zwischen Lernerfolg im kognitiven und im nicht-kognitiven Bereich unterschieden. Im kognitiven Bereich werden kognitive Lernziele überprüft, im nicht-kognitiven Bereich affektive und psychomotorische. Messverfahren werden zwischen schriftlichen, mündlichen und beobachtungsbasierten Verfahren unterschieden, wobei schriftliche Verfahren am objektivsten und reliabelsten sind (Häußler 2015, S. 9). Kognitive Lernziele sind vergleichsweise einfach mithilfe sogenannter Leistungsaufgaben zu überprüfen. Affektive Leistungen hingegen können nicht direkt beobachtet werden. Sie können nur anhand beobachteten Verhaltens oder Wertungen beziehungsweise Entscheidungen des Prüflings in hypothetischen Situationen erschlossen werden (Häußler 2015, S. 30).

Wurde die Leistung gemessen, kann sie bewertet und der eigentliche Lernerfolg ermittelt werden. Die Bewertung der Leistung kann anhand der kriterialen oder der individuellen Bezugsnorm erfolgen. Die soziale Bezugsnorm ist in diesem Kontext irrelevant. Die kriteriale Bezugsnorm bezieht sich auf eine zuvor festgelegte, formal zu erwartende Ausprägung einer Kompetenz. Dabei bleibt die Kompetenz vor der Lehr-Lern-Situation außer Acht. Es wird somit nicht berücksichtigt, ob ein Prüfling sich eine Kompetenz im Rahmen der zu bewertenden Lehr-Lern-Situation angeeignet hat, oder diese bereits zuvor aufwies. Um die individuelle Bezugsnorm heranzuziehen, müssen die zu entwickelnden Kompetenzen vor und nach der Lehr-Lern-Situation geprüft werden. So ist es möglich einen Kompetenzgewinn (oder einen Verlust) festzustellen. Anhand der individuellen Bezugsnorm kann daher festgestellt werden, inwiefern eine Kompetenz durch die zu bewertende Lehr-Lern-Situation gestärkt wurde.

Für eine Bewertung anhand von Qualitätsmerkmalen müssen diese zunächst festgelegt werden. Einige Qualitätsmerkmale für e-Learning-Szenarien und Lernvideos wurden bereits aufgegriffen. Diese werden in einem Bewertungsraster kondensiert, welches in Anhang B zu finden ist. Eine Bewertung anhand der subjektiven Wahrnehmung eines Lernvideos gibt keine Auskunft bezüglich des Lernerfolgs. Allerdings können dadurch andere nützliche Informationen erschlossen werden. Wird ein Lernvideo als qualitativ hochwertig empfunden, so ist, unabhängig vom tatsächlich erzielten Kompetenzgewinn, davon auszugehen, dass es weiterempfohlen wird. Das ist wünschenswert, wenn es eine große Zielgruppe adressiert und möglichst viele Lernende dieser Zielgruppe erreichen soll.

Zur Erhebung der subjektiv wahrgenommenen Lernvideoqualität werden Fragebögen verwendet. In Anlehnung an Sailer und Figas (2015, S. 11) können die Skalen den Kategorien Struktur, sprachliche und inhaltliche Klarheit, Enthusiasmus, Rapport und Kompetenz und Gesamtbewertung des Videos zugeordnet werden. Einzelne, theoriebasierte und empirisch geprüfte Items können beispielsweise Gärtner et al. (2022, Anhang A) entnommen werden. Da die wahrgenommene Ästhetik ein Qualitätsmerkmal darstellt und den Gefühlszustand Lernender beeinflusst (Heidig et al. 2015, S. 11), ist auch diese zu erheben. Idealerweise deckt die Bewertung alle drei genannten Bereiche ab. Das wäre mithilfe eines Aufgabenkatalogs zum Vorwissen und einem zur Überprüfung der adressierten Kompetenzen nach dem Ansehen des Lernvideos, einem zusätzlichen Fragebogen zur Erhebung der subjektiven Bewertung und schließlich einer separaten Erhebung objektiver Qualitätsmerkmale des Lernvideos, vor allem durch Expert:innen, umsetzbar.

4 Projektverlauf: Arbeitsschritte und Methoden

Der Projektverlauf sah vier zentrale Bausteine vor, um die Vermittlung von Werkzeugen und Schlüsselkompetenzen zur nachhaltigen Produktentwicklung für Ingenieure zu gewährleisten. Zunächst wurde in Baustein 1 die „zentrale Lehrstrategie“ entwickelt und detailliert. In Baustein 2 wurden dann die „inhaltlichen Nachhaltigkeitsthemen“ sondiert und festgelegt. Daran anschließend wurden die ausgewählten Nachhaltigkeitsthemen für die beiden Formate „Lehrbetrieb“ im Baustein 3 und „Lernvideos“ im Baustein 4 aufbereitet und integriert. Die einzelnen Bausteine werden im Folgenden näher erläutert.

4.1 Baustein 1: Entwicklung der zentralen Lehrstrategie

Die Integration der Methodenkompetenz zur Nachhaltigkeit in die bestehende Ingenieurausbildung soll anhand der **best-passenden Integration in bestehende Vorlesungen** erfolgen, statt dem Aufsetzen neuer Vorlesungen oder gar neuer Studiengänge. Beides würde große Zeiträume verschlingen und gleichzeitig nur einen Teil der Studenten erreichen. Um die zur Umsetzung nachhaltiger Produkte notwendigen Methoden und Kompetenzen möglichst breit in die Ausbildung zu integrieren, mussten die geeigneten Vorlesungen ausgewählt werden, die um die entsprechenden Inhalte ergänzt werden. Hierbei ist es eine besondere Herausforderung, die für die Lehre verantwortlichen Studiendekane und auch die verantwortlichen Dozenten mit in den Prozess zu integrieren, dass die Erweiterungen und Ergänzungen zu einem integralen Bestandteil der Lehre werden.

Um die Studenten in der kompletten Breite zu erreichen, wurden Pflichtfächer aus dem Bachelor-Studiengang ausgewählt. Die Auswahl der Fächer „Werkstoffkunde“, „Produktentwicklung“ und „Maschinen und Prozesse“ erfolgte neben dieser Randbedingung

auch aus dem Grund, dass die jeweiligen Vorlesungsinhalte unterschiedliche Phasen des Produktlebenszyklus abbilden.

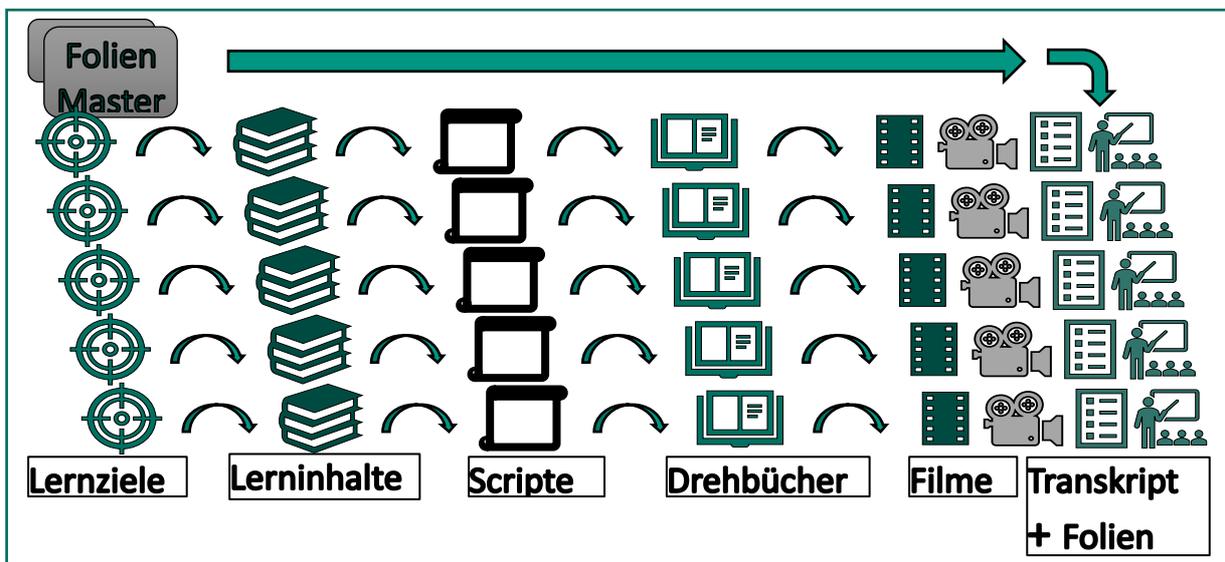
Ausgehend von einer Beschreibung der Projektziele und auch den ergänzend zu vermittelnden Lerninhalten wird die Partizipation der betroffenen Dozenten durchgeführt. Die Lerninhalte werden die ökologischen Elemente der Nachhaltigkeit mit den Methoden zur Umweltbilanzierung verknüpfen und die sozialen Elemente der Nachhaltigkeit mit den Methoden zum Umgang mit Dilemmata verbinden. Die inhaltliche Abfolge orientiert sich hierbei an den nachfolgenden Projektbausteinen:

- **Erstellung eines Basis-Trainingsmoduls:** Angestrebt wurde die Erstellung von grundsätzlichen Nachhaltigkeitsinhalten für Ingenieurtypische Vorlesungen (z.B. Vorlesungen im Bereich Werkstoffkunde, Maschinen und Prozesse): Aus der Vielzahl von über hundert Vorlesungen im Maschinenbau in Karlsruhe wurden Vorlesungen ausgewählt, die sowohl Pflichtvorlesung sind, als auch die Bereiche Produktentwicklung als auch Produktnutzung betreffen. Das Themenfeld Werkstoffe war dabei besonders gut geeignet, weil sich die die Nachhaltigkeit von Produkten betreffenden Themen in der öffentlichen Wahrnehmung sehr häufig auf Fragestellungen der Gewinnung oder des Recyclings von Werkstoffen fokussieren.
- **Mehrdimensionalität von Nachhaltigkeit berücksichtigen:** die Mehrdimensionalität von Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch, sozial, institutionell) wurde von vornherein als konstitutives Merkmal im Basismodul berücksichtigt und passgenau in verschiedenen Lehrveranstaltungen akzentuiert. Methoden zum Umgang mit Umweltthemen wurden insbesondere in der Vorlesung „Maschinen und Prozesse“ eingebracht. Ein unter Nachhaltigkeitsaspekten entwickeltes Produkt muss sich in der Benutzung oder im Zusammenhang mit seiner Benutzung nicht zwingend als die nachhaltigste Lösung erweisen. Vor allem Maschinen müssen Energien wandeln, um bestimmte Aufgaben zu erledigen. Das Wechselspiel von anwendungsgerechten Produkten und dazu implementierter Technologie wurde hierbei diskutiert werden. Methoden zum Umgang mit ökonomischen und sozialen Themen wurden in der Vorlesung „Werkstoffkunde und Produktentwicklung“ exemplarisch thematisiert. Sowohl die Materialgewinnung als auch die Herstellung und das Recycling von Produkten erfordern die Interaktion mit Menschen und deren Umfeld im Produktionsablauf oft im Rahmen globaler Arbeitsteilung. Neben diskutierten Umwelt- und Arbeitssicherheitsthemen muss hier auch auf soziale Zwänge und mit bestimmten Designs indirekt verknüpften sozialen Ungleichheiten eingegangen werden.
- **Bewerbung bei Studiendekanen, Studienkommission und Dozenten:** Um die Akzeptanz der Nutzung der Lernmodule zu erhöhen, wurde der Ansatz von NaProIng in mehreren Studienkommissionen vorgestellt. Neben dem grundsätzlichen Interesse zeigten die Professoren auch Zustimmung zur Auswahl der Beispielvorlesungen. Einzelne Professoren haben auch dedizierte Vorstellungen gewünscht, die dann beispielsweise als Bestandteil eines Graduiertenkollegs umgesetzt wurden. Feedbackgespräche nach erster gemeinsamer Vorlesung haben gezeigt, dass die detaillierte Darstellung von Themen (z.B. der Nachhaltigkeitsdefinition auf staatlicher und theoretischer Ebene) schwerer vermittelbar ist, als konkrete Zusammenhänge, wie das Recycling. Die Ausarbeitung Trainingsmodule sollte damit sowohl Anwendungsbezogen, als auch umfassend erfolgen. Dieses Dilemma ließ sich nicht auflösen, aber über der Didaktischen Weg der Definition von Lerninhalten und Lernzielen systematisieren. Hierzu musste das Gesamt-Themenfeld in kompakte, in sich geschlossene, aber miteinander verknüpfte Themen gegliedert werden.

4.2 Baustein 2: Festlegung von Nachhaltigkeitsthemen, Lernzielen und Lerninhalten

Eine zentrale inhaltliche Herausforderung war die Sondierung und Festlegung von **klar definierten Nachhaltigkeitsthemen** für den Bereich Bildung für Nachhaltigkeit, eigens dafür spezifizierte **Lernziele für die Ingenieurausbildung** und schließlich die Spezifizierung **konkreter Lerninhalte**. Themen der Nachhaltigkeit sind vielfältig und selbst für Expert:innen in ihrer Gänze kaum überschaubar. Das von NaProIng verfolgte Strategie der Sondierung und Festlegung von Nachhaltigkeitsthemen orientierte sich an folgenden Randbedingungen. Das Thema Nachhaltigkeit sollte zunächst als Gesamtkonzept vermittelt und verstanden werden. Dabei geht es um die konzeptionelle Eben von Nachhaltigkeit als Dachkonzept. Dieser umfassende Ansatz soll Nachhaltigkeit als Ganzes fassbar und verstehbar machen. Davon abgeleitet wurden Themen ausgewählt, die explizit einen ingenieurwissenschaftlichen Bezug haben, d.h. sie sind im Bereich unternehmerischer und produktbezogener Nachhaltigkeit verortet. Der Prozessverlauf der Lehrmaterialentwicklung illustriert Abbildung 1

Abbildung 2: Entwicklung von Lehr- und Lernmaterial zur Nachhaltigkeit



Quelle: eigene Darstellung

Die **Sondierung und Festlegung der Nachhaltigkeitsthemen** wurde systematisch entwickelt und eine Strukturierung des Gesamt-Themenfeldes in fünf Themenbereiche angestrebt. Das Gesamtthemenfeld der Nachhaltigkeit hat neben der Sicht auf die Definition und Beschreibungen der Nachhaltigkeitskonzepte eine Vielzahl weiterer Aspekte, die die Bewertung der Nachhaltigkeit und konkrete Methoden zur Verbesserung der Nachhaltigkeit betreffen. Es geht um die Vermittlung sowohl der Leitbilder als auch der Handlungskonzepte. Diese Themenfelder müssen mit Blick auf ihren Einsatz in der Lehre der Ingenieurwissenschaften auf bekannte Elemente projiziert werden.

Eine in allen Ingenieurwissenschaften bekannte Gliederung und Betrachtungsform ist die Betrachtung von Produktlebensphasen. Die **Abdeckung der Produktlebensphasen** wurde zuerst über die ausgewählten Vorlesungen durchgeführt. Hierzu wurden die Vorlesungen zu den Themenbereichen (1) Werkstoffkunde, (2) Produktentwicklung und (3) Maschinen und Prozesse ausgewählt. Zur Darstellung der Inhalte wurden umfänglichere Präsentationen

entwickelt, die je in einer Doppelstunde mehrere Aspekte der Nachhaltigkeit bezogen auf die jeweilige Produktlebensphase behandelt haben. Aus dem Feedback der Studierenden wurde deutlich, dass es auf diesem Wege schwierig war, die abstrakteren Inhalte zu transportieren und die für die jeweilige Vorlesung eher untypischen Lerneinheiten als zu lang empfunden wurden.

In internen Workshops mit allen Projektbeteiligten, aber auch anderen ähnlich gelagerten Arbeitsgruppen des KIT und als Bestandteil einer Abschlussarbeit wurden fünf Themenkomplexe ausgewählt, die die Gliederung der Lerninhalte der Nachhaltigkeitsbildung vorrangig an spezifischen Themenblöcken von Nachhaltigkeit als an den Themenblöcken der Ingenieurausbildung gliedern. Im Ergebnis wurden die folgenden **fünf Themenblöcke Nachhaltigkeit** festgelegt.

- Dachkonzept Nachhaltigkeit
- Nachhaltige Werkstoffe
- Nachhaltige Produktentwicklung
- Nachhaltigkeitsbewertung
- Nachhaltigkeits-Dilemmata

Diese Themenblöcke wiederum müssen kompakt dargestellt werden, um die volle Aufmerksamkeit der Studierenden zu garantieren. Dafür ist **eine Erarbeitung und Definition von spezifischen Lernzielen** zielführend. Um die o.g. Themenblöcke entsprechend kompakt darstellen zu können, wurden zu jedem Themenfeld die Lernziele erarbeitet, daraus die Lerninhalte abgeleitet und diese dann in konkrete Inhalte für PowerPoint basiertes Lehrmaterial und Skripte und Drehbücher für Lehrvideos überführt. Aus den Skripten wurden dann in Zusammenarbeit mit dem (nach offener Vergabe ausgewählten) Dienstleister die Drehbücher gestaltet. Lernziele lassen sich in Anlehnung an Velica (2010, S. 5–8) anhand unterschiedlicher Kategorien klassifizieren. Die Klassifizierung erfolgt unter anderem hinsichtlich ihrer Präzisierung. Mit absteigendem Abstraktionsgrad respektive aufsteigender Präzisierung können Richtziele, Grobziele, Feinziele und Teilziele unterschieden werden. Weitere Klassifizierungskategorien sind Anforderungsbereich (AFB) und Lernzieldimension. Die Lernzieldimensionen sind sozial, affektiv und psychomotorisch (Volk 2020, Seite 272.4. Lernvideos als Medium der BNE, S. 4). Üblicherweise erfolgt die Formulierung der Lernziele nacheinander mit steigender Präzisierung. Dabei werden sie operationalisiert. Dadurch soll der Lernerfolg mess- oder zumindest beobachtbar werden (Velica 2010, S. 9). Lernerfolg ist in dem Zusammenhang als Erreichen der Lernziele zu verstehen. Die auf dieser Basis entwickelten spezifischen Lernziele sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 3 : Spezifische Lernziele bei den fünf Nachhaltigkeitsthemen

Nachhaltigkeitsthema	Lernziele
Dachkonzept Nachhaltigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Die Relevanz nachhaltiger Produktentwicklung, insbesondere einer frühen Berücksichtigung nachhaltiger Aspekte, beschreiben können. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Die Notwendigkeit zu erkennen, den gesamten Lebenszyklus / die gesamte Wertschöpfungskette zu betrachten. (affektives Lernziel des AFB 2) • Ökodesign-Konzepte nennen können. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Herausforderungen nennen können, die bei nachhaltiger Produktentwicklung auftreten. (affektives Lernziel des AFB 2)

Nachhaltige Werkstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Den langfristigen Vorteil ressourcenschonenden Handelns erkennen. (affektives Lernziel des AFB 2) • Anforderungen an nachhaltige Produkte nennen können. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Die Notwendigkeit zur Betrachtung des gesamten Lebenszyklus erkennen. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Ansätze für den nachhaltigen Umgang
Nachhaltige Produktentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Relevanz nachhaltiger Produktentwicklung, insbesondere einer frühen Berücksichtigung nachhaltiger Aspekte, beschreiben können. (affektives Lernziel des AFB 2) • Die Notwendigkeit zur Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus darstellen können. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Ökodesign-Konzepte nennen können. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Herausforderungen nennen können, die bei nachhaltiger Produktentwicklung auf- treten. (kognitives Lernziel des AFB 1)
Nachhaltigkeitsbewertung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Relevanz von Nachhaltigkeits- bzw. Umweltbewertungen erkennen. (affektives Lernziel des AFB 1). • Gütekriterien für Methoden und Werkzeuge zur Nachhaltigkeitsbewertung nennen können. (kognitives Lernziel des AFB 1). • Verschiedene Bewertungsmethoden nennen können. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Die Notwendigkeit zur Betrachtung des gesamten Lebenszyklus darstellen können. (Kognitives Lernziel des AFB 2) • Rahmenbedingungen und grundlegende Prozesse einer Ökobilanz nach ISO 14040 nennen können. (Kognitives Lernziel des AFB 1) • Grenzen der Ökobilanz nennen können. (kognitives Lernziel des AFB 1)
Nachhaltigkeits-Dilemmata	<ul style="list-style-type: none"> • Die Relevanz von Nachhaltigkeits- bzw. Umweltbewertungen erkennen. • Gütekriterien für Methoden und Werkzeuge zur Nachhaltigkeitsbewertung nennen können. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Verschiedene Bewertungsmethoden nennen können. • Die Notwendigkeit zur Betrachtung des gesamten Lebenszyklus darstellen können. (kognitives Lernziel des AFB 1) • Rahmenbedingungen und grundlegende Prozesse einer Ökobilanz nach ISO 14040 nennen können. (affektives Lernziel des AFB 2) • Grenzen der Ökobilanz nennen können. (kognitives Lernziel des AFB 1)

Quelle: Förster Ribet 2023

Auf dieser Basis wurden **konkrete Lerninhalte** zur Erstellung der Lernmodule entwickelt. Die Lerninhalte wurden jeweilig aus den Lernzielen abgeleitet. Hierzu wurden die Sätze in alleinstehende beschreibende Sätze umformuliert. Mit Blick auf die geplanten Kurzvideos wurden direkt Skripte formuliert, diese Lerninhalte zu vermitteln. Jedes Video hat gut 4 Minuten Dauer, um auch begrenzte Aufmerksamkeitsspannen der Studierenden vollständig nutzen zu können. Um den Zusammenhalt der fünf Kurzvideos herzustellen, wird in allen Drehbüchern das Video gleich eingeleitet. In der gemeinsamen Einleitung wird jeweils der Bezug zu Handlungsanweisungen

- **Erstellung der Videos durch einen Dienstleister:** In einer Vergabe haben mehrere Dienstleister die Erstellung der Kurzvideos auf Basis der vom Projekt bereitgestellten

Drehbücher angeboten. Nachdem nur zwei Anbieter konkrete Erfahrungen mit Lehrvideos aufzeigen konnten, wurde der günstigste Anbieter ausgewählt, wobei bei einem der ausgeschlossenen Anbieter sogar Lizenzen für die Wiedergabe angefallen wären. Die eigentliche Erstellung der Videos gliedert sich in mehrere Schritte: Erstellung abgestimmter Drehbücher inkl. Angabe der verwendeten Grafikelemente; Auswahl des Sprechers; Erstellung der Erst-Version der Videos; Konkretisierung des für alle Videos gemeinsamen Intro-Teiles; Erstellung des finalen Videos mit Berücksichtigung aller durch das KIT gegebenen Anmerkungen

- **Erstellung von beschreibenden Transkripten:** Auf Basis der finalen Videos wurden im Folgenden pro Video je ein Transkript erstellt, damit die Dozenten die Möglichkeit haben, Inhalte des Videos in ihren Vorlesungen einzubinden. Die Transkripte sind ferner mit den bibliographischen Informationen zu den Videos ausgestattet, sowie die zugehörigen YouTube- Links.
- **Erstellung von begleitenden Foliensätzen:** Die Inhalte der fünf Kurzvideos sind ferner in Form von je einem Foliensatz dargestellt worden. Diese Foliensätze sollen es den Dozenten ermöglichen, die erarbeiteten Lerninhalte in die bestehenden Foliensätze ihrer Vorlesungen zu integrieren, ohne mediale Umbrüche in Kauf nehmen zu müssen. Ferner können sie so leicht die zusätzlichen Inhalte um eigene Folien mit für ihre Vorlesung spezifischen Verknüpfungen erweitern.

4.3 Baustein 3: Nachhaltigkeit im Lehrbetrieb

Eine zentrale Voraussetzung für den Erfolg von NaProlng war die einfache Integration von Nachhaltigkeitsthemen in den laufenden Curricula-Betrieb. **Die Organisation, Vermittlung und Abstimmung zur Integration von Nachhaltigkeit in den Lehrbetrieb** war mithin ein wichtiger Baustein im Projektverlauf.

Ein wesentliches Ziel der Einführung der Lerninhalte zur Nachhaltigkeit in bestehende Vorlesungen ist es, bei ihrer Integration das not-invented-here (NIH)-Syndrom zu vermeiden. Zusammen mit schon gefüllten Vorlesungsinhalten müssen deswegen schon zu Beginn zwei wesentliche Stakeholder in den Prozess eingebunden werden, die Studiendekane und die Studienkommissionen. Der **Diskurs mit Studienkommissionen und Studiendekanen** war daher eine zentrale Projektaufgabe. Beide Stakeholder sind von Seiten der Universitätsleitungen oft aufgefordert, die Nachhaltigkeitsthematik in der Lehre zu verstärken und unterstützen so oft aus Eigeninteresse die hier vorgestellte Vorgehensweise. Um die konkrete Unterstützung der betroffenen Personen zu erwirken, ist eine gemeinschaftliche Vorgehensweise vonnöten.

Hierzu wurde zunächst ein Foliensatz zur Präsentation in den Studienkommissionen erstellt. Der Erste Schritt zur Dissemination der Lerninhalte war somit eine Vorstellung des Konzeptes zur Erstellung von Lernmodulen für die Ingenieurausbildung in den Studienkommissionen der Ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten. Darauf gab es im Diskursverlauf grundsätzlich ein positives Echo. Die direkte Reaktion nach diesen Vorstellungen können als positiv zusammengefasst werden. Hinzu kam die Fragestellung, woher die – Zitat „selbstlose“ Eigeninitiative – käme. Hier konnten wir auf das von der DBU geförderte Drittmittelprojekt NaProlng verweisen. Im weiteren Verlauf des Projektes hat sich herausgestellt, dass die grundsätzlich positive Haltung aber meist mit einer abwartenden Haltung gekoppelt war.

Schwieriger gestaltete sich denn auch die Auswahl der Vorlesungen für NaProlng Pilotveranstaltungen. Zunächst wurden nach konkreten Testterminen mit dem Studiendekan sondiert. Die Vorstellung beinhaltete auch die Sicht auf die Vielzahl der aktuellen Vorlesungen

und die nach den o.g. Prinzipien durchgeführte Auswahl an Testvorlesungen. Die Testtermine wurden durch die Dozenten oft an das jeweilige Semester-Ende gelegt, was wohl der Sorge zuzuschreiben war, den eigenen Stoff nicht unverändert darbieten zu können. Diese Termine haben sich insofern als nachteilig erwiesen, dass einige Studenten den zusätzlichen und nicht prüfungsrelevanten Stoff nicht als entsprechend wichtig eingestuft haben.

Die Auswahl der Vorlesungen erfolgte wie zuvor dargestellt so, dass Pflichtvorlesungen ausgewählt wurden, die unterschiedliche Phasen eines Produktlebenszyklusses abbilden. Die Vorlesung, die sich mit der Nutzungsphase auseinandersetze hatte damit die für die Studenten greifbarste Praxisnähe und wurde dementsprechend direkt als integraler Bestandteil der Vorlesung aufgenommen, während die abstrakten Nachhaltigkeitsthemen in der Werkstoffvorlesung eher als "Fremdkörper" wahrgenommen wurden.

Die gemachten **Erfahrungen im Lehrtestbetrieb** lassen sich folgendermaßen zusammenfassen

- **Testlauf bei den Vorlesungen „Werkstoffe“, bei „Technische Mechanik“ und bei „Maschinen und Prozesse“:** In den o.g. Vorlesungen wurde jeweils das Themenfeld Nachhaltigkeit mit den Elementen Begrifflichkeit, Vereinbarungen, Bewertungen und Ökobilanzen dargestellt. Die Vielzahl der Aspekte der Nachhaltigkeits-Lehre hat sich hier als zu Umfangreich erwiesen.
- **Schwierigkeiten insbesondere bei Wechsel von Professuren:** Im Falle einer Vorlesung ist das Projekt NaProlng mit einer Nachbesetzung der entsprechenden Professur zeitlich zusammengekommen. Während des letzten Semesters vor der Rente und des ersten Semesters nach Neubesetzung war die Bereitschaft für die Integration der Lernmodule erwartungsgemäß eingeschränkt und wurde an Mitarbeiter übertragen, was die Umsetzung zusätzlich erschwerte.
- **Wechselwirkung mit Überarbeitung des Bachelors-Studienganges Maschinenbau:** Positive Wechselwirkungen waren hingegen bei der Überarbeitung des Studienganges (in diesem Fall Bachelor Maschinenbau) zu beobachten. Ob die Initiative die entsprechenden Impulse oder Motivation bewirkt hat kann nicht gesagt werden, aber mehrere Vorlesungen wurden bei dem insgesamt deutlich kompakteren Studiengang um Nachhaltigkeitsaspekte erweitert. Ob und in welchem Maße die erarbeiteten Lernmodule bei der Umsetzung der erweiterten Lernziele genutzt wurden kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend bewertet werden.
- **Bereitstellung der Videos, Transkripte und Folien:** Zur Dissemination der erarbeiteten Lernmodule wurden zuerst digitale Informationspakete pro Themenkomplex geschnürt. Jedes Informationspaket besteht aus dem Video, dem Transkript und dem Foliensatz. Alle Dokumente wurden als Medien oder als Lehrmaterialien auf das KIT open Access Repository KIT open hochgeladen. Hierbei erhalten alle Module eine Dokumentenidentifikationsnummer doi, über die Sie im Internet frei verfügbar erhältlich sind¹. Zudem wurden die Videos in unterschiedlichen Auflösungen auf dem YouTube Kanal des Zentrums für Mediales Lernen ZML hochgeladen:
- **Information der Studiendekane und des Begleitkreises:** Die gesammelten Informationspakete wurden abschließend den Studiendekanen der Fakultäten und auch dem Begleitkreis des Projektes zur Verfügung gestellt. Damit sind alle erstellten

¹ <https://medienportal.bibliothek.kit.edu/details/DIVA-2024-C9>

Lernmodule frei erhältlich und so aufbereitet, dass sie mit geringem Aufwand genutzt werden können.

4.4 **Baustein 4: Nachhaltigkeit in Lehrvideos**

Die erstellten Lernvideos und das zugehörige Lehrmaterial bestehend aus Transkripten und Foliensetzen sollen den Studierenden und Lehrenden als Werkzeugkoffer dienen, um Nachhaltigkeit in ihrem Wirkungsfeld zu etablieren. Im ersten Schritt wurden **Skripte** erstellt, die anschließend in **Drehbücher und Videos** überführt wurden.

Alle **Skripte** folgen einer einheitlichen Dramaturgie, die sich in Einleitung, Hauptteil und Schlussappell gliedert. Die Einleitung hat zum Ziel, die Grundfrage "Nachhaltigkeit – was bedeutet das eigentlich?" klar zu formulieren und prominent zu stellen. Im Hauptteil des Skripts wird je einer von fünf Aspekten der Nachhaltigkeit näher beleuchtet. Die Auswahl der Aspekte erfolgte unter Berücksichtigung ihrer thematischen Breite, um eine Schlaglichtwirkung zu erzielen. Die Aspekte werden anhand von Beispielen erklärt. Den Abschluss bildet ein Appell an die Zielgruppe der Ingenieur:innen und Ingenieure. Die Lerninhalte werden in den Skripten neutral-wissenschaftlich aufbereitet, d. h. es wird auf Rollenzuschreibungen weitestgehend verzichtet. Wo ein Protagonist nötig ist, wird Nachhaltigkeit gesetzt, der Kontext jeweils vom Aspekt bestimmt, der beleuchtet werden soll.

Bei der Erstellung der Lerninhalte wurde bereits darauf geachtet, dass diese klar, prägnant und in einer möglichst einheitlichen Struktur aufbereitet werden. Dadurch wird eine gute Zugänglichkeit der Inhalte trotz ihrer Komplexität gewährleistet. Zudem wird so der Wiedererkennungswert der Videos untereinander sowie deren potenzielle Integration in eine Lehrsituation vorbereitet.

Das Angebot frei verfügbarer Lehrmaterialien zielt darauf ab, die Integration in bestehende Studiengänge und deren Vorlesungen zu ermöglichen. Dadurch soll die zeitnahe Etablierung von Nachhaltigkeit für Ingenieure in ihren Facetten als Lehrinhalt unterstützt werden.

Bei der Erstellung der Skripte für die **Drehbücher und Lehrvideos** wird dem Aspekt der Diversifikation der Ingenieurstudiengänge besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die Drehbücher sind so konzipiert, dass ein Aspekt möglichst prägnant, aber auch kurzweilig präsentiert wird. Der grundlegende Ablauf der Drehbücher orientiert sich an den zuvor erstellten inhaltlichen Skripten, die eine Strukturierung der Themen sowie die Präsentation geeigneter, prägnanter Beispiele vorsehen.

Für die Umsetzung der Skripte in Drehbücher wurde der gemeinsame Rahmen aus Einleitung und Schlussappell für alle Videos auch graphisch einheitlich umgesetzt. Allein das Dachkonzept hat eine umfangreichere Einleitung, die sich in den Grundelementen in allen Videos wiederfindet. Über den gesamten Gestaltungsprozess wurde auch Eigenständigkeit der Drehbücher geachtet, so dass die Videos inhaltlich in sich geschlossene Einheiten darstellen, die alleine verständlich und lehrreich sind. Die Konzeptionierung der grafischen Elemente und der Skripte erlaubt eine Reduzierung der Inhalte der Drehbücher auf etwa 400 Wörter Sprechtext, sodass Lehrvideos in einer Länge von vier Minuten realisiert werden können. Diese Länge entspricht etwa der Aufmerksamkeitsspanne, die Onlinevideos zugesprochen wird, und ist darüber hinaus als Lehrmittel im Sinne der Medienvielfalt in Vorlesungen oder andere Gruppenformate integrierbar. Der Text ist entsprechend kürzer und straffer aufgebaut. Einige Inhalte werden ausschließlich in Bild und nicht als Sprechtext präsentiert.

Aufgrund der Kompaktheit der Videos wurden bestimmte graphische Elemente als Ankerinhalte für Inhalte verwendet, die für die Dramaturgie der Videos unerlässlich ist. Die Berücksichtigung dieser grafischen Inhalte, wie das Ziel als Bergspitze oder der Prozess als stilisiertes Fleißband finden sich in den unterschiedlichen Videos wieder und erhöhen so den Wiedererkennungswert.

Die Komplexität und Relevanz der darzustellenden Inhalte machen eine zurückgenommene grafische Aufbereitung erforderlich. Zur besseren Strukturierung und zur leichteren Orientierung wurde hier die Darstellungsart "Graphic-Style" gewählt. Diese wurde umgesetzt mit einem gleichbleibend grünblauen Hintergrund und einfarbige weiße Bild- und Schriftelemente. Zur besseren Übersichtlichkeit wird ein fortlaufender, schlichter weißer Strich verwendet, der zwischen den einzelnen Erklärschritten nach rechts oder unten aus der grafischen Aufbereitung der einen Ansicht als Linie in die nächste führt und dort den Aufbau der nächsten Grafik auf einem sozusagen neuen Hintergrund initialisiert. Die einzelnen Inhaltspunkte werden somit auch optisch nacheinander aber miteinander verbunden aufbereitet, was den Nutzer:innen ein besseres Zurechtfinden in den Inhalten und Folgen der Erklärung ermöglichen soll.

Die Bereitstellung der Inhalte zu Nachhaltigkeit für die Lehrveranstaltungen sowie in Selbstlernphasen von Ingenieur:innen und Ingenieuren erfolgt durch fünf Kurzvideos zu jeweils einem Aspekt. Das Ziel der Videoerstellung besteht in der Erstellung von kompakten Lernmodulen zu wichtigen ingenieurwissenschaftlichen Bereichen von Nachhaltigkeit. Die insgesamt fünf Videos sollen Interesse wecken, Wissen vermittelt und führen so ein in die fünf Themen:

- Nachhaltigkeit als Dachkonzept
- Nachhaltige Materialien und Werkstoffe
- Nachhaltige Produktentwicklung und Ökodesign
- Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewertung
- Nachhaltigkeitsdilemmata

Die Kurzvideos werden zur freien Nutzung auf YouTube (verschiedene KIT Kanäle) und im Repository KITOpen zur Verfügung gestellt.

5 Kurzdarstellung der Ergebnisse

5.1 Nachhaltigkeit im Lehrbetrieb

Die Inhalte des Lehrmaterials für Vorlesungen im Lehrbetrieb wurden über detaillierte Powerpoint-Folien aufbereitet. Nachfolgend werden exemplarisch einige ausgewählte Folien zur Illustration dargestellt.

5.1.1 Lehrinhalte „Dachkonzept Nachhaltigkeit“



Dachkonzept Nachhaltigkeit



KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft www.kit.edu



Nachhaltigkeitsziele und -strategien

- Deutschland: Nachhaltigkeitsstrategie seit 2002
- Vereinte Nationen: Nachhaltigkeitsstrategie seit 2016
- Nationale Nachhaltigkeitsstrategien orientieren sich an den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen
- Zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele, werden diese in **Einzelaktivitäten** übersetzt



<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitsziele-erleben/22-174>

5 28.08.2024 Dachkonzept Nachhaltigkeit



Gliederung

- Kerngedanke der Nachhaltigkeit
- Dimensionen der Nachhaltigkeit
- Nachhaltigkeitsziele und -strategien
- Nachhaltigkeit in Unternehmen
- Belastbarkeit der Umwelt
- Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen
- Fazit

2 28.08.2024 Dachkonzept Nachhaltigkeit



Nachhaltigkeit in Unternehmen

- Unternehmen berücksichtigen bei strategischen Entscheidungen finanzielle, soziale, ethische und ökologische Aspekte
- Nachhaltigkeit kann ein **Wettbewerbsvorteil** sein:
 - Bindung von Investoren
 - Rekrutierung von Nachwuchskräften



6 28.08.2024 Dachkonzept Nachhaltigkeit



Kerngedanke der Nachhaltigkeit

- Nachhaltigkeit beschreibt ein **normatives Leitbild** und ein **praktisches Handlungskonzept**
- Leitbild: **ethisches Prinzip** eines verantwortungsbewussten Lebens für heute und morgen
- Handlungskonzept: **konkrete Handlungsweisen** entwickeln, um zukunftsfähige Gesellschaft und Umwelt mit dafür notwendigen Ressourcen bereitstellen

Leitbild



Handlungskonzept



3 28.08.2024 Dachkonzept Nachhaltigkeit



Belastbarkeit der Umwelt

- **Planetaren Belastungsgrenzen:** wissenschaftliches Konzept zur Untersuchung der Belastungsgrenze von Natur und Mensch
- Konzepte helfen...
 - ...zum **Bewerten** der Maßnahmen für nachhaltiges Wirtschaftswachstum
 - ...zur **langfristigen Sicherung** der Existenzgrundlagen





<https://www.nachhaltigkeit.de/planetaren-belastungsgrenzen/>

7 28.08.2024 Dachkonzept Nachhaltigkeit



Dimensionen der Nachhaltigkeit

- Nachhaltigkeit umfasst **soziale, ökonomische und ökologische Dimensionen**
- Diese Dimensionen definieren die Standards, an denen Nachhaltigkeit gemessen wird
- Sie sind **grundlegend** für die Entwicklung von Nachhaltigkeitsstrategien



4 28.08.2024 Dachkonzept Nachhaltigkeit



Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen

- Nachhaltigkeit setzt ein **ganzheitliches Problemverständnis** und den **Willen zur Veränderung** voraus
- Es benötigt **nachhaltige globale Innovationen** in Schlüsselbereichen zur Bewältigung der „Global Challenges“



8 28.08.2024 Dachkonzept Nachhaltigkeit

5.1.2 Lehrinhalte „Dachkonzept Nachhaltigkeit“



Nachhaltige Materialien



KIT – Die Forschungseinheit in der Helmholtz-Gemeinschaft www.kit.edu



Materialnachhaltigkeit

- **Bioökonomie als Materialquelle:**
 - Pflanzen liefern Rohstoffe
 - CO₂ Aufnahme im Wachstum
 - Ermöglicht geschlossene Kreisläufe
 - Hinterlassen hauptsächlich CO₂ und Wasser bei Endlagerung



6 28.08.2024 Nachhaltige Materialien



Gliederung

- Umgang mit Ressourcen in Unternehmen
- Materialnachhaltigkeit
- Dienstleistungen in der Wertschöpfungskette
- Fazit

2 28.08.2024 Nachhaltige Materialien



Materialnachhaltigkeit

- **Materialnachhaltigkeit:** Verwendung von Materialien, die auf verantwortungsvolle Weise gewonnen, genutzt und/oder recycelt werden
- Biologisch abbaubare Materialien
- Recyclingmaterialien

➔ Schonung natürlicher Ressourcen ➔ Umweltfreundlichere Produktion

6 28.08.2024 Nachhaltige Materialien



Umgang mit Ressourcen in Unternehmen

- **Minimierung** des langfristigen **Ressourcenbedarfs** der Produkte und Dienstleistungen
- Nachhaltigkeitsrelevant ist der **gesamte Produktlebenszyklus**
- Nachhaltige Produkte sind:
 - Rechtlich einwandfrei
 - Wirtschaftlich sinnvoll
 - Wettbewerbsfähig
 - Umweltfreundlich
- **Ziel:** weniger Ressourcen verbrauchen als bei Rückgewinnung wiederverwendet werden können
 - ➔ **Recycling, Upcycling**

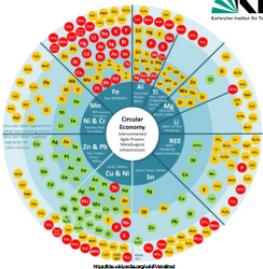


8 28.08.2024 Nachhaltige Materialien



Materialnachhaltigkeit

- **Recyclingmaterialien:**
 - Stoffe, die wiederverwendet werden können
 - Reduzieren Verbrauch natürlicher Ressourcen und Abfallmenge
 - z.B. Kupfer
 - ...

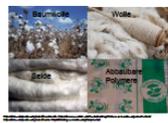


7 28.08.2024 Nachhaltige Materialien



Materialnachhaltigkeit

- **Materialnachhaltigkeit:** Verwendung von Materialien, die auf verantwortungsvolle Weise gewonnen, genutzt und/oder recycelt werden
- **Biologisch abbaubare Materialien:**
 - Hinterlassen hauptsächlich CO₂ und Wasser
 - z.B.: organische Materialien:
 - Wolle
 - Seide
 - Baumwolle
 - Cellulose
 - Abbaubare Polymere
 - Biotechnische Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen
 - ...



4 28.08.2024 Nachhaltige Materialien



Materialnachhaltigkeit

- **Ökologische Wirkungen** beim Rohstoffabbau (z.B. Kupfer)
 - Landverbrauch
 - Wasserverbrauch
 - Nutzung von Chemikalien im Abbau (z.B. Schwefelsäure, Laugen,...)
 - Eingriffe in Tier- und Pflanzenwelt



8 28.08.2024 Nachhaltige Materialien

5.1.3 Lehrinhalte „Nachhaltige Produktentwicklung“



Nachhaltige Produktentwicklung

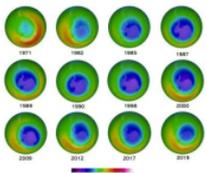


KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Geneschaft www.kit.edu



Nachhaltigkeit in der Produktkonzeption

- Der Großteil der **Umweltwirkungen** wird bei der **Konzeption festgelegt**
- Beispiel Kühlschränke:
 - Frühere Verwendung von Fluorkohlenwasserstoff als Kältemittel führt zum Ozonloch ^[4]
 - Verbesserte Nachhaltigkeit durch alternative Kältemittel (Isobutan,...)



Antarctic Total Ozone (October monthly average)

28.08.2024 Nachhaltige Produktentwicklung



Gliederung

- Der moderne Lebensstil
- Nachhaltigkeit in der Produktkonzeption
- Nachhaltige Anpassungen
- Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung
- Rebound-Effekt und Kommunikation
- Fazit

2 28.08.2024 Nachhaltige Produktentwicklung



Nachhaltige Anpassungen

- Materialien:**
 - Schadstofffrei
 - wenig energieintensiv
 - recyclebar, wiederverwendbar
 - biologisch abbaubar
- Beeinflussung des Nutzverhaltens:**
 - Akustische Warnsignale
 - Verbesserung der Energieeffizienz in der Nutzungsphase

6 28.08.2024 Nachhaltige Produktentwicklung



Der moderne Lebensstil

- Moderner Lebensstil deckt Bedürfnisse (Essen, Wohnen, Mobilität,...)
- Durchschnittlicher Konsum in Deutschland:
 - Wohnfläche: 47,4 m² ^[1]
 - Mobilität: 39 km ^[2]
 - Nahrung: 679 kg ^[3]
- Großer wirtschaftlicher und sozialer Nutzen, jedoch auch negative Auswirkungen auf die Umwelt
- Wie können Produkte nachhaltiger werden?

3 28.08.2024 Nachhaltige Produktentwicklung



Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung

- Globale Produktion bringt Unklarheit über **Arbeitsbedingungen**
- Unternehmen müssen sich der **sozialen Verantwortung** stellen
- Zuliefererketten** müssen kontrolliert werden für nachhaltige Produktentwicklung

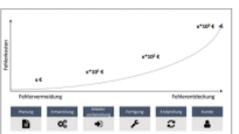


7 28.08.2024 Nachhaltige Produktentwicklung



Nachhaltigkeit in der Produktkonzeption

- Rule-of-ten:** es verzehnfachen sich die Kosten für Produktanpassungen in jeder Phase der Wertschöpfungskette
- Der Großteil der **Umweltwirkungen** wird bei der **Konzeption festgelegt**

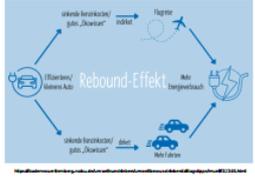


4 28.08.2024 Nachhaltige Produktentwicklung



Rebound-Effekt und Kommunikation

- Rebound-Effekt:** Einsparungen werden über eine Mehrnutzung überkompensiert
- Beispiel Auto:
 - Auto verbraucht weniger
 - Verbraucher fährt daher mit gutem Gewissen mehr
 - positive Umwelteffekte vernichtet



8 28.08.2024 Nachhaltige Produktentwicklung

5.1.4 Lehrinhalte „Nachhaltigkeitsbewertung“



Nachhaltigkeitsbewertung

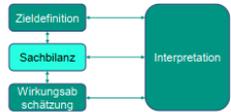


KIT - Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft www.kit.edu



Durchführung einer LCA

- Phase 2:
 - Sachbilanz: umfassende Daten zu Stoff- und Energieflüsse erheben und dokumentiert



28.08.2024 Nachhaltigkeitsbewertung



Gliederung

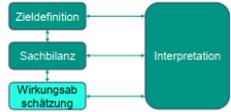
- Ökobilanz
- Durchführung einer LCA
- Mehrdimensionale Nachhaltigkeitsbewertung
- Grenzen und Herausforderungen der Methoden
- Fazit

2 28.08.2024 Nachhaltigkeitsbewertung



Durchführung einer LCA

- Phase 3:
 - Sachbilanz wird in der Wirkungsabschätzung zugeordnet
 - Auswirkungen auf die Umwelt werden berechenbar



28.08.2024 Nachhaltigkeitsbewertung



Ökobilanz

- Lebenszyklusanalyse (engl.: Life-Cycle-Assesment (LCA)): wissenschaftliche Methode zur ökologischen Bewertung
- Genormt (ISO14040, ISO14044)
- Oft vergleichend
- Unterteilt in 4 Phasen



3 28.08.2024 Nachhaltigkeitsbewertung



Durchführung einer LCA

- Phase 4:
 - Schlussfolgerungen werden gezogen und Empfehlungen ausgesprochen



7 28.08.2024 Nachhaltigkeitsbewertung



Durchführung einer LCA

- Phase 1:
 - Ziel- und Untersuchungsrahmen werden festgelegt
 - Vergleichende LCAs können nur erstellt werden, wenn die getroffenen Annahmen identisch sind
 - Der Untersuchungsrahmen entscheidet die Betrachtungspunkte



4 28.08.2024 Nachhaltigkeitsbewertung



Mehrdimensionale Nachhaltigkeitsbewertung

- LCA betrachtet nur ökologische Aspekte
- Die life-cycle sustainability assessment (LCSA) vereint ökologische, soziale und ökonomische Aspekte



8 28.08.2024 Nachhaltigkeitsbewertung

5.1.5 Lehrinhalte „Nachhaltigkeitsdilemmata“



Nachhaltigkeitsdilemmata



KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft

www.kit.edu



Entscheidungen für die Zukunft

- Nachhaltigkeitsdilemmata: Entscheidungen, die heute getroffen werden müssen, da sie die Zukunft unmittelbar beeinflussen
- Entscheidungen können zum Zeitpunkt sinnvoll erscheinen
- Zukünftig können diese Entscheidungen jedoch anders wahrgenommen werden
- ➔ Gestaltung einer - aus heutiger Sicht - wünschenswerten Zukunft



6 28.08.2024 Nachhaltigkeitsdilemmata



Gliederung

- Dilemmata
- Beispiele für Nachhaltigkeitsdilemmata
- Entscheidungen für die Zukunft
- Lösung von Nachhaltigkeitsdilemmata
- Fazit

2 28.08.2024 Nachhaltigkeitsdilemmata



Entscheidungen für die Zukunft

- Gestaltung einer - aus heutiger Sicht - wünschenswerten Zukunft
- Abwägen von:
 - Kurzfristigen gegen längerfristige Ziele
 - Nachhaltigkeit gegen noch nicht bekannte Erkenntnisfortschritte und Wissenslücken
 - Ökologische gegen ökonomische und soziale Wirkungen
- Ausgewogenheit und Entscheidungsdruck machen ein Dilemma aus
- Ausweglos** ist die konkrete Umsetzung von Nachhaltigkeit jedoch nie

6 28.08.2024 Nachhaltigkeitsdilemmata



Dilemmata

- Nachhaltigkeitsziele voneinander abhängig
- ➔ Nachhaltigkeitsdilemmata
- Dilemma: eine Entscheidungssituation, in der jede Handlung negative Konsequenzen hat und **keine eindeutige Priorisierung möglich** ist
- Bei Nachhaltigkeitsdilemmata müssen soziale, ökonomische und ökologische Aspekte abgewogen werden



3 28.08.2024 Nachhaltigkeitsdilemmata



Lösung von Nachhaltigkeitsdilemmata

- Es braucht **informierte** und **überlegte** Entscheidungen
- Entscheidungen, welche die **zukünftige Handlungsfähigkeit** sichern (durch lernende Verfahren)
- Beteiligung** als Möglichkeit des Umgangs
- Dialog** zur Schaffung von Bewusstsein und Verständnis
- Entwicklung** von Lösungen und Benennung von Problemen im Austausch

7 28.08.2024 Nachhaltigkeitsdilemmata



Beispiele für Nachhaltigkeitsdilemmata

- Wie kann die Erderwärmung wirksam reduziert werden, ohne der Wirtschaft zu schaden?
- Wie können neue Arbeitsplätze geschaffen werden, ohne dass dies auf Kosten der natürlichen Ressourcen geht?
- Soll die wirtschaftliche Entwicklung Vorrang vor Umwelt- und sozialen Belangen haben?
- Ist der Einsatz bestimmter Ressourcen angemessen, um ein Ziel zu erreichen?

4 28.08.2024 Nachhaltigkeitsdilemmata



Fazit

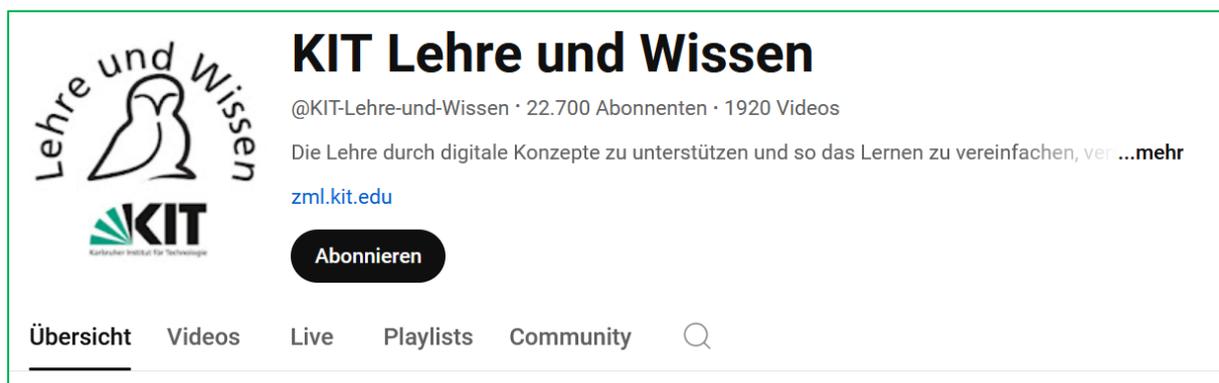
- Nachhaltigkeitsdilemmata:** komplexe und praktische Herausforderungen
- Auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft:
 - Gestaltung einer - aus heutiger Sicht - wünschenswerten Zukunft
 - Auseinandersetzung mit den möglichen Folgen der Entscheidungen
 - Notwendigkeit, sich den Herausforderungen zu stellen

8 28.08.2024 Nachhaltigkeitsdilemmata

5.2 Nachhaltigkeit in Lernvideos

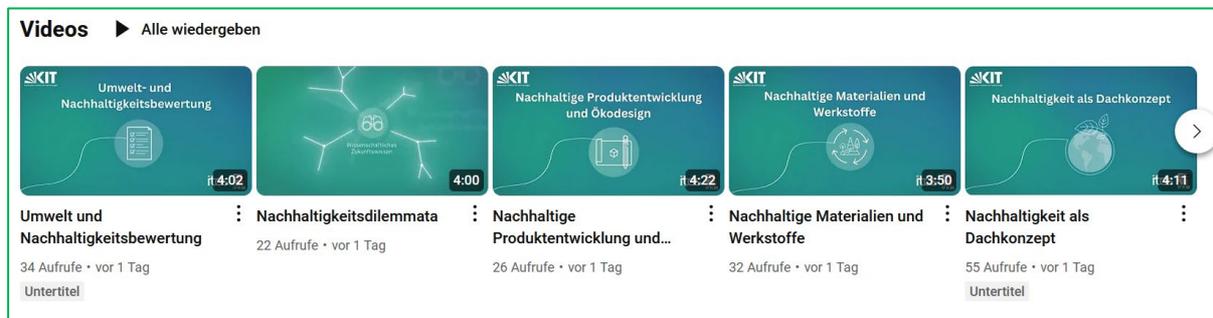
Die insgesamt fünf Videos wurde frei verfügbar auf dem KIT-Kanal „Lehre und Wissen“ bereitgestellt (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3). Der youtube Kanal „Lehre und Wissen“ wird vom Zentrum für Mediales Lernen des KIT (<https://www.zml.kit.edu/index.php>) entwickelt und betreut. Mit ca. 22.700 Followern besitzt der Kanal (<https://www.youtube.com/channel/UC6AqaL6fH91U5YhyUCI0ZOQ>) eine sehr gute Reichweite.

Abbildung 3: Screenshot des KIT Youtube-Kanals „Lehre und Wissen“



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 4: Screenshot Playlist NaProIng Nachhaltigkeit (KIT Kanal „Lehre und Wissen“)



Quelle: eigene Darstellung

Die einzelnen Links zu den Videos sind nachfolgend aufgeführt:

- Nachhaltigkeit als Dachkonzept:
<https://www.youtube.com/watch?v=2Z9z0CJBcag>
- Nachhaltige Materialien und Werkstoffe:
https://www.youtube.com/watch?v=F8ZRhSLz_CM
- Nachhaltige Produktentwicklung und Ökodesign:
<https://www.youtube.com/watch?v=HBc6SFhfBpY>
- Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewertung:
https://www.youtube.com/watch?v=t9KDK_9r4qU
- Nachhaltigkeitsdilemmata
https://www.youtube.com/watch?v=Qt7Ju2_vANs

Nachfolgend werden die insgesamt fünf Transkripte der Lernvideos in Deutsch und Englisch dargestellt. Die Transkripte werden Interessierten zur Verfügung gestellt.

5.2.1 Transkript Video „Dachkonzept Nachhaltigkeit“

Deutsche Version

Nachhaltigkeit – dieses Wort begegnet uns heute in nahezu allen Lebensbereichen. Nachhaltigkeit beschreibt sowohl ein normatives Leitbild als auch ein praktisches Handlungskonzept. Als Leitidee verfolgt Nachhaltigkeit das ethische Prinzip eines verantwortungsbewussten Lebens für heute und morgen. Als Handlungskonzept geht es darum, konkrete Handlungsweisen zu entwickeln, die eine zukunftsfähige Gesellschaft und Umwelt auf den Weg bringen und gleichzeitig die dafür notwendigen Ressourcen erhalten und bereitstellen.

Der Kerngedanke der Nachhaltigkeit lässt sich prägnant zusammenfassen: Wir dürfen heute nicht auf Kosten von morgen leben! Und zwar in sozialer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht.

Für die Entwicklung eines praktischen Handlungskonzepts werden diese drei Nachhaltigkeitsdimensionen gefördert und gefordert. Sie definieren zentrale Begriffe der Nachhaltigkeit. Beispielsweise den „schonenden“ Umgang mit Ressourcen oder „saubere“ Energie. Sie bestimmen damit die Standards, an denen Nachhaltigkeit gemessen wird. Um diesen Standards gerecht zu werden, haben viele Länder Nachhaltigkeitsstrategien entwickelt. Deutschland erarbeitet seit 2002 eine Nachhaltigkeitsstrategie und überprüft diese kontinuierlich. Dieser nationale Ansatz orientiert sich seit 2016 an den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen. Sie sind von zentraler Bedeutung für die globale Nachhaltigkeitsentwicklung. Um die Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, werden sie in Einzelaktivitäten übersetzt. Die Förderung einer nachhaltigeren Landnutzung trägt zum Beispiel dazu bei, Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels unter Berücksichtigung regionaler Besonderheiten abzumildern. Dabei sollen dauerhafte Ökosystemfunktionen ermöglicht und ein Gleichgewicht zwischen Ökologie, wirtschaftlichen Zielen sowie sozialen und gesundheitlichen Aspekten hergestellt werden.

Nachhaltigkeit in Unternehmen betrifft vor allem die Ausrichtung strategischer Entscheidungen auf eine langfristig gesicherte wirtschaftliche Positionierung. Dabei werden finanzielle, soziale, ethische und ökologische Aspekte berücksichtigt. Unternehmerische Nachhaltigkeit gilt als Kostenfaktor. Sie kann aber bei der Bindung von Investoren und der Rekrutierung von Nachwuchskräften ein Wettbewerbsvorteil sein. Wissenschaftler:innen wollen herausfinden, wo die Grenzen der Belastbarkeit von Natur und Mensch liegen. Daraus können konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Ein Beispiel hierfür sind die sogenannten planetaren Belastungsgrenzen. Ein wissenschaftliches Konzept, das die Fähigkeit unseres Planeten beschreibt, Ressourcen und Ökosystemdienstleistungen nachhaltig bereitzustellen. Sie stellen eine Reihe kritischer Systemparameter dar, die eine Bewertung von Maßnahmen für nachhaltiges Wirtschaftswachstum und eine ungestörte menschliche Existenz ermöglichen.

Nachhaltigkeit kann auf vielen Wegen erreicht werden, setzt jedoch ein ganzheitliches Problemverständnis und den Willen zur Veränderung voraus. Für nachhaltiges Handeln werden Innovationen in Schlüsselbereichen wie Technologie, Wirtschaft, Regionalentwicklung, Soziales, Kultur, Umwelt und Politik benötigt. Außerdem müssen lokale, nachhaltigere Verhaltensweisen einen globalen Wandel fordern und fördern. Die nachhaltige globale Entwicklung gilt als Schlüssel zur Bewältigung der sogenannten Global Challenges und damit

als wichtigster Beitrag für die Zukunft nachfolgender Generationen. Nachhaltige Entwicklung ist ein Lernprozess, der – wenn nötig – immer wieder angepasst werden muss.

Sie als Ingenieurinnen und Ingenieure können in den unterschiedlichsten Rollen und Kontexten wichtige Beiträge zur Nachhaltigkeit leisten. Gestalten Sie Nachhaltigkeit aktiv mit!

Englische Version

Sustainability – we encounter this word in almost all areas of life today. Sustainability describes both a normative guiding principle and a practical concept for action. As a guiding principle, sustainability pursues the ethical principle of responsible living for today and tomorrow. As a concept for action, the aim is to develop concrete courses of action that pave the way for a sustainable society and environment while at the same time preserving and providing the necessary resources.

The core idea of sustainability can be easily summarized: We must not live today at the ex-pense of tomorrow! In social, economic and environmental sense.

These three dimensions of sustainability are promoted and required for the development of a practical concept for action. They define central concepts of sustainability. For example, the "careful" use of resources or "clean" energy. They thus determine the standards by which sustainability is measured. In order to meet these standards, many countries have developed sustainability strategies. Germany has been developing a sustainability strategy since 2002 and reviews it continuously. This national approach has been based on the United Nations Sustainable Development Goals since 2016. They are of central importance for global sustainability development. In order to achieve the sustainability goals, they are translated into individual activities. Promoting more sustainable land use, for example, helps to mitigate the effects of man-made climate change while taking regional characteristics into account. The aim is to enable lasting ecosystem functions and to achieve a balance between ecology, economic goals and social and health aspects.

Sustainability in companies primarily concerns the orientation of strategic decisions towards a secure long-term economic position. Financial, social, ethical and ecological aspects are considered. Corporate sustainability is considered a cost factor. However, it can be a competitive advantage when it comes to retaining investors and recruiting young talent.

Scientists want to find out where the limits of the resilience of nature and humans lie. Concrete recommendations for action can be derived from this. One example of this are the so-called planetary boundaries. A scientific concept that describes the ability of our planet to sustainably provide resources and ecosystem services. They represent a set of critical system parameters that enable an assessment of measures for sustainable economic growth and an undisturbed human existence.

Sustainability can be achieved in many ways, but requires a holistic understanding of the problem and the will to change. Sustainable action requires innovation in key areas such as technology, business, regional development, social, cultural, environmental and political issues. In addition, local, more sustainable behaviors must demand and promote global change. Sustainable global development is seen as the key to overcoming the so-called global challenges and thus as the most important contribution to the future of generations to come. Sustainable development is a learning process that can be adapted if necessary.

As engineers, you can make important contributions to sustainability in a wide variety of roles and contexts. Take an active part in shaping sustainability!

authors: Janine Gondolf, Dirk Scheer, Paul Förster Ribet, Olaf Toedter

Weiterführende Literatur / further readings

- Grunwald, A., & Kopfmüller, J. (2022). Nachhaltigkeit, 3. aktualisierte und erweiterte Auflage, Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Stolze, F., & Petric, A. (2016). Nachhaltigkeit für Einsteiger. München: OEKOM Verlag.
- Portney, K. E. (2015). Sustainability. MIT Press.

5.2.2 Transkript Video „Nachhaltige Materialien

Deutsche Version

Nachhaltigkeit – dieses Wort begegnet uns heute nahezu in allen Lebensbereichen. Aber was bedeutet das eigentlich? Nachhaltigkeit beschreibt sowohl ein normatives Leitbild als auch ein praktisches Handlungskonzept.

Der Kerngedanke der Nachhaltigkeit lässt sich prägnant zusammenfassen: Wir dürfen heute nicht auf Kosten von morgen leben! Und zwar in sozialer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht.

Der Umgang mit Ressourcen in Unternehmen ist ein Bereich, indem Nachhaltigkeit als Handlungskonzept wirksam wird. Bei unternehmerischer Nachhaltigkeit geht es vor allem um die Minimierung des langfristigen Ressourcenbedarfs ihrer Produkte und Dienstleistungen. Der gesamte Produktlebenszyklus ist nachhaltigkeitsrelevant. Nachhaltige Produkte sollen rechtlich einwandfrei, wirtschaftlich sinnvoll, wettbewerbsfähig und umweltfreundlich sein. Ein Weg dazu sind umweltschonende Verfahren. Ziel ist, weniger Ressourcen zu verbrauchen als bei der Rückgewinnung wiederverwendet werden können. Das gelingt zum Beispiel durch Recycling, Upcycling oder innovative Ideen im Ökodesign. Hierfür gibt es in Deutschland und der EU rechtlich verbindliche Kennzeichnungssysteme und anerkannte, freiwillige Öko- bzw. Biozertifikate.

Beim nachhaltigen Umgang mit Ressourcen soll mit möglichst wenig Material- und Energieeinsatz eine gute Ökobilanz erreicht werden.

Materialnachhaltigkeit bezieht sich auf die Verwendung von Materialien, die auf verantwortungsvolle Weise gewonnen, genutzt und/oder recycelt werden.

Biologisch abbaubare Materialien hinterlassen hauptsächlich CO² und Wasser. Dazu gehören organische Materialien wie Wolle, Seide und Baumwolle, aber auch Cellulose oder abbaubare Polymere. Auch innovative Produkte aus der Biotechnologie sind von Bedeutung. Aus nachwachsenden Rohstoffen werden chemische Grundstoffe hergestellt. Recyclingmaterialien sind Stoffe, die wiederverwertet werden können. Sie reduzieren den Verbrauch natürlicher Ressourcen und gleichzeitig die Abfallmenge. All diese Beispiele führen zur Schonung natürlicher Ressourcen und damit zu einer umweltfreundlicheren Produktion. Ein Beispiel: Metalle spielen in der Industrie, insbesondere im Maschinen- und Anlagenbau, die wichtigste Rolle. Sie sind als Grundwerkstoffe nicht leicht zu ersetzen. Kupfer ist eines der am häufigsten recycelten Metalle und damit unter diesem Aspekt ein umweltfreundliches

Metall. Den etablierten Recyclingprozessen steht aber ein stetig steigender Bedarf entgegen. Mit der deutschen Energiewende ergibt sich ein signifikant steigender Bedarf an Kupfer, das heute nur teilweise und unter unterschiedlichen Bedingungen recycelt wird. Der verantwortungsvolle Umgang mit Werkstoffen wie Kupfer unterstützt die Herstellung von Produkten mit geringeren Ressourcenkosten.

Dienstleistungen in der Wertschöpfungskette sind wichtiger Bestandteil unternehmerischer Nachhaltigkeit. Sie müssen daher bereits bei der Entwicklung von Nachhaltigkeitskonzepten berücksichtigt werden. Das Streben nach nachhaltiger Zusammenarbeit ist angesichts der globalen Veränderungen wichtiger denn je. Um nachhaltige Dienstleistungen anbieten zu können, müssen Unternehmen gemeinsam sicherstellen, dass sie ethische und soziale Grundsätze einhalten. Dies betrifft sowohl Arbeitsbedingungen als auch die Unternehmensführung.

Gestalten Sie als Ingenieurinnen und Ingenieure die Nachhaltigkeit von Produktion und Materialien maßgeblich mit.

Autor:innen: Janine Gondolf, Dirk Scheer, Paul Förster Ribet, Olaf Toedter

Englische Version

“Sustainability” is a word we encounter in almost every aspect of our lives today. But what does it actually mean? Sustainability describes both a normative guiding principle and a practical concept for action.

The core idea of sustainability can be easily summarized: We must not live today at the expense of tomorrow! In social, economic and environmental sense.

The handling of resources in companies is an area where sustainability becomes effective as a management concept. Corporate sustainability is primarily about minimizing the long-term resource requirements of your products and services. The entire product life cycle is relevant to sustainability. Sustainable products should be legally sound, economically viable, competitive and environmentally friendly. Environmentally friendly processes are one way of achieving this. The aim is to consume fewer resources than can be reused in the recovery process. This can be achieved, for example, through recycling, upcycling or innovative ideas in eco-design. There are legally binding labelling systems and recognized, voluntary eco and organic certificates in Germany and the EU for this purpose.

In the sustainable use of resources, a good ecological balance should be achieved with the least possible use of materials and energy.

Material sustainability refers to the use of materials that are obtained, used and/or recycled in a responsible manner.

Biodegradable materials mainly leave behind CO² and water. These include organic materials such as wool, silk and cotton, but also cellulose or degradable polymers. Innovative products from biotechnology are also important. Chemical base materials are produced from renewable raw materials. Recycled materials are substances that can be reused. They reduce the consumption of natural resources and at the same time the amount of waste. All these examples lead to the conservation of natural resources and thus to more environmentally friendly production.

One example: metals play the most important role in industry, especially in mechanical and plant engineering. As base materials, they are not easy to replace. Copper is one of the most frequently recycled metals and is therefore an environmentally friendly metal in this respect. However, the established recycling processes are facing a steadily increasing demand. The German energy transition has led to a significant increase in demand for copper, which is currently only partially recycled and under different conditions. The responsible use of materials such as copper supports the manufacture of products with lower resource costs.

Services in the value chain are an important component of corporate sustainability. They must therefore be taken into account when developing sustainability concepts. The pursuit of sustainable cooperation is more important than ever in the face of global change. In order to be able to offer sustainable services, companies must work together to ensure that they comply with ethical and social principles. This applies to both working conditions and corporate governance.

As engineers, play a key role in shaping the sustainability of production and materials.

authors: Janine Gondolf, Dirk Scheer, Paul Förster Ribet, Olaf Toedter

Weiterführende Literatur / Further reading

- Ashby, M. F. (2022). Materials and sustainable development. Butterworth-Heinemann.
- Allwood, J., & Cullen, J. (2015). Sustainable materials without the hot air: making buildings, vehicles and products efficiently and with less new material. Bloomsbury Publishing.

5.2.3 **Transkript Video „Nachhaltige Produktentwicklung**

Deutsche Version

Nachhaltigkeit – dieses Wort begegnet uns heute in nahezu allen Lebensbereichen. Doch was bedeutet das eigentlich? Nachhaltigkeit beschreibt sowohl ein normatives Leitbild als auch ein praktisches Handlungskonzept.

Der Kerngedanke der Nachhaltigkeit lässt sich prägnant zusammenfassen: Wir dürfen heute nicht auf Kosten von morgen leben! Und zwar in sozialer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht.

Produktentwicklung und Produktdesign sind ein Bereich in dem Nachhaltigkeit als Handlungskonzept wirksam wird. Unser moderner Lebensstil deckt unsere Bedürfnisse wie Essen, Wohnen, Mobilität und Unterhaltung vor allem auf Basis von Produkten und Dienstleistungen. Pro Kopf bewohnt in Deutschland eine Person 47,4 m², ist im Schnitt 39 km täglich unterwegs und isst ca. 679 kg Nahrungsmittel im Jahr. Dies hat einen großen wirtschaftlichen und sozialen Nutzen, aber auch beträchtliche negative Auswirkungen auf die Umwelt. Dabei ist eine zentrale Herausforderung: wie können Produkte nachhaltiger werden?

Nach der *Rule-of-Ten* aus dem Qualitätsmanagement verzehnfachen sich die Kosten für Produktanpassungen in jeder Phase der Wertschöpfungskette. Allerdings wird der Großteil der Umweltwirkungen schon bei der Konzeption festgelegt. Nachhaltigkeitsaspekte müssen deshalb bereits zu Beginn bedacht werden; also bei ersten Konzeptideen, bei der Produktentwicklung und beim Produktdesign. Das lässt sich am Beispiel von Kühlschränken zeigen. Hier wurde lange Fluorkohlenwasserstoff als Kältemittel eingesetzt, die – so fand man

später heraus – hauptverantwortlich für das Ozonloch waren. Durch alternative Kältemittel konnte die Produktnachhaltigkeit deutlich verbessert werden.

Materialien, die keine Schadstoffe ausstoßen, die wenig energieintensiv, recyclebar, wiederverwendbar oder biologisch abbaubar sind, erzeugen nachhaltige Veränderungen im Produkt. Es müssen aber nicht immer Materialanpassung sein: Die Einführung akustischer Warnsignale ist auch ein Beispiel für eine schnittstellenergonomische Anpassung, um das Nutzerverhalten und so Energieeffizienz in der Nutzungsphase positiv zu beeinflussen. Bislang haben wir vor allem ökologische und ökonomische Aspekte einer nachhaltigen Produktentwicklung in den Blick genommen, indem wir die Ökodesign-Prinzipien der Energie- und Materialeffizienz, Problemstoffarmut, Reparierbarkeit, und Kreislauffähigkeit betrachtet haben. Heutzutage wird überall auf der Welt verteilt produziert. Dabei ist oft nicht klar, wo welche Arbeitsbedingungen herrschen. Dieser sozialen Verantwortung müssen sich Unternehmen stellen, um nachhaltige Produkte anbieten zu können. Nachhaltige Produktentwicklung bedeutet also auch Zulieferketten in den Blick zu nehmen.

Allerdings muss man auch den sogenannten *Rebound-Effekt* beachten. Er besagt, dass Einsparungen durch eine Mehrnutzung überkompensiert werden. Wenn ein Auto also deutlich weniger verbraucht, meint man schnell mit gutem Gewissen mehr fahren zu können – und macht so die positiven Umwelteffekte zunichte. Auch eine transparente Umwelt- und Nachhaltigkeitskommunikation mit Zertifizierungen und Produktkennzeichen ist notwendig, um Käuferinnen und Käufern Orientierung zu bieten. Die Herausforderungen und Tücken der nachhaltigen Produktentwicklung zu kennen und mit ihnen umgehen zu können, ist also ein wichtiger Mosaikstein für eine nachhaltige Zukunft.

Sie als Ingenieurinnen und Ingenieure gestalten auch in der Produktentwicklung unsere gemeinsame nachhaltige Zukunft mit

Englische Version

“Sustainability” is a word we encounter in almost every aspect of our lives today. But what does it actually mean? Sustainability describes both a normative guiding principle and a practical concept for action.

The core idea of sustainability can be easily summarized: We must not live today at the expense of tomorrow! In social, economic and environmental sense.

Product development and product design is an area in which sustainability becomes effective as a concept for action. Our modern lifestyle meets our needs such as eating, living, mobility and entertainment primarily on the basis of products and services. One person in Germany occupies 47.4 m² per capita, travels an average of 39 km per day and eats around 679 kg of food per year. This has great economic and social benefits, but also considerable negative effects on the environment. A key challenge here is: how can products become more sustainable?

According to the *rule of ten* from quality management, the costs for product adaptations increase tenfold at every stage of the value chain. However, the majority of environmental impacts are already determined at the design stage. Sustainability aspects must therefore be considered right from the start, i.e. during the initial concept ideas, product development and product design. This can be illustrated by the example of refrigerators. For a long time, hydrofluorocarbons were used as refrigerants, which – it was later discovered – were mainly

responsible for the hole in the ozone layer. Alternative refrigerants have significantly improved product sustainability.

Materials that do not emit any harmful substances, are low energy-intensive, recyclable, reusable or biodegradable create sustainable changes in the product. However, it does not always have to be material adaptation: The introduction of acoustic warning signals is also an example of interface ergonomic adaptation to positively influence user behavior and thus energy efficiency in the use phase. Up to now, we have mainly focused on the ecological and economic aspects of sustainable product development by looking at the eco-design principles of energy and material efficiency, low waste, reparability and recyclability. Nowadays, production is distributed all over the world. It is often not clear where working conditions prevail. Companies must face up to this social responsibility in order to be able to offer sustainable products. Sustainable product development therefore also means looking at supply chains.

However, the so-called *rebound effect* must also be considered. This means that savings are overcompensated by increased use. So if a car consumes significantly less, people quickly think they can drive more with a clear conscience - and thus negate the positive environmental effects. Transparent environmental and sustainability communication with certifications and product labels is also necessary to provide buyers with guidance. Knowing the challenges and pitfalls of sustainable product development and being able to deal with them is therefore an important piece in the mosaic for a sustainable future.

As engineers, you are also helping to shape our common sustainable future in product development

Weiterführende Literatur / Further reading

- Scholz, U., Pastoors, S., Becker, J. H., Hofmann, D., van Dun, R., (2018). Praxishandbuch Nachhaltige Produktentwicklung. Springer Berlin Heidelberg.
- Vajna, S., Weber, C., Bley, H., & Zeman, K. (2014). Integrated design engineering. Springer Berlin Heidelberg.
- Kishita, Y., Matsumoto, M., Inoue, M., & Fukushige, S. (2021). EcoDesign and Sustainability. Springer.

5.2.4 Transkript Video „Nachhaltigkeitsbewertung

Deutsche Version

Nachhaltigkeit – dieses Wort begegnet uns heute in nahezu allen Lebensbereichen. Aber was bedeutet das eigentlich? Nachhaltigkeit beschreibt sowohl ein normatives Leitbild als auch ein praktisches Handlungskonzept.

Der Kerngedanke der Nachhaltigkeit lässt sich prägnant zusammenfassen: Wir dürfen heute nicht auf Kosten von morgen leben! Und zwar in sozialer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht.

Die wissenschaftliche Nachhaltigkeitsbewertung ist ein Bereich, in dem Nachhaltigkeit als Handlungskonzept wirksam wird. Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewertung sind von zentraler Bedeutung für die Vergleichbarkeit, Verlässlichkeit und Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen. Eine wichtige Methode ist die Ökobilanz bzw. Lebenszyklusanalyse – auf Englisch *Life-Cycle Assessment*, die kurz LCA genannt wird. Sie muss die Kriterien Objektivität, Reliabilität und Validität erfüllen und ist oft vergleichend angelegt. Denn zu wissen,

welche Umweltwirkungen ein E-Auto hat ohne sie mit einer Alternative vergleichen zu können, ist noch keine Evidenz basierte Entscheidungshilfe: die begründete Differenzierbarkeit fehlt.

Eine LCA ist die wissenschaftliche Methode zur ökologischen Bewertung. Sie kann um die soziale und ökonomische Nachhaltigkeitsdimension erweitert werden. Damit LCAs weltweit gleich vergleichbar durchgeführt werden, gib es die Umweltnormreihe ISO 14.000. Darin sind die Schritte der Ökobilanz und des Umweltmanagements festgelegt. LCAs sind in vier Phasen unterteilt. Zuerst werden Ziel- und Untersuchungsrahmen festgelegt. Nur wenn die in der ersten Phase getroffenen Annahmen identisch sind, können vergleichende LCAs erstellt werden. Der Untersuchungsrahmen entscheidet, was Teil der Betrachtung ist und was nicht berücksichtigt wird. Die zweite Phase ist die Sachbilanz, wozu umfassende Daten zu Stoff- und Energieflüssen erhoben und dokumentiert werden. Diese werden in der dritten Phase, der Wirkungsabschätzung, bestimmten Wirkungskategorien zugeordnet. Dadurch werden die Auswirkungen auf die Umwelt berechenbar und so greifbar. Anhand der Ergebnisse sowie der zuvor festgelegten Ziele können in der vierten Phase Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen ausgesprochen werden.

Eine LCA betrachtet nur ökologische Aspekte. Die mehrdimensionale Nachhaltigkeitsbewertung – *life-cycle sustainability assessment* – vereint dagegen ökologische, soziale und ökonomische Aspekte. Allerdings haben diese Nachhaltigkeitsbewertungen methodische Grenzen. Durch die Festlegung von Ziel- und Untersuchungsrahmen werden Ergebnisse ermöglicht, aber auch beschränkt. Ihre Übertragbarkeit und damit ihre Aussagekraft sind dadurch beeinträchtigt bzw. relativ. Zusätzlich ist die erforderliche Datenmenge und Qualität für eine Sachbilanz enorm, was zu hohem zeitlichem und finanziellem Aufwand führen kann. Trotzdem ist die Nachhaltigkeitsbewertung ein verlässliches Werkzeug, um Umweltwirkungen von Produkten, Prozessen und Organisationen abzuschätzen, einzuordnen und vergleichbar zu machen. Die Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewertung in Unternehmen ist ein zentrales Instrument des betrieblichen Nachhaltigkeitsmanagements.

Für Sie als Ingenieurinnen und Ingenieure ist es wichtig Nutzen, Grenzen und den Mehrwert von Nachhaltigkeitsbewertungen zu kennen, um gute Entscheidungen für morgen treffen zu können.

Autor:innen: Janine Gondolf, Dirk Scheer, Paul Förster Ribet, Olaf Toedter

Englische Version

“Sustainability” is a word we encounter in almost every aspect of our lives today. But what does it actually mean? Sustainability describes both a normative guiding principle and a practical concept for action.

The core idea of sustainability can be easily summarized: We must not live today at the expense of tomorrow! In social, economic and environmental sense.

Scientific sustainability assessment is an area in which sustainability becomes effective as a concept for action. Environmental and sustainability assessments are of central importance for the comparability, reliability and traceability of decisions. One important method is the *life cycle assessment*, or LCA for short. It must meet the criteria of objectivity, reliability and validity and is often comparative in nature. This is because knowing the environmental impact of an electric

car without being able to compare it with an alternative is not yet an evidence-based decision-making aid: there is no well-founded differentiation.

An LCA is the scientific method for ecological assessment. It can be extended to include the social and economic sustainability dimension. To ensure that LCAs are carried out in a comparable manner worldwide, there is the ISO 14.000 series of environmental standards, which define the steps of the life cycle assessment and environmental management. LCAs are divided into four phases. First, the objectives and scope of the assessment are defined. Comparative LCAs can only be drawn up if the assumptions made in the first phase are identical. The scope of the analysis determines what is included in the analysis and what is excluded. The second phase is the life cycle inventory, for which comprehensive data on material and energy flows are collected and documented. In the third phase, the impact assessment, these are assigned to specific impact categories. This makes the effects on the environment calculable and thus tangible. Based on the results and the previously defined objectives, conclusions can be drawn and recommendations made in the fourth phase.

An LCA only considers ecological aspects. In contrast, the multidimensional sustainability assessment – *life-cycle sustainability assessment* – combines ecological, social and economic aspects. However, these sustainability assessments have methodological limitations. The definition of target and investigation frameworks enables results, but also limits them. Their transferability and thus their informative value are thus impaired or relative. In addition, the amount and quality of data required for a life cycle inventory is enormous, which can lead to high time and financial costs. Nevertheless, sustainability assessment is a reliable tool for estimating, classifying and comparing the environmental impact of products, processes and organizations. Environmental and sustainability assessment in companies is a central instrument of corporate sustainability management.

For you as engineers, it is important to know the benefits, limitations and added value of sustainability assessments in order to make good decisions for tomorrow.

authors: Janine Gondolf, Dirk Scheer, Paul Förster Ribet, Olaf Toedter

Weiterführende Literatur / Further reading

- Klöpffer, W., & Grahl, B. (2009). *Ökobilanz: Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf*. John Wiley & Sons.
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological indicators*, 15(1), 281-299.
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life cycle assessment (Vol. 2018)*. Springer International Publishing, Cham.

5.2.5 Transkript Video „Nachhaltigkeitsdilemmata

Deutsche Version

Nachhaltigkeit – dieses Wort begegnet uns heute in nahezu allen Lebensbereichen. Aber was bedeutet das eigentlich? Nachhaltigkeit beschreibt sowohl ein normatives Leitbild als auch ein praktisches Handlungskonzept.

Der Kerngedanke der Nachhaltigkeit lässt sich prägnant zusammenfassen: Wir dürfen heute nicht auf Kosten von morgen leben! Und zwar in sozialer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht.

Nachhaltigkeitsziele sind voneinander abhängig. Sie bedingen und beeinflussen sich gegenseitig. Nachhaltiges Handeln führt deshalb zu sogenannten Nachhaltigkeitsdilemmata. Ein Dilemma ist eine Entscheidungssituation, in der jede Handlung negative Konsequenzen hat und keine eindeutige Priorisierung möglich ist. Also von der *win-win* zur *win-lose* oder gar *lose-lose* Situation.

Nachhaltigkeitsdilemmata sind komplex. Es müssen soziale, ökonomische und ökologische Aspekte abgewogen werden. Sie treten als strategische und moralische Konflikte auf, die durch unvollständiges Wissen erschwert werden. Betrachten wir einige Beispiele: Unser Wohlstand und Lebensstandard beruhen zu großen Teilen auf umweltschädlichen Verhaltensweisen und Produkten.

- Wie kann die Erderwärmung wirksam reduziert werden, ohne der Wirtschaft zu schaden?
- Wie können wir neue Arbeitsplätze schaffen, ohne dass dies auf Kosten der natürlichen Ressourcen geht?
- Soll die wirtschaftliche Entwicklung Vorrang vor Umwelt- und sozialen Belangen haben?
- Ist der Einsatz bestimmter Ressourcen angemessen, um ein Ziel zu erreichen?

Bei der Bewertung dieser Konflikte spielt der Generationenkonflikt zwischen Jung und Alt eine besondere Rolle: Die Ansichten über soziale, ökonomische und ökologische Investitionen in Nachhaltigkeit sind sehr unterschiedlich. Nachhaltigkeitsdilemmata beschreiben Entscheidungen, die heute getroffen werden müssen, weil sie die Zukunft unmittelbar beeinflussen. Doch wie können technologische Zukünfte verantwortungsvoll gestaltet werden? Was zum Zeitpunkt der Entwicklung und Anwendung neuer Technologien sinnvoll erscheint, kann in Zukunft ganz anders wahrgenommen werden.

Wissenschaftliches Zukunftswissen bedeutet zu wissen, wie wir aus einer bestimmten Gegenwartsperspektive mit möglichen Zukünften umgehen können. Es geht um die Gestaltung einer, aus heutiger Sicht, wünschenswerten Zukunft. Dabei müssen kurzfristige Ziele gegen längerfristige und Nachhaltigkeit gegen denkbare, aber noch nicht bekannte Erkenntnisfortschritte und Wissenslücken abgewogen werden.

Ausweglosigkeit und Entscheidungsdruck machen ein Dilemma aus. Ausweglos ist die konkrete Umsetzung von Nachhaltigkeit jedoch nie.

Zur Lösung von Nachhaltigkeitsdilemmata braucht es informierte und überlegte Entscheidungen. Das sind Entscheidungen, die zukünftige Handlungsfähigkeit beispielsweise durch Lernendes Verfahren sichern. Denn Beteiligung ist eine Möglichkeit, mit Nachhaltigkeitsdilemmata umzugehen. Im Dialog werden Bewusstsein und Verständnis für den Konflikt geschaffen, im Austausch Lösungen entwickelt und Probleme benannt. Nachhaltigkeitsdilemmata sind also Beschreibungen komplexer, praktischer Herausforderungen. Auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft müssen wir uns diesen Herausforderungen stellen und uns mit den möglichen Folgen unseres Handelns auseinandersetzen.

Nur so können wir alle und besonders Sie als Ingenieurinnen und Ingenieure für die Zukunft vorsorgen und sie nachhaltig gestalten.

Englische Version

“Sustainability” is a word we encounter in almost every aspect of our lives today. But what does it actually mean? Sustainability describes both a normative guiding principle and a practical concept for action.

The core idea of sustainability can be easily summarized: We must not live today at the ex-pense of tomorrow! In social, economic and environmental sense.

Sustainability goals are interconnected. They are mutually dependent and influence each other. Sustainable action therefore leads to so-called sustainability dilemmas. A dilemma is a decision-making situation in which every action has negative consequences and no clear prioritization is possible. In other words, from a *win-win* to a *win-lose* or even a *lose-lose* situation.

Sustainability dilemmas are complex. Social, economic and ecological aspects have to be weighed up. They arise as strategic and moral conflicts that are complicated by incomplete knowledge. Let us look at a few examples: Our prosperity and standard of living are largely based on environmentally harmful behavior and products.

- How can global warming be effectively reduced without harming the economy?
- How can we create new jobs without this being at the expense of natural resources?
- Should economic development take precedence over environmental and social concerns?
- Is the use of certain resources appropriate to achieve a goal?

The generational conflict between young and old plays a special role in the assessment of these conflicts: views on social, economic and ecological investments in sustainability are very different. Sustainability dilemmas describe decisions that have to be made today because they directly affect the future. But how can technological futures be shaped responsibly? What seems sensible at the time of development and application of new technologies may be perceived quite differently in the future.

Scientific knowledge of the future means knowing how to deal with possible futures from a particular perspective of the present. It is about creating a desirable future from today's perspective. Short-term goals must be weighed against long-term goals, and sustainability against conceivable but unknown advances and knowledge gaps.

A dilemma is characterized by impasse and pressure to make a decision. However, the actual implementation of sustainability is never without a way out.

Solving sustainability dilemmas requires informed and considered decisions. These are decisions that ensure future capacity to act, for example through learning processes. Participation is one way to deal with sustainability dilemmas. Through dialogue, awareness and understanding of the conflict are created, solutions are developed and problems are identified. Sustainability dilemmas are thus descriptions of complex practical challenges. As we move toward a sustainable future, we must face these challenges and deal with the potential consequences of our actions.

This is the only way that all of us, and especially you as an engineer, can continue to prepare for and help shape a sustainable future!

authors: Janine Gondolf, Dirk Scheer, Paul Förster Ribet, Olaf Toedter

Weiterführende Literatur / Further reading

- DBU et al. (2022). Verzwick: Vom Umgang mit Nachhaltigkeitsdilemmata. Politische Ökologie, 170(3).
- Henkel, Anna, et al. (2023) Dilemmas of Sustainability. On Relevance and Critical Reflection in Sustainability Research. Nomos.

5.3 Dissemination der Ergebnisse

5.3.1 Wissenschaftliche Artikel

- Scheer, D.; Gondolf, J.; Toedter, O. (2024): Nachhaltige Materialien als Zukunftsstrategie: Ansatzpunkte für ein unternehmerisches Materialmanagement, in: Industrie 4.0 Science, S. 44-49.
- Scheer, D.; Gondolf, J.; Toedter, O. (2024): Sustainable Materials as a Strategy for the Future: Key elements for corporate materials management, in: Industry 4.0 Science, S. 44-49.
- Förster Ribet, P. (2023): Digitalformate als Werkzeug der Bildung für nachhaltige Entwicklung am Beispiel von Lernvideos im Rahmen des Projekts NaProIng, Karlsruhe, (Bachelorarbeit im Studiengang: Naturwissenschaft und Technik LA Bachelor Gymnasien), unveröffentlicht

5.3.2 Lehrmaterial und Lernvideos

Die insgesamt **fünf Lernvideos** wurden unter untenstehenden Links (vgl. Tabelle 4) auf dem **Youtube Kanal „KIT Lehre und Wissen“** öffentlich zugänglich gemacht. Der Zugang wird über die Projektlaufzeit hinaus gewährleistet sein.

Die insgesamt **fünf Foliensätze** zu den Nachhaltigkeitsthemen wurden auf der öffentlich zugänglichen **Datenbank „KITopen“** zur Verfügung gestellt. Der Zugang wird über die Projektlaufzeit hinaus gewährleistet sein (vgl. Tabelle 4).

Die insgesamt **fünf Transkripte** der Lernvideos wurden auf der öffentlich zugänglichen **Datenbank „KITopen“** zur Verfügung gestellt. Der Zugang ist über die Projektlaufzeit hinaus gewährleistet. Die Transkripte sind unter folgenden Links downloadbar (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Zusammenstellung des öffentlichen Zugangs für die NaProIng-Produkte

Thema	Video	Transkript	Folien	YouTube
Dachkonzept Nachhaltigkeit	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173069 DOI:10.5445/IR/1000173069	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173074 DOI: 10.5445/IR/1000173074	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173993 DOI:10.35097/yd02c55e1g08am82	https://www.youtube.com/watch?v=2Z9z0CJBcag
Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewertung	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173072 DOI: 10.5445/IR/1000173072	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173077 DOI: 10.5445/IR/1000173077	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173997 DOI:10.35097/ght4sxc872axx1pc	https://www.youtube.com/watch?v=t9KDK_9r4qU
Nachhaltige Materialien und Werkstoffe	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173070 DOI: 10.5445/IR/1000173070	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173075 DOI: 10.5445/IR/1000173075	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173995 DOI:10.35097/fbhvw4aa756dyrr	https://www.youtube.com/watch?v=F8ZRhSLz_CM
Nachhaltige Produktentwicklung und Ökodesign	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173071 DOI: 10.5445/IR/1000173071	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173076 DOI: 10.5445/IR/1000173076	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173996 DOI:10.35097/98ztnuca50n49303	https://www.youtube.com/watch?v=HBc6SFhfBpY
Nachhaltigkeitsdilemmata	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173073 DOI: 10.5445/IR/1000173073	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173078 DOI: 10.5445/IR/1000173078	https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000173998 DOI:10.35097/ek09a6bzzvk330ss	https://www.youtube.com/watch?v=Qt7Ju2_vANs

5.3.3 Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt wurde über eine **Projektwebsite** auf dem ITAS-Server bekannt gemacht (vgl. https://www.itas.kit.edu/fg_zukuenfte_sche21_naproing.php)

Das Projekt wurde in verschiedenen Gremien (KIT Studienkommissionen) und Gesprächsrunden innerhalb des KIT bekannt gemacht. So wurden im engen Austausch mit dem **KIT Sustainability Office** Projektfortschritte und Ergebnisse diskutiert.

Das Projekt wurde im **KIT Jahresbericht 2022** unter dem Thema „Nachhaltigkeit in der Lehre“ vorgestellt (vgl. https://www.kit.edu/downloads/jahresbericht_2022_de.pdf)

Darüber hinaus werden jetzt nach Fertigstellung der Lernvideos weitere Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit zur Bewerbung der Videos umgesetzt (z.B. Newsletter, Pressemitteilung etc.)

6 Schlussbetrachtung

6.1 Diskussion

Das Projekt Vermittlung von Werkzeugen und Schlüsselkompetenzen zur nachhaltigen Produktentwicklung für Ingenieure (NaProIng) zielte auf die Vermittlung von Nachhaltigkeitskompetenzen als integralem Bestandteil der Ingenieurausbildung. Hierzu wurden Lernmodule erarbeitet, die es erlauben, in bestehende Vorlesungen integriert zu werden, ohne neue Vorlesungen zu den Themenfeldern aufsetzen zu müssen.

Der Verlauf des Projektes hat gezeigt, dass an mehrere Stellen nachjustiert werden musste:

- Die Ansprache der Professoren und Dozenten über die Studienkommission war der geeignete Weg; unterschätzt wurde aber der Einfluss von Wechseln in der Riege der Professuren. Ein derartiger Wechsel hat limitierte Unterstützung vor dem Ende von Arbeitsverhältnissen, und verständlicherweise keinerlei Änderungsbereitschaft in der Übergangsphase und keine Änderungsbereitschaft im ersten Jahr der Neubesetzung zur Folge. Die Auswahl der Vorlesungen für die initiale Einführung muss dies berücksichtigen.
- Der Wechsel in Studienordnungen erfolgt meist situativ, ist aber bei den aktuell sich ändernden Randbedingungen im Ingenieurwesen (Digitalisierung und Künstliche Intelligenz) an allen Universitäts- und Hochschulstandorten zu erwarten. Hier hat sich gezeigt, dass die vorherige Information und Vorstellung des Konzeptes integrierter Lernmodule in der entsprechenden Studienkommission sich positiv auf die Ausgestaltung der Vorlesungen und der Curricula nach der neuen Studienordnung einwirkt.

Neben den oben beschriebenen organisatorischen Einflüssen haben die Erfahrungen aus der inhaltlichen Tiefe und Komplexität der Lerninhalte die Vorgehensweise zur Festlegung der Lernmodule beeinflusst.

Die Erfahrungen aus den ersten Probevorlesungen haben gezeigt, dass eine Strukturierung der Inhalte anhand der den jeweiligen Vorlesungen zugrunde liegenden Themen die Komplexität zusätzlich erhöht haben. Die im Folgenden gewählte Strukturierung der Inhalte anhand der Themenfelder aus der Nachhaltigkeit hat es ermöglicht, kompaktere, in sich geschlossener Inhalte zu formen und zu formulieren. Die auf Basis dieser Inhalte erstellten Kurzvideos konnte alle auf ca 4 Minuten Dauer pro Video gestaltet werden. Videos dieser

Länge eignen sich besonders zur Integration in bestehenden Vorlesungen. Bei Videos dieser Länge zeigen die Studierenden erfahrungsgemäß weniger Hemmnisse, diese anzuschauen und aufmerksam zu Ende zu schauen.

6.2 Fazit

Das Projekt Vermittlung von Werkzeugen und Schlüsselkompetenzen zur nachhaltigen Produktentwicklung für Ingenieure (NaProIng) hat es ermöglicht, kompakte Lerninhalte zu generieren, die in die bestehende Ingenieurausbildung integriert werden können. Die in dem Projekt erarbeiteten Module sind ob ihrer Kompaktheit sowohl einzeln, als auch als Vorlesungs-integrierte Module einsetzbar.

Die erstellten Lernmodule bedienen die wesentlichen Lerninhalte, um ein grundlegend auf Nachhaltigkeit ausgelegtes Verständnis zu schaffen. Die Ausgestaltung der Lernmodule in den drei Formen

- Kurzvideo
- Transkript
- Folien

Können bei Bedarf an die bestehenden Vorlesungsinhalte adaptiert und damit nahtlos integriert werden. Alle in dem Projekt erstellten Unterlagen und Materialien werden auf den vom KIT gehosteten OpenAccess Repositoris auch dauerhaft abrufbar und zugänglich sein und sind über einen Document Identifier DOI adressierbar.

Die Bereitstellung der Zusatzunterlagen (Transkript und Folien) zu den eigentlichen Kurzvideos hilft, die Hemmschwelle bei den Dozenten zu senken, die Lerninhalte in ihre bestehenden Vorlesungen zu integrieren.

Parallel zu dem laufenden Projekt sind mehrere Aktivitäten zur Adaption der Hochschullehre gestartet worden, was die Chance ergibt, die erstellten Module zu bewerben und ihren Einsatz zu steigern. Die entsprechenden Inhalte sind auch geeignet, außerhalb des KIT an die jeweiligen Vorlagen angepasst zu werden. Die Zusatzmodule werden deswegen als veränderbare Office-Dateien frei zur Verfügung gestellt.

7 Literatur

Bellina, L. et al. (2020). Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) in der Hochschullehre. BMBF-Projekt „Nachhaltigkeit an Hochschulen: entwickeln – vernetzen – berichten (HOCHN)“. Hrsg. von Universität Bremen und Eberhard Karls Universität Tübingen.

Bleichroth, W. (1991). „Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung“. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik 2.6, S. 4–11.

Brom, C. et al. (2018). „How effective is emotional design? A meta-analysis on facial anthropomorphisms and pleasant colors during multimedia learning“. In: Educational Research Review 25, S. 100–119.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Hrsg. (2023). Was ist BNE? URL: https://www.bne-portal.de/bne/de/einstieg/was-ist-bne/was-ist-bne_node.html, besucht am 04. 09. 2024).

- Dai, L. et al. (2022). „A systematic review of pedagogical agent research: Similarities, differences and unexplored aspects“. In: Computers & Education 190.
- Endres, T. et al. (2020). „When and why does emotional design foster learning? Evidence for situational interest as a mediator of increased persistence“. In: Journal of Computer Assisted Learning 36.4, S. 514–525.
- Engel, C. (2013). Von der Idee zum Dreh – Vorproduktion. Hrsg. von Technische Universität Dresden
- Fauth, B. und Leuders, T. (2018). Kognitive Aktivierung im Unterricht. Hrsg. von Landesinstitut für Schulentwicklung.
- Förster Ribet, P. (2023): Digitalformate als Werkzeug der Bildung für nachhaltige Entwicklung am Beispiel von Lernvideos im Rahmen des Projekts NaProIng, Karlsruhe, (unveröffentlichte Bachelorarbeit im Studiengang: Naturwissenschaft und Technik LA Bachelor Gymnasien)
- Gärtner, H. et al. (2022). „Ein theoriebasierter Schülerfragebogen für Unterrichtsevaluation“. In: Journal for educational research online 14.1, S. 147–173.
- Günther, E. et al. (2018). „Hemmnisse und Treiber im Betrieb“. In: Nachhaltigkeit im Hochschulbetrieb (Betaversion). BMBF-Projekt „Nachhaltigkeit an Hochschulen: entwickeln, vernetzen, berichten (HOCHN)“.
- Häußler, P. (2015). „Wie lässt sich Lernerfolg messen?“ In: Physikdidaktik: Theorie und Praxis. Hrsg. von E. Kircher et al. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 247–293.
- Heidig, S. et al. (2015). „Emotional design in multimedia learning: Differentiation on relevant design features and their effects on emotions and learning“. In: Computers in Human Behavior 44, S. 81–95.
- Hellerman, J. (2019). The Only Screenwriting Rule Worth Following: Plant and Payoff. URL: <https://nofilmschool.com/plant-and-payoff-in-screenwriting> (besucht am 04. 09. 2024).
- Henderson, M. et al. (2016). „What’s used and what’s useful? Exploring digital technology use(s) among taught postgraduate students“. In: Active Learning in Higher Education 17.3, S. 235–247.
- Henschen, J. et al. (2022). „Einleitung“. In: Drehbuchforschung: Perspektiven auf Texte und Prozesse. Hrsg. von J. Henschen et al. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–24.
- Hochschulrektorenkonferenz (HRK), Hrsg. (2018). Für eine Kultur der Nachhaltigkeit. Empfehlung der 25. HRK-Mitgliederversammlung vom 6.11.2018. URL: <https://www.hrk.de/positionen/beschluss/detail/fuer-eine-kultur-der-nachhaltigkeit>, besucht am 05. 09. 2024)
- Hoffmann, A. (2012). „Folgen des Klimawandels im urbanen Kontext“. In: Public Health Forum 20.2, 7.e1–7.e3.
- Kasch, J. et al. (2021). „Educational scalability in MOOCs: Analysing instructional designs to find best practices“. In: Computers & Education 161, S. 1–12.

- Kircher, E. (2015). „Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion“. In: Physikdidaktik: Theorie und Praxis. Hrsg. von E. Kircher et al. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 107–139
- Li, K. und Wong, B. (2018). „Revisiting the Definitions and Implementation of Flexible Learning“. In: Innovations in Open and Flexible Education. Hrsg. von K. Li et al. Singapore: Springer Singapore, S. 3–13
- Mayer, R. und Estrella, G. (2014). „Benefits of emotional design in multimedia instruction“. In: Learning and Instruction 33, S. 12–18
- Merkt, M. et al. (2011). „Learning with videos vs. learning with print: The role of interactive features“. In: Learning and Instruction 21.6, S. 687–704.
- Mertens, C. et al. (2019). „Flexibilisierung studentischen Lernens durch Inverted Classroom“. In: Zeitschrift für Hochschulentwicklung 14.4, S. 341–359
- Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, Hrsg. (2016b). Bildungsplan des Gymnasiums: Physik.
- Modlinger, D. (2020). eLearning und Mobile Learning - Konzept und Drehbuch : Handbuch für Medienautoren und Projektleiter. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung (NP BNE), Hrsg. (2017). Nationaler Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung
- Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung (NP BNE), Hrsg. (2020). Zwischenbilanz zum Nationalen Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung.
- Plass, J. et al. (2014). „Emotional design in multimedia learning: Effects of shape and color on affect and learning“. In: Learning and Instruction 29, S. 128–140.
- Sailer, M. und Figas, P. (2015). „Audiovisuelle Bildungsmedien in der Hochschullehre. Eine Experimentalstudie zu zwei Lernvideotypen in der Statistiklehre“. In: Bildungsforschung 12.1, S. 77–99.
- Schmidt, B. und Tippelt, R. (2005). „Besser Lehren - Neues von der Hochschuldidaktik?“ In: Hochschullandschaft im Wandel. Hrsg. von U. Teichler und R. Tippelt. Weinheim u. a.: Beltz, S. 103–114.
- Schnell, C. und Simonovic, D. (2017). ´ Ein Drehbuch schreiben: Ein Leitfaden für junge Filmmacher/-innen und ebenso für Lehrerinnen und Lehrer. Hrsg. von Stiftung MedienKompetenz Forum Südwest (MKFS).
- Schulmeister, R. (2004). „Diversität von Studierenden und die Konsequenzen für ELearning“. In: Campus 2004. Kommen die digitalen Medien an den Hochschulen in die Jahre? Hrsg. von D. Carstensen und B. Barrios. Münster u.a.: Waxmann, S. 133–144.
- Um, E. et al. (2012). „Emotional Design in Multimedia Learning“. In: Journal of Educational Psychology 104.2, S. 485–498.
- Velica, I. (2010). „Lernziele und deren Bedeutung im Unterricht“. In: Neue Didaktik 2, S. 10–24.
- Vereinte Nationen (UN), Hrsg. (2015). Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung.

Volk, B. (2020). „Ordnung von Lernzielen – Ordnung des Wissens. Die Bedeutung der Taxonomie von Bloom für die Wissenschaftlichkeit und Praxis der Hochschuldidaktik“. In: Klassiker der Hochschuldidaktik? Kartografie einer Landschaft. Hrsg. von P. Tremp und B. Eugster. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 219–233.

Zheng, H. et al. (2022). „The combination of segmentation and self-explanation to enhance video-based learning“. In: Active Learning in Higher Education 0.0.