



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Antje Klemichen

Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess anhand eines ausgewählten Praxisbeispiels

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Antje Klemichen

**Integration der Nachhaltigkeit in den
Produktentwicklungsprozess anhand
eines ausgewählten Praxisbeispiels**

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung

im Studiengang Nachhaltige Energiesysteme im Maschinenbau
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Andreas Meyer-Eschenbach
Zweitprüfer/in : Prof. Dr.-Ing. Frank Koppenhagen

Abgabedatum: 11.04.2016

Zusammenfassung

Antje Klemichen

Thema der Bachelorthesis

Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess anhand eines ausgewählten Praxisbeispiels

Stichworte

Nachhaltigkeit, Produktentwicklung, Produktlebenszyklus, Ökobilanz, Umweltverträglichkeit, Planungsphase

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit einer nachhaltigen Produktentwicklung, die ohne große strukturelle und organisatorische Aufwendungen in Unternehmen anzuwenden ist.

Unter Verwendung eines neuen Vorgehensmodells werden die Umweltaspekte in den Produktentwicklungsprozess anhand von ausgewählten Methoden und Instrumenten, insbesondere in der Planungsphase, integriert.

Ein Praxisbeispiel veranschaulicht dabei die einzelnen Schritte zu nachhaltigen Produktkonzepten, deren Umweltverträglichkeiten bewertet werden.

Antje Klemichen

Title of the paper

Integration of sustainability in the product development process based on a selected practical example

Keywords

Sustainability, product development, product life cycle, life cycle assessment, environmental compatibility, design stage

Abstract

The present master thesis deals with a sustainable product development that can be applied in companies without great structural and organisational efforts.

Using a new procedure model, the integration of environmental aspects in to the product development process, based on selected methods and instruments especially in the design stage, is shown.

A practical example illustrates the single steps to sustainable product concepts whose environmental compatibilities will be evaluated.



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Antje Klemichen

Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess anhand eines ausgewählten Praxisbeispiels

Antje Klemichen

**Integration der Nachhaltigkeit in den
Produktentwicklungsprozess anhand
eines ausgewählten Praxisbeispiels**

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung

im Studiengang Nachhaltige Energiesysteme im Maschinenbau
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Andreas Meyer-Eschenbach
Zweitprüfer/in : Prof. Dr.-Ing. Frank Koppenhagen

Abgabedatum: 11.04.2016

Zusammenfassung

Antje Klemichen

Thema der Bachelorthesis

Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess anhand eines ausgewählten Praxisbeispiels

Stichworte

Nachhaltigkeit, Produktentwicklung, Produktlebenszyklus, Ökobilanz, Umweltverträglichkeit, Planungsphase

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit einer nachhaltigen Produktentwicklung, die ohne große strukturelle und organisatorische Aufwendungen in Unternehmen anzuwenden ist.

Unter Verwendung eines neuen Vorgehensmodells werden die Umweltaspekte in den Produktentwicklungsprozess anhand von ausgewählten Methoden und Instrumenten, insbesondere in der Planungsphase, integriert.

Ein Praxisbeispiel veranschaulicht dabei die einzelnen Schritte zu nachhaltigen Produktkonzepten, deren Umweltverträglichkeiten bewertet werden.

Antje Klemichen

Title of the paper

Integration of sustainability in the product development process based on a selected practical example

Keywords

Sustainability, product development, product life cycle, life cycle assessment, environmental compatibility, design stage

Abstract

The present master thesis deals with a sustainable product development that can be applied in companies without great structural and organisational efforts.

Using a new procedure model, the integration of environmental aspects in to the product development process, based on selected methods and instruments especially in the design stage, is shown.

A practical example illustrates the single steps to sustainable product concepts whose environmental compatibilities will be evaluated.

Aufgabenstellung

für die Masterthesis

von Frau Antje Klemichen

Matrikel-Nummer: 1919833

Thema:

Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess anhand eines ausgewählten Praxisbeispiels

Einen wichtigen Beitrag zur Schonung der Ressourcen und zur Nachhaltigkeit stellt die nachhaltige Produktentwicklung dar. In Anbetracht des gesamten Produktlebenszyklus können die Auswirkungen auf die Umwelt bereits in der Entwicklungs- und Designphase bestimmt werden (Fertigung, Energie, Gebrauch, Entsorgung).

Im Rahmen einer Masterthesis soll die nachhaltige Produktentwicklung anhand eines Praxisbeispiels untersucht werden. Die Arbeit umfasst dabei zum einen die Analyse des Produktes und zum anderen die Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess. Zur Beurteilung und zum Vergleich der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus dient vorzugsweise die Software SolidWorks2014-Sustainability.

Folgende Aufgabenpakete sind in der Abschlussarbeit zu bearbeiten:

- Recherche und Analyse relevanter Grundlagen
- Implementierung der Nachhaltigkeit in die Neu-/Weiterentwicklung des Produktes
- Erstellen von Konzepten hinsichtlich einer nachhaltigen Produktentwicklung
- Bewertung der Umweltverträglichkeit des Produktes unter Verwendung einer Software (vorzugsweise SolidWorks2014-Sustainability)

Datum

Erstprüfer/in

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
1.1 Herausforderung einer nachhaltigen Zukunft	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	3
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Grundlagen der Nachhaltigkeit	5
2.1.1 Zentrale Aspekte des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung	5
2.1.2 Prinzipien und Handlungsstrategien	6
2.1.3 Antrieb für Innovationen	9
2.2 Grundlagen der Produktentwicklung	11
2.2.1 Produktentwicklungsmethodik	12
2.2.2 Umweltverträgliche Gestaltungsrichtlinien in der Entwicklungsmethodik	15
2.2.3 Konzepte der ökologischen Produktbewertung	18
2.3 Rechtliche Instrumente und bestehende Anreizsysteme	23
2.3.1 EU-Ebene	24
2.3.2 Nationale Richtlinien	26
2.3.3 Kennzeichnung umweltschonender Produkte	27
2.3.4 Praxisbeispiele aus der Industrie	28
3 Implementierung der Nachhaltigkeit in die Produktentwicklung	32
3.1 Planungsphase	33
3.1.1 Produktauswahl	34
3.1.2 Rahmenbedingungen	35
3.1.3 Anforderungsanalyse	35
3.1.4 Design Briefing	46
3.2 Konzeptionsphase	48
3.2.1 Prinzipielle Ansätze für einen ökologischen Regenschirm	48
3.3 Entwurfsphase	54
3.3.1 Werkstoffauswahl	55
3.3.2 Modularität	58

4 Umsetzung der Lösungskonzepte	60
4.1 Design review mit SolidWorks 2014 Sustainability	60
4.1.1 Datengrundlage für SolidWorks Sustainability	61
4.1.2 Vorgehensweise	62
4.2 Life Cycle Analysis des Referenzproduktes	63
4.3 Produktoptimierung durch Variation einzelner Parameter	66
4.3.1 Optimierung durch Variation des Materials	66
4.3.2 Optimierung durch Erhöhung des Recyclinganteils	71
4.3.3 Optimierung durch den Einsatz weniger Materialien	72
4.3.4 Optimierung durch Erhöhung der Lebens- und Nutzungsdauer	72
5 Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse	75
5.1 Entwurf eines erweiterten ökologischen Vorgehensmodells	75
5.1.1 Priorisierung der Planungsphase	75
5.1.2 Finden von Lösungsprinzipien in der Konzeptionsphase	77
5.2 Auswertung der Lösungsentwürfe mit SolidWorks Sustainability	79
5.2.1 Analyse des Referenzproduktes	79
5.2.2 Analyse weiterer Optimierungsparameter	80
5.2.3 Bewertung des Einsatzes von SolidWorks Sustainability	85
5.2.4 Zusammenfassung	86
6 Ausblick und Schlussbetrachtung	88
6.1 Schlussbetrachtung	88
6.2 Ausblick	89
6.2.1 Die radikale Philosophie des Cradle to Cradle	89
6.2.2 Genereller Ausblick	90
Literatur	I
Anhang	VI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Nachhaltiges Konsumverhalten	2
Abbildung 1-2: Lebensphasen und deren Einwirkung auf die Umwelt eines Produktes (eigene Grafik)	3
Abbildung 1-3: Möglichkeit zur frühzeitigen Einflussnahme auf sofortige und spätere Ressourcenschonung, Upgradefähigkeit, Produktlebensdauer und Kostenentstehung nach [3]	4
Abbildung 2-1: Dimensionen der Nachhaltigkeit	7
Abbildung 2-2: Hierarchie von Innovationen in Anlehnung an Brezet [18].....	10
Abbildung 2-3: Einordnung der Entwicklung und Konstruktion in die Lebensphasen eines Produktes	11
Abbildung 2-4: Methodisches Vorgehen beim Konstruieren nach VDI 2221 [16]	13
Abbildung 2-5: Unterscheidung von Recyclingarten.....	16
Abbildung 2-6: Auswahl von Gestaltungsrichtlinien.....	16
Abbildung 2-7: Recyclingrelevante Konstruktionsaspekte nach VDI 2243	17
Abbildung 2-8: Übersicht von ökologischen Bewertungsmethoden.....	18
Abbildung 2-9: Allgemeine Darstellung der Input- und Outputströme bei der Produktentwicklung	19
Abbildung 2-10: Bestandteile einer Ökobilanz nach DIN ISO 14040.....	19
Abbildung 2-11: vereinfachte Sachbilanz am Beispiel von Stahl.....	20
Abbildung 2-12: Übersicht der nationalen und internationalen Richtlinien.....	23
Abbildung 2-13: Abfallhierarchie nach KrWG.....	27
Abbildung 3-1: weiterentwickelte Methodik der ökologischen Produktentwicklung (eigene Grafik).....	32
Abbildung 3-2: Bestimmung der Systemgrenze in Anlehnung an [15].....	36
Abbildung 3-3: Zusammensetzung der ecoProdukt-Checkliste	37
Abbildung 3-4: Genereller Aufbau eines handelsüblichen Regenschirms (Referenzprodukt)	39
Abbildung 3-5: Gesamtfunktion mit Ein- und Ausgangsgrößen.....	40
Abbildung 3-6: Auswahl von Umweltaspekten entlang der Wertschöpfungskette (eigene Grafik)	43
Abbildung 3-7: Matrix der ecoPrioritätszahl (eigene Grafik).....	46

Abbildung 3-8: a) Hauptarbeitsschritte und b) und formales Vorgehen bei der Erstellung einer Anforderungsliste in Anlehnung an [1] c) exemplarischer Auszug aus der Anforderungsliste des Regenschirms	47
Abbildung 3-9: Auszug aus der Bewertungsmatrix der Lösungsideen	51
Abbildung 3-10: Auswahl der Lösungsideen für einen nachhaltigen Regenschirm	52
Abbildung 3-11: Wirkprinzipien der mechanischen Verbindungen.....	53
Abbildung 3-12: Auswahlliste der Wirkprinzipien „mechanische Verbindung	54
Abbildung 3-13: Werkstoffauswahl in Abhängigkeit von Aufgaben der Teilsysteme	55
Abbildung 3-14: Kunststoffverarbeitung- und verbrauch in Deutschland in Anlehnung an [41]	56
Abbildung 3-15: Produktlebensphasen und Vorteile von Holz nach [46]	58
Abbildung 4-1: Variation des umweltverträglichen Designs mit SolidWorks Sustainability	60
Abbildung 4-2: Materialauswahl und Umweltverträglichkeits-Dashbord sowie Auswahl der Verarbeitung in Sustainability	62
Abbildung 4-3: Verwendung, Transport und Ende der Lebensdauer in Sustainability	63
Abbildung 4-4: Eingangparameter des Referenzproduktes für die Umweltverträglichkeitsprüfung	64
Abbildung 4-5: Baugruppenvisualisierung mit Fokus auf Gesamtkohlenstoff des Referenzproduktes.....	65
Abbildung 4-6: Umweltverträglichkeitsbewertung des Referenzproduktes.....	65
Abbildung 4-7: Vergleich der Umweltverträglichkeiten zwischen dem Referenzprodukt und der Aluminiumlegierung 2219-T37.....	67
Abbildung 4-8: Vergleich der Materialien	68
Abbildung 4-9: Verschiedene Kunststoffe im Vergleich zum Bezugsmaterial Stahl	69
Abbildung 4-10: Umweltverträglichkeit von Basal im Vergleich zu Stahl	70
Abbildung 4-11: Vergleich des Recyclinganteils von 100% verschiedener Materialien zum Bezugsmodell mit einem Recyclinganteil von 25%.....	71
Abbildung 4-12: Vergleich der Umweltkategorien des modularen Ansatzes	73

Abbildung 5-1: Übersicht der Vorgehensweise beim Ermitteln von	76
Abbildung 5-2: Reduktion des Lösungsraums entlang der Lebensphasen eines ..	77
Abbildung 5-3: Darstellung der Komponenten mit den größten negativen	79
Abbildung 5-4: Auswertung der Umweltwirkungen verschiedener Materialien im Vergleich	81
Abbildung 5-5: Auswertung der Umweltverträglichkeiten Kohlenstoffdioxid- Fußabdruck und Gesamtenergieverbrauch verschiedener Materialien im Vergleich	82
Abbildung 5-6: Auswertung der Umweltverträglichkeiten Luftansäuerung und Wassereutrophierung verschiedener Materialien im Vergleich	83
Abbildung 6-1: Prinzip des Cradle-to-Cradle in Anlehnung an [13]	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Wirkungskategorien nach dem Umweltbundesamt [22]	21
Tabelle 2-2: Kennzeichnung von Produkten in der EU	28
Tabelle 2-3: Beispiele für Umweltbestrebungen in der industriellen Praxis	30
Tabelle 3-1: Vorgehensweise der Planungsphase	34
Tabelle 3-2: Gewichtsanteile der Systemkomponenten	40
Tabelle 3-3: Funktionsanalyse der Teilfunktionen	41
Tabelle 3-4: MET-Matrix Referenzprodukt	44
Tabelle 3-5: Gewichtungsfaktoren g_i für die Kriterien	50
Tabelle 3-6: Werteskala der Kriterien für die Nutzwertanalyse und dem Projekt.....	50
Tabelle 3-7: Materialinformationen Polypropylen [43] und [44]	57
Tabelle 4-1: Eingangsparameter für die Aluminiumlegierung 2219-T37	66
Tabelle 4-2: Eingangsparameter der Kunststoffe ABS und PP	68
Tabelle 4-3: Eingangsparameter Basal	70
Tabelle 4-4: Eingangsparameter der Bezugs-Baugruppe und der Ringschnapp- verbindung	72
Tabelle 5-1: Darstellung der wichtigsten Lösungskonzepte	78

1 Einleitung

"Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind."

(Albert Einstein)

1.1 Herausforderung einer nachhaltigen Zukunft

Die Industrieländer stehen im 21. Jahrhundert einer enormen Herausforderung gegenüber: Angesichts zunehmender Rohstoffknappheit und negativer globaler Umweltauswirkungen setzen die meisten Nationen auf stetig steigendes Wirtschaftswachstum. Um potentielle Zielkonflikte lösen zu können, die sich aus ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Interessen ergeben, ist es notwendig, technologischen Fortschritt hinsichtlich einer modernen Produktentwicklung zu nutzen. Der erste Bericht des Club of Rome¹ („Die Grenzen des Wachstums“, 1972) beschreibt die zentrale Forderung und Leitidee, die Bedürfnisse aller Menschen weltweit – inklusive der nachfolgenden Generationen – zu befriedigen. Folglich ist eine nachhaltige Entwicklung, die „langfristige und weitreichende Veränderungen von Technologien, Infrastrukturen, Lebensstilen und Institutionen erfordert“ [1], unabdingbar. Aufgrund der nachfrageorientierten Wirtschaft spielt der Konsument² als privater Verbraucher dabei eine besonders tragende Rolle. Neben dem bewussten und schonenden Umgang mit Produkten bestimmt der Kunde bereits durch die Entscheidung für ein bestimmtes Konsumgut die Menge produzierten Abfalls. Nicht zuletzt wird dies besonders deutlich durch den vermehrten Wunsch nach Transparenz durch die Unternehmen und die Verbraucherschutzzentralen, die den zunehmend wertorientierten Konsumenten bei der Produktauswahl unterstützen [2].

Um das anwachsende Kundenbedürfnis nach umweltgerechten Produkten zu befriedigen, müssen sich die Unternehmen dementsprechend umorientieren (siehe. Abbildung 1-1). Der globale Wettbewerb verschärft hierbei die Situation der Unternehmen; die Sicherung von Arbeitsplätzen sowie die Einforderung von

¹ im Jahr 1968 gegründete Vereinigung von Persönlichkeiten aus Wirtschaft, Kultur, Wissenschaft und Politik aller Weltregionen

² werden Personenbezeichnungen aus Gründen der besseren Lesbarkeit lediglich in der männlichen oder weiblichen Form verwendet, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht mit ein

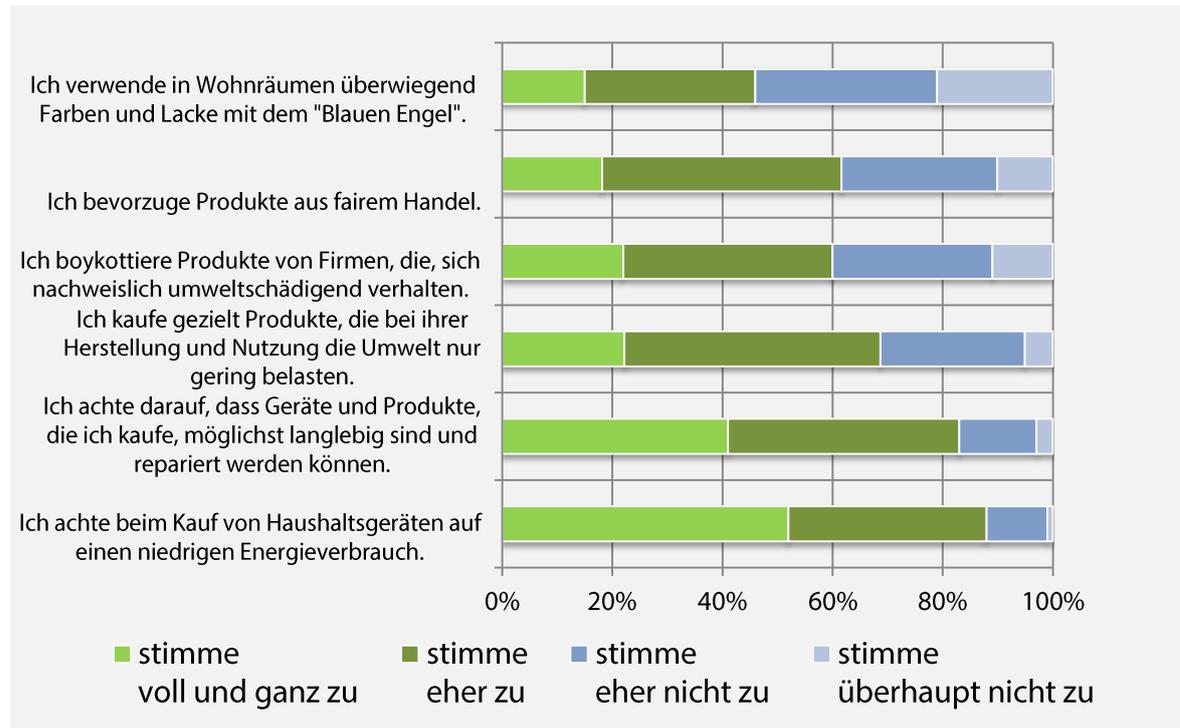


Abbildung 1-1: Nachhaltiges Konsumverhalten

Renditen behindern die Implementierung des Umweltgedankens in den Prozess der Produktentstehung. Hinzu kommen die gesetzlichen Bestimmungen und Rahmenbedingungen, die in der Unternehmenspraxis aufgrund fehlender Vorgaben oftmals schwierig umzusetzen sind. Obgleich benannte Schwierigkeiten bestehen, können Unternehmen neue Märkte erschließen, in denen nachhaltige Technologien, Materialien und Produkte eingesetzt werden und die Positionierung am Markt stärken. Im Fortschrittsbericht der Bundesregierung 2012 heißt es etwa, dass vor allem deutsche Unternehmen eine Vorreiterrolle durch die Fokussierung auf das Nachhaltigkeitsprinzip einnehmen können, die mit einer „guten gesamtwirtschaftlichen Entwicklung“ korreliert [2].

Förderung der umweltverträglichen Unternehmensleistung

Produkte beeinflussen die Umwelt über ihren gesamten Lebenslauf hinweg, beginnend vom Abbau der eingesetzten Rohstoffe, über die Produktion, der Verteilung und der Nutzung durch den Endverbraucher, bis zur Entsorgung (vgl. Abbildung 1-2). In der Vergangenheit wurden jedoch vorrangig die Umweltbelastungen direkt am Produktionsstandort für die Reduzierung der Umwelteinwirkungen eines Produktes betrachtet (Luftemissionen, Produktionsabfall, Stromverbrauch, u.a.).

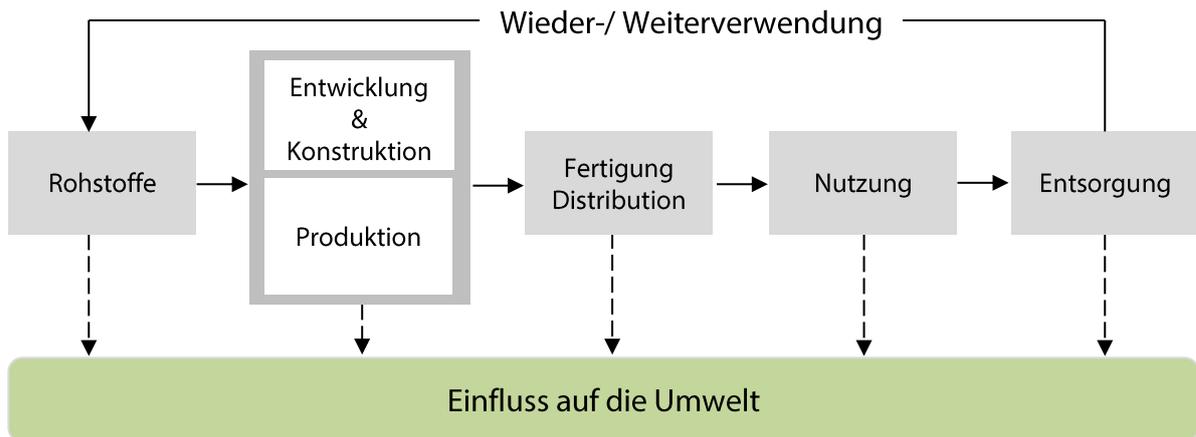


Abbildung 1-2: Lebensphasen und deren Einwirkung auf die Umwelt eines Produktes (eigene Grafik)

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

In der bisherigen unternehmerischen Praxis stehen in der Produktentwicklung zunächst nur die Kernfunktion des Produktes und die Optimierung seines Nutzens im Vordergrund, wobei die Umwelt- und Nachhaltigkeitsanforderungen bisher nur einen geringen Stellenwert aufweisen und erst in späteren Entwicklungsphasen fokussiert werden. In Anbetracht des gesamten Produktlebenszyklus jedoch könnten die Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft dabei bereits in der Entwicklungs- und Designphase bestimmt werden (siehe Abbildung 1-3). Durch die gezielte Integration des Nachhaltigkeitsgedankens in die Produktentwicklung können Unternehmen positiv auf den Verbrauch der natürlichen Ressourcen und der Umweltbelastung einwirken.

Dabei stellt sich die Frage, wie die nachhaltige Produktentwicklung systematisch in einem Unternehmen umzusetzen ist – insbesondere unter der Voraussetzung geringer struktureller und organisatorischer Veränderungen. Aus diesem Grund soll im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit eine Möglichkeit zur Integration des Leitgedankens der Nachhaltigkeit in den Konstruktionsprozess anhand eines Praxisbeispiels aufgezeigt werden.

Das zweite Kapitel widmet sich hierzu zunächst den wesentlichen Fragen zum Thema der Nachhaltigkeit, indem die zentralen Aspekte und Handlungsstrategien dargelegt werden. Zusätzlich wird die Motivation für ein nachhaltiges Handeln aufgezeigt. Des Weiteren gibt das Kapitel einen Überblick über die Grundlagen der Produktentwicklung. Dabei wird insbesondere der Fokus auf den

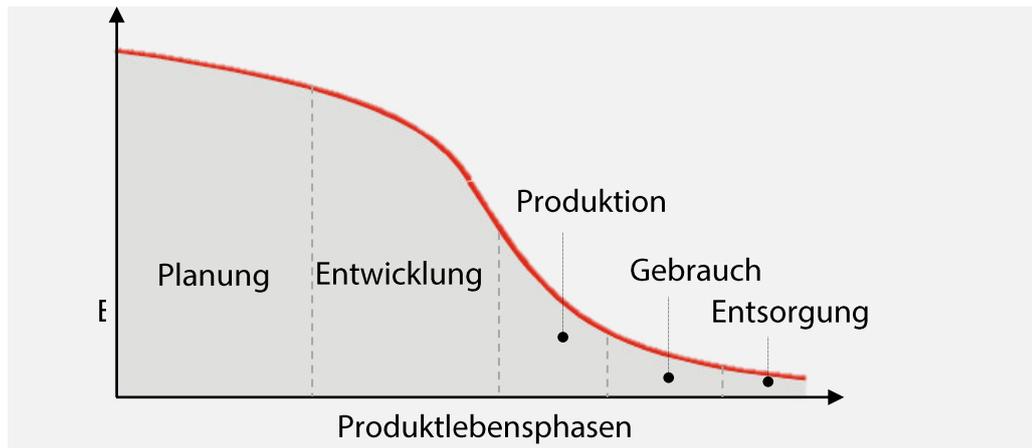


Abbildung 1-3: Möglichkeit zur frühzeitigen Einflussnahme auf sofortige und spätere Ressourcenschonung, Upgradefähigkeit, Produktlebensdauer und Kostenentstehung nach [3]

Entwicklungsprozess nach *VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“* gelegt sowie eine Übersicht über bisherige Gestaltungsrichtlinien einer umweltverträglichen Produktentwicklung gegeben. Weiterhin werden die Rahmenbedingungen auf europäischer und nationaler Ebene dargestellt.

In Kapitel 3 wird gezielt auf die Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess eingegangen. Dies wird anhand eines Praxisbeispiels exemplarisch durchgeführt. Dabei durchläuft anhand eines eigenen weiterentwickelten Vorgehensmodells ein Praxisbeispiel den Konstruktionsprozess, dessen Hauptaugenmerk auf die Planungsphase gerichtet ist. Zum einen werden existierende Methoden angewandt, die zum anderen durch eigene Instrumente ergänzt werden. Mithilfe dieser Methoden werden verschiedene Möglichkeiten für die Anforderungsanalyse, der Lösungsfindung als auch der Auswahl von Konzepten aufgezeigt.

Die Bewertung erfolgt im vierten Kapitel mit der Software SolidWorks Sustainability, die neben der eigentlichen rechnerunterstützten Konstruktionsaufgabe das Produkt hinsichtlich seiner Umweltbewertung evaluiert.

Das fünfte Kapitel dient der abschließenden Betrachtung der durchgeführten Untersuchungen im Rahmen einer kritischen Auseinandersetzung.

In einer kurzen Schlussbetrachtung wird die Masterarbeit kurz zusammengefasst und durch den Ausblick, der das Cradle to Cradle Konzept aufgreift, ergänzt.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Grundlagen der Nachhaltigkeit

Der Begriff Nachhaltigkeit wird in Medien und Führungsetagen vielfach verwendet ohne jedoch konkrete Definitionen zu liefern. Insofern stellt eine nachhaltige Entwicklung „ein Leitbild dar, das die weitere Konkretisierung folglich offenlässt, für eine spezielle Anwendung dieser jedoch bedarf“ [3]. Daher werden sich die folgenden Kapitel sowohl der Begriffsdefinition als auch der Klärung der Notwendigkeit für das Konzept einer nachhaltigen Produktentwicklung annehmen.

2.1.1 Zentrale Aspekte des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung

Der Begriff der Nachhaltigkeit entstammt aus dem 18. Jahrhundert basierend auf dem Buch über die „Ökonomie der Waldkultur“. Zur Bewahrung der Lebensgrundlage der nachkommenden Generationen solle dem Wald nur so viel Holz entnommen werden, wie auch wieder nachwachsen kann [4]. Durch die Definition von politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen wurde dem ursprünglich forstwirtschaftlichen Verständnis der Nachhaltigkeit die gesellschaftliche Ebene hinzugefügt, die die Lebensqualität der heutigen und künftigen Generationen sichern soll. Der wesentliche Anstoß für die Problematisierung war der von der Brundtland-Kommision (Weltkommission für Umwelt und Entwicklung) 1987 veröffentlichte Bericht "Unsere gemeinsame Zukunft", in dem erstmals das Konzept einer nachhaltigen Entwicklung formuliert worden ist [5]. Der Report diente darauf folgend als Grundlage für die UN-Konferenz Umwelt und Entwicklung (UNCED), die 1992 in Rio de Janeiro stattfand. Auf der sogenannten Rio-Konferenz einigten sich die Unterzeichner der 178 Länder in der Agenda 21 auf eine veränderte Wirtschafts-, Umwelt- und Entwicklungspolitik, in der die Bedürfnisse der heutigen Generationen befriedigt werden und die der künftigen Generationen in gerechter Weise entsprochen werden soll. Für die Industrieländer bedeutet dies vornehmlich die Anpassung der Wirtschafts-, Agrar- und Energiepolitik, da sie im Verhältnis zur Gesamtbevölkerung mehr Ressourcen verbrauchen. Demnach soll jedem Land eine angemessene Entwicklungschance zuteilwerden [5]. Mit dem Kyoto-Protokoll einigte sich die internationale Staatengemeinschaft 1997 auf die Reduzierung der Treibhausgase (u.a. Kohlendioxid, Distickstoffmonoxid, Fluorkohlenwasserstoffe)

in einem völkerrechtlichen Vertrag. Zuletzt fand im Jahre 2002 in Johannesburg der letzte Weltgipfel für eine nachhaltige Entwicklung statt. Es trafen sich Delegierte von Regierungen, der Wirtschaft und Nichtregierungsorganisationen um konkrete Zeitpläne der Agenda 21 festzulegen. Zudem wurden erstmals klare Forderungen nach dem vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien geäußert [6]. Im Vertrag von Lissabon wurden übergreifend für die Europäischen Unionsländer die nachhaltige Entwicklung als übergeordnetes Ziel vertraglich festgesetzt [2].

2.1.2 Prinzipien und Handlungsstrategien

Angesichts des diffusen Gesamtbildes, welches mit der nachhaltigen Entwicklung eng verbunden ist, gibt es dennoch einen mehr oder minder akzeptierten Minimalkonsens in der Gesellschaft. Die Historie zeigt, dass die nachhaltige Entwicklung kein operationalisiertes Konzept ist, sondern ein politisch-gesellschaftliches Leitbild auf moralisch-ethischer Ebene darstellt. Daher lautet die Leitfrage für eine nachhaltige Entwicklung: *Wie können die Bedürfnisse der heutigen Generationen befriedigt werden, ohne künftigen Generationen diese Chance zu verwehren?* Eine Studie des Umweltbundesamtes beschreibt die Nachhaltigkeit hierzu wie folgt: „Als nachhaltige Entwicklung wird ein mehrdimensionaler Prozess verstanden, bei dem gleichzeitig ökologische, ökonomische und soziale Belange bei staatlichen und gesellschaftlichen Entscheidungen berücksichtigt werden und dies in Wahrung der Interessen künftiger Generationen – generationenübergreifender Ansatz“ ([7] zit. nach [8]). Es können jedoch auch Zielkonflikte auftreten, insbesondere wenn es um die Frage der Gewichtung und die Anforderungen an die Prioritäten geht.

Dimensionen der Nachhaltigkeit

Der Begriff der Nachhaltigkeit beruht auf der Überzeugung, dass die genannten Grundsätze gemeinsam und gleichrangig betrachtet sowie weiterentwickelt werden müssen. Die Nachhaltigkeit wird dabei als ein ganzheitlicher, integrativer Ansatz, der im Wesentlichen durch die Berücksichtigung und Integration der Wechselbeziehungen und Wechselwirkungen langfristige Lösungsstrategien verfolgt, verstanden [2]. Zur einheitlichen Veranschaulichung der Dreidimensionalität hat sich sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene das sogenannte Nachhaltigkeitsdreieck durchgesetzt (siehe Abbildung 2-1).

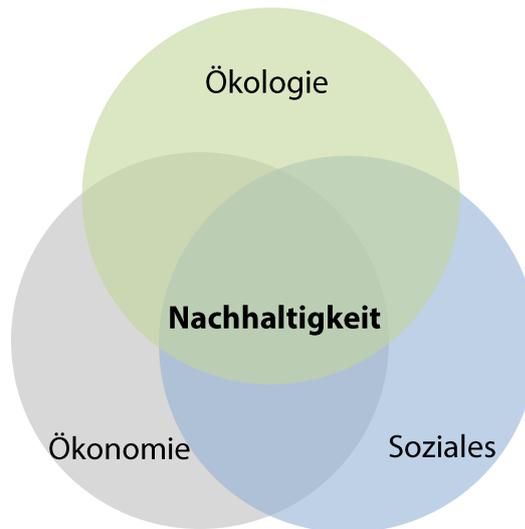


Abbildung 2-1: Dimensionen der Nachhaltigkeit

Der Grundsatz der *sozialen Nachhaltigkeit* lautet, dass jede Generation ihre Aufgaben lösen muss und nicht künftigen Generationen aufbürden darf. Im Zusammenhang mit den anderen Grundsätzen bedeutet dies die Auseinandersetzung mit Fragen nach der Generationengerechtigkeit, nach Vorbeugung von Armut und sozialem Zusammenhalt. Allen Bevölkerungsschichten soll ermöglicht werden, sich an der wirtschaftlichen und kulturellen Entwicklung zu beteiligen. Ebenso muss die Gesellschaft für ein verantwortungsvolles und nachhaltig bedachtes Handeln sensibilisiert werden. Auf unternehmerischer Seite umfasst der Begriff der Nachhaltigkeit Maßnahmen zur Förderung und Durchsetzung sozialer Standards sowohl im eigenen als auch mit kooperierenden Unternehmen [9].

Im Rahmen der *ökonomischen Dimension* muss das unternehmerische Handeln die gesellschaftlichen und ökologischen Anforderungen zur Erzielung von Wettbewerbsvorteilen widerspiegeln. Das betrifft den Umgang mit natürlichen Energie- und Materialressourcen ebenso wie die Produktion von Emissionen und Abfällen, die in direktem Zusammenhang mit der Art und Weise des Wirtschaftens stehen. Zur Sicherung des Kapitals muss der Fokus also im Gegensatz zu kurzfristig anvisierten Gewinnen auf langfristigen Erträgen liegen. Die ökonomische Dimension beinhaltet aber auch Fragen hinsichtlich der Prosperität der Entwicklungsländer sowie der Bereitstellung von Arbeitsplätzen, Sicherung von angemessenem Wohlstand und menschenwürdiger Lebensverhältnisse für alle Menschen weltweit.

Der Grundsatz der *ökologischen Nachhaltigkeit* behandelt Fragen hinsichtlich der Reduzierung des anthropogenen Einflusses auf die Umwelt: Der hohe Verbrauch an Energie und Fläche der Industrieländer. Es bedingt ein Mindestmaß an Qualität und Stabilität des natürlichen Ökosystems um die dauerhafte Existenz der Menschheit zu sichern. Dies ist mit einer partiellen Optimierung einer der anderen Dimensionen allein nicht zu bewältigen.

Die Erfassung der ökologischen Nachhaltigkeit ist problematisch aufgrund der zahlreichen Faktoren, die im und auf das Ökosystem Einfluss nehmen. Im Gegensatz dazu ist ökonomische Nachhaltigkeit quantifizierbar, sie lässt sich über das Pro-Kopf-Einkommen oder das Bruttoinlandsprodukt operationalisieren. Als ein wichtiges Maß für den Ressourcenverbrauch von Produktions- und Konsumaktivitäten wird beispielsweise der *ökologische Fußabdruck* genannt. Er dient als „ein Nachhaltigkeitsindikator, der die anthropogene Nachfrage nach natürlichen Ressourcen dem Angebot der Ökosysteme gegenüberstellt“ [10].

Im Zusammenhang mit der globalen Gerechtigkeit stehen die Industrieländer nicht nur im Vorteil sondern auch in der Verantwortung, ihren ökologischen Fußabdruck zu senken um aufstrebenden Ländern die Möglichkeit zu schaffen, sich dem vorgelebten Lebensstandard anzugleichen. Im sogenannten Ein-Säulenmodell, welches der ökologischen Dimension den Vorrang einräumt und ökonomische und soziale Fragen als Ursache und Folgewirkung beantwortet werden, spielt die Belastbarkeit des ökologischen Systems eine tragende Rolle [11]. Das System soll in seinen Eigenschaften weitestgehend erhalten bleiben, was durch einen maximalen Tolerierungsgrad an anthropogenen Emissionen gewährleistet werden soll [11].

Effizienz, Konsistenz, Suffizienz

Der vorige Abschnitt hat gezeigt, dass eine nachhaltige Entwicklung tiefgreifende Maßnahmen in der Gegenwart für Wirtschaft und Gesellschaft erfordert. In der Debatte hinsichtlich der Umsetzung der Kernforderungen werden vor allem die Handlungsstrategien Effizienz, Suffizienz und Konsistenz genannt [12].

Die *Effizienzstrategie* zielt gemäß einer wirtschaftlichen Unternehmung auf eine Minimierung des Material- und Energieeinsatzes sowie dem Ausstoß an Schadstoffen pro Produktionseinheit (Steigerung der Ressourcenproduktivität). Auf diese Weise kann die Wirtschaftlichkeit langfristig gesichert werden ohne die Grenzen des Wachstums zu verletzen. Hinsichtlich der Umsetzung werden verschiedene Ansätze

angeboten. Besonders vielversprechend werden hierbei Beiträge in Bezug auf die Langlebigkeit und Mehrfachnutzung von Produkten verfolgt (z.B. leicht reparier- und demontierbare Komponenten, Modulbauweise). Vereinzelt wird auch bereits von einer „Effizienzrevolution“ ([13], [14], et al.) gesprochen. [12]

Die *Konsistenzstrategie* dagegen zielt auf die Anpassung der anthropogen erzeugten Stoffströme an die natürlichen Stoffwechselprozesse. Größtenteils ist dies gleichbedeutend mit einer stofflichen Substitution. Im Vergleich zur Effizienzstrategie wird also nicht der Wirkungsgrad bei der Energiewandlung gesteigert, sondern der Austausch fossiler Energieträger hin zu regenerativen gefördert.

Diese Konzepte gelten als effektive Strategien zur Realisierung der geforderten klima- und energiepolitischen Ziele, können jedoch auch negative Einsparfolgen in Form einer Mehrnachfrage nach Energie hervorrufen (Rebound-Effekt) [4, 14]. Für ein Minimum an Emissionswerten und eine gerechte Lastenverteilung ist also eine Sensibilisierung der Gesellschaft in Bezug auf ihr Konsumverhalten und ihren Energieverbrauch notwendig. Mit dem ergänzenden Prinzip der *Suffizienz*, welches das Konsumniveau und Nutzerverhalten integriert, wird die kritische Hinterfragung eines jeden Individuums gefordert, sodass die gewonnenen Einsparungen durch Effizienzsteigerung tatsächlich zur Schonung der Umwelt beitragen. [12, 15]

2.1.3 Antrieb für Innovationen

Bei der Lösung von globalen Herausforderungen nimmt eine erfolgreiche Verknüpfung von Innovationen und Nachhaltigkeit einen hohen Stellenwert ein. Daher ergeben sich für viele Unternehmen die Möglichkeiten, innovative Lösungsstrategien und –ansätze zur Überwindung dieser Anforderungen zu verfolgen. Dabei muss Nachhaltigkeit nicht nur das Ergebnis von Innovationen sein, sondern kann selbst als Antrieb für ebensolche agieren. Durch die explizite Berücksichtigung von ökologischen und sozialen Aspekten können Themen wie Ressourcenknappheit, Armut, Klimawandel etc. nicht nur als Risikofaktoren sondern ebenso als Marktchancen wahrgenommen werden. Die strategische Integration dieser Gedanken in das Unternehmen und der Produktentwicklung entlang des Innovationsprozesses stellt aber nach wie vor eine Herausforderung dar.

Nach EHRENSPIEL wird eine Innovation als „die Einführung einer neuartigen, fortschrittlichen Lösung für ein bestimmtes Problem bis zum Markterfolg“ [16] verstanden. Bei der Optimierung von Produkten, die einem nachhaltigen Konzept

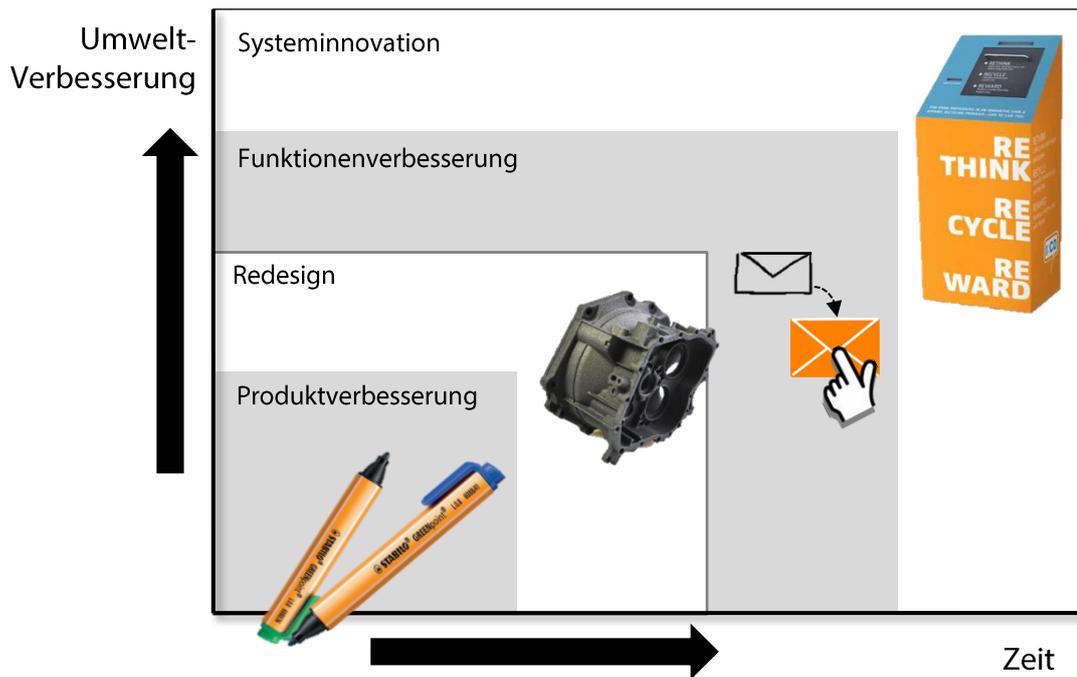


Abbildung 2-2: Hierarchie von Innovationen in Anlehnung an Brezet [18]

folgen sollen, können unterschiedliche Grade von Innovationen unterschieden werden. Brezet schlägt hierfür das Modell der „Hierarchie von Innovationen“ (vgl. Abbildung 2-2) vor [17]. Mit Erhöhung des Neuheitsgrades können neue Produkte geschaffen werden, die immer mehr ökologische Designprinzipien im Sinne eines nachhaltigen Leitbildes in sich vereinen.

Den geringsten Zeitaufwand stellt die Optimierung von bereits existierenden Produkten dar, die schrittweise in Hinsicht auf ihre negativen Umwelteinwirkungen verändert werden (*Improvement* bzw. *Produktverbesserung*). Das Funktionsprinzip und das Fertigungsverfahren bleiben im Allgemeinen erhalten. Als Beispiel sei hier der Faserschreiber „Greenpoint“ aus 96% recyceltem Kunststoff der Firma STABILO genannt.

Beim *Redesign* bleiben Produktkonzept sowie die Anforderungen ebenfalls erhalten. Einzelne Teile des Produktes werden aber weiterentwickelt oder durch ökologisch wertvollere ersetzt. Ziel ist zum einen die Wiederverwendung von Ersatzteilen und Rohstoffen und zum anderen die Reduzierung des Energieverbrauches in den verschiedenen Phasen des Produktlebenslaufes. Durch den reduzierten Materialeinsatz und der Einsparung von zusätzlichen Fertigungsschritten kann an dieser Stelle das Rapid Manufacturing Abhilfe verschaffen.

Bei der Veränderung des Produktkonzeptes (*Concept Innovation* bzw. *Funktionenverbesserung*) wird ein neues Funktionsprinzip entworfen. So können

eBooks oder E-Mails die Einsparung von Papier und folglich das Maß an Suffizienz erhöhen.

Der größte Aufwand wird durch die Entwicklung von komplett neuen Produkten und Dienstleistungen geboten (*System innovation*). Hierbei wird das vollständige Eigenschaftsprofil des Produktes verändert und erfordert ein komplettes Umdenken der Entwicklungsabteilungen aber auch der Konsumenten und ist eng mit dem sozialen Kontext verknüpft. So erhalten beispielsweise Kunden für die Rückgabe von gebrauchten Kleidungsstücken bei einer stetig steigenden Zahl an kooperierenden Unternehmen eine Gutschrift. Die gebrauchte Mode wird anschließend von dem Schweizer Unternehmen I:COLLECT aussortiert und in Abhängigkeit vom Zustand an Second-Hand-Läden oder dem Recycling zugeführt.

2.2 Grundlagen der Produktentwicklung

Die Entwicklung von Produkten ist bezeichnend für einen vielfältigen und interdisziplinären Vorgang, dessen Zweck ein produzierbares und funktionsfähiges Produkt zu schaffen ist. Die Entwicklung und Konstruktion stellt dabei nur einen von

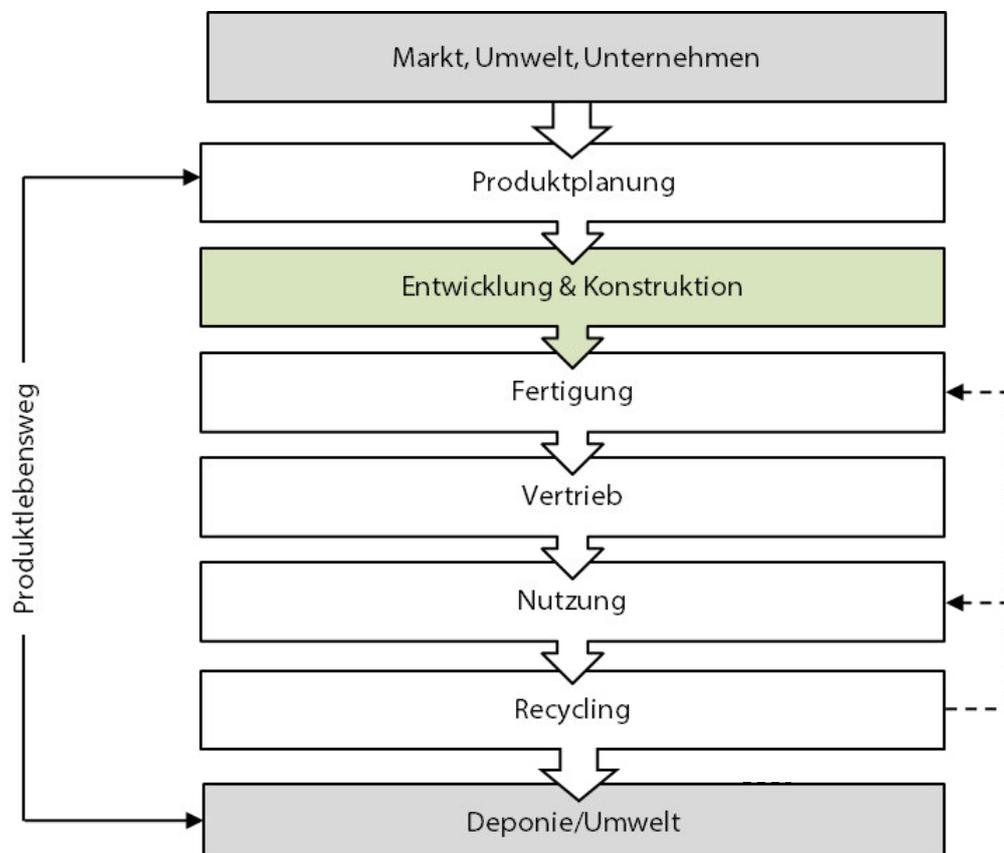


Abbildung 2-3: Einordnung der Entwicklung und Konstruktion in die Lebensphasen eines Produktes

vielen vor- und nachgelagerten Prozessen dar (vgl. Abbildung 2-3), die summarisch den *Produktlebensweg* von der „Wiege bis zur Bahre“ bilden. Zu Beginn der Prozesskette stehen die internen und externen Faktoren, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Produktplanung ausüben. Der Markt gibt die Bedürfnisse der Kunden, Trends sowie die Bestimmungen der nationalen und internationalen Gesetzgeber wieder. Unternehmensinterne Ansprüche, die sich in den Unternehmensleitbildern und –potentialen widerspiegeln, fließen ebenso in die Entscheidung für oder gegen eine Produktentwicklung ein.

2.2.1 Produktentwicklungsmethodik

Analog zur Produktplanung haben sich auch im Bereich der Entwicklung und Konstruktion methodische Vorgehensmodelle etabliert. Neben den Vorgehensmodellen werden dem Konstrukteur operative Methoden, insbesondere im Bereich der Lösungsfindung, zur Verfügung gestellt. Eine allgemeingültige Vorgehensweise ist in der *VDI Richtlinie 2220 „Produktplanung: Ablauf, Begriffe und Organisation“* beschrieben. Die nachgelagerten Prozesse betreffen den Vertrieb, die Nutzung sowie die anschließende Verwertung/ Entsorgung am Ende des Produktlebens. Mit der Produktplanung und –entwicklung werden also zu Beginn der Produktentwicklungsprozesse die entscheidenden Eigenschaften festgelegt.

Mit der *VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“* wurde ein allgemein anerkanntes und weit verbreitetes Modell der Konstruktion geschaffen. Diese teilt den Prozess in sieben sequentielle Arbeitsschritte, ausgehend von der Aufgabenstellung und der daraus entwickelten Anforderungsliste, bis zum Abschluss durch die Produktdokumentation, ein (siehe Abbildung 2-4). Dabei werden nach PAHL/BEITZ grundsätzlich die vier Phasen Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten durchlaufen [15].

Planen

Die Planungsphase dient vorrangig der Beschaffung von Informationen um eine klar definierte Aufgabenstellung mit allen nötigen Zusammenhängen zu definieren. Hierzu gehören vor allem die Anforderungen der Kunden aber auch die der unternehmenseigenen Geschäftsleitung. Die Informationen werden anschließend in einer Anforderungsliste zusammengetragen und festgelegt.

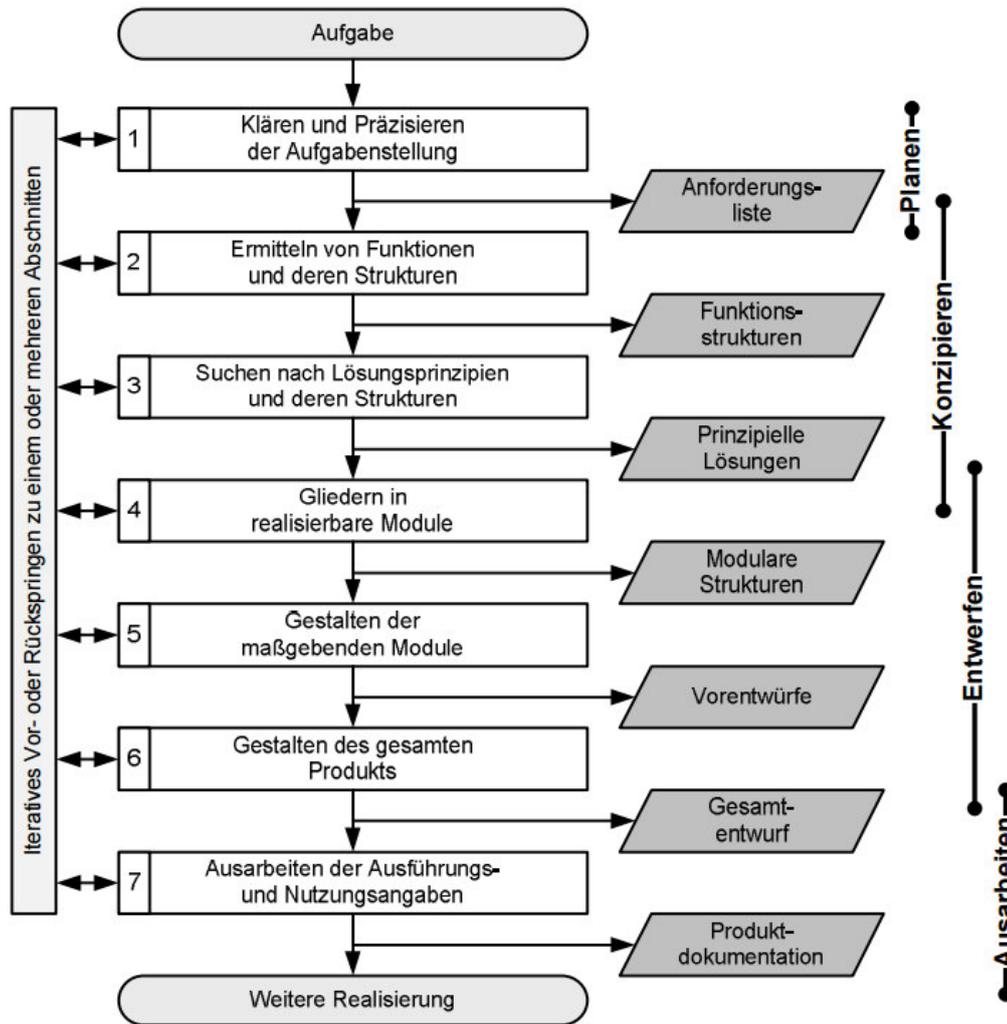


Abbildung 2-4: Methodisches Vorgehen beim Konstruieren nach VDI 2221 [16]

Konzipieren

In der Konzeptionsphase erfolgt die eigentliche Festlegung der Lösung. Nach einer Abstraktion auf die wesentlichen Probleme wird das Produkt in seine Haupt- und Teilfunktionen zerlegt, um sich möglichst dem eigentlichen Wesenskern der Aufgabenstellung zu widmen. Die Funktionen können in einer Funktionsstruktur zusammengefasst werden.

Im Rahmen der Lösungssuche werden den einzelnen Funktionen Wirkprinzipien, also jene physikalische Prinzipien, mit denen die Funktionen prinzipiell umgesetzt werden sollen, zugeordnet. Zur Unterstützung der Ideenfindung werden in der Konstruktionsmethodik drei wesentliche Gebiete unterschieden:

- Konventionelle Methoden
- Diskursive Methoden
- Intuitive Methoden

Konventionelle Methoden. Grundsätzlich ist eine Ansammlung von Informationen bezüglich des aktuellen Stands der Technik (Literaturrecherche, Auswertung von Berichten, Patente, eigene Unternehmensprodukte) anzuraten. Die Analyse bekannter technischer Systeme dient dem Konstrukteur schrittweise neue oder verbesserte Varianten zu entwickeln. Mithilfe der Analyse natürlicher Systeme werden Analogien aus der Natur (Formen, Strukturen, Organismen, Vorgänge) gezogen. Weitere Methoden sind Analogiebetrachtungen, das Durchführen von Messungen und Modellversuchen.

Diskursive Methoden. Bei den diskursiven Methoden steht die Beschaffung, Aufbereitung und Auswertung der Informationen im Vordergrund. Ordnungsschemata lassen wesentliche Lösungsmerkmale erkennen und können diese verknüpfen. Einen schnellen Zugriff auf Variationen von Wirkprinzipien liefern beispielsweise Konstruktionskataloge.

Intuitive Methoden. Im Gegensatz zur strukturierten Vorgehensweise folgen intuitive Methoden dem Gesetz des guten Einfalls. Beim Brainstorming kennen die Teilnehmer die Problemstellung und können ihre Einfälle spontan und frei äußern. Eine Weiterentwicklung des Brainstormings ist das Brainwriting. In einer Kombination aus Einzel- und Gruppenarbeit werden Lösungsvorschläge skizziert und weiterentwickelt (z.B. Galeriemethode, Methode 635).

Im Rahmen der Lösungssuche sind zahlreiche Lösungen generiert worden. Daher muss frühzeitig eine Auswahl von Ideen, die weiter verfolgt werden sollen, getroffen werden. Um die Ideen für einen späteren Zeitpunkt nicht zu verwerfen, ist eine erste Strukturierung der Ergebnisse z.B. in Form einer Auswahlliste oder einem Vor-Nachteil-Vergleich sinnvoll. Quantitative Bewertungen können mit Hilfe einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung nach VDI 2225 oder einer Nutzwertanalyse erfolgen.

Entwerfen

Die Entwurfsphase dient der gestalterischen Festlegung der Lösung. Gleichmaßen werden an diesem Punkt die Werkstoffe und Fertigungsverfahren ausgewählt. Häufig werden mehrere vorläufige Entwürfe erstellt und miteinander verglichen (technisch-wirtschaftliche Bewertung). Durch die Beseitigung von Schwachstellen liegt mit Abschluss der Phase ein endgültiger Gesamtentwurf, dessen Funktionen und technischen Anforderungen bereits erfüllt sind, vor.

Ausarbeiten

In der abschließenden Ausarbeitungsphase wird die Baustruktur durch Vorschriften für Form und Lage, Bemessung sowie Oberflächenbeschaffenheit für die fertigungs- und montagerechten Zeichnungen, Pläne und Arbeitsanweisungen angepasst.

2.2.2 Umweltverträgliche Gestaltungsrichtlinien in der Entwicklungsmethodik

In Anbetracht einer umweltfreundlichen Produktentwicklung lohnt sich zunächst ein Blick auf die Produktlebensphasen und deren allgemeine Umweltauswirkungen. Generell lassen sich nach FREI drei wesentliche Produktlebensphasen, die durch den Transport zwischen den einzelnen Phasen ergänzt werden, unterscheiden [18]:

- (1) Produktionsphase: Diese Phase schließt die Materialherstellung über Zwischenprodukte bis zum Endprodukt ein. Im Vergleich zur ökologischen Historie der Rohmaterialien und der Zuliefererteile ist die Belastung durch die eigene Produktion sehr gut nachvollziehbar.
- (2) Nutzungsphase: Durch die Konstruktion bestimmt der Konstrukteur die Umwelteinwirkungen des Produktes. Nicht bei allen Produkten geht eine aktive Umweltbeeinflussung einher (z.B. in der Automobilindustrie). Durch die Gestaltung von leicht demontierbaren Produkten kann hier jedoch im Sinne der Reparierbarkeit die Langlebigkeit eines Produktes maßgeblich erhöht werden.
- (3) Entsorgungsphase: Die Entsorgungsphase beinhaltet sowohl das stoffliche als auch das thermische Recycling (Verbrennung), wodurch die Produkt- und Materialkreisläufe wieder möglichst geschlossen werden sollen, sowie die Entsorgung auf der Deponie. Vorrangiges Ziel des Recyclings ist die Reduzierung des Primärenergiestroms und die Abgabe von Emissionen bei der Entsorgung. In Abbildung 2-5 sind die verschiedenen Konzepte des Recyclings aufgeführt. Materialien, die nicht recyclingfreundlich sind, sollten möglichst gemieden werden.
- (4) Transport: Zwischen den einzelnen Phasen wird das Produkt über eine bestimmte Distanz transportiert. Relevant hierfür sind die Transportmittel, die Strecken, die Häufigkeit sowie das Volumen und Gewicht. Des Weiteren muss an dieser Stelle eine kunden- und logistikgerechte Verpackung berücksichtigt werden.



Abbildung 2-5: Unterscheidung von Recyclingarten

Stoffliche Verwertung von Materialien im Sinne einer Wiederverwertung (Glasflaschenrecycling) und der Weiterverwertung (weitere Nutzung von Altpapier für die Herstellung von z.B. Schulheften); erneute Verwendung im Sinne einer Wiederverwertung (Wiederbefüllen von Druckertintenpatronen) und der Weiterverwertung (einfache Camping-Dusche mit einer PET-Flasche)

In PAHL/BEITZ wird auf verschiedene Gestaltungsrichtlinien, die umweltverträglichen Aspekten genügen, hingewiesen [15]. Unter dem Begriff „Design for X“ subsumiert sich eine Reihe von Gestaltungsrichtlinien für die Produktentwicklung, wobei das „X“ einen Platzhalter für verschiedene Hauptzielrichtungen darstellt.

Die Abbildung 2-6 zeigt eine Übersicht von verschiedenen Zielrichtungen für die Konstruktion von technischen Systemen. In Anbetracht der einzelnen Aspekte liefert die Gesamtheit der Gestaltungsrichtlinien einen Beitrag zu einem nachhaltigen Produkt, da jeder einzelne einen Einfluss auf die Lebensdauer und die (partielle) Weiter- und Wiederverwendung ausübt. Allerdings können auch verschiedene



Abbildung 2-6: Auswahl von Gestaltungsrichtlinien

ökologische Zielrichtungen miteinander konkurrieren. So muss in einem sorgfältigen Entscheidungsprozess überlegt werden, ob beispielsweise einem robusten Design (Langlebigkeit) oder der Leichtbauweise (energiesparsame Nutzung) Vorrang gegeben werden soll.

PONN & LINDEMANN geben ebenso Vorschläge für eine nachhaltige Produktentwicklung und verweisen neben den Ökobilanzen (siehe Kapitel 2.2.3) auf die Integrierte Produktpolitik (vgl. Kapitel 2.3.1) [19]. Zur Integration der Umweltverträglichkeit in die Planungsphase werden angepasste Methoden wie etwa das *Quality Function Deployment (QFD)* oder die *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* genannt.

Um die Umweltbeeinflussung frühzeitig zu erkennen, werden zudem eine *umsatzorientierte Funktionsmodellierung* (Betrachtung der Stoff-, Energie- und Signalumsätze im Produkt) sowie die *Relationsorientierte Funktionsmodellierung* (Erkennen von schädlichen Funktionen) empfohlen. Bei letzterem lassen sich gezielt vorgelagerte umweltorientierte Problemfragestellungen vornehmen, z.B. die Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie mit einem Minimum an Verlusten.

In der *VDI-Richtlinie 2221* erfolgt kein direkter Bezug zu ökologischen Aspekten in der Entwicklungsmethodik. Im Rahmen der *VDI-Richtlinie 2243 Recyclingorientierte Produktentwicklung* wurde jedoch eine Beihilfe zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von technischen Produkten geschaffen und bietet neben einer Checkliste jeweilige recyclinggerechte Konstruktionsaspekte (vgl.

	Baustruktur	Verbindungen	Werkstoffe
Material-spezifisch	Separierbarkeit	Demontagezeit	Materialauswahl, -verträglichkeit
Bauteilspezifisch	Zugänglichkeit	Demontagetiefe	Materialvielfalt
Produkt-spezifisch	Modularer Aufbau	Verbindungsarten, -vielfalt	Verwertungs-kompatibilität
Allgemein	Recycling-konzept	Lösbarkeit	Recycling-fähigkeit

Abbildung 2-7: Recyclingrelevante Konstruktionsaspekte nach VDI 2243

Abbildung 2-7).

2.2.3 Konzepte der ökologischen Produktbewertung

Mit der Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Produkten und Prozessen ist es erst möglich, die ökologischen Potentiale der Lösung über den gesamten Lebensweg aufzuzeigen und zu bewerten [20]. In der Praxis haben sich dabei mehrere Methoden etabliert, die in Abbildung 2-8 dargestellt sind.

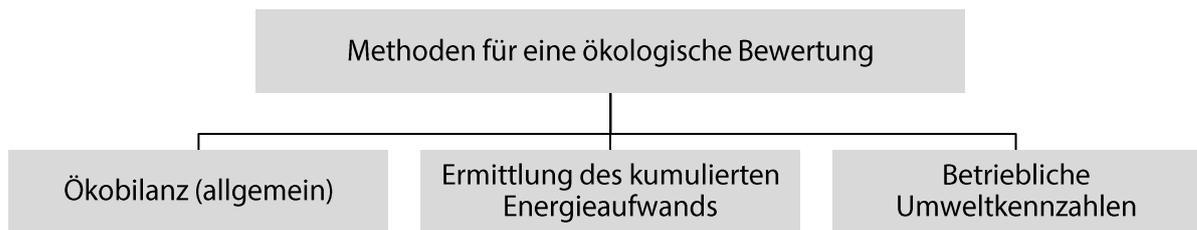


Abbildung 2-8: Übersicht von ökologischen Bewertungsmethoden

Ökobilanzierung nach DIN ISO 14040

In den letzten Jahrzehnten hat sich eine standardisierte Methode zur Erfassung, Quantifizierung und Beurteilung gemäß einer gegebenen Fragestellung der Umwelteinwirkungen von zunächst nur Produkten – später auch für Verfahren und Dienstleistungen – bewährt. Im Rahmen einer Ökobilanzierung soll möglichst eine ganzheitliche Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus hinweg erfolgen; beginnend von der Rohstoffproduktion bis zur finalen Entsorgung. Folglich lassen sich ein reduzierter und effektiverer Ressourcenverbrauch und ein minimaler Ausstoß von Emissionen in Form von Schadstoffen und Abfällen als primäre Ziele formulieren.

Für den Untersuchungsrahmen sind die zur Verfügung stehenden Mittel, der zeitliche Rahmen und die Verfügbarkeit der Daten zu berücksichtigen. Hiervon hängen zum einen maßgeblich die zu definierenden Systemgrenzen – also die Schnittstellen zur Umwelt und zu anderen Produktsystemen – sowie die Anforderungen an die Datenqualität ab. Um einen realisierbaren Untersuchungsraum gewährleisten zu können werden *Abschneidekriterien* festgelegt, mit Hilfe derer Stoffströme aus dem Bilanzraum abgeschnitten werden können:

- Massen- und Energiewertekriterien: Massen- bzw. Energieanteil eines Stoffstroms unterschreitet eine definierte Geringfügigkeitsschwelle

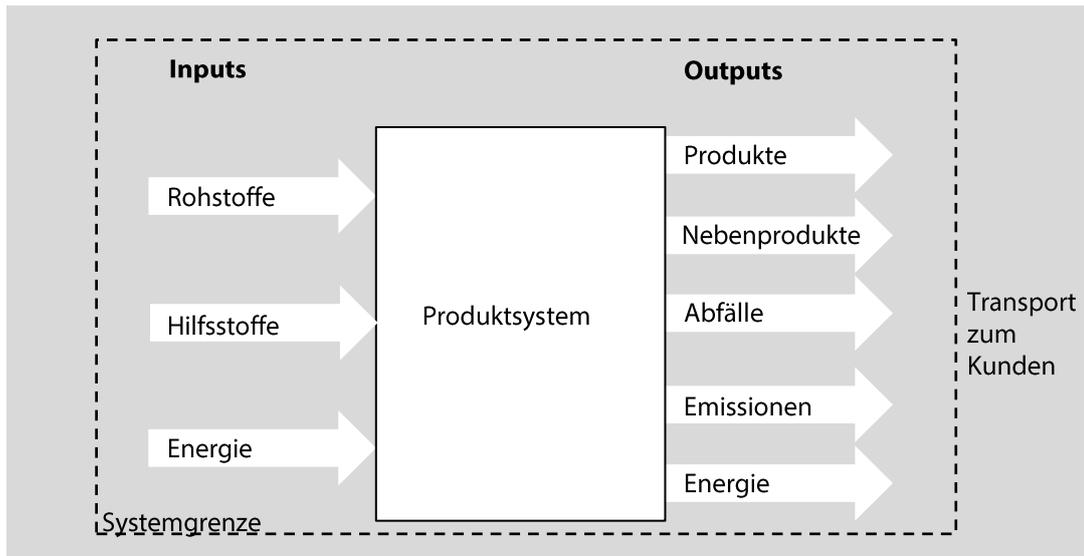


Abbildung 2-9: Allgemeine Darstellung der Input- und Outputströme bei der Produktherstellung

- Umweltrelevante Kriterien: Stoffstrom weist kein relevantes Umweltgefährdungspotential im Rahmen der zu betrachtenden Umweltwirkungen auf

Eine Ökobilanz beschreibt dabei den Input und Output der möglichen Umweltwirkungen eines Produktsystems innerhalb seiner festgelegten Systemgrenzen in Analogie zu einer Blackbox (siehe Abbildung 2-9). Gemäß der Grundidee sollen dabei alle mit dem Produkt oder dem Prozess verknüpften Stoff- und Energieströme dargestellt und über den gesamten Lebensweg bilanziert werden („cradle to grave“).

Entsprechend der Norm gliedert sich die Ökobilanz in vier grundlegende Teilbereiche (vgl. Abbildung 2-10) [21]:

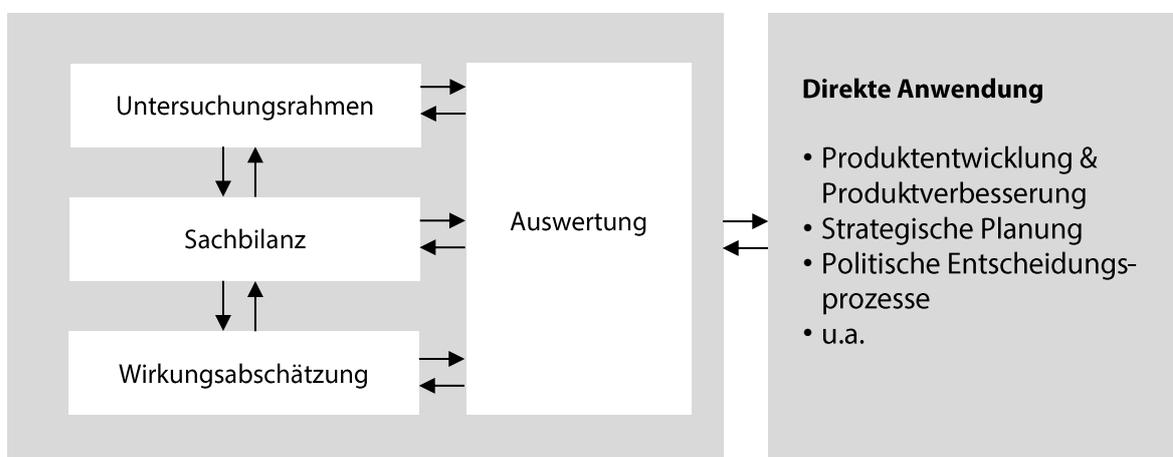


Abbildung 2-10: Bestandteile einer Ökobilanz nach DIN ISO 14040

(1) Definition von Untersuchungsziel und –rahmen (DIN ISO 14040)

Im ersten Schritt erfolgt die Konkretisierung der Ziele und des angestrebten Erkenntnisgewinns. Auf Basis der Zieldefinition leiten sich im Folgenden der Untersuchungsrahmen sowie die Anforderungen für die weiteren Phasen der Bilanzierung ab. Des Weiteren ist festzulegen, in welchem Umfang die Ökobilanz bei späteren Entscheidungen einbezogen wird.

Für die Quantifizierung des angegebenen Nutzens wird dem untersuchten Produktsystem eine funktionelle Einheit zugeordnet (z.B. 1 Tonne Produkt), die als weitere Bezugsgröße für alle Input- und Outputflüsse sowie der potentiellen Umweltwirkungen dient.

(2) Sachbilanzierung (DIN ISO 14041)

In der anschließenden Sachbilanz werden die Stoff- und Energieströme der einzelnen Phasen innerhalb der Systemgrenze erfasst und aufgelistet. Zugleich werden die zeitlichen und räumlichen Abläufe in einem Schema abgebildet, einschließlich der Input- und Outputströme.

In der Abbildung 2-11 wird dies exemplarisch am Beispiel der Stahlproduktion dargestellt. Die Input- und Outströme sind in Relation zur funktionellen Einheit zu setzen.

Entstehen im Produktionsprozess weitere Nebenprodukte, die in anderen Prozessen verwendet werden können (Kuppelproduktion), so müssen *Allokationen* angewendet werden. Das bedeutet, dass den zugehörigen Umweltauswirkungen der Input- bzw. Outputflüsse dem untersuchten Produktsystem anzurechnen sind.

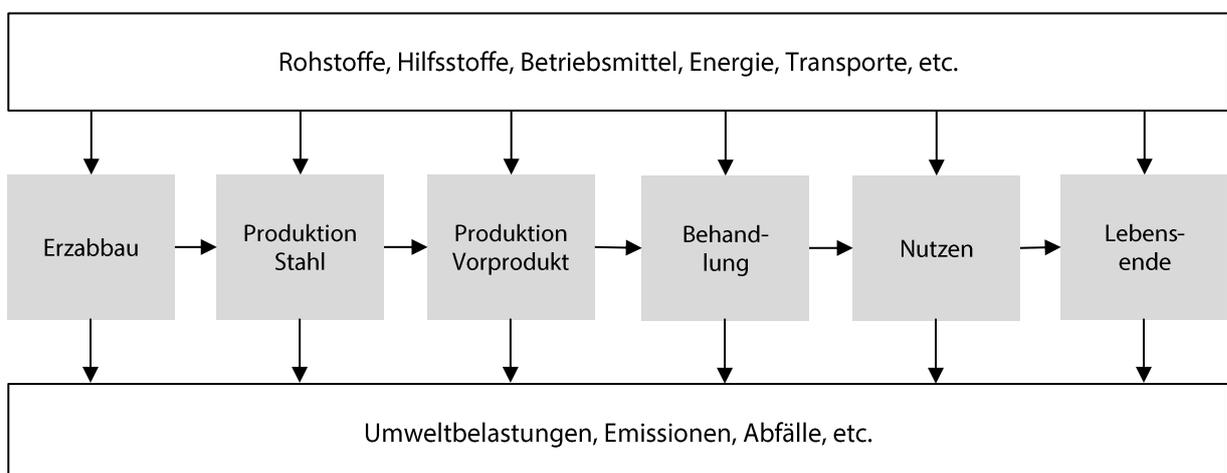


Abbildung 2-11: vereinfachte Sachbilanz am Beispiel von Stahl

(3) Wirkungsabschätzung (DIN ISO 14042)

Zur Abschätzung der Wirkung stehen verschiedene Methoden zur Verfügung:

- CML 2001
- EcoIndicator
- ReCiPe 2009
- Methode der ökologischen Knappheit

Die DIN ISO 14040/44 fordert eine Wirkungsabschätzung nach der CML-Methode. Anhand der zuvor bestimmten Umweltwirkungen, den Wirkungskategorien, werden in der Wirkungsabschätzung die in der Sachbilanz erhobenen Stoff- und Energieflüsse ausgewertet (Klassifizierung). Das Umweltbundesamt schlägt hierfür die Wirkungskategorien nach Tabelle 2-1 vor. Dabei wird jede Wirkungskategorie durch eine oder mehrere Wirkungsindikatoren, z.B. Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente für den Treibhauseffekt, charakterisiert (Charakterisierung).

Tabelle 2-1: Wirkungskategorien nach dem Umweltbundesamt [22]

Wirkungskategorie nach UBA	Berechnung des Wirkungspotentials	Einheit des Wirkungspotentials
direkte Gesundheitsschädigung	Stoffe müssen einzeln bewertet werden	
Direkte Schädigung von Ökosystemen	Stoffe müssen einzeln bewertet werden	
Eutrophierung (Eintrag von Nährstoffen in Böden und Gewässer)	$NP = \sum_i (m_i \cdot NP_i)$	kg PO ₄ ³⁻ -Ionen-Äquivalent
Naturraumbeanspruchung	Noch nicht abgestimmt	m ²
Photochemische Oxidantienbildung/ Sommersmog	$POCP = \sum_i (m_i \cdot POCP_i)$	kg Ethylen-Äquivalent
Ressourcenbeanspruchung (R _{stat,i} : statische Reichweite)	$R = \sum_i (m_i \cdot \frac{1}{R_{stat,i}})$	kg/a
Stratosphärischer Ozonabbau	$ODP = \sum_i (m_i \cdot ODP_i)$	Kg FCKW 11-Äquivalent
Treibhauseffekt	$GWP = \sum_i (m_i \cdot GWP_i)$	kg CO ₂ -Äquivalent
Versauerung	$AP = \sum_i (m_i \cdot AP_i)$	kg SO ₂ -Äquivalent

Durch diese Äquivalentfaktoren für jeden Schadstoff können beispielsweise alle Treibhausgasemissionen in die Einheit kg CO₂-Äquivalentemissionen überführt werden.

Die Auswirkung eines Wirkpotentials ergibt sich aus der Summe der einzelnen Emissionen/ Ressourcenverbräuche:

$$E_k(A) = \sum_i m_i \cdot E_{ki} \quad (1)$$

E: Wirkungsäquivalente
 k: Index für Wirkungsklasse
 m: Emission/Ressourcenverbrauch
 i: Laufvariable

(4) Auswertung

In der letzten Phase werden die Ergebnisse aus der Sach- und Wirkungsbilanz miteinander verknüpft um Schlussfolgerungen und Empfehlungen gemäß der eingangs definierten Zielvorgaben geben zu können. Sie wirkt unterstützend bei der Entscheidungsfindung in Gesellschaft, Technik, Politik und Wirtschaft (vgl. Abbildung 2-10).

Es können aber nach wie vor keine detaillierten Aussagen über die Wechselwirkungen zwischen den anthropogen erzeugten Stoffströmen und deren Auswirkungen auf die Umwelt getroffen werden, da diese noch nicht vollständig erforscht sind. Zudem muss entschieden werden, welche der Umweltwirkungen am schwerwiegendsten sind (z.B. Versäuerung der Böden oder der erhöhte Energieverbrauch). [23]

Weitere ökologische Bewertungsmethoden

Kumulierter Energieaufwand (KEA). Die TU München hat eine mittlerweile in der *VDI-Richtlinie 4600* verankerte Methode zur Erfassung aller Primärenergieströme beginnend von der Materialaufwendung, über die Produktionsprozesse bis hin zur Entsorgung erarbeitet (siehe Formel (2)). Die Methode dient einer ersten ökologischen Abschätzung über die Energieintensität eines Produktes/ Prozesses und vernachlässigt alle weiteren Umwelteinwirkungsfaktoren. [20]

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E \quad (2)$$

KEA	Gesamter kumulierter Energieaufwand
KEA _H	Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung
KEA _N	Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung
KEA _E	Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung

Betriebliche Umweltkennzahlen. Eine Vergleichbarkeit von zahlenmäßigen Größen über einen längeren Zeitraum hinweg liefern Umweltkennzahlen, die von einem Unternehmen definiert werden. Im Gegensatz zu betrieblichen und finanzwirtschaftlichen Kennzahlen befinden sich die Umweltkennzahlen noch am Anfang der Entwicklung. Da sie keine direkte Bewertung der Umweltauswirkungen zulassen, liefern sie lediglich eine Systematisierung von Sachinformationen.

Knappheit. Ein weiteres mögliches Kriterium ist die Knappheit von Ressourcen. Sie bildet das Verhältnis aus Verbrauch und Reserven und stellt aufgrund der nicht erfassbaren Gesamtmenge an Ressourcen eine sehr unsichere Methode dar.

Zusammenfassend kann die Ökobilanz als die grundlegende Methode für die Beurteilung der Umwelteinwirkungen von Produkten und Prozessen bewertet werden. Durch ihre Verankerung in der DIN ISO 14040 stellt sie zudem einen systematischen und im Allgemeinen akzeptierten Ansatz dar.

2.3 Rechtliche Instrumente und bestehende Anreizsysteme

Neben dem Druck aus dem Wettbewerb werden Unternehmen zunehmend mit Anforderungen seitens der Gesetzgeber konfrontiert. Diese umschließen zum einen

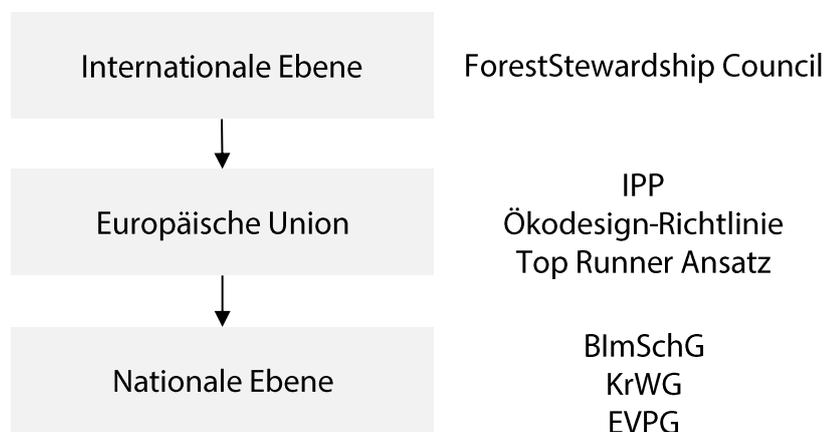


Abbildung 2-12: Übersicht der nationalen und internationalen Richtlinien

die Produkthaftung als auch die künftigen Umweltauswirkungen eines Produktes.

In den letzten Jahren entstanden Gesetze und Richtlinien sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene (vgl. Abbildung 2-12). Sie verfolgen das Ziel Umweltschäden zu vermeiden, zu reduzieren oder die Beseitigung der anfallenden Abfälle zu optimieren und wirken sich folglich auf die Produktentwicklung aus. [24]

2.3.1 EU-Ebene

Mit dem Zusammenschluss vieler Länder zur europäischen Union wurde 1993 im Maastrichter Vertrag ein gemeinsamer Handlungsrahmen geschaffen um auf internationaler Ebene Richtlinien und Verordnungen zu verabschieden. Die Anforderungen sind verbindlich und von jedem Mitgliedsstaat in nationales Recht umzusetzen [25]. Durch die zahlreichen Diskussionen in den letzten Jahrzehnten hat sich die Europäische Union nachhaltiges Wachstum mit dem Motto „mit weniger mehr erreichen“ als eines der Hauptziele gesetzt, um die globale Umweltleistung³ eines Produktes hinsichtlich seines gesamten Lebenszyklus zu verbessern [26].

Integrierte Produktpolitik

Die Integrierte Produktpolitik (IPP) hat zum Ziel, europaweit die Entwicklung eines Marktes für umweltfreundliche Produkte zu fördern und liegt derzeit in Form eines Grünbuches der Europäischen Union vor [27]. Hierzu bedarf es der freiwilligen Teilnahme der Industrie auf allen Handlungsebenen des Produktlebenszyklus mit Unterstützung der Politik. Die Strategie basiert dabei auf den folgenden drei Prinzipien:

- Verursacherprinzip bei der Preisbildung: Externalisierung der Umweltkosten durch den Produkthersteller z.B. im Rahmen von niedrigeren MwSt-Sätzen für Produkte mit Umweltkennzeichen
- Kritische Wahl des Verbrauchers: Durch die Kennzeichnung und dem Bereitstellen von ökologischen Produktinformationen soll die Kommunikation verbessert und folglich die Nachfrage nach umweltgerechten Produkten gesteigert werden

³ nach der DIN EN ISO 14001 beschreibt die Umweltleistung die messbaren Ergebnisse des Managements der Umweltaspekte, also die Bestandteile der Tätigkeiten oder Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation, die auf die Umwelt einwirken können, in einer Organisation [vgl. DIN EN ISO 14001:2009-11 Abschnitt 3.6/3.10]

- Ökologische Gestaltung der Produkte: Integration von Leitlinien in die Produktgestaltung und Erfassung von Informationen über die Umweltverträglichkeit für alle Produktlebenszyklusphasen

Die IPP ist ein politisches Instrument der EU, welche keine konkreten Umsetzungskriterien liefert. Dementsprechend vielfältig sind die Ansätze. Hamburg fördert beispielsweise durch Umweltpartnerschaften den freiwilligen Umweltschutz von Unternehmen und somit die Kommunikation zwischen den Behörden und den Produktverantwortlichen [28].

Öko-Design für energiebetriebene Geräte

Die Ökodesign-Richtlinie (Directive 2005/32/EC on the eco-design of Energy-using Products (EuP)) wurde 2005 für den gesamten europäischen Rechtsraum festgesetzt und gibt produktgruppenspezifische Anforderungen an eine umweltgerechte Gestaltung vor. Sie stellt somit ein rechtliches Instrument zur Umsetzung der IPP im europäischen Raum dar. Ziel ist die schrittweise Abschaffung von wenig effizienten Produkten vom europäischen Markt. Als Rahmenrichtlinie beinhaltet sie Vorgaben, die in das jeweilige nationale Recht umzusetzen sind. In Deutschland wurde sie im Rahmen des *Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetzes (EVPG)* im Jahr 2008 umgesetzt. In der ursprünglichen Fassung (Richtlinie 2005/32/EG) beschränkte sich die Richtlinie nur auf Produkte, denen zur Erfüllung ihrer Funktion elektrische Energie zugeführt werden muss. Mit der Neufassung (Richtlinie 2009/125/EG) wurde ihr Anwendungsbereich auf alle energieverbrauchsrelevanten Produkte, d.h. Produkte, die selbst keine Energie verbrauchen, aber während ihrer Nutzung den Verbrauch von Energie beeinflussen, erweitert. Die Richtlinie gibt keine konkreten Zielvorgaben vor. Diese sind erst in den einzelnen Durchführungsmaßnahmen der ausgewählten Produktgruppen (Produktlose) formuliert. So erhalten betroffene Produkte, die die EuP-Vorgaben nicht erfüllen, künftig keine CE-Zertifizierung mehr und dürfen folglich auf dem europäischen Markt nicht vertrieben werden. [29]

Top-Runner-Ansatz

Gemäß ÖKOPOL ist der Top-Runner-Ansatz ein produktbezogener umweltpolitischer Ansatz, der die besten und effizientesten Produkte am Markt zur Erfüllung der 2020-Ziele zur Energieeinsparung fördern soll [30].

Sonstiges

In der EU besteht ein Instrumenten-Mix aus Mindesteffizienzstandards (Ökodesign-Richtlinie), verpflichtender Energieverbrauchskennzeichnung und freiwilligem Umweltzeichen. Ergänzend beeinflussen diese Instrumente auch Anforderungen an die öffentliche Beschaffung.

2.3.2 Nationale Richtlinien

Bundes-Immissionsschutz-Gesetz

Die Anforderungen an Industrieanlagen für den Betrieb und die Stilllegung werden in den ca. 40 Verordnungen und zusätzlichen Verwaltungsvorschriften des Bundes-Immissionsschutz-Gesetzes (BImSchG) festgelegt. Diese dienen dem Schutz der Umwelt vor Luftverschmutzung, Geräuschen, Erschütterungen und weiteren negativen Einflussfaktoren. [31]

Kreislaufwirtschaftsgesetz

Das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz, KrWG), welches 2006 in Kraft trat, vertritt das Ziel bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen natürliche Ressourcen zu schonen sowie Mensch und Umwelt zu schützen. Nach §3 der Verordnung gelten als Abfall alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Mit dem Prinzip der Vermeidung sollen die negativen Auswirkungen, die durch eine bestimmte Abfallmenge hervorgerufen werden, oder zumindest der Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen verringert werden (siehe §3 (20)). Dafür sieht das Gesetz eine sogenannte Abfallhierarchie vor, wobei nach Abbildung 2-13 der gesamte Lebenszyklus zu betrachten ist. Im Zusammenhang mit dem Recycling wird zwischen primärem, sekundärem und tertiärem Recycling unterschieden. Beim primären Recycling werden Produktionsrückstände direkt in den Produktionskreislauf zurückgeführt. Dies setzt voraus, dass sie rein anfallen oder getrennt gesammelt werden. Von einem sekundären Recycling wird gesprochen, wenn Stoffe aus einem Abfallgemisch durch Sortierung als Wertstoffe herausgeholt und zurückgeführt werden. Werden Abfälle biologisch, thermisch oder chemisch aufbereitet, wird vom tertiären Recycling gesprochen. [32]

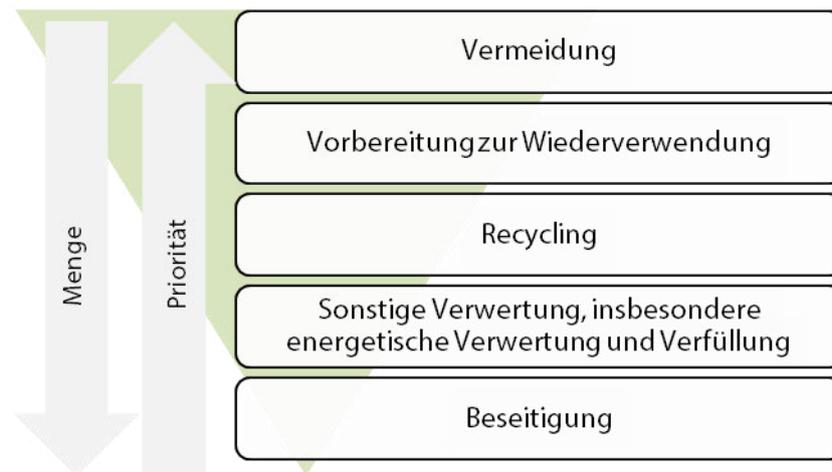


Abbildung 2-13: Abfallhierarchie nach KrWG

Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG)

Das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz setzt die Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union in nationales Recht um. Mit der Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung - VerpackV) von 1991 wurden Unternehmen und die Industrie abfallpolitisch in die Produktverantwortung für die Entsorgung der Verpackungen nach Gebrauch (u.a. die Rücknahme) genommen [33]. So wurde beispielsweise ein deutschlandweites flächendeckendes Sammel- und Entsorgungssystem unter dem Namen der *Grüne Punkt* eingerichtet.

2.3.3 Kennzeichnung umweltschonender Produkte

Ein wichtiges Instrument hinsichtlich der Verbraucherinformation stellen die von unabhängigen Instituten vergebenen Umweltzeichen dar, um den ökologischen Anforderungen von Kunden und der Öffentlichkeit gerecht zu werden. In der Regel handelt es sich um freiwillige Maßnahmen, die keinen allgemeingültigen Gebots- oder Verbotscharakter aufweisen. Aufgrund der vielfachen Verwendung von Marketingbegriffen hinsichtlich produktbezogener Umweltaussagen wurde die Norm *DIN EN ISO 14020* geschaffen.

Tabelle 2-2: Kennzeichnung von Produkten in der EU

	Blauer Engel 	Eco-Label 	EU-Label 	CE 
Anwendung	Büroartikel, Heimwerker- bedarf, Computer	Konsumgüter (PC, TV, etc.)	Haushalts- geräte (Wasch- maschinen)	gesamter Warenverkehr in der EU
Kriterien	Kriterienkata- loge für bestimmte Produkt- gruppen	Betrachtung des Lebens- zyklus	Energie- verbrauch (Wasser, Strom, etc.)	Produkt entspricht den Anforderungen der EU

Umweltmanagement nach DIN EN ISO 14001

Die *DIN EN ISO 14001* ist eine weltweit anerkannte Norm, welche die Anforderungen an ein Umweltmanagementsystem und deren strategische (Ziel-) Umsetzung festlegt. Das „Eco Management and Audit Scheme“ (EMAS) ist ein freiwilliges Instrument basierend auf den Ansprüchen der *DIN EN ISO 14001* und wurde 1995 als Umweltauditgesetz (UAG) erlassen.

2.3.4 Praxisbeispiele aus der Industrie

Im Laufe der Zeit ist ein Trend hinsichtlich des nachhaltigen Wirtschaftens aufgrund der gesetzlichen Forderungen, durch die Kundenanforderungen aber auch das eigene steigende Unternehmensbewusstsein wahrzunehmen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, haben sich die Unternehmen eigene Methoden und Instrumente oder gar Normen entwickelt und in die Unternehmenspraxis integriert. Ein Überblick über die folgenden ausgewählten Unternehmen ist der Tabelle 2-3 zu entnehmen. Die Informationen stammen aus den jeweiligen öffentlich zugänglichen Nachhaltigkeitsberichten der Unternehmen.

BMW Group. In seiner Unternehmensstrategie verfolgt die BMW-Group das Ziel seine Marktposition als Produzent von Premiumprodukten um u.a. durch eine gesamte nachhaltige Wertschöpfungskette entlang der gesamten Produktion und deren Prozesse zu stärken. Diese sind in Form von unternehmensinternen Leitlinien, die für die gesamte BMW-Group gelten, definiert. Zur Unterstützung beteiligt sich der Konzern an der EMAS, dem freiwilligen Gütesiegel der europäischen Union.

Anhand von Umweltkennzahlen, die regelmäßig überprüft werden, sowie der Verfolgung von unternehmensinternen Best-Practice-Ansätzen versucht die BMW-Group ihrer „Clean Production Philosophie“ gerecht zu werden. So sollen die negativen Umweltwirkungen stets reduziert werden z.B. durch eine recyclingoptimierte Produktgestaltung, neue Technologien in der Fertigung und durch den Aufbau eines Lieferantennetzwerkes, welches sich ebenfalls nach umweltverträglichen Standards richtet. Die Verantwortlichkeiten für die Umsetzung der unternehmensinternen und -externen Standards folgen einer Delegationskette vom obersten Management hinab bis zum Werkstattmeister. Zur weiteren Steigerung der Umwelleistung und der Motivation der Mitarbeiter hat die BMW-Group zudem mit „cre8“ ein Anreizsystem für die interne Ideenförderung geschaffen. [34]

Siemens AG. Im Rahmen des EHS-Management-Systems (Environmental Protection, Health Management and Safety) strebt die Siemens AG die Umsetzung der Anforderungen aus den rechtlichen Vorgaben und Richtlinien, den Kundenanforderungen sowie den unternehmensinternen Anforderungen nach der DIN EN ISO 14001 über den gesamten Produktlebenszyklus an. Die Einhaltung und die Bemessung der Fortschritte werden in regelmäßigen internen Audits überprüft. Zur kontinuierlichen Verbesserung wurden 2012 zwei interne Umweltschutzprogramme eingeführt. Der betriebliche Umweltschutz („Serve theEnvironment“) dient der Steigerung der Energie- und Abfalleffizienz und der Substitution von schädlichen deklarierten Stoffen und Materialien. [35]

Durch den produktbezogenen Umweltschutz („Product Eco Excellence“) soll sich die Herstellung von Produkten näher an der Kreislaufwirtschaft und der Ressourceneffizienz orientieren. Die unternehmensinternen Ziele sollen durch eine verbesserte Umweltkommunikation mit Kunden und den Mitarbeitern gefördert werden. Unterstützend zur Life-Cycle-Analyse zur Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks nach DIN EN ISO 14040/44 wird zur Bewertung von deklarierenden Stoffen und Materialien eine methodische Vorgehensweise sowie deren Implementierung im Unternehmen und bei den Lieferanten ausgearbeitet.

Die *Kärcher GmbH & Co. KG* setzt seine Umweltstandards ebenso nach der DIN EN ISO 14001 um. Dabei steht im Mittelpunkt die CO₂-Produktion in und den Wasserverbrauch, z.B. durch Wasserrecycling, trotz steigender Produktion möglichst konstant zu halten. Durch den Einsatz von wiederverwertbaren Verpackungen bei der Anlieferung von Produktionsmaterial konnte der Anteil an Abfällen auf nahezu 95%

gesenkt werden. Die gezielte Integration der Mitarbeiter bei der Energie- und Ressourceneinsparung sowie ausgewählte Kampagnen, wie das Mobilitätsmanagement für umweltfreundliche Arbeitswege, sowie eine partielle eigene Energieversorgung mit Solarkraftwerken und innovativen Heiztechnik leisten bei der Kärcher GmbH einen maßgeblichen Beitrag zur Reduzierung der Umwelteinwirkungen. Die Kärcher GmbH & Co.KG hat zudem an dem Transferprojekt der technischen Universität Darmstadt „Transfer 55 Umweltgerechte Produkte durch optimierte Prozesse, Methoden und Instrumente in der Produktentwicklung“ teilgenommen. [36]

Tabelle 2-3: Beispiele für Umweltbestrebungen in der industriellen Praxis

	BMW Group	Siemens AG	Kärcher AG
Umwelt-zertifikat	DIN EN ISO 14001 EMAS	DIN EN ISO 14001	DIN EN ISO 14001
Normative Ebene	Clean Production Philosophie verankert in den Umweltleitlinien	„CO2-neutrales Siemens“	Drei Säulen der Nachhaltigkeit
strategische Ebene	<ul style="list-style-type: none"> - Investitionsentscheidungen unter Umweltaspekten - Best-Practice-Ansätze - Carbon Disclosure Project⁴ - Ressourcen- und Energieeffizienz 	<ul style="list-style-type: none"> - EHS-Management-system Interne Audits - Ausstiegsszenario und Förderung der Transparenz für deklarierte Stoffe - Umweltinformations-system - Ressourcen- und Energieeffizienz 	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz Erneuerbare Energien - Arbeitskreis Umwelt- und Klimaschutz - EcoDesign Leitlinie⁵ - „Umweltfreundlich zur Arbeit“ - Ressourcen- und Energieeffizienz
Operative Ebene	<ul style="list-style-type: none"> - Betriebliche Umweltkennzahlen - Nachhaltiges Partner- und Lieferanten-netzwerk - Einsatz innovativer und effizienter Technologien - iEMDS⁶ und Einsatz Erneuerbarer Energien 	<ul style="list-style-type: none"> - „Serve the Environment“: - „Product Eco Excellence“ - Produktumweltdeklarationen - Bewertung mit dem Ökologischer Fußabdruck - „Code of Conduct“⁷ sowie Interner und 	<ul style="list-style-type: none"> - Kärcher-Verhaltenskodex auch für Lieferanten - Solaranlagen und Eisspeicheranlagen - Ökobilanzen - Umweltchecklisten - Wasserrecycling - SWOT-Analysen

⁴ Non-Profit-Organisation zur Veröffentlichung von Umweltdaten von Unternehmen

⁵ Quelle: [37]

⁶ Intelligent energy data management for sustainable production.(Intelligentes Energiedatenmanagement)

⁷ Verpflichtung der Siemenslieferanten über die Einhaltung der Siemensvorgaben, z.B. Achtung der Grundrechte der Mitarbeiter und im Umweltschutz

Fortsetzung Tabelle 2-4:

	BMW Group	Siemens AG	Kärcher AG
Operative Ebene	<ul style="list-style-type: none"> - Mitarbeiterförderung im Ideenmanagement „cre8“ - Recyclinggerechte Produktentwicklung und Wiederverwendung von Prozessabwasser 	<ul style="list-style-type: none"> - externer Wissenstransfer - Förderung der Transparenz für deklarierte Stoffe - 	-

3 Implementierung der Nachhaltigkeit in die Produktentwicklung

Für die Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess empfiehlt sich eine systematische Vorgehensweise und Analyse der bestehenden Prozesse eines Unternehmens. Häufig lehnen diese an die bereits in Kapitel 2.2 beschriebene *VDI 2221-Richtlinie* an. Die Gestaltung umweltfreundlicher Produkte und Prozesse

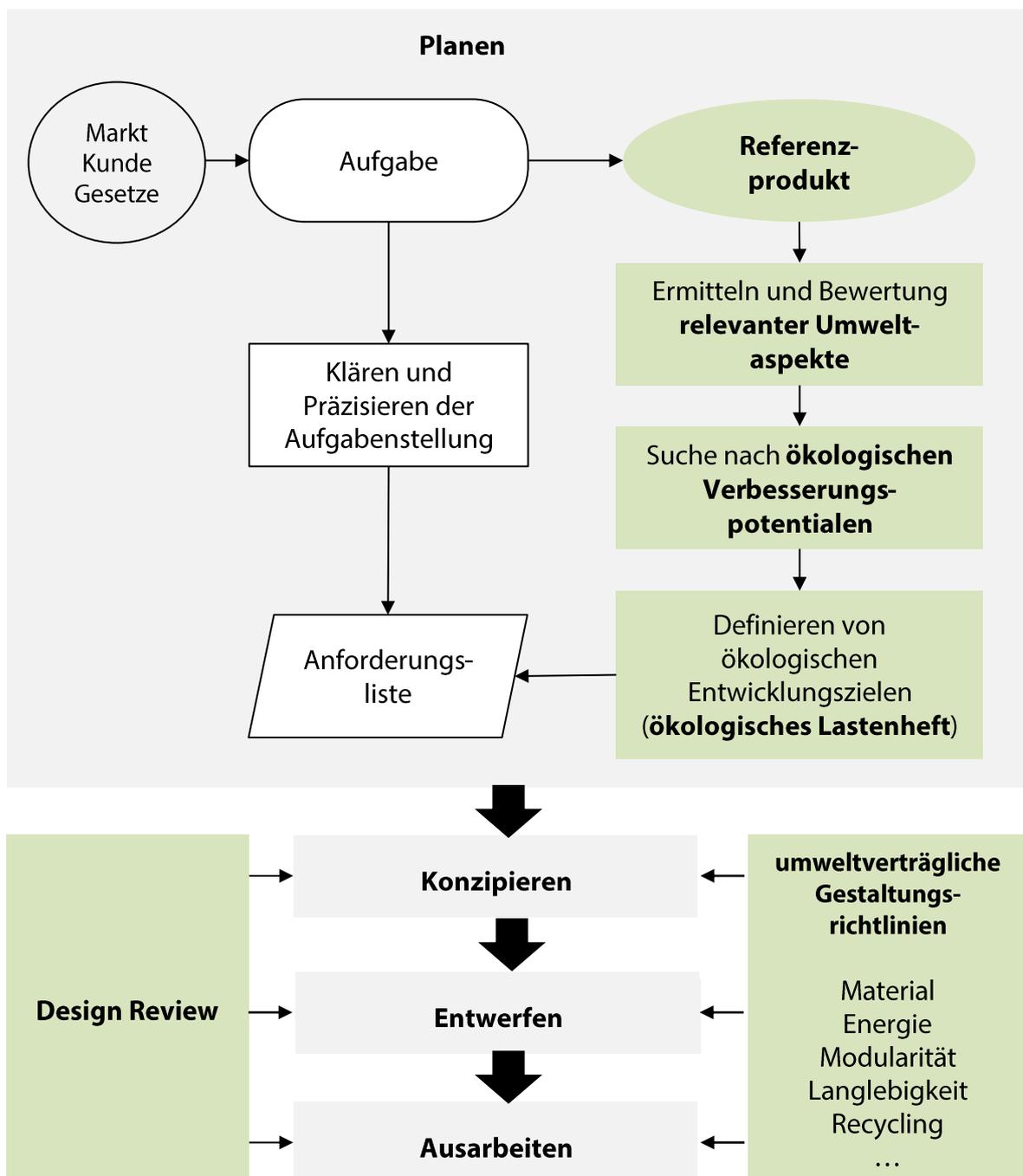


Abbildung 3-1: Integration der Umweltaspekte in den Produktentwicklungsprozess (eigene Grafik)

erfordert jedoch eine Anpassung dieser beziehungsweise die Unterstützung mittels begleitender Instrumente. Mittlerweile stehen dem Anwender eine Reihe von Empfehlungen, Checklisten und Handbücher zur Verfügung. So muss eine Strategie für das zu entwickelnde Produkt und ein Ökopprofil erstellt werden. Hierfür werden zusätzliche Informationen, wie z.B. die Auswirkungen bestimmter Materialien und Komponenten auf die Umwelt, benötigt.

Im Folgenden sollen daher verschiedene Ansätze der methodischen Produktentwicklung unter Berücksichtigung von Umweltaspekten und der erforderlichen Produkteigenschaften verfolgt werden, exemplarisch anhand eines Regenschirms mit Teleskopauszug.

Hierfür wurde eine eigene Vorgehensweise, die in Abbildung 3-1 dargestellt ist, entwickelt. Abhängig von der Unternehmensausrichtung, der Produktkomplexität, der Gesetzesänderung, veränderter Kundenanforderungen etc. wird zu Beginn ein Produkt/ eine Produktgruppe für die Optimierung oder sogar Neuentwicklung bestimmt (Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung). In der Regel werden in der Produktentwicklung jedoch bereits bestehende Produkte hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen optimiert. Daher empfiehlt FREI im Sinne einer öko-effektiven Produktentwicklung das Heranführen eines Referenzproduktes, dessen Produkteigenschaften und Umweltprobleme genauer analysiert und bewertet werden müssen [18]. Die Durchführung erfolgt parallel zum Feststellen der allgemeinen technischen, gesetzlichen und weiteren Anforderungen. Die gesammelten Informationen fließen anschließend in die verbindliche Anforderungsliste ein. In der Konzeptionsphase wird nach möglichen Gestaltungsprinzipien, deren funktionellen Umsetzung gesucht und vorläufig festgelegt. Die Ausarbeitung des Konzepts in ein quantitativ funktionsfähiges und fertigbares Produkt erfolgt in der darauf folgenden Entwurfsphase.

3.1 Planungsphase

Die Planungsphase stellt den ersten Teilschritt in der Methodik dar und dient dazu, sich mit der Ausgangssituation und der Aufgabenstellung vertraut zu machen. Nach FELDHUSEN werden die grundlegenden Anforderungen für die Entwicklung des neuen umweltverträglichen Produktes festgelegt und in der Anforderungsliste verbindlich festgehalten (siehe Tabelle 3-1) [15].

Tabelle 3-1: Vorgehensweise der Planungsphase

Arbeitsschritt	Beschreibung	Werkzeuge
1 <i>Produktauswahl</i>	Auswählen eines Produktes anhand einer Produktidee, Anforderungen von Stakeholders, des Marktes	
2 <i>Rahmenbedingungen</i>	Klärung und Festlegen von Zielen für das Projekt	
3 <i>Anforderungsanalyse</i>	Auswahl eines Referenzproduktes mit äquivalenten technologischen, ökologischen, ökonomischen Eigenschaften	Marktrecherche
	Erstellen eines Profils über das Referenzprodukt (Marktanalyse, typischer Produktlebenszyklus, Materialien, Fertigung, Transporte, User Szenario)	Eigenschaftsprofil Product-Teardown ecoProdukt-Checkliste
	Review über mögliche Umweltimpacts	MET-Matrix ecoProduct-Checkliste
	Clusterung der Umweltimpacts zu den Designstrategien	
	Priorisierung der Designstrategien	ecoRanking
4 <i>Design Briefing</i>	Erstellen eines Designbriefs in Form von ökologischem Lastenheft und Anforderungsliste	Ökologisches Lastenheft Anforderungsliste

3.1.1 Produktauswahl

Die erste Phase beginnt mit der Produktidee für ein bestehendes, welches durch seine bisherigen Eigenschaften negativen Einfluss auf die Umwelt ausübt. Für die vorliegende Arbeit wurde ein Gebrauchsgegenstand ausgewählt, der aufgrund seiner hohen Stückzahlen einen maßgeblichen Umwelteinfluss ausübt. Es handelt sich hierbei um einen handelsüblichen Regenschirm mit Teleskopauszug, der den Anwender vor Wettereinflüssen (Sonne, Regen, Schnee, Wind) schützen soll. Das Produkt ist in unterschiedlichen Preiskategorien wiederzufinden: vom einfachen und günstigen Regenschirm aus der Drogerie bis zum qualitativ höherwertigem Produkt aus dem Fachhandel. Erstere weisen in der Regel aufgrund des nachlässigen Gebrauchs eine sehr kurze Lebensdauer auf.

3.1.2 Rahmenbedingungen

Ziel ist die Entwicklung eines umweltverträglicheren Regenschirms, der durch eine Bewertung qualifiziert worden ist. Der Arbeitsprozess soll durch geeignete Methoden unterstützt werden. Für das Endprodukt erfolgt keine separate Kostenrechnung. Es wird von einer Zielgruppe ausgegangen, die aufgrund ihrer Ökosensibilität bereit ist einen Mehrpreis für das Produkt zu bezahlen.

3.1.3 Anforderungsanalyse

Für die Spezifizierung des Produkts sollte sich der Konstrukteur in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber nach FELDHUSEN [15] folgende Leitfragen stellen um eine künftige Produktstrategie herauszuarbeiten zu können:

- Welchen Zweck muss die beabsichtigte Lösung erfüllen?
- Welche Eigenschaften muss sie aufweisen?
- Welche Eigenschaften darf sie nicht haben?

Die Ergebnisse aus der Aufgabenklärung werden in der Anforderungsliste, dem Pflichtenheft des Konstrukteurs, als Basis für die späteren Entscheidungen in der Entwurfs- und Konzeptionsphase festgehalten. Dabei müssen neben den grundlegenden Anforderungen, die technisch-kundenspezifischen Anforderungen (z.B. maximales Gewicht, minimaler Kraftaufwand) aufgenommen werden. Die Anforderungen können gemäß der Leitlinie der Hauptmerkmale, die Aspekte der Geometrie, Kinematik/Kräfte, Energie, Stoffe, Transport, Gebrauch u.v.a. beinhaltet, nach [15] ergänzt werden. Diese Eigenschaften bestimmen in Konsequenz auch die Funktionen und Wirkprinzipien sowie die Gestalt, sodass in diesem Arbeitsschritt der größte Anteil an Umwelteinwirkungen bestimmt wird. Mit der Konzipierung und Gestaltung des Produkts legt der Konstrukteur die späteren Einflüsse auf die Umwelt fest. Es genügt nicht eine Forderung nach einer minimalen Umweltbelastung zu formulieren. Daher müssen im Folgenden spezifische Anforderungen in Erfahrung gebracht werden. In der bisherigen Konstruktionspraxis wurde vor allem das Prinzip des „Cradle to Grave“⁸ angewandt mit dem Fokus auf ein ökonomisch ausgelegtes Produkt. Dies soll künftig durch die Beschreibung eines Umweltprofils umgesetzt werden, sodass die umweltrelevanten Produkteigenschaften mit in die

⁸ „Von der Wiege bis zum Grab“: Es erfolgt keine Wiederverwertung/-verwendung des Produktes oder seiner Bestandteile nach der Nutzungsphase

Anforderungsliste bzw. dem Lastenheft, der Grundlage einer jeden Konstruktion, einfließen.

Des Weiteren ist die Systemgrenze, also der Bezugsrahmen für die Konstruktion festzulegen. In der vorliegenden Arbeit wird der Fokus auf den Teleskopauszug, der ein Teil des Obersystems Regenschirm abbildet, mit den angrenzenden Untersystemen Griff und Schieber betrachtet (vgl. Abbildung 3-2).



Abbildung 3-2: Bestimmung der Systemgrenze in Anlehnung an [15]

Bestimmung und Analyse des Referenzprodukts

Für die Zielfestlegung des neuen Produktsystems müssen die bestehenden Umwelteinwirkungen sowie die daraus abgeleiteten relevanten Umweltaspekte ermittelt werden. Hierfür wird nach Frei ein Referenzprodukt – ein technisch äquivalentes Produkt, welches die gleichen wesentlichen Funktionen wie das Zielprodukt aufweist – herangezogen und deren Impacts⁹ über den Lebenslauf analysiert [18].

Als Referenzprodukt für die vorliegende Arbeit wurde ein herkömmlicher Regenschirm aus einer Drogerie ausgewählt. Der Regenschirm wird manuell über einen Teleskopauszug geöffnet und geschlossen. Aufgrund des sehr geringen Verkaufspreises von 2,99€ lässt sich vermuten, dass der Regenschirm einfach und funktionell, aber ohne Berücksichtigung von Umwelteinwirkungen entwickelt und

⁹ Impacts beschreiben Umweltaus-/ einwirkungen

produziert worden ist. Zudem ist eine kurze Lebenserwartung des Produktes anzunehmen.

ecoProdukt-Checkliste

Im Rahmen der Masterthesis wurde mittels einer eigen entworfenen *ecoProdukt-Checkliste* (vgl. Abbildung 3-3) systematisch durch Literaturrecherchen und persönlichen Interviews mit dem SCHIRM & CO. SCHIRMFACHGESCHÄFT in Hamburg sowie der FARE – GUENTHER FASSBENDER GMBH eine Vielzahl an Informationen hinsichtlich allgemeiner und umweltrelevanter Aspekte beschafft und zusammengetragen. Es wurde bewusst keine ausgewiesene *ecoDesign-Checkliste* z.B. nach [38] verwendet, da davon ausgegangen wird, dass jeder Fragestellung ein

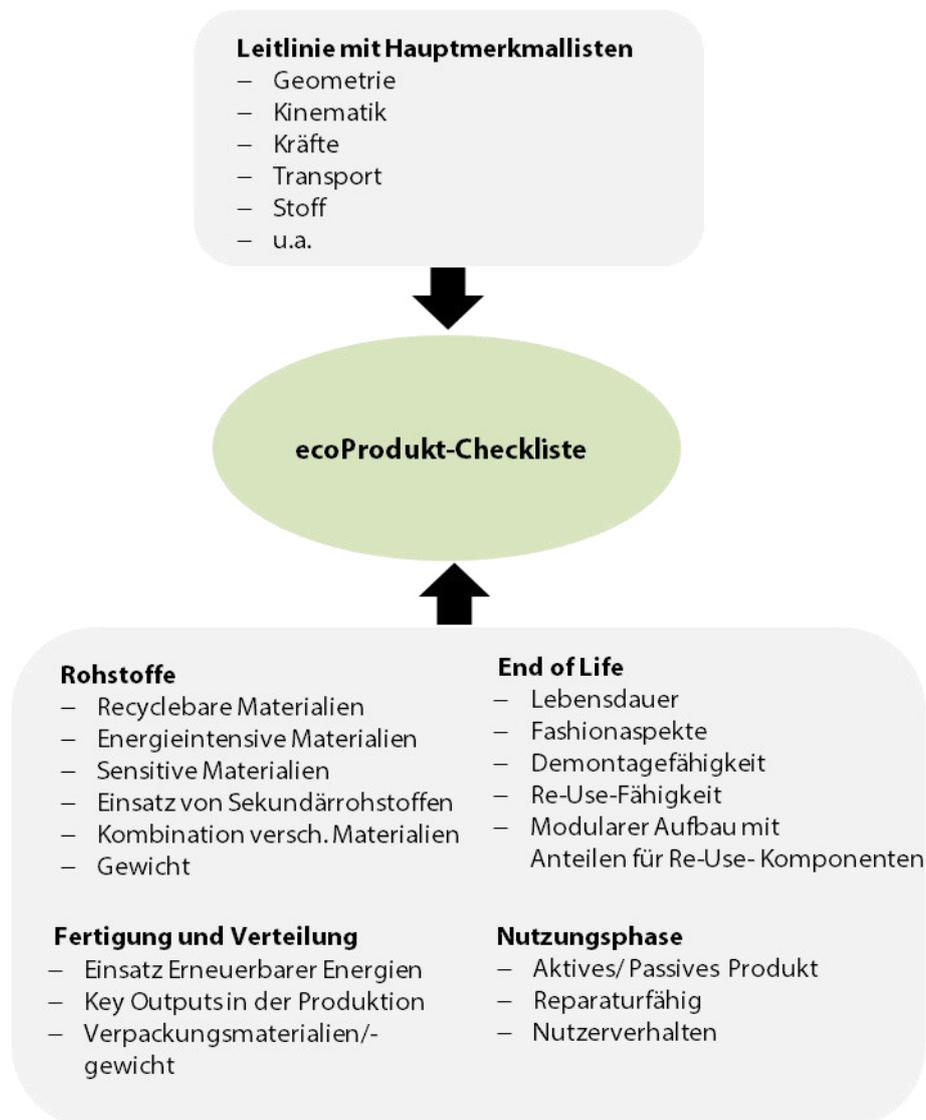


Abbildung 3-3: Zusammensetzung der *ecoProdukt-Checkliste*

ökologisches Optimierungspotential zu Grunde liegen könnte. Diese orientiert sich an der „Leitlinie mit Hauptmerkmallisten“ nach [15] und wurde durch gezielte ökologische Fragestellungen ergänzt, die unter anderem aus dem Telefoninterview mit OEKOPOL entstanden sind (siehe Anhang).

Um einen Wissensverlust über das analysierte Referenzprodukt zu vermeiden, wurden die gesammelten Informationen in einem separaten Profil für das Referenzprodukt zusammengefasst. Dies dient als Grundlage für die anschließende Ermittlung und Bewertung der umweltrelevanten Gesichtspunkte.

Nach Aussage der FARE – GUENTHER FASSBENDER GMBH werden in Europa keine Schirme mehr hergestellt. Die bekannten Großunternehmen DOPPLER, KNIRPS, FARE u.a. haben sich im Laufe der letzten Jahrzehnte auf den Vertrieb der Schirme konzentriert und die Produktion und Fertigung vollständig nach Asien verlagert. Somit agieren diese Unternehmen als reine Importeure und üben lediglich Einfluss auf die Auswahl der Produktionsstätten und Lieferanten aus. Dementsprechend konnten kaum Aussagen über die Materialauswahl getroffen werden. Ebenso wird das Gestell bei SCHIRM&CO unter anderem in Italien produziert, sodass in Deutschland keine Produktionsstätte mehr zu finden ist.

Product-Teardown

Im Rahmen eines Product-Teardowns von dem Referenzprodukt werden die wesentlichen Bauteile eines Regenschirms identifiziert. Hierbei wird das bestehende Produkt in seine Einzelteile zerlegt. Der allgemeine Aufbau des Regenschirms ist der Abbildung 3 5 zu entnehmen. Der wesentliche Aufbau ist den Regenschirmen und seinen verwandten Produkten prinzipiell gleich.

Werkstoffe

Die Betrachtung des Aufbaus des Regenschirms lässt erkennen, dass es sich zwar um kein hochkomplexes Produkt handelt, aber verschiedene Werkstoffe miteinander kombiniert werden (Holz, Metall, Kunststoff) können. Eine Auflistung der Materialien ist in der Tabelle 3-2 dargestellt. Eine zerstörungsfreie Demontage des Referenzproduktes war kaum möglich und sollte bei den Umweltaspekten eine besondere Berücksichtigung finden. Durch die Demontage konnten weitere Materialien, die in der konventionellen und modernen Regenschirmfertigung eingesetzt werden, identifiziert werden:

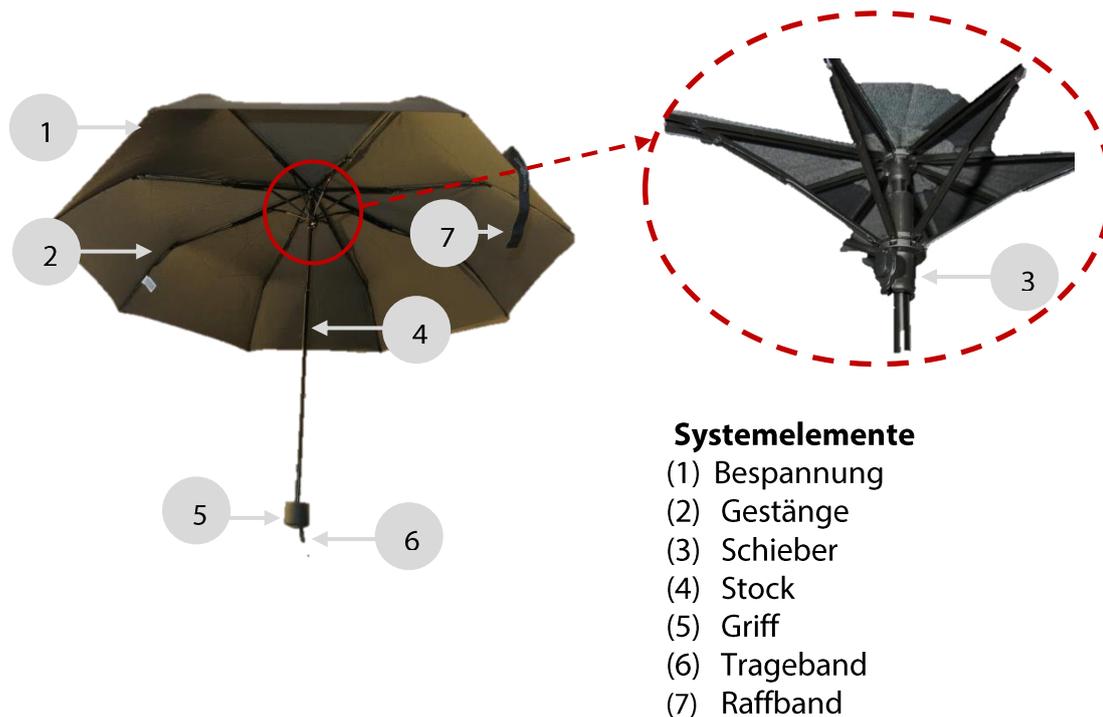


Abbildung 3-4: Genereller Aufbau eines handelsüblichen Regenschirms (Referenzprodukt)

- Stock: Stahl, Holz, Aluminium, Carbon
- Bezug: imprägnierte Baumwolle, Kunststoffe (Nylon, Polyester)
- Griff: Metalle, Kunststoff, Silikon, Holz, Lederbespannungen, früher teilweise auch gummierte Kunststoffe
- Stangen: Federstahl, Aluminium, Carbonfaserverbund, Fiberglas
- Oberflächenbehandlungen: Holz (Lackierung, Lasierung, u.a.), Bezug (Teflon, Silikon), Stahl (Lackierung), Silber

Aufgrund der exklusiven Fertigung im asiatischen Raum erfolgte die Rückbestimmung der Kunststoffe des Referenzproduktes über ein Ausschlussverfahren, wobei die Kriterien Preis, hygroskopische Eigenschaften, Fertigung, Oberflächenbeschaffenheit aus den Anforderungen an das Originalprodukt herangezogen wurden. Eine Kennzeichnung des Kunststoffes ist nicht vorhanden. Aufgrund der Tatsache, dass es sich um ein sehr günstiges Produkt handelt, können technisch höherwertige Kunststoffe ausgeschlossen werden. Daher wird angenommen, dass der Griff aus Polypropylen spritzgegossen wurde (günstig,

gängiger Kunststoff, matte Oberfläche, erfolgreiche Schwimmprobe¹⁰). Angesichts der glänzenden polierten Oberfläche wurde der Schieber vermutlich aus dem Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat (ABS) hergestellt.

Tabelle 3-2: Gewichtsanteile der Systemkomponenten

Systemkomponenten	Gewicht	Anteil am Gesamtgewicht
Bezug, Raffband, Unterlegkappe	55,43g	19,9%
Top, Krone, Griff, Schieber	19,03g	6,8%
Kugeln, Federn, Draht, Drahtendkappen, Arretierfeder	1,33g	0,5%
Stangen, Stock	202,36g	72,8%

Funktionsbeschreibung

Um das Verständnis für das Produkt zu erleichtern, ist die Betrachtung der einzelnen Funktionen und der Gesamtfunktion notwendig. Die *Gesamtfunktion* wird dabei als die Funktion verstanden, die die wesentliche Aufgabe des Produktes beschreibt unter Einbeziehung der Ein- und Ausgangsgrößen [15]. Die Abbildung 3-5 verdeutlicht dies: Der Regenschirm ist ein alltäglicher Gebrauchsgegenstand, der den Anwender

<p>Gesamtfunktion</p>  <p>Schutz vor Wittereinflüssen</p>	<i>Stoff</i>	Wasser, Luft, Sonneneinstrahlung
	<i>Energie</i>	Umgebungsdruck: 1bar Temperatur: -20°C...+45°C Windlasten
	<i>Signal</i>	Mechanische Energie zum Öffnen und Schließen

Abbildung 3-5: Gesamtfunktion mit Ein- und Ausgangsgrößen

vor verschiedenen Einflüssen durch das Wetter (Regen, Sonne, Wind, Schnee) schützen soll; das Produkt ist von den Medien Wasser und Luft umgeben bei einem Umgebungsdruck von circa 1bar und einem Temperaturbereich von -20°C bis +45° (diese Annahmen gelten für den europäischen Raum); zum Schließen und Öffnen ist

¹⁰Polypropylen und -ethylen können mit der Schwimmprobe nachgewiesen werden, da sie eine Dichte < 1g/cm³ aufweisen und folglich im Wasser oben aufschwimmen; Polypropylen ist der gängigere Werkstoff

mechanische Energie erforderlich, die entweder manuell oder akkubetrieben aufgebracht wird. Die Gesamtfunktion eines Produktes kann mehr oder weniger komplex gestaltet sein und besteht aus einem Vielfachen an Teilfunktionen mit verschiedenen Teilaufgaben [15] die in der Tabelle 3-3 aufgelistet sind.

Tabelle 3-3: Funktionsanalyse der Teilfunktionen

Systemkomponente	Teilfunktion
Bezug	Schutz vor Wittereinflüssen
Stange mit Hohlkugeln und Kugelspitzen	Aufnahme Bezug Kraftübertragung von Schieber auf Bezug
Schieber	Kraftübertragung vom Anwender auf Stangen und Stockstangen T2, T3
Knopf	Herunterdrücken der Arretierfeder um den Schirm zu schließen
Kranz	Aufnahme Draht und Stangen
Stock mit Nuten	Aufnahme von Systemkomponenten Nuten verhindern Verdrehen
Teleskopstange 1 (T1)	Aufnahme Griff Verbindung zu T2 Löcher lassen Kugeln einrasten
Teleskopstange 2 (T2)	Verbindung zu T1 und T3 Aufnahme Federstahl und Kugel um T1 in Position zu halten Löcher lassen Kugeln einrasten
Teleskopstange 3 (T3)	Verbindung zu T2 Aufnahme Federstahl und Kugel um T2 in Position zu halten Aufnahme Arretierfeder
Untere/obere Feder mit Kugel	Arretierung von T1 bzw. T2
Griff	Aufnahme T1 Anfasspunkt für Anwender Aufnahme der Stangenenden
Trageband	Verliersicherung ermöglicht Festmachen an Tasche
Raffband	Volumenverkleinerung Zusammenbinden des geschlossenen Schirms
Krone	Aufnahme Gestänge mit Einbindedraht Aufnahme Topp und Unterlegkappe

Produktion

Die maßgeschneiderten Regenschirme des Schirmherstellers SCHIRM&CO. beziehen ihre Gestelle aus Italien. In Abhängigkeit vom Kundenwunsch erfolgen dann die weiteren Fertigungsschritte. Den meisten Absatz haben die Regenschirme in unteren Preissegmenten. Die Fertigung und Produktion ist jedoch aufgrund der ausgelagerten Produktionsstätten nach Asien kaum noch nachvollziehbar. Laut Aussagen der Interviewpartner werden die Schirme in der Regel zum großen Teil noch per Handarbeit montiert.

Technische Lebenserwartung und Reparaturhäufigkeiten

Bei ordnungsgemäßer Nutzung ist die Lebensdauer eines Regenschirms bei Automatikschirmen auf 10-15 Jahre und bei manuellen Schirmen auf ca. 25 Jahre beschränkt. Nach Aussage von SCHIRM & CO. werden Regenschirme ab einer mittleren Preisklasse von ca. 19,90Euro in der Regel 2-3x zur Reparatur gegeben. Zu den häufigsten Reparaturen zählen:

- Erneuern der Kugelspitzen
- Erneuern der Bespannung aufgrund von gelösten Kugelspitzen
- Reparieren von gebrochene Stangen
- Ersetzen der Niete der Stangen
- Erneuern von Top, Schieber, Feder
- Durchführen von einfachen Näharbeiten

Die Häufigkeit zur Bereitschaft einer Reparatur hängt jedoch neben dem Verkaufspreis auch vom ideellen Wert des Produktes ab. Einfache Näharbeiten, wie z.B. das Heften der Stangen an den Bezug oder das Erneuern der Kugelspitzen könnte der Kunde selber durchführen. Neben den Ersatzteilen muss dieser aber auch gewillt sein, Zeit zu verwenden. Die restlichen Reparaturen sind vorwiegend nur mit Spezialwerkzeugen zu bewerkstelligen.

Recycling

Regenschirme werden nach aktuellem Stand nicht recycelt. Bei den Herstellern gibt es derzeit auch keine Rücknahmesysteme, sodass diese ihre eingesetzten Rohstoffe wieder verwerten können. Allerdings gibt es auf dem Markt bereits Regenschirme, die einem ökologischen Konzept folgen. So bietet der Regenschirmhersteller FARE den „Ökobrella“ an, der laut Aussage des Herstellers eine „maximale Gestell-Flexibilität bei stärkeren Windböen“ aufweist und einen Griff aus

wiederverwendetem Kunststoff besitzt [39]. Mit dem Ginkgo-Regenschirm eines italienischen Designerteams wurde ein komplett recycelbarer Regenschirm aus 100% Polypropylen zu fairen Preisen kreiert [40].

Ermitteln und Bewerten relevanter Umweltaspekte

Um ein Produkt nachhaltig verbessern zu können, werden zahlreiche Ansätze verfolgt. Eine nutzbringende Optimierung kann jedoch nur dann erfolgen, wenn eine geeignete Produktverbesserungsstrategie, die an den relevanten Produktlebensphasen gezielt angreift, ausgewählt wird. Die Untersuchung und Analyse der Umweltimpacts des betrachteten Referenzprodukts erfolgte dabei auf mehreren Wegen. In einem ersten Schritt wurden anhand einer MET-Matrix die Umwelteinwirkungen bezüglich Werkstoffeinsatz, Energieverbrauch und toxischen Emissionen untersucht. Des Weiteren wurden anhand der gesammelten

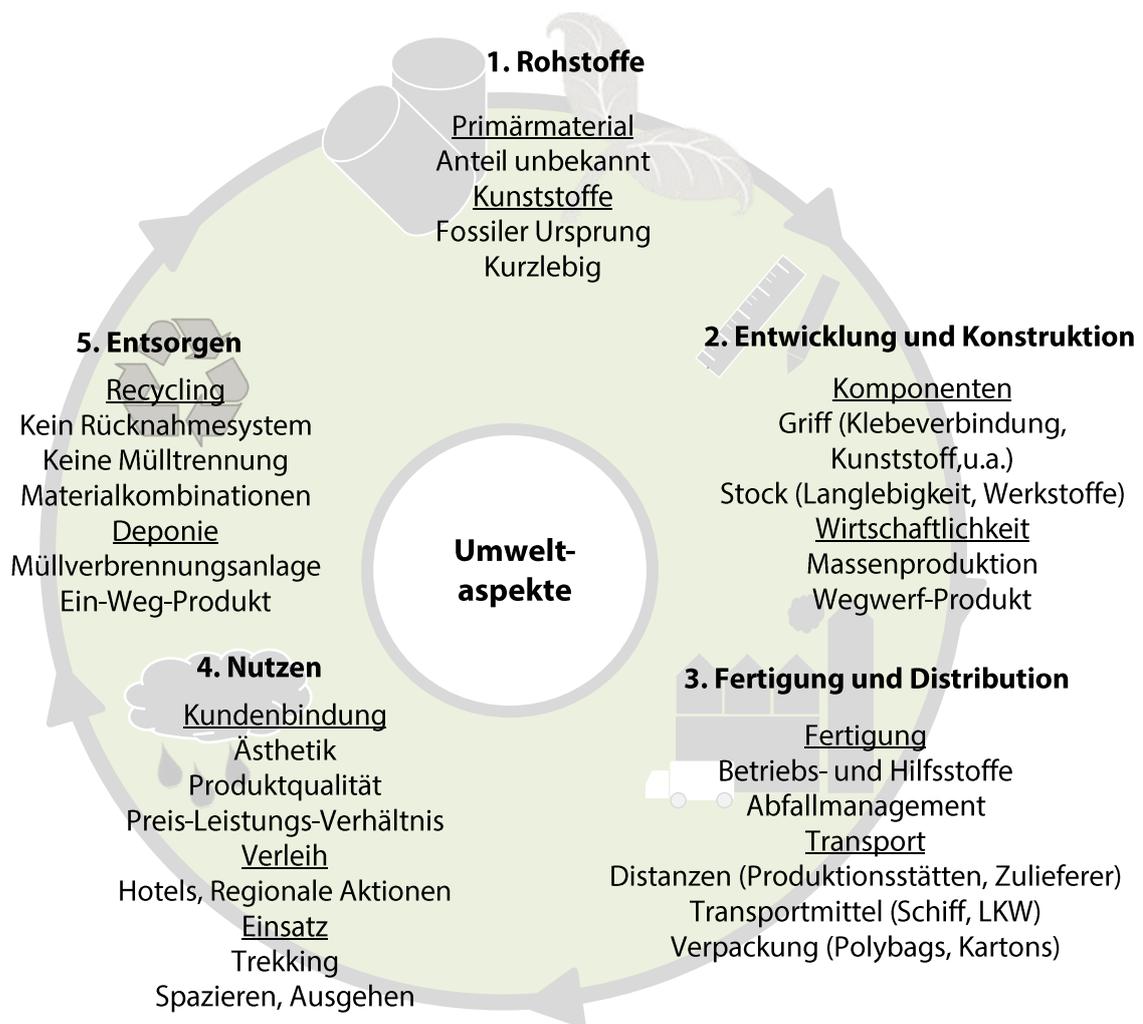


Abbildung 3-6: Auswahl von Umweltaspekten entlang der Wertschöpfungskette (eigene Grafik)

Informationen aus der *eco*Produkt-Checkliste weitere Aspekte entlang des Lebenszyklus zusammengetragen (vgl. Abbildung 3-6).

MET-Matrix. Die Technische Universität Delft hat ein Instrument zur Analyse der Umwelteinwirkungen, die ein Produkt über seinen Lebenszyklus hinweg verursachen könnte, entwickelt. Bei der sogenannten MET-Matrix (Material cycle, Energy use und Toxic emissions) werden alle Produktlebensphasen den einzelnen Umwelteffekten zugeordnet. Es werden dabei die jeweiligen Input- und Output-Ströme bzw. bei der Toxizität nur die Output-Ströme betrachtet. Aufgrund der Gliederung in die drei grundlegenden Umwelteinwirkungen unterstützt die Matrix den Entwickler bei der Identifizierung von ersten Optimierungsmöglichkeiten und Schwachstellen des Produktes (vgl. Tabelle 3-4). [38]

Tabelle 3-4: MET-Matrix Referenzprodukt

	Werkstoffeinsatz (Input)	Energieverbrauch (Input)	Toxische Emissionen (Output)
<i>Rohstoffe</i>	-Polyester 55,43g -Kunststoff 19,03g -Stahl 1,33g -Aluminium 202,36g -Rohöl für die Herstellung von Kunststoffen	-hoher Energieverbrauch bei der Aluminiumherstellung	-Luftschadstoffe (CO, CO ₂ , NO _x , u.a.)
<i>Produktion</i>	-Hilfsstoffe (Klebstoffe, Schmierstoffe)	-Kunststoffspritzgießen; -Aluminiumhalbzeuge	-Metall- und Kunststoffabfälle
<i>Verteilung</i>	-Produktverpackung (Polybags, Kartons)	-Diesel für Transport (Schiff, LKW)	-Emissionen vom Transport -Produktverpackung
<i>Nutzung</i>	-ggfs. Ersatzteile bei der Wartung	-geringer zu erwartender Input	-Kein zu erwartender Output
<i>End of Life</i>	-geringer zu erwartender Input	-geringer zu erwartender Input	-Recycling/Deponie: Polyester 55,43g Kunststoff 19,03g Stahl 1,33g Aluminium 202,36g

*eco*Ranking

In einem weiteren Schritt wurden die Optimierungsmöglichkeiten nach den Designprinzipien von BURSCHEL, die bei der Suche und Auswahl von Lösungsprinzipien als Entwicklungsziele verstanden werden können, kategorisiert: [41]

- Materialeffizientes Design: Optimierung des Materialeinsatzes durch Werkstoffsubstitution (Leichtbau, Multifunktionalität, Simplifizierung)
- Materialgerechtes Design: Bevorzugung regenerativer Materialien (lokale Materialien, Sekundärrohstoffe, u.a.)
- Energieeffizientes Design: Reduzierung des Energieverbrauchs in allen Phasen des Produktlebenszyklus sowie der Einsatz regenerativer Energieträger
- Schadstoffarmes Design: schadstoffarme Materialauswahl
- Abfallvermeidendes bzw. –verminderndes Design
- Langlebiges Design: Vermeidung von Wegwerf- und Einmalprodukten, Verwendung hochwertiger, reparaturfähiger Materialien, stabile Konstruktionsprinzipien, Modulardesign, zeitbeständiges Design („Pattinaeffekt“), hoher Bedienungs- und Nutzungskomfort
- Recyclinggerechtes Design: Demontagefreundlich, Werkstoff-, Bauteil- und Gerätekenzeichnung, stoffliche Verwertung, Verringerung Materialvielfalt, Vermeidung Verbundwerkstoffe
- Entsorgungsgerechtes Design: Vermeidung von Materialien, deren Entsorgung mit umweltbelastenden Emissionen verbunden ist, Einsatz biologisch abbaubarer Materialien und Kennzeichnung, Separierbarkeit von Schadstoffen
- Logistikgerechtes Design: Reduzierung von Produktvolumen und –gewicht sowie Verpackungsvolumen und –gewicht

Im Rahmen der Masterthesis wurden die einzelnen Aspekte anschließend mit den Faktoren *Relevanz* und *Erfüllungsgrad* gewichtet. Der Faktor Relevanz berücksichtigt hierbei die konkrete Bedeutsamkeit des einzelnen Kriteriums hinsichtlich der Umwelteinwirkungen. Beim Regenschirm beispielsweise ist die Betrachtung der Nutzungsphase von geringerer Relevanz in Bezug auf die Schädigung der Umwelt, da die größten Verbesserungspotentiale in den vor- und nachgelagerten Lebensphasen zu finden sind. Der Faktor Erfüllungsgrad hingegen beschreibt den aktuellen Stand der Technik, also inwiefern dieser Punkt schon einmal Gegenstand der Betrachtungen gewesen beziehungsweise inwieweit bereits umgesetzt worden ist.

Das Ergebnis ist das *ecoRanking*, das den Konstrukteur als Hilfsmittel für die Entscheidung unterstützen soll.

$$\text{ecoRanking} = \text{Relevanz} \times \text{Erfüllungsgrad} \quad (3)$$

Relevanz: wichtig (10), weniger wichtig (5), nicht wichtig (0)

Erfüllungsgrad: erfüllt (0), eher erfüllt (5), nicht erfüllt (10)

3.1.4 Design Briefing

Generell muss der Konstrukteur zunächst erörtern, welches Ziel die Konzipierung eines neues Produktes bewirken soll. Es ist zu beachten, dass die Anforderungen lösungsneutral formuliert werden um einen möglichst großen Lösungsraum in der Konzeptionsphase generieren zu können. Daher bietet es sich an dieser Stelle an, die in Kapitel 0 genannten Designprinzipien für die Formulierung zu verwenden.

Ökologisches Lastenheft

Aus der Bewertung hat sich die Priorisierungsreihenfolge für die zu verfolgenden Designprinzipien des Regenschirms nach Abbildung 3-7 ergeben. Hierfür wurden die vier wichtigsten umweltrelevanten Aspekte ausgewählt. Demnach wird eine sehr hohe Wertigkeit auf die Langlebigkeit des künftigen Produktes gelegt. Des Weiteren wird ein abfallvermeidendes sowie entsorgungsgerechtes Design angestrebt.

Es muss jedoch betont werden, dass es sich hierbei um einen Ansatz der

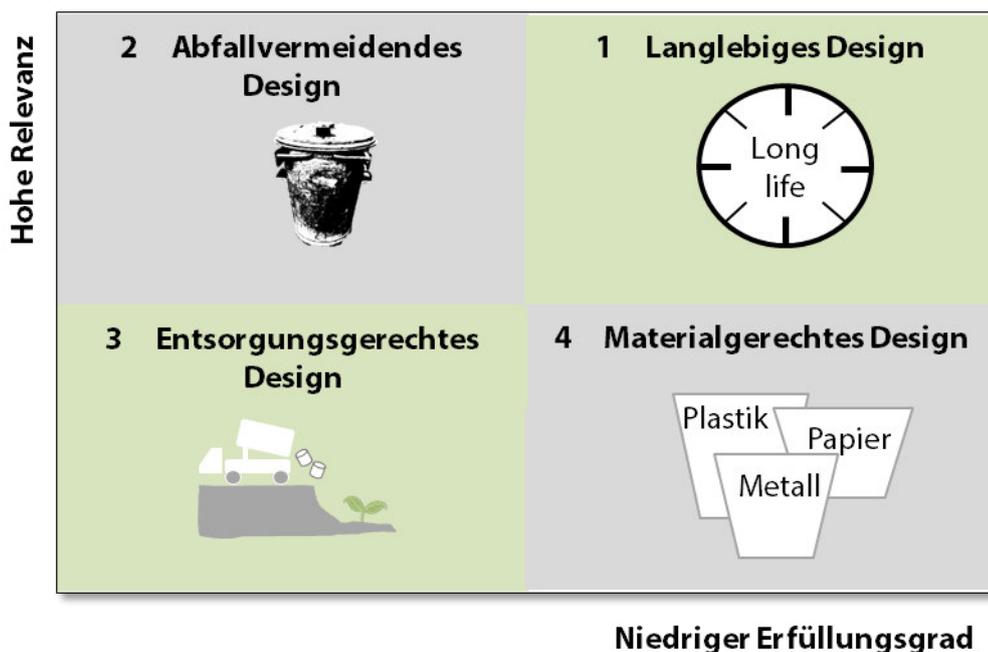
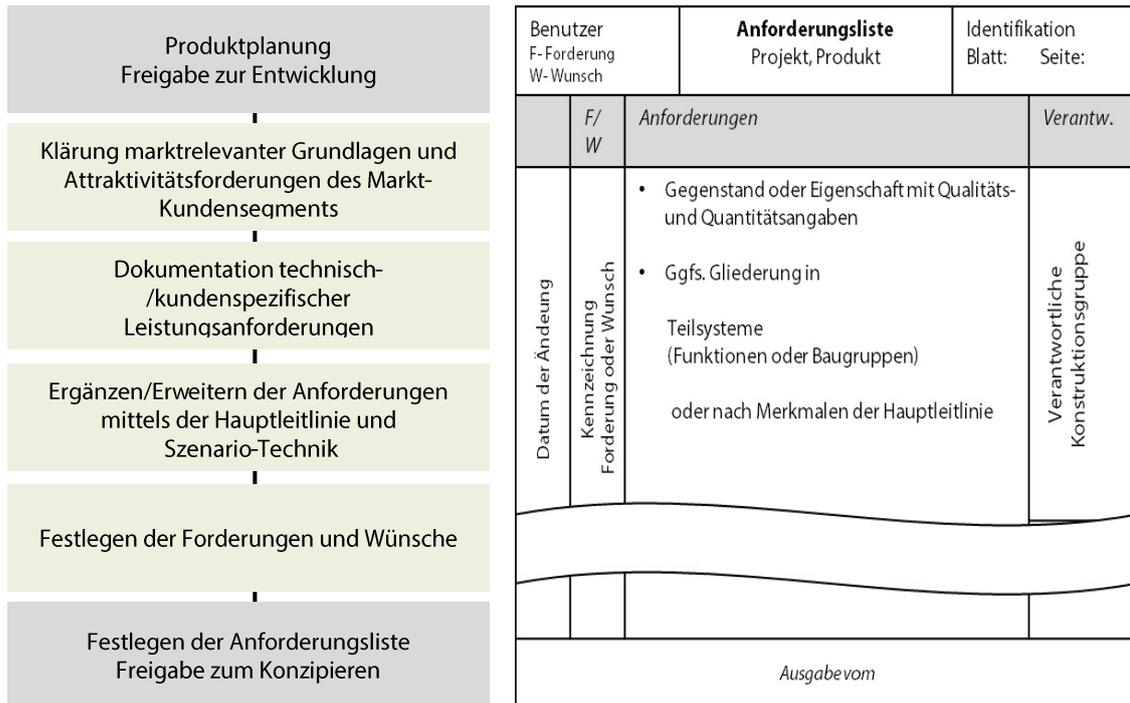


Abbildung 3-7: Matrix der ecoPrioritätszahl (eigene Grafik)

Quantifizierung der einzelnen Parameter handelt und einen starken subjektiven Charakter aufweist.

Anforderungsliste

Es werden in einem ersten Schritt die Anforderungen der Stakeholder sowie des Unternehmens als auch die untersuchten Umwelteinwirkungen des Referenzproduktes betrachtet. Diese werden gesammelt und fließen anschließend in die Modellierung des neuen Produktes ein. Alle Anforderungen können



a) ↓ b)

Merkmale	F=Forderung W=Wunsch		Generelle Anforderungsliste			
	Lfd.	F / W	Regenschirm		Antje Klemichen	
			Anforderung	Werte, Daten, Kommentare	Änderung	Verantwortlich
1. Geometrie	1.01	F	Teleskoprohr gemäß Kundenbedürfnisse auslegen			
	1.02	F	Maße des Referenzproduktes beibehalten	Rohrdurchmesser ca. 10mm		
2. Kinematik	2.01	F	einfache Kinematik	dem Kunden eine maximale einfache Bedienung ermöglichen		
	3.01	F	manuelles Öffnen			
3. Kraft	3.02	F	manuelles Schließen			
	4.01	F	Handkraft	keine Automatik		
4. Energie	4.02	F	Windlasten	muss mindestens genauso gut den Windlasten standhalten		
	5.01	F	hochwertige Materialien	Erzielen einer langen Lebensdauer		
5. Stoff	5.02	F	Einsatz weniger Materialien			
	5.03	W	Einsatz umweltverträglicher Materialien			

Abbildung 3-8: a) und b) Hauptarbeitsschritte und formales Vorgehen bei der Erstellung einer Anforderungsliste in Anlehnung an [1] c) exemplarischer Auszug aus der Anforderungsliste des Regenschirms

Umwelteinwirkungen verursachen. Deshalb werden die gewonnenen Erkenntnisse und Anforderungen aus dem ökologischen Lastenheft gemeinsam mit den Ansprüchen aus den sonstigen Forderungen und Wünschen der Stakeholder sowie der Gesetzgebung und dem technologischem Stand zusammengefasst. Ein demontagegerechtes Produkt bietet demzufolge nicht nur ökologische Vorteile, sondern erleichtert ebenso die Reparaturprozesse in einem Unternehmen und wirkt sich folglich positiv auf die Kosten durch. Hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung ist es ebenso ratsam zu berücksichtigen, dass in der gegenwärtigen Produktentwicklung zukünftige Entwicklungen des Marktes, des Unternehmens sowie des Technikstandards beachtet werden [18].

Für die Durchführung eignet sich das Vorgehen nach Abbildung 3-8. Die gesammelten Erkenntnisse sollten in klaren und eindeutigen Erfordernissen, die in Forderungen oder Wünschen einzuteilen sind, formuliert werden.

3.2 Konzeptionsphase

Die festgelegten Anforderungen aus dem Kapitel 3.1.3 werden nun in der Konstruktion systematisch berücksichtigt. Die grundlegenden Funktionen bleiben erhalten.

3.2.1 Prinzipielle Ansätze für einen ökologischen Regenschirm

Bei der Suche nach Lösungsprinzipien wurde sich sowohl den konventionellen Methoden wie der Literaturrecherche, als auch den intuitiven und diskursiven Methoden bedient. Das grundlegende Funktionsprinzip des Regenschirms sollte dabei erhalten bleiben.

Generierung von Lösungsideen

Aus der Untersuchung des Referenzproduktes haben sich bereits einige mögliche Ansätze zur Umsetzung des neuen Produktes ergeben. Weitere Ansätze sind ebenso in der *VDI-Richtlinie 2243 „Recyclingorientierte Produktentwicklung“* (vgl. Kapitel 2.2.2) zu finden. Für einen erweiterten Lösungsraum wurden zunächst systematisch Ideen entlang des gesamten Produktlebenszyklus in einem Lösungskatalog gesammelt (vgl. Anhang). Es schließt sich nicht aus, dass eine Lösungsidee dabei mehrere Designstrategien bedient.

Bei der Lösungssuche wurden neben technischen Ansätzen ebenso potentielle Ideen in Hinblick auf die Suffizienz-Strategie berücksichtigt bzw. diese unterstützt. Die Bereitwilligkeit zum suffizienten Handeln des Kunden (z.B. der sorgfältige Umgang mit dem Produkt) wird vorausgesetzt.

Bewertung der Lösungsideen

Es wurden im vorigen Arbeitsschritt 55 Lösungsideen mit Fokus auf ein nachhaltiges Produkt generiert. Vorbereitend für die sich anschließende Bewertung wurden den einzelnen Lösungen maximal drei Designstrategien (vgl. Kapitel 0) zugeordnet.

Aufgrund der Fülle an Lösungen muss die Anzahl zu einem frühen Zeitpunkt eingegrenzt werden. Neben der intuitiven Selektion, die absolut ungeeignete Maßnahmen im Vorfeld aussortiert, ist ein systematisches Vorgehen in Hinblick auf die ursprüngliche Zielformulierung, folgendermaßen die Optimierung des Produktes gemäß der gewählten umweltrelevanten Designstrategien, vorzuziehen. Diese sollen neben der Realisierbarkeit die maßgebenden Kriterien für das Bewertungsverfahren repräsentieren. Obwohl im Vergleich zu den Auswahlverfahren Bewertungsverfahren einen höheren Arbeitsaufwand bedingen, lässt sich dadurch eine Entscheidung mit einer bestimmten Wertigkeit und demzufolge einer Rangfolge der Lösungsideen gewinnen [15].

Die Nutzwertanalyse und die technisch-wirtschaftliche Bewertung nach *VDI-Richtlinie 2225* stellen hierfür ein geeignetes und weit verbreitetes Instrument zur Realisierung dar [15]. Generell wird dabei wie folgt vorgegangen: Zunächst werden die Bewertungskriterien anhand der Zielvorstellungen abgeleitet. Das vorrangige Ziel in der vorliegenden Arbeit ist die Erstellung eines Konzepts für einen ökologischen Regenschirm, der hinsichtlich seiner wesentlichen Eigenschaften denen des Referenzproduktes gleicht. Die Bewertungskriterien lassen sich anschließend unmittelbar aus den formulierten Zielen ableiten und in Hinblick auf deren Bedeutung für den Gesamtwert gewichten. In Kapitel 0 wurden die konkreten Ziele bereits anhand des *ecoRankings* bestimmt und festgelegt (Langlebigkeit, Abfallvermeidung, Entsorgungsgerechtigkeit, Material-gerechtigkeit). Ein weiteres Kriterium stellt die Realisierbarkeit im Rahmen des Projekts dar, wodurch potentielle Lösungen, die tendenziell einem sozio-technischen Kontext zugeordnet werden oder aufgrund ihrer Neuartigkeit in der geringen Bereitstellung von Daten und Informationen, ausscheiden. Aufgrund der ermittelten Rangfolge der

Designstrategien wurden diese mit unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren vorgesehen (vgl. Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Gewichtungsfaktoren g_i für die Kriterien

Kriterium	g_i
Realisierbarkeit	5,5
Langlebigkeit	5
Abfallvermeidung	4
Entsorgungsgerechtigkeit	3
Materialgerechtigkeit	2
Erfüllung mindestens eine weiteren Designstrategie	0,5

Die Eigenschaftsgrößen entsprechen aufgrund der großen Lösungsvielfalt direkt den Lösungsvorschlägen/-varianten. Durch die Vergabe von Werten wird nun die eigentliche Bewertung durchgeführt. Die Wertevorstellungen werden durch die Vergabe von Punkten ausgedrückt. Im Sinne der Nutzwertanalyse wurde auf eine Wertskala von 0...10 zurückgegriffen (vgl. Tabelle 3-6).

Tabelle 3-6: Werteskala der Kriterien für die Nutzwertanalyse und dem Projekt

Punkte	Bedeutung nach der Nutzwertanalyse	Bedeutung im Projekt
0	Absolut unbrauchbar	Erfüllt gar nicht das Kriterium
1	Sehr mangelhafte Lösung	Erfüllt nicht das Kriterium
2	Schwache Lösung	Erfüllt kaum das Kriterium
3	Tragbare Lösung	Erfüllt das Kriterium
4	Ausreichende Lösung	Erfüllt das Kriterium ausreichend
5	Befriedigende Lösung	Kann das Kriterium erfüllen, ist aber zu prüfen
6	Gute Lösung mit geringen Mängeln	Erfüllt das Kriterium mit geringen Mängeln, ist aber zu prüfen
7	Gute Lösung	Erfüllt das Kriterium
8	Sehr gute Lösung	Erfüllt das Kriterium sehr gut
9	Über die Zielvorstellung hinaus gehende Lösung	Erfüllt das Kriterium über die Zielvorstellung hinaus
10	Ideallösung	Ideallösung

Bewertungsmatrix

				Kriterien																		Gesamt		Anteil	
				Realisierbarkeit			erfüllt Langlebigkeit			erfüllt Abfallvermeidend			erfüllt Entsorgungsgerecht			erfüllt Materialgerecht			erfüllt mind.eine andere ausgewählte Strategie						
Pos.	Designstrategie	Designstrategie	Designstrategie	w	g	TNW	w	g	TNW	w	g	TNW	w	g	TNW	w	g	TNW	w	g	TNW				
A1.1	entsorgungsgerecht			4	5,5	22	1	5	5	1	4	4	10	3	30	8	2	16	2	0,5	1	78	39%		
A1.2	schadstoffarm	entsorgungsgerecht		4	5,5	22	1	5	5	1	4	4	10	3	30	8	2	16	10	0,5	5	82	41%		
A1.3	schadstoffarm	materialeffizient		5	5,5	27,5	1	5	5	1	4	4	1	3	3	1	2	2	10	0,5	5	46,5	23%		
A1.4	energieeffizient			5	5,5	27,5	1	5	5	1	4	4	1	3	3	1	2	2	10	0,5	5	46,5	23%		
A2.1	materialgerecht			8	5,5	44	1	5	5	4	4	16	1	3	3	10	2	20	1	0,5	0,5	88,5	44%		
A2.2	energieeffizient	recyclinggerecht		5	5,5	27,5	1	5	5	1	4	4	1	3	3	1	2	2	10	0,5	5	46,5	23%		
A2.3	materialeffizient	materialgerecht		8	5,5	44	1	5	5	1	4	4	2	3	6	10	2	20	10	0,5	5	84	42%		
A2.4	langlebig			8	5,5	44	10	5	50	2	4	8	4	3	12	1	2	2	1	0,5	0,5	116,5	58%		
A2.5	recyclinggerecht	langlebig	abfallvermeidend	8	5,5	44	10	5	50	10	4	40	6	3	18	3	2	6	10	0,5	5	163	82%		
A2.6	recyclinggerecht	entsorgungsgerecht	langlebig	6	5,5	33	10	5	50	4	4	16	10	3	30	1	2	2	10	0,5	5	136	68%		
A2.7	recyclinggerecht	materialgerecht		6	5,5	33	2	5	10	1	4	4	10	3	30	1	2	2	10	0,5	5	84	42%		
A2.8	recyclinggerecht	entsorgungsgerecht	abfallvermeidend	10	5,5	55	1	5	5	10	4	40	10	3	30	1	2	2	10	0,5	5	137	69%		
A2.9	logistikgerecht			5	5,5	27,5	1	5	5	1	4	4	1	3	3	1	2	2	10	0,5	5	46,5	23%		

Abbildung 3-9: Auszug aus der Bewertungsmatrix der Lösungsideen

Die so ermittelten Werte w_{ij} zu jeder Lösungsvariante in Hinblick auf jedes Bewertungskriterium werden anschließend mit dem Gewichtungsfaktor g_i multipliziert. Somit ergibt sich der Teilnutzwert (TNW):

$$Teilnutzwert = w_{ij} \times g_i \tag{4}$$

Den Gesamtwert einer Lösung erhält man dann aus der Summe aller Teilnutzwerte:

$$Gesamtwert = \sum w_{ij} \times g_i \tag{5}$$

Die Lösungsideen streben einen maximalen Gesamtwert von 200 Punkten an und können so miteinander direkt verglichen werden.

Auswahl der Lösungsideen

Die oberen 40% werden direkt weiterverfolgt (vgl. Abbildung 3-10). Die Lösungsideen, die dem Gesamtwert zwischen 40% und 60% entsprechen, werden zwar berücksichtigt, dienen aber eher einem weiteren Pool an Lösungsideen zur Verwirklichung, wenn dies im Rahmen der Konstruktion möglich ist. Die Ideen der unteren 40% scheiden aus der hiesigen Betrachtung aus, stehen aber für eine potentielle weitere Untersuchung aufgrund der schriftlichen Dokumentation für künftige Überlegungen zur Verfügung.

Für die Umsetzung vereinzelter Lösungsprinzipien bedarf es einer weiteren Lösungssuche bezüglich deren möglichen technischen Umsetzung. Dies betrifft insbesondere die Recherche nach den Materialien (A2.5, A2.6) als auch den modularen Ansatz (E2.1, E2.2).

Konzept	Pos.	Beschreibung
A) Low Impact Materialien	A1.1	Einsatz von biologisch abbaubare Stoffen
	A1.2	Materialien ohne bedenklichen Additive verwenden
	A1.3	Alternativen zur Oberflächenbehandlung
	A1.4	Meiden von energieintensiven Materialien
	A2.1	Einsatz von Sekundärmaterialien (Stahl, Kunststoffe)
	A2.2	Einsatz von Stoffen mit einer hohen Verwertbarkeit
	A2.3	Einsatz von recycelten Stoffen
	A2.4	einheitliche Features gestalten
	A2.5	Einsatz weniger Materialien
	A2.6	Meiden von schlecht trennbaren Materialien (z.B. C.FK)
A2.7	Nutzen von recyclebaren Materialien mit einem bereits vorhandenem Markt	
A2.8	Vermeiden von Stickern	
A2.9	Bevorzugen von lokalen Zulieferern	
B) Optimierung Fertigung	B1.1	"Saubere" Fertigungstechniken
	B1.2	Fertigungstechniken mit wenig Emissionen
	B1.3	Effiziente Fertigungen (Puder-Coating statt Spray Painting)
	B1.4	Nutzen von Materialien ohne zusätzliche Oberflächenbehandlung
	B1.5	Fertigungsabfall reduzieren
C) Optimierung Verteilung	C1.1	Integration von lokalen Zulieferern für kürzere Transportwege
	C2.1	standardisierte Verpackungen
	C2.2	Re-Use-Verpackungen einsetzen
D) Optimierung Nutzungsphase	D1.1	manuelle Betätigung (kein Akkubetrieb für Kraftsparmis)
	D2.1	Einzigartigkeit des Schirms
	D2.2	Kenzeichnung mit Umwelprofil
E) Optimierung Lebensdauer	E1.1	Design mit wenig Wartungsaufwand
	E1.2	Lösbare Verbindungen (Schrauben, Schnappverschluss, Bajonett)
	E1.3	Durchmesser des Stocks anpassen
	E1.4	Zugänglichkeit der Komponenten erhöhen
	E1.5	Fokussierung auf die wesentlichen Kernfunktionen
	E1.5.1	Zeltstange-Prinzip
	E1.5.2	Prinzip Staubsauger
	E1.5.3	Feststellschraube
	E1.5.4	Stand der Technik (Kugel-Feder-Prinzip)
	E1.6	"Bedienungsanleitung" und "Wartungsanleitung"
F) Optimierung End of Life	F2.1	Zugänglichkeit der Komponenten erhöhen (siehe E1.4)
	F2.2	modularer Aufbau (siehe E2.2)
	F2.3	Lösbare Verbindungen (Schrauben, Schnappverschluss, Bajonett)
	F2.4	standardisierte Verbindungen
	F2.5	Positionierung der Verbindungsstellen
F) Optimierung End of Life	F2.6	Verschleißteile schnell zugänglich positionieren
	F3.1	primäres Recycling bevorzugen
	F3.2	modulares Design
	F3.3	leicht separierbare Materialien verwenden
	F3.4	keine toxischen Materialien
	F3.5	lokale Recyclesysteme nutzen

A) Low Impact Materials
 -Einsatz weniger Materialien
 -Meiden von schlecht trennbaren Materialien
 -Meiden von Stickern

D) Optimierung Nutzungsphase
 -manuelle Betätigung
 -Einzigartigkeit
 -Kenzeichnung
 Umweltprofil

E) Optimierung Lebensdauer
 -Zugänglichkeit der Komponenten gewährleisten
 -Fokussierung auf Kernfunktionen
 -Bedienungsanleitung/
 Wartungsanleitung
 -modularer Aufbau
 -zeitloses Design

F) Optimierung End of Life
 -zeitloses Design
 -Second-Hand-Schirme
 -modularer Aufbau
 -Lösbare Verbindungen
 -Verschleißteile zugänglich positionieren

Abbildung 3-10: Auswahl der Lösungsideen für einen nachhaltigen Regenschirm

Um den modularen Ansatz zu realisieren, bieten sich verschiedene Verbindungsmöglichkeiten zwischen dem Griff und dem Stock des Regenschirms an. Diese werden unterteilt nach den Wirkprinzipien Form-, Kraft- und Stoffschluss. Beim Formschluss erfolgt die Verbindung über eine körperlich ineinander greifende Elementenpaarung. Kraftschlüssige Verbindungen entstehen durch die Verbindung zweier Bauteile mittels Klemmung oder Pressung, wobei an den Wirkflächen Normalkräfte und die daraus entstehenden Reibkräfte erzeugt werden. Im Vergleich zu den zuvor genannten Verbindungsarten sind stoffschlüssige Verbindungen, deren Elementenpartner sich stofflich oder mittels eines Zusatzstoffes vereinen, kaum bis nicht lösbar.

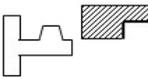
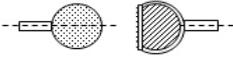
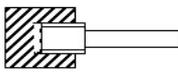
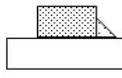
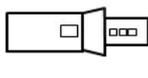
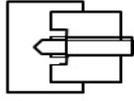
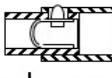
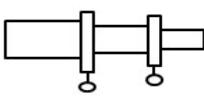
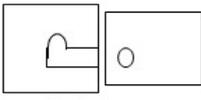
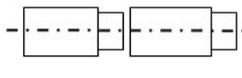
Mechanische Verbindung			
Wirkprinzip	Formschluss	Kraftschluss	Stoffschluss
Griff/Stock			
1	 Schnapphebel	 Reibschluss	 Kleben
2	 Kugelkopf	 Gewinde	 Schweißen
Teleskopstangen			
3	 Arretieren	 Schrauben	
4	 Federschnapp- verbindung	 Feststellschrauben	
5	 Bajonett	 Passung	

Abbildung 3-11: Wirkprinzipien der mechanischen Verbindungen

In Hinblick auf ein langlebiges Design sind zudem weitere Lösungsmöglichkeiten für den Teleskopauszug zu finden.

Bewertung der Lösungsideen

Es ist auf eine Kunststofflösung im Bereich des Griffes zu setzen. Dies wirkt sich ebenfalls nachteilig auf die Schraubverbindung aus, da Kunststoffgewinde im Vergleich zu der Lösung aus Metall nicht wiederholt nutzbar sind.

Im Vergleich zum Lösungskatalog nach Abbildung 3-10 wurde nur ein kleiner Lösungsraum für die mechanische Verbindung zwischen Griff und Stock erzeugt. Daher ist eine Auswahlliste, die der Abbildung 3-12 zu entnehmen ist, in Anlehnung an [15] ausreichend.

Allerdings kommt es an dieser Stelle zu einem Zielkonflikt zwischen den ausgewählten Designstrategien Langlebigkeit und Entsorgungsgerechtigkeit/ Abfallvermeidung. Aufgrund des technischen Aufwands bei den hohen Stückzahlen des Produktes und aufgrund der kaum bis schlecht lösbaren Verbindung scheiden sowohl die Prinzipien Schweißen und Kleben aus – trotz der mäßigen bis sehr guten technischen Eigenschaften. Generell ist die Verschraubung als ein sehr gutes Verbindungselement anzusehen, muss jedoch durch zusätzliche Sicherungselemente gegen ein Verdrehen geschützt werden. Dies erhöht wiederum den technischen sowie den materiellen Aufwand.

Auswahl der Lösungsideen

Aufgrund des geringen technischen Aufwands und dem geforderten zeitlosen Design (schnell lösbare Verbindung zwischen Griff und Stock) fällt die Entscheidung auf eine Schnappverbindung. Die Verbindungen zwischen den Teleskopstangen werden bereits über einen Schnappverschluss realisiert.

Kriterium	Schnapphebel	Schnappkugel	Reibschluss	Verschraubung	Kleben	Schweißen
Festigkeit	0	0	+	+	0	+
Spielfreiheit	0	0	+	+	+	+
Wiedermontage	+	+	0	0	-	-
Toleranzanforderungen	+	0	-	-	+	+
Fertigungsaufwand	+	+	0	0	+	-
	+ günstig		0 mittel		- ungünstig	

Abbildung 3-12: Auswahlliste der Wirkprinzipien „mechanische Verbindung unterschiedlicher Werkstoffpaarungen“

3.3 Entwurfsphase

Im Rahmen des Entwerfens erfolgt die gestalterische Festlegung des Produkts, wobei diese sich im Falle von Weiterentwicklungen in die zwei Teilbereiche Gestaltung des bekannten und des unbekanntes Systems gliedert. Die Anforderungen (Werkstoffauswahl, Geometrien) für die technische Realisierung sind der Anforderungsliste zu entnehmen. Nach der Bestimmung der groben Gestalt steht die Formgebung im Mittelpunkt der Entwurfsphase. Die zuvor ausgewählten Wirkprinzipien werden durch die Auswahl geeigneter Maschinenelemente umgesetzt.

3.3.1 Werkstoffauswahl

Die Funktionserfüllung sowie die Geometrie sind unweigerlich mit der Werkstoffauswahl gekoppelt. Komplexe Produkte unterteilen sich in viele Funktionen, die in Hinsicht auf ihre Gebrauchseigenschaften einer besonders hohen Bedeutung zuteilwerden. Daher stellen deren Materialien auch einen Schwerpunkt bei der Materialsuche dar. Die Materialauswahl einfacher Funktionen wie strukturmechanischer Bauteile (z.B. Gehäuse) erfolgt in der Regel nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten. In der Entwurfsphase sind also potentielle Materiallösungen dahingehend zu prüfen, ob sie die geforderten Produkteigenschaften erfüllen sowie den ästhetischen und ergonomischen Kriterien genügen. Es ist zudem zu beachten, dass Produkte nicht für die Ewigkeit gebaut werden und daher durch eine kalkulierbare Lebensdauer gekennzeichnet sind. Demzufolge sind alle Anforderungen, die aus der Analyse des Referenzproduktes stammen, zu beachten:

- Korrosionsbeständigkeit
- Günstige Stellung in der elektrochemischen Spannungsreihe
- Geringer Reibverschleiß
- Beständigkeit gegenüber den Umgebungsbedingungen/
Witterungsbeständigkeit

<i>Element</i>	Griff	Stock	Schieber
<i>Aufgabe</i>	Schnappverbindung	Auszug	Aufnahme Gestell
<i>Werkstoff</i>	ABS PP	Aluminium, Stahl PP	ABS PP



Abbildung 3-13: Werkstoffauswahl in Abhängigkeit von Aufgaben der Teilsysteme

Für die Reduktion der Materialvielfalt wird angestrebt, sowohl den Griff als auch den Schieber aus demselben Material zu fertigen. Es wird wie im Referenzprodukt aufgrund der Kundenanforderungen vom geringen Gewicht bei Taschenschirmen der Fokus auf Kunststoffe gelegt. Obwohl Kunststoffe primär aus fossilen Ressourcen gewonnen werden, weisen sie eine sehr gute Verwertungsquote auf



Abbildung 3-14: Kunststoffverarbeitung- und verbrauch in Deutschland in Anlehnung an [41]

(vgl. **Abbildung 3-14**). Die optimale Variante wird zu einem späteren Zeitpunkt über SolidWorks Sustainability (vgl. Kapitel 4.3) ermittelt.

Werkstoffdaten zu Polypropylen

Polypropylen (PP) gehört zu den thermoplastischen Kunststoffen und besteht lediglich aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Der Werkstoff wird aus dem Vorprodukt Propylen hergestellt und in Betrieben der Großchemie zu Polypropylen umgesetzt. Der Thermoplast wird anschließend als Granulat an die verarbeitenden Betriebe geliefert, die den Werkstoff beispielsweise durch Spritzguss, Extrusion oder Blasformen weiterverarbeiten. In der Tabelle 3-7 sind weitere Eigenschaften des Polypropylens entlang des Lebensphasen dargestellt.

Materialinformation zu Acrylnitril-Butadien-Styrol

Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) gehört zur Gruppe der Polymerkunststoffe und besteht zu etwa 50% aus Styrol und je 10-30% Acrylnitril und Butadien. Es verfügt über sehr gute mechanische Materialeigenschaften – beginnend von der Temperaturbeständigkeit bis zur Schlagfestigkeit. Aufgrund seiner kratzfesten Oberfläche wird der Werkstoff vor allem für Gehäuse verwendet. ABS ist recycelbar und kann als Recyclingkunststoff in Form von Transport- oder Lagerbehältern wiederverwendet werden [42]. Acrylnitril ist sowohl im flüssigen als auch im dampfförmigen Zustand hochgiftig. Ebenso wie Styrol wird Acrylnitril als möglicherweise krebserzeugend eingestuft. Deshalb ist gerade bei der Herstellung von Produkten als auch bei der Fertigung zu besonderer Vorsicht geraten [43]. Weitere Metadaten sind nicht öffentlich zugänglich.

Tabelle 3-7: Materialinformationen Polypropylen [44] und [45]		
<i>Eigenschaften: starr, undurchlässig, robust</i>		
<i>Herstellung</i>	Inhaltsstoffe pro t Polypropylen	1,015kg Propylen 1,3kg Additive
	Nebenprodukte pro t Polypropylen	1,5kg 7,15kg feste Abfälle
	Nicht-erneuerbarer Energieaufwand	75,35 MJ/kg
	Treibhauspotential	2,00 kg CO ₂ Äq/kg
	Versauerung	0,68 g SO _x Äq/kg
	Materialspezifische Hinweise	VOC-Emissionen ¹¹
<i>Einbau</i>	Dichte	910 kg/m ³
<i>Einbau</i>	Materialspezifische Hinweise	Verschweißen von PP kann zu geringfügigen Mengen von Kohlenstoffdämpfen führen; Klebertyp beachten
<i>Nutzung</i>	Anwendungsbereich	Rohre, Folien, Automobilbau, Elektroindustrie, Verpackungen
	Lebensdauer	ca. 20 Jahre
<i>End of Life</i>	Recyclingfähigkeit	Stoffliche Verwertung (Weiterverwertung), energetische Verwertung

Biologisch abbaubare Kunststoffe

Aufgrund des vermehrten Müllaufkommens wird gesamtgesellschaftlich gefordert, den Einsatz von rein synthetischen Kunststoffen auf petrochemischer Basis einzugrenzen und durch Kunststoffe aus nachwachsenden beziehungsweise biologisch abbaubaren Kunststoffen zu ersetzen. Der Abbau konventioneller Kunststoffe nimmt einen Zeitraum über Jahrhunderte auf den Deponien in Anspruch. Des Weiteren muss ebenfalls die Industrie umdenken, da die Erdölvorkommen immer knapper werden. Dennoch sind biologische (abbaubare) Polymere ebenfalls mit Vorsicht zu betrachten, da sie einerseits Flächen für die Nahrungsversorgung verdrängen und andererseits gegebenenfalls der Gesamtenergiebedarf in der Herstellung höher als bei den traditionellen Thermoplasten ausfallen kann. [47]

¹¹ „Die englische Abkürzung VOC (Volatile Organic Compounds) bezeichnet die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen. VOC umschreibt gas- und dampfförmige Stoffe organischen Ursprungs in der Luft.“ [46]

Eine tiefere Diskussion soll aber nicht im Rahmen dieser Arbeit gewährleistet werden und es wird daher empfohlen, auch diese Kunststoffe in Betracht zu ziehen, wenn der Konstrukteur mit der Aufgabe von Konzipierung und Erstellung eines Entwurfes von einem nachhaltigen Produkt betraut worden ist.

Holz

Während die ersten Flugzeuge noch aus Holzfachwerken gebaut wurden, bestehen moderne Flugzeuge aus Aluminium, Verbundwerkstoffen und Kunststoffen verdrängt. In Anbetracht eines umweltverträglichen Produktes darf der Werkstoff heutzutage aufgrund seiner Vorteile, die in der Abbildung 3-15 dargestellt sind, jedoch nicht fehlen.

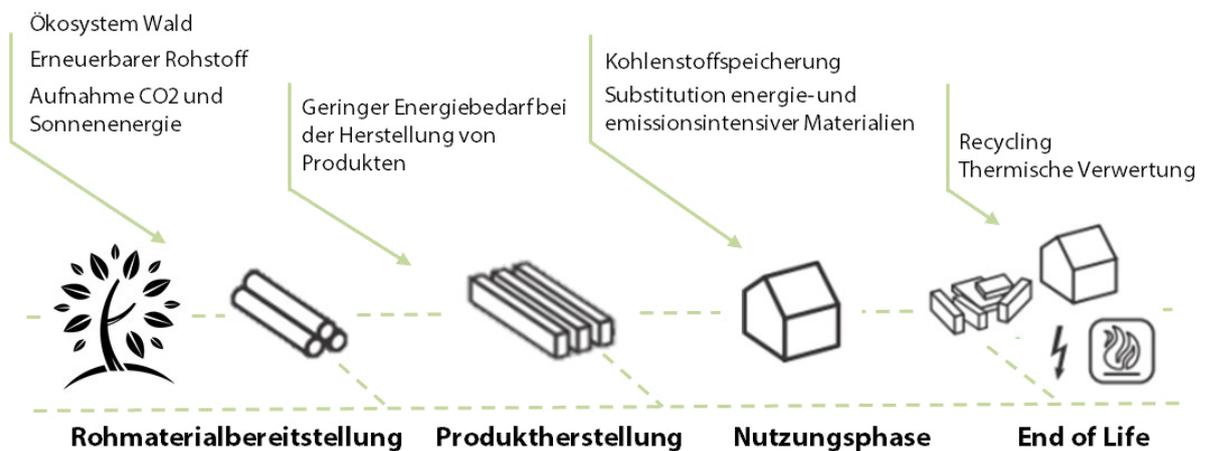


Abbildung 3-15: Produktlebensphasen und Vorteile von Holz nach [46]

Dennoch muss auch auf die Nachteile verwiesen werden: Im Vergleich zum Stahl, bei dem das Materialverhalten in allen Belastungsrichtungen gleich ist, hängt das Verhalten bei Holz unter Last stark Faserrichtung ab; entlang der Faserrichtung weist Holz sehr gute Zugeigenschaften auf im Gegensatz zu Druckbelastungen; durch die natürlichen Wuchsbedingungen variieren zudem die Materialkennwerte, sodass hohe Sicherheitswerte angenommen werden müssen.

3.3.2 Modularität

Einen wesentlichen Bestandteil zur Reduktion der negativen Umweltimpacts bietet der Ansatz der Modularität, d.h. dass einerseits das Produkt zur erleichterten Reparatur und andererseits am Ende des Lebensweges in Hinblick auf die Wiederverwendung/-verwertung demontiert werden kann. In der Konzeptionsphase hat sich hierfür die Lösung der Ringschnappverbindung durchgesetzt, da diese keine

zusätzlichen Verbindungs- bzw. Klebefügeverfahren benötigt. Ringschnappverbindungen werden häufig in der Materialpaarung Kunststoff-Kunststoff gefertigt und standardmäßig als lösbare Verbindung in der Industrie und auf dem Verbraucher-Markt eingesetzt.

4 Umsetzung der Lösungskonzepte

4.1 Design review mit SolidWorks 2014 Sustainability

Fand früher die Konstruktion an einem Zeichenbrett statt, so erfolgt heutzutage die Konstruktion standardmäßig am Rechner. Hierfür steht dem Anwender eine Reihe von Programmen zur Verfügung, wobei sich in jedem Unternehmen jeweils eine Software etabliert hat. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Konstruktionssoftware SolidWorks 2016 verwendet, da diese mit dem Tool SolidWorks Sustainability zusätzlich dem Konstrukteur ein Instrument zur ökologischen Evaluierung des Bauteils/der Baugruppe zur Verfügung stellt im Rahmen einer Ökobilanzierung (theoretische Grundlagen sind dem Kapitel 0 zu entnehmen). Ziel der softwarebasierten Lösung ist die frühe Erkennung der Umweltauswirkungen des Produktes auf Grundlage des direkten Vergleiches

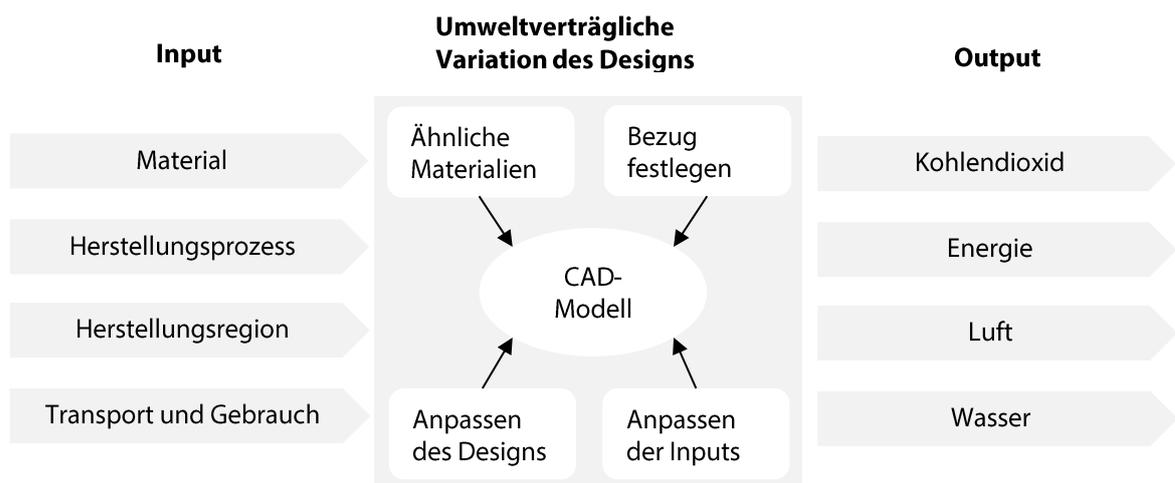


Abbildung 4-1: Variation des umweltverträglichen Designs mit SolidWorks Sustainability

zwischen dem Original, welches das Bezugssystem darstellt, und dem verbesserten Produkt. Prinzipiell erfolgt die Bewertung der Konstruktion wie folgt (vgl. Abbildung 4-1): Eingabe der Eingangsparameter (Input) für das Produktmodell; Optimierung des Produktes durch Variation der Eingangsparameter auf Basis des Bezugssystems; Auswertung der Umweltverträglichkeit durch Analyse der Ausgangsparameter (Output).

4.1.1 Datengrundlage für SolidWorks Sustainability

Die Daten für die Umweltverträglichkeitsprüfung basieren auf der *GaBi Lebenszyklus-Datenbank* von PE INTERNATIONAL und werden laut Aussage von SolidWorks regelmäßig aktualisiert. Sie umfasst Daten zu Umweltauswirkungen, die durch eine „Kombination auf wissenschaftlichem Experiment und empirischen Zahlen aus Praxis gewonnen werden“ [48]. Die Software „verwendet ein gesamtindustrielles Prozessmodell mit Daten von echten verarbeitenden und produzierenden Unternehmen“ [48], die Durchschnittswerte für beispielsweise Heizenergiebedarf, Stromverbrauch, Ausschussraten u.a. beinhalten. Es wird dem Anwender ermöglicht, die Eingaben durch benutzerdefinierte Spezifikationen zu ergänzen bzw. zu ersetzen.

Für die Umweltbilanzierung konzentriert sich SolidWorks Sustainability auf die folgenden Bereiche der Umweltbeeinflussung, die im sogenannten Umweltverträglichkeits-Dashboard dargestellt und bewertet werden:

- Kohlendioxid-Fußabdruck als Maß für CO₂- und andere Treibhausgasemissionen, z.B. Methan, ausgedrückt in CO₂-Äquivalenteinheiten und bezieht sich auf das Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP)
- Energieverbrauch als Maß für alle nicht-erneuerbare Energiequellen über den gesamten Lebensweg des Produktes; es umfasst neben dem Verbrauch der Elektrizität und Brennstoffe während der Nutzenphase die Gewinnung und Verarbeitung dieser Brennstoffe sowie die Energie in den Materialien, die beim Verbrennen freigesetzt würde; der Energieverbrauch wird als der untere Heizwert des Energiebedarfs von nicht-erneuerbaren Ressourcen (z.B. Öl, Gas) in MJ beschrieben
- Luftansäuerung als Maß für Säureemissionen, z.B. Stickoxide und Schwefeldioxide und wird in kg-Schwefeldioxid-Äquivalenten (kg SO₂) gemessen
- Überdüngung von Gewässern als Maß für die Verunreinigung von Gewässern aufgrund von übermäßiger Abfuhr an Phosphor- und Stickoxiden und bezieht sich auf kg-Phosphat-Äquivalenten (PO₄)

Als Input zieht SolidWorks die folgenden Parameter heran:

- Verwendetes Material mit Annahmen bezüglich des recycelten Anteils
- Herstellungsprozess, Beschichtung und Herstellungsregion
- Transport und Verwendungsregion
- Entsorgung am Ende der Lebensdauer

Die Ergebnisse können mit der vom Umweltinstitut der Universität Leiden (Niederlande) entwickelten CML-Methode, die vorrangig europäische Daten zur Ableitung der Wirkungsfaktoren einsetzt, dargestellt werden. Sie gilt als die „vollständigste geltende Methode“ [49]. Die Software bietet aber auch die Bewertung mit Daten aus dem nordamerikanischen Raum nach TRACI (Tool for Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts), die von der Umweltschutzbehörde der USA entwickelt worden ist, an. Die Datenbank ist jedoch weniger umfangreich und wird daher nicht für die Bewertung empfohlen. [49]

4.1.2 Vorgehensweise

Für eine Echtzeitüberwachung bietet Sustainability das sogenannte Umweltverträglichkeits-Dashboard an (siehe Abbildung 4-2). In Form von Kreisdiagrammen sieht der Anwender direkt die Auswirkungen des Entwurfes durch

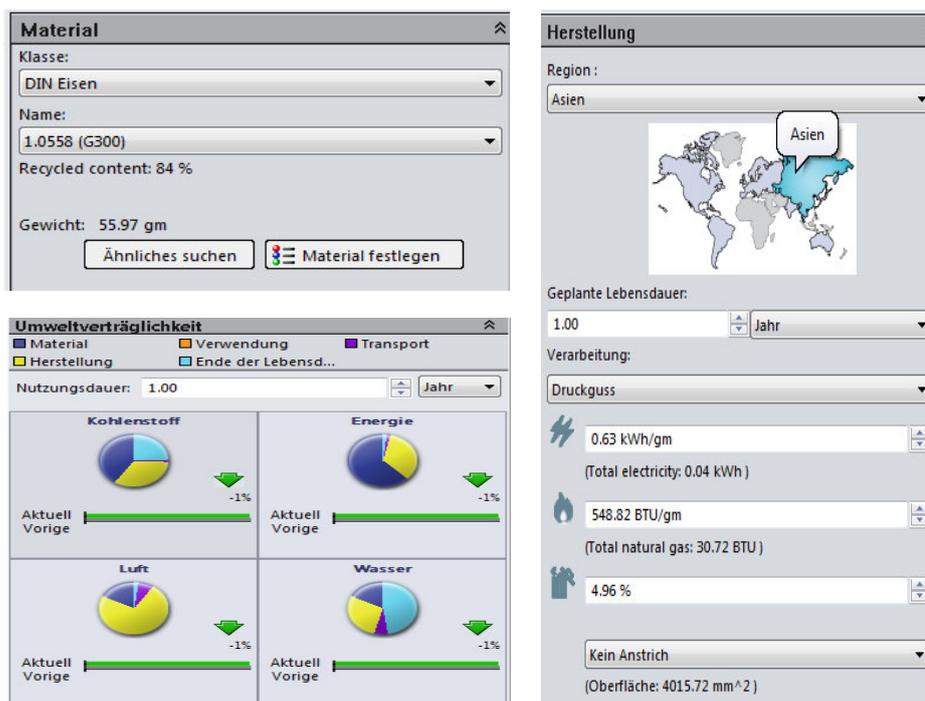


Abbildung 4-2: Materialauswahl und Umweltverträglichkeits-Dashbord sowie Auswahl der Verarbeitung in Sustainability

die Eingabe seiner Parameter.

Im Rahmen der Konstruktion bietet SolidWorks eine Materialdatenbank, sodass für jedes der Baugruppe zugehörigem Bauteil ein Werkstoff zugeordnet werden kann, an. Die Software zeigt das Gewicht des Teils an und den Prozentsatz des Recyclinganteils. Der Anwender wählt im nächsten Arbeitsschritt bei der Auswahl der Herstellungsregionen zwischen Nordamerika, Europa, Asien, Südamerika, Indien und Australien. In Abhängigkeit von der Werkstoffauswahl erfolgt eine Auswahl von Verarbeitungsprozessen, wobei für die Herstellung durchschnittliche Werte für den

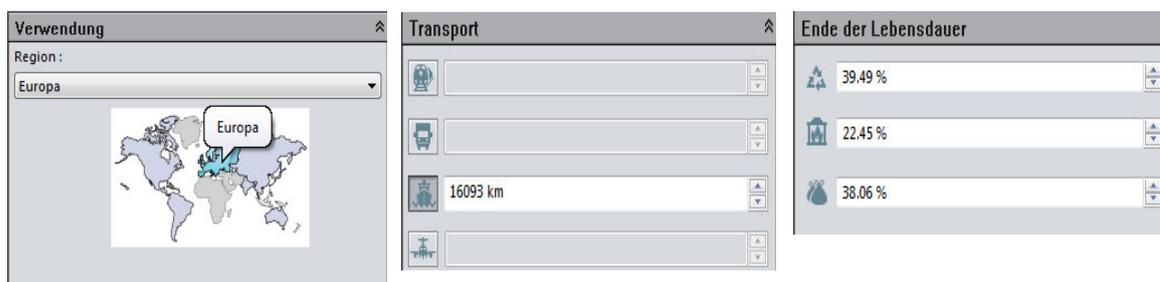


Abbildung 4-3: Verwendung, Transport und Ende der Lebensdauer in Sustainability

Elektrizitäts- und Gasverbrauch sowie einer Ausschussrate angenommen werden (vgl. Abbildung 4-2). Anschließend wird die Region für die primäre Nutzungsphase und die Art des Transportes bestimmt. Hierfür verwendet SolidWorks Standardeinstellungen für die Verwendungsregion, die vom Anwender jedoch variiert werden können (vgl. Abbildung 4-3). Für das Ende der Lebensdauer stellt die Software ebenfalls Standardwerte bezüglich des Anteils an Recycling, Verbrennung und Deponie zur Verfügung (vgl. Abbildung 4-3). Mit Setzen des Bezugssystems erfolgt anschließend die Variation der einzelnen Parameter für die Optimierung der Umweltverträglichkeit.

4.2 Life Cycle Analysis des Referenzproduktes

Die bisher beschriebene Vorgehensweise entspricht der einer Optimierung eines bestehenden Produktes. In diesem Sinne wird die Verbesserung auf Grundlage eines Bezugssystems eingeschätzt und bewertet. Nach der Modellierung des Referenzproduktes erfolgt die Evaluierung auf die Umweltverträglichkeit mittels Sustainability. Die Eingangsparameter sind der Abbildung 4-4 zu entnehmen. Beim

Eingangsparameter der Baugruppe					
Gesamtgewicht: 106,33g Geplante Lebensdauer: 20 Jahre					
					
<i>Griff</i>	<i>Stangen</i>	<i>Schieber</i>	<i>Arretierfeder</i>	<i>Feder</i>	<i>Kugel</i>
Material					
PP Homo-polymer	1015 Kaltgezogener Stahl	ABS	nichtrostender Chromstahl	X10CrNi18-8	AISI 321 Edelstahllegierung
Herstellung					
Spritzguss	Extrusion	Spritzguss	gestanztes/geformtes Blech	gestanztes/geformtes Blech	Geschmiedet
Asien					
Verwendung und Transport					
Europa Schiff (Distanz Hamburg-Shanghai)					
End of Life					
Standardannahmen von SolidWorks Sustainability					

Abbildung 4-4: Eingangsparameter des Referenzproduktes für die Umweltverträglichkeitsprüfung

Regenschirm handelt es sich um ein sogenanntes passives Produkt, d.h. es verbraucht keine Energie während seiner Nutzungsphase. Zur besseren Darstellung wird die Baugruppe anhand einer ausgewählten Sustainability-Eigenschaft visualisiert, wie am Beispiel des Gesamtkohlenstoffes in Abbildung 4-5 gezeigt wird. Anhand der farblichen Markierung wird deutlich, welche Komponenten den größten Einfluss auf die jeweilige Eigenschaft ausüben. Die tatsächliche Summe der Baugruppenkomponenten kann jedoch von der des Sustainability-Task-Bereiches nach unten abweichen. Der Grund für den Unterschied liegt darin, dass der Wert für die Baugruppe weitere Faktoren wie Transport von der Fabrik zum Konsumenten und Energieverbrauch während der Lebenszeit der Baugruppe umfassen kann. Diese Werte können den Diagrammen nach Abbildung 4-6 entnommen werden. Es wird deutlich, dass der größte Anteil an den negativen Umwelteinwirkungen in allen betrachteten Bereichen durch das Material verursacht wird. Dementsprechend werden die Komponenten mit dem größten Gewichtsanteil von der Software als die Hauptverursacher - gefolgt von den Auswirkungen aus dem Herstellungsprozess - bewertet. Daher ist der Fokus bei der Produktoptimierung auf die Materialauswahl zu

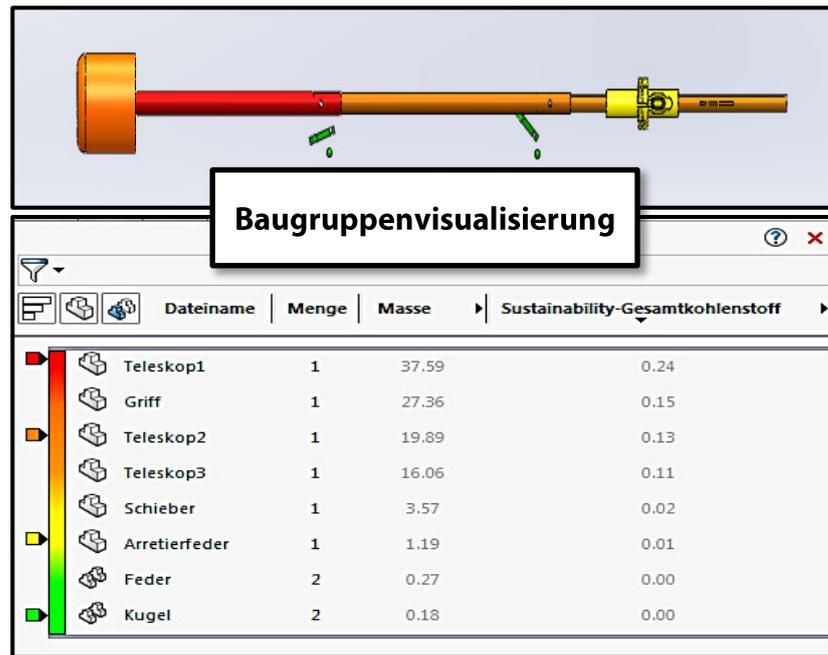


Abbildung 4-5: Baugruppenvisualisierung mit Fokus auf Gesamtkohlenstoff des Referenzproduktes

setzen. Der Stock wurde bei dem Referenzprodukt über die Klebetechnik mit dem Griff verbunden. Es ist nicht möglich, den Montage-/ Fügeprozess in der Software zu berücksichtigen.

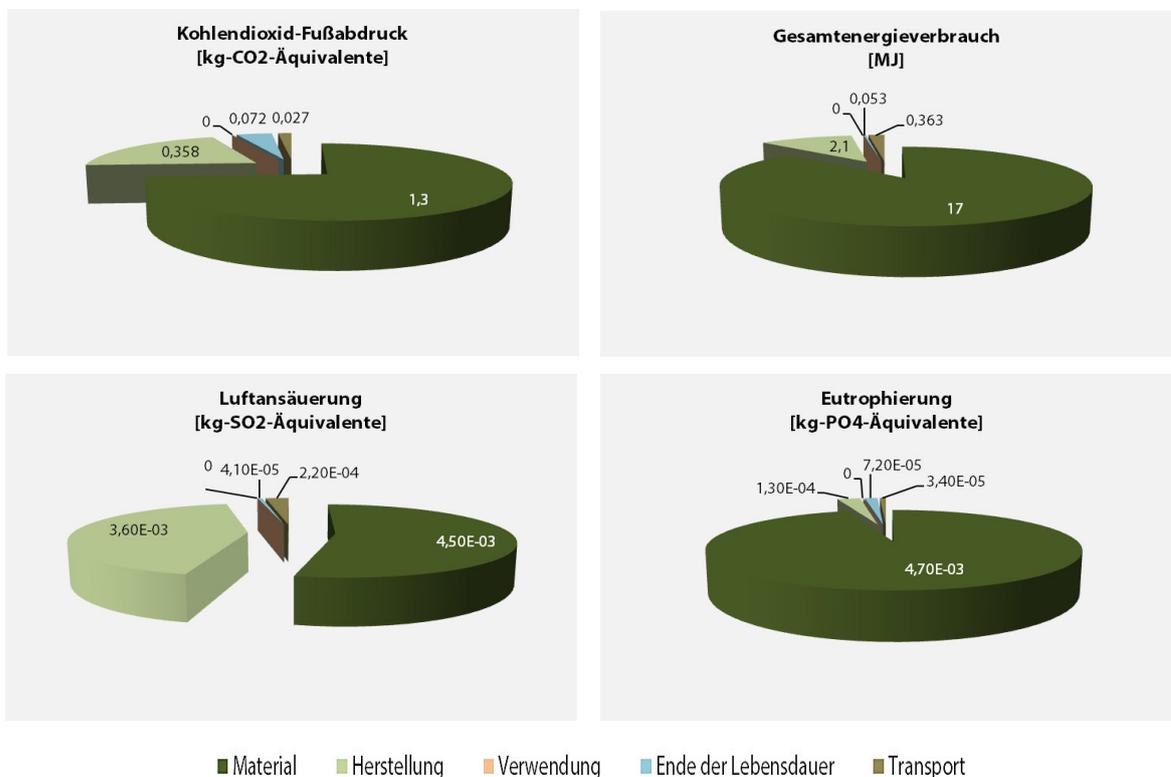


Abbildung 4-6: Umweltverträglichkeitsbewertung des Referenzproduktes

4.3 Produktoptimierung durch Variation einzelner Parameter

SolidWorks bietet zahlreiche Möglichkeiten, das Produkt hinsichtlich seiner Umweltverträglichkeit zu optimieren. In den anschließenden Kapiteln erfolgt exemplarisch die Variation des Designs vom Regenschirm mittels

4.3.1 Optimierung durch Variation des Materials

Sustainability ermöglicht dem Konstrukteur negative Umwelteinwirkungen durch Variation des Materials zu reduzieren. Als Bezug wird das Referenzmodell herangezogen. Für die Optimierung bietet das Programm Möglichkeit ein ähnliches Material mit ähnlichen Eigenschaften zu suchen und anhand der direkten visuellen Auswertung der Software zu bestimmen. Der Anwender wählt ein Material aus der dafür bereitgestellten Datenbank aus. In der Baugruppenvisualisierung hat sich der erste Teleskopstab als die Komponente mit den größten Umweltimpacts herausgestellt, sodass dieser für die kommende Analyse als Bezugsmodell eingesetzt wird. Bei der Materialauswahl kann der Anwender neben der Materialklasse angeben, welche Eigenschaften erhalten bleiben sollen beziehungsweise höheren oder niederen Anforderungen genügen.

Aluminiumlegierung

Beim Regenschirm spielt das Gewicht eine wichtige Rolle für den Kaufentscheid des Kunden. Deshalb wird zum Vergleich eine gängige Aluminiumlegierung betrachtet.

Tabelle 4-1: Eingangsparameter für die Aluminiumlegierung 2219-T37

Parameter	Aluminiumlegierung 2219-T37
<i>Recycelter Anteil *</i>	0,00%
<i>Gewicht</i>	13,69g
<i>Herstellung Region</i>	Asien
<i>Produktionsprozess</i>	Extrusion
<i>Herstellung Elektrischer Strom*</i>	0,879 kWh/lbs
<i>Herstellung Erdgas*</i>	3400 BTU/lbs
<i>Herstellung Ausschussrate*</i>	7,8%
<i>Verwendung Region</i>	Europa
<i>Transport (eigene Angabe)</i>	(Schiff)12.000km
<i>Recycling*</i>	25%
<i>Verbrennung*</i>	24%
<i>Deponie*</i>	51%

*Standard-Annahme von Sustainability

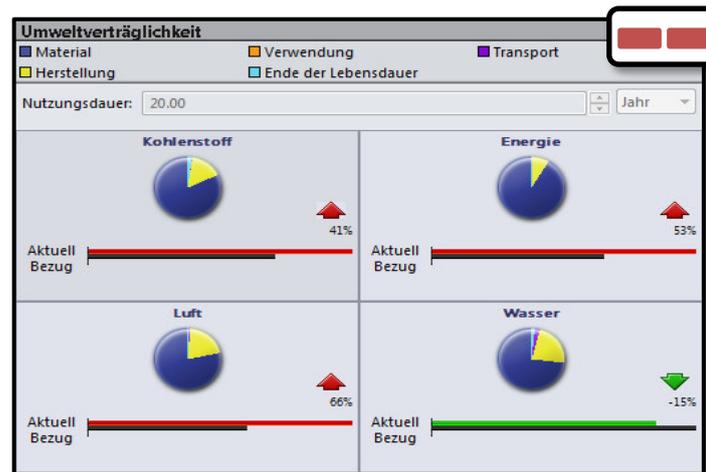


Abbildung 4-7: Vergleich der Umweltverträglichkeiten zwischen dem Referenzprodukt und der Aluminiumlegierung 2219-T37

Die Eingangsparameter sind der Tabelle 4-1 zu entnehmen. Aufgrund der Tatsache, dass es sich um ein exemplarisches Beispiel handelt, werden die Standard-Annahmen des Programms akzeptiert. Anhand der visuellen Auswertung wird deutlich, dass sich die Umweltauswirkungen durch die Materialsubstitution mit Aluminium erheblich verschlechtern (vgl. Abbildung 4-7). Hier spielt vor allem das Material, dessen Herstellung – insbesondere bei der Freisetzung von Luftschadstoffen - den größten Einfluss ausübt. Das liegt daran, dass die Herstellung von Aluminium einem aufwendigeren Prozess obliegt im Vergleich zur Eisenhütte bei der klassischen Stahlproduktion.

Kunststoffe

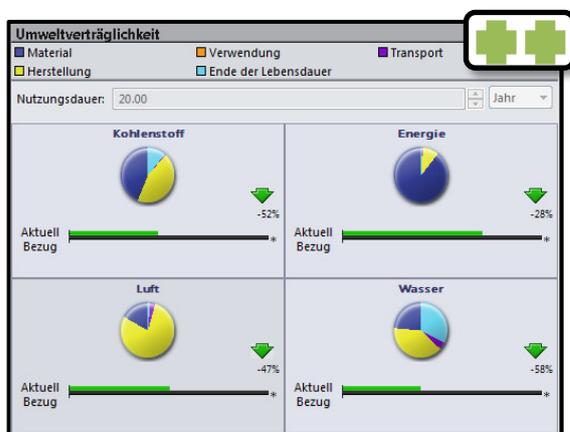
Positiver wirkt sich laut der Software die Verwendung von Kunststoff aus. Um eine Materialhomogenität zu gewährleisten wird für das Teleskoprohr einerseits der Werkstoff ABS und andererseits Polypropylen betrachtet. Die beiden Materialien wurden bereits im Referenzprodukt verwendet. Das Programm bietet die Möglichkeit Bezüge zu importieren, sodass aufgrund der geringeren Zugfestigkeiten die Wandstärke dem Material angepasst werden muss. Die Tabelle 4-2 gibt einen Überblick über die Eingangsparameter. Es fällt auf, dass bis auf das Gewicht, dem unterschiedliche Materialdichten zugrunde liegen, die Software dieselben Daten für die Herstellung und dem Lebensende verwendet. Die Angaben in Bezug auf die Herstellung beziehen sich rein auf das Herstellungsverfahren Extrusion und werden nicht nach den Materialien unterschieden.

Tabelle 4-2: Eingangsparameter der Kunststoffe ABS und PP

	ABS	PP-Homopolymer
Recycelter Anteil *	0%	
Gewicht	10,95g	10,02g
Herstellung Region	Asien	
Verarbeitung	Extrusion	Extrusion
Herstellung Elektrischer Strom*	0,77 kWh/g	
Herstellung Erdgas*	406,60 BTU/g	
Herstellung Ausschussrate*	0,5%	
Verwendung Region	Europa	
Transport (eigene Angabe)	Schiff (12.000km)	
Recycling*	25%	
Verbrennung*	24%	
Deponie*	51%	

*Standard-Annahme von Sustainability

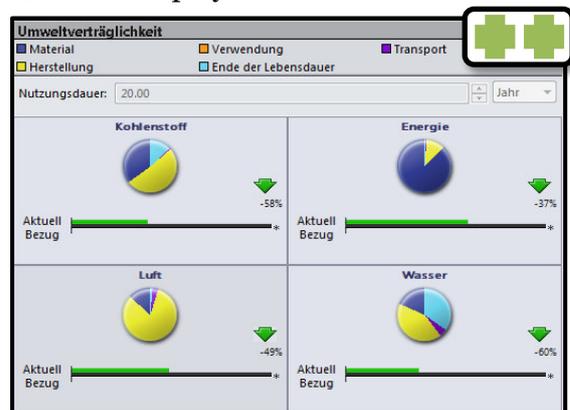
Beim Einsatz von Kunststoff können beide Materialien auf eine positivere Umweltverträglichkeit verweisen. Polypropylen ist laut der Software hierbei aufgrund der verbesserten Werte in allen Umweltkategorien zu bevorzugen. Zum Vergleich



a) PP- Homopolymer



b) ABS



c) PE mit hoher Dichte

Abbildung 4-8: Vergleich der Materialien mit dem Bezugsmodell Stahl

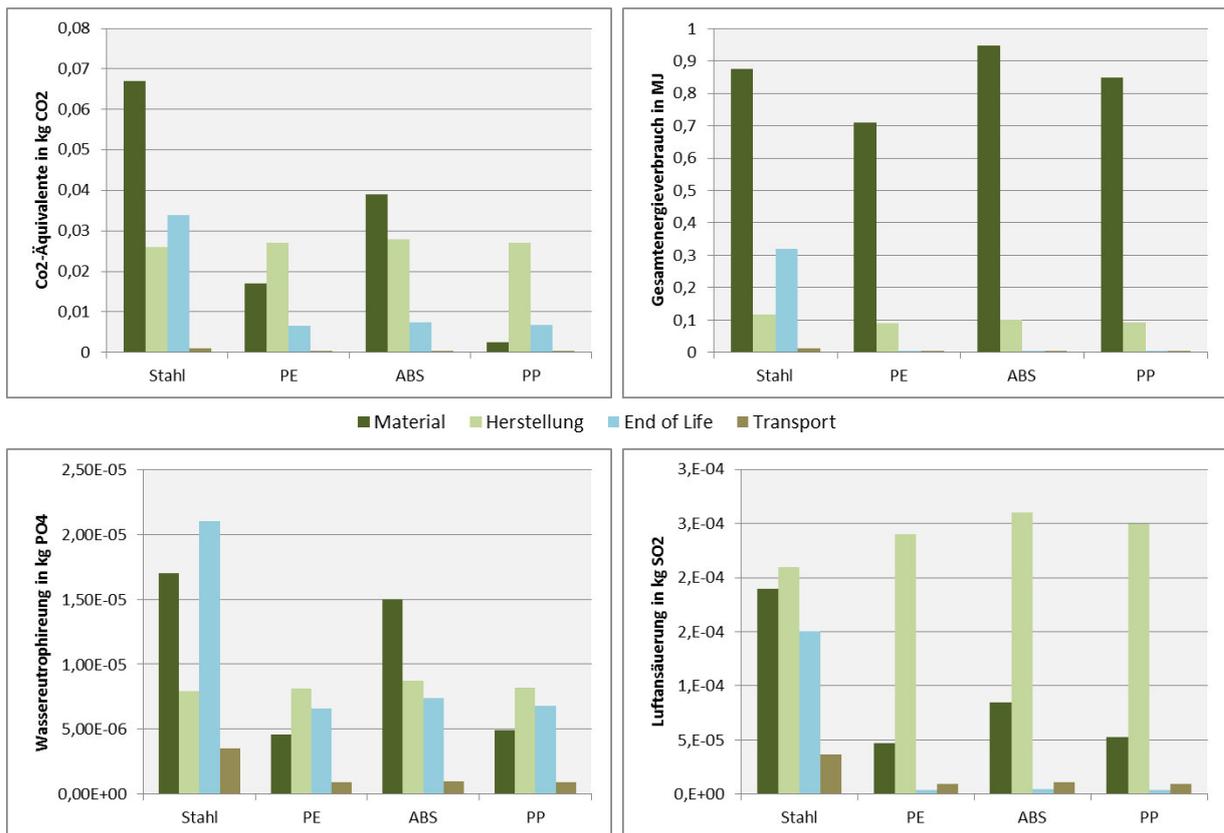


Abbildung 4-9: Verschiedene Kunststoffe im Vergleich zum Bezugsmaterial Stahl

wurde zudem der gängige und günstigere Kunststoff Polyethylen, welches ähnliche technische Eigenschaften wie das Polypropylen aufweist, zum Vergleich herangezogen.

Die Diagramme der Abbildung 4-8 zeigen durchweg eine positive Bilanz für die Kunststoffe. Deswegen lohnt sich ein detaillierter Blick auf die einzelnen Kategorien im Vergleich, der in der Abbildung 4-9 dargestellt ist. In fast allen Umweltkategorien zeigen die Kunststoffe in Bezug auf das Material eine bessere Bilanz, wobei PE und PP das größte Potential aufweisen. Bei der Herstellung sind nur geringe Abweichungen zwischen dem Referenzmodell und den alternativen Werkstoffen zu verzeichnen. Als besonders vorteilhaft scheinen die Kunststoffe zum Lebensende der Produkte zu sein (die Anteile an Recycling, Verbrennung und Deponierung sind für alle Werkstoffen entsprechen den von Sustainability angenommenen Standardwerten). Aufgrund des reduzierten Gewichts der Kunststoffvarianten sind die Auswirkungen des Transports im Vergleich zum Stahl reduziert. Für die Praxis ist jedoch eine genaue Recherche der realen Entsorgungswege zu empfehlen. Es ist allerdings zu beachten, dass die Kunststoffe in der Kategorie Luftansäuerung eine

schlechtere Bilanz aufweisen. Dies wird für den Anwender nicht auf den ersten Blick deutlich.

Die Möglichkeit die Ökobilanz durch Variation des Anteils an eingesetztem Sekundärmaterial zu verbessern, ist durch SolidWorks nicht gegeben.

Hölzer

SolidWorks bietet zwar mehrere Hölzer zur Auswahl an, es stehen aber nur Daten für Basal zur Verfügung (Eingangsparameter vgl. Tabelle 4-3). Auch bei Holz gibt Sustainability Standardannahmen an, die wie bei den anderen Materialien anzuzweifeln sind.

Tabelle 4-3: Eingangsparameter Basal

	Basal
<i>Recycelter Anteil *</i>	18%
<i>Gewicht</i>	2g
<i>Herstellung Region</i>	Asien
<i>Verarbeitung</i>	Benutzerdefiniert
<i>Herstellung Elektrischer Strom*</i>	0,14 kWh/g
<i>Herstellung Erdgas*</i>	1137,30 BTU/g
<i>Herstellung Ausschussrate*</i>	5,5%
<i>Verwendung Region</i>	Europa
<i>Transport (eigene Angabe)</i>	Schiff (12.000km)
<i>Recycling*</i>	25%
<i>Verbrennung*</i>	24%
<i>Deponie*</i>	51%

*Standard-Annahme von Sustainability

Es ergibt sich ein klarer Vorteil für das Holz in Bezug auf die Umweltverträglichkeit.

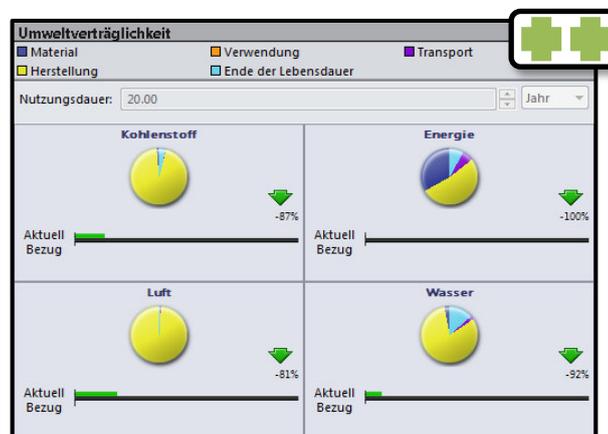


Abbildung 4-10: Umweltverträglichkeit von Basal im Vergleich zu Stahl

Neben den Vorteilen, dass die Verwendung vor allem durch einen geringen Energieaufwand und die potentiellen kurzen Transportwege gekennzeichnet ist (vgl. Abbildung 4-10), dürfen die Nachteile nicht außer Acht gelassen werden: Holz verfügt über eine geringere Lebensdauer; obwohl Hölzer sehr gute Eigenschaften im Bereich der Zugfestigkeiten entlang ihrer Faserrichtung aufweisen, so halten sie nur wenig Druck stand. Zudem streuen die Materialkennwerte stark aufgrund der natürlichen Wuchsbedingungen.

4.3.2 Optimierung durch Erhöhung des Recyclinganteils

Bei der bisherigen Betrachtung wurden stets Recyclingquoten, die vom Programm vorgegeben waren, von 25% angenommen. Durch die Erhöhung der Quoten lassen sich ebenfalls weitere Verbesserungen erzielen: Als Referenz für den Vergleich wurde wieder das erste Teleskoprohr mit einem Recyclinganteil von 25% herangezogen. Dadurch wird ersichtlich, dass allein durch die enorme Erhöhung der Recyclingquote bei Stahl die Umweltauswirkungen nicht nur bis zu 42% (Wassereutrophierung)

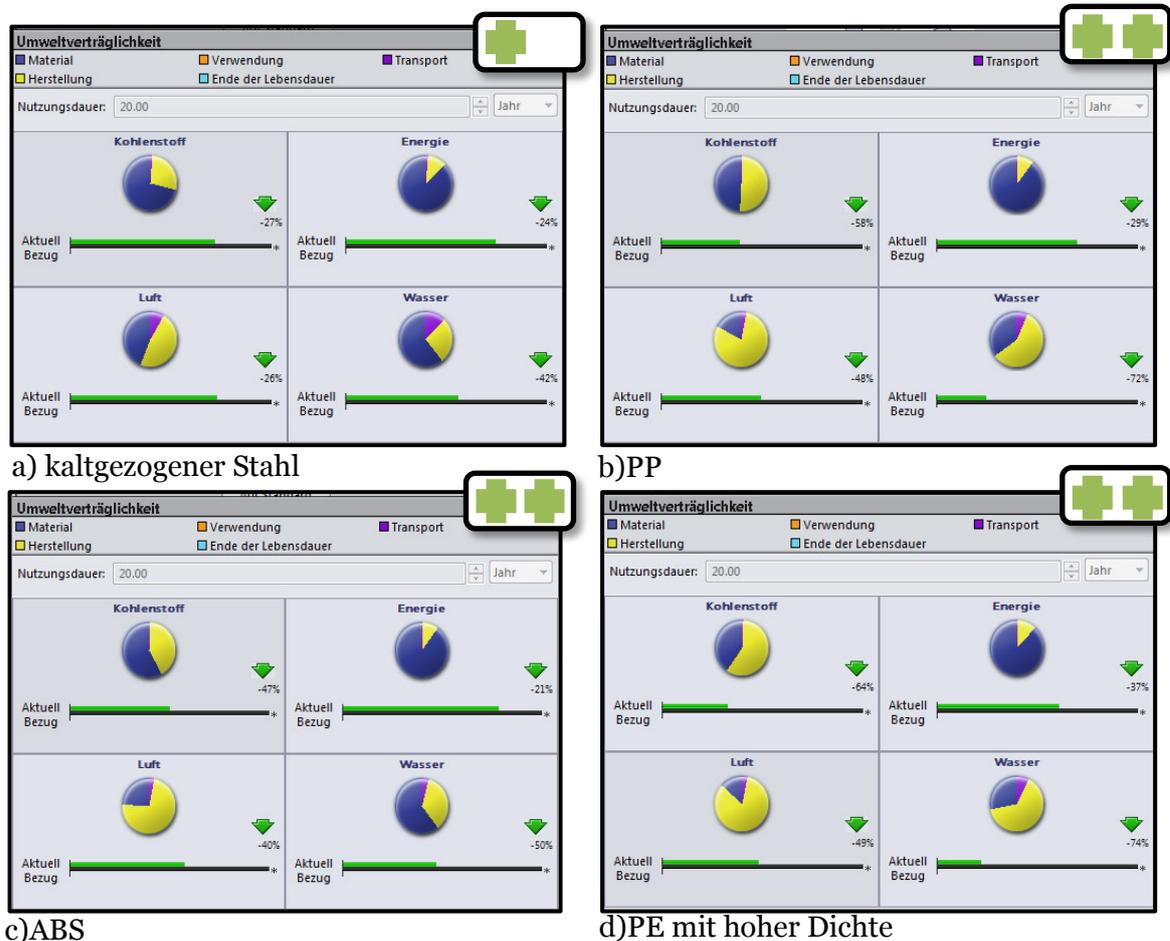


Abbildung 4-11: Vergleich des Recyclinganteils von 100% verschiedener Materialien zum Bezugsmodell mit einem Recyclinganteil von 25%

reduzieren lassen, sondern die Phase „Ende der Lebensdauer“ aus den Einflüssen entfällt. Durch den Einsatz von Kunststoffen ist sogar eine stärkere Reduktion zu vermerken. Diese Annahme ist jedoch auch stark vereinfacht, da das Recycling an sich ebenso einen Prozess darstellt, welcher durch den Einsatz von Hilfsmitteln und den Verbrauch von Energie für den Betrieb von Maschinen gekennzeichnet ist. Gleichermaßen müsste für eine exakte Modellierung eine weitere Transportkette berücksichtigt werden.

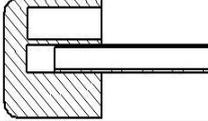
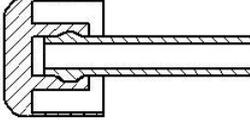
4.3.3 Optimierung durch den Einsatz weniger Materialien

Ein wesentlicher Fokus bei der Lösungsauswahl liegt auf den Einsatz einer geringen Materialvielfalt. Dieser Ansatz wird im Rahmen des modularen Ansatzes verfolgt und simuliert (vgl. Kapitel 4.3.4).

4.3.4 Optimierung durch Erhöhung der Lebens- und Nutzungsdauer

Ein generelles Ziel ist die Erhöhung der Lebensdauer des Produktes um folglich auch die Nutzungsphase auszuweiten. Die Nutzungsdauer beschreibt dabei die Zeitspanne, in der das Produkt verwendet wird. Die geplante Lebensdauer gibt den Zeitwert für die Lebenszeit des Produktes an.

Tabelle 4-4: Eingangsparameter der Bezugs-Baugruppe und der Ringschnappverbindung

	Klebeverbindung		Ringschnappverbindung	
*Standard-Annahme von Sustainability				
	<i>Griff</i>	<i>Stock</i>	<i>Griff</i>	<i>Stock</i>
<i>Material</i>	PP	Stahl	PP	PP
<i>Recycelter Anteil *</i>	0%	18%	0%	0%
<i>Gewicht</i>	27,36g	37,36g	21,29g	15,76g
<i>Herstellung Region</i>	Asien		Asien	
<i>Verarbeitung</i>	Spritzguss	Extrusion	Spritzguss	Extrusion
<i>Herstellung elektrischer Strom*</i>	1,85 kWh/g	0,14 kWh/g	1,85 kWh/g	0,77 kWh/g
<i>Herstellung Erdgas*</i>	0,00 BTU/g	1137,3 BTU/g	0,00 BTU/g	406,6 BTU/g
<i>Herstellung Ausschussrate*</i>	2%	5,5%	2%	0,5%
<i>Verwendung Region</i>	Europa		Europa	
<i>Transport (eigene Angabe)</i>	12.000km (Schiff)		12.000km (Schiff)	
<i>Recycling*</i>	25%		25%	
<i>Verbrennung*</i>	24%		24%	
<i>Deponie*</i>	51%		51%	

Das Programm berechnet anschließend, welche Menge des Produkts über die Nutzungsdauer benötigt wird, indem der Wert für die Nutzungsdauer mit der geplanten Lebensdauer ins Verhältnis gesetzt wird. Die verbleibenden Nachhaltigkeitsergebnisse werden mit dieser Zahl multipliziert.

Durch den Ansatz der Modularität, der einen einfachen Austausch von Komponenten ermöglicht, kann die Nutzungsdauer der weiterhin verwendeten Teile des Produktes gesteigert werden. Dies soll anhand der Ringschnappverbindung zwischen Griff und Stock simuliert und mit der Bezugsbaugruppe (Klebeverbindung) verglichen werden (vgl. Tabelle 4-4).

Der Vorteil der Modularität besteht darin, dass keine unlösbare Klebeverbindung eingesetzt werden muss. Bei der Betrachtung der einzelnen Umweltkategorien fällt allerdings auf, dass die Kunststoffvariante der Ringschnappverbindung wesentlich schlechter ausfällt als vermutet, obwohl bei der Analyse des Teleskopstabes die Kunststoffvarianten sich größtenteils als vorteilhaft dargestellt haben (vgl. Abbildung 4-12). Eine Verbesserung der Werte ist durch eine exaktere Auslegung der Bauteile,

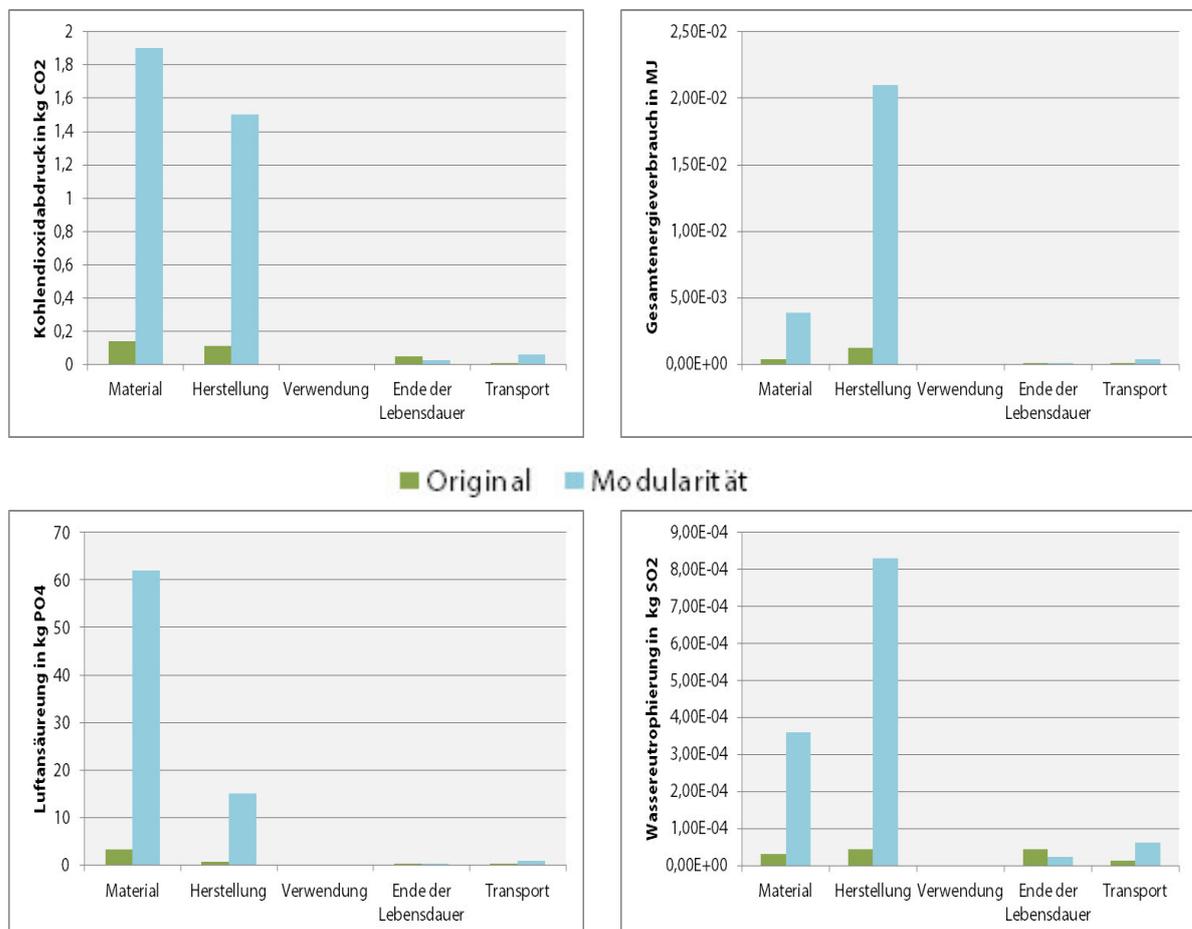


Abbildung 4-12: Auswertung der Umweltverträglichkeiten des modularen Ansatzes im Vergleich zum Stahl

indem die Wandstärken gezielt in Abhängigkeit der Materialeigenschaften und der Anwendung angepasst werden, möglich. Durch Erhöhung der Recyclingquote reduzieren können die negativen Impacts vor allem zum Lebensende des Produktes und fördert gleichermaßen den Einsatz von Sekundärmaterial.

5 Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Integration der Nachhaltigkeit in den Entwicklungsprozess stellt die Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen vor vielen neuen Aufgaben, die sowohl auf Unternehmens- als auch auf Abteilungsebene akzeptiert und in die alltäglichen Entwicklungstätigkeiten umgesetzt werden müssen. Hierfür existieren bereits zahlreiche Methoden und Instrumente, die die Umsetzung erleichtern sollen. Eine Auswahl wurde bereits im Kapitel 2.2.2 vorgestellt.

5.1 Entwurf eines erweiterten ökologischen Vorgehensmodells

5.1.1 Priorisierung der Planungsphase

Aufgrund der Tatsache, dass mit der Planungsphase eines Produktes alle weiteren Produkteigenschaften und Umweltauswirkungen festgelegt werden, wurde diese im ersten Schritt der Entwicklungstätigkeiten für einen nachhaltigen Regenschirm fokussiert. In Anlehnung an den Produktentwicklungsprozess nach der *VDI-Richtlinie 2221* wurde hierfür ein Modell entworfen, in dem parallel zur Analyse der allgemeinen Anforderungen ein Referenzprodukt mit gleichen technologischen und ökonomischen Eigenschaften herangezogen wird. Ziel dieser Untersuchung war die Ermittlung der Produkteigenschaften und Umweltprobleme anhand eines Eigenschaftsprofils von einem handelsüblichen Regenschirm. Eine Übersicht über die einzelnen durchgeführten Arbeitsschritte ist der Abbildung 5-1 zu entnehmen.

Für die Analyse des Referenzproduktes wurde eine *ecoProdukt*-Checkliste erstellt. Sie erwies sich für die systematische Beantwortung aller technologischen, ökonomischen und ökologischen Fragestellungen gerade in Hinblick auf die persönlichen Interviews als sehr hilfreich. Da nicht alle Informationen bereitgestellt werden konnten, wurden zum Beispiel für die Bestimmung des Materials einerseits Annahmen getroffen und andererseits vereinfachte Analysetests durchgeführt. Im Rahmen einer abgewandelten Funktionsanalyse konnten im weiteren Verlauf die primären und sekundären Funktionen ermittelt werden, die zu einem verbesserten Verständnis der einzelnen Bestandteile des Produktes führte. Die Checkliste stellt also die Grundlage für die Analyse des Referenzproduktes dar und kann als allgemeingültiges Dokument in der Unternehmenspraxis eingesetzt werden. Zudem kann im Rahmen des Wissensmanagements für das Unternehmen der Fragenkatalog als wichtige Datenbank für äquivalente Produkte dienen.

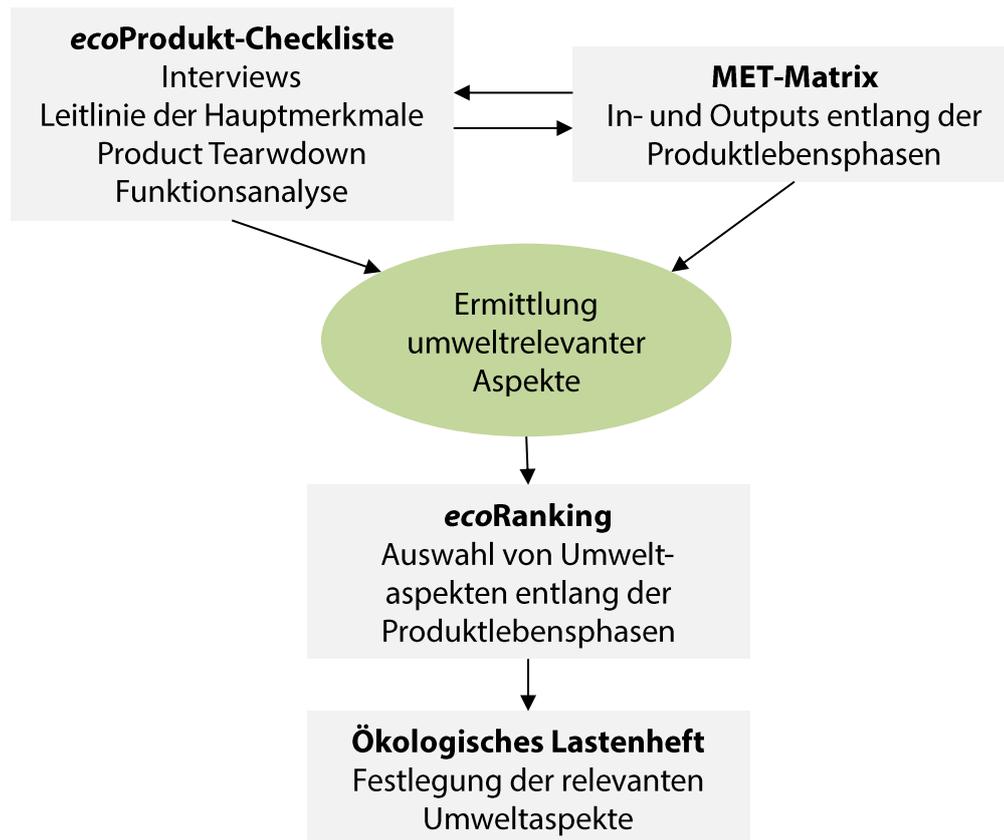


Abbildung 5-1: Übersicht der Vorgehensweise beim Ermitteln von umweltrelevanten Aspekten des Referenzproduktes

Die einzelnen Umwelteffekte wurden mit der MET-Matrix, wobei alle In- und Outputs der einzelnen Lebensphasen erfasst worden sind, analysiert. Für einen ersten umfassenden Überblick stellt die Matrix ein hilfreiches Instrument zur Identifizierung von negativen Umweltimpacts dar.

In Anlehnung an die Designprinzipien von BURSCHEL [41] wurde für die einzelnen Lebensphasen des Referenzproduktes ein Ranking durchgeführt, um die maßgeblichen Designstrategien für die künftige Entwicklungstätigkeit zu bestimmen. Die Faktoren für das Ranking werden nach subjektiver Einschätzung vergeben. Als Resultat erhält der Anwender eine gewichtete Priorisierung von Designprinzipien, die im weiteren Verlauf für die Auswahl der Lösungsprinzipien noch einen entscheidenden Beitrag leisten werden und im ökologischen Lastenheft festzuhalten sind. Aufgrund des subjektiven Charakters dieser Methode werden die Lösungen anwenderspezifisch voneinander stark abweichen. Deshalb ist an dieser Stelle anzuraten, im Rahmen weiterer Forschungen die Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess in Zusammenhang mit der Unternehmensstruktur

zu untersuchen. Dennoch stellt es einen guten Ansatz dar, um eine erste Orientierung für die Optimierung des Produktes zu erhalten.

5.1.2 Finden von Lösungsprinzipien in der Konzeptionsphase

Anhand der zuvor ausgewählten Kriterien wurden prinzipielle Ansätze für einen ökologischen Regenschirm ermittelt und in einem Lösungskatalog zusammengetragen. Um einen möglichst großen Lösungsraum zu erzielen, wurden die Lösungsideen entlang der einzelnen Produktlebensphasen gesammelt, sodass sowohl technologische als auch den Kunden integrierende Lösungen generiert worden sind. Diese können als weitere Ansätze für die Umsetzung von Nachhaltigkeitsstrategien im Unternehmen festgehalten werden. Auf diese Weise kann eine weitere Stärkung der Marktposition durch alternative Konzepte erreicht werden. Demzufolge wurde ein großer Lösungsraum geschaffen, den auf eine übersichtliche Auswahl ab weiterzuverfolgenden Ideen einzugrenzen gilt. Jede der einzelnen 55 Lösungsideen wurde dabei in Anlehnung an die Nutzwertanalyse mit den konkreten Zielen aus dem Ranking mittels gewichteter Bewertungskriterien (Langlebigkeit, Abfallvermeidung, Entsorgungsgerechtigkeit, Materialgerechtigkeit) sowie dem Kriterium der Realisierbarkeit bewertet und ausgewählt. Das Kriterium der Realisierbarkeit bezieht sich auf die internen (z.B. Unternehmensstruktur und –

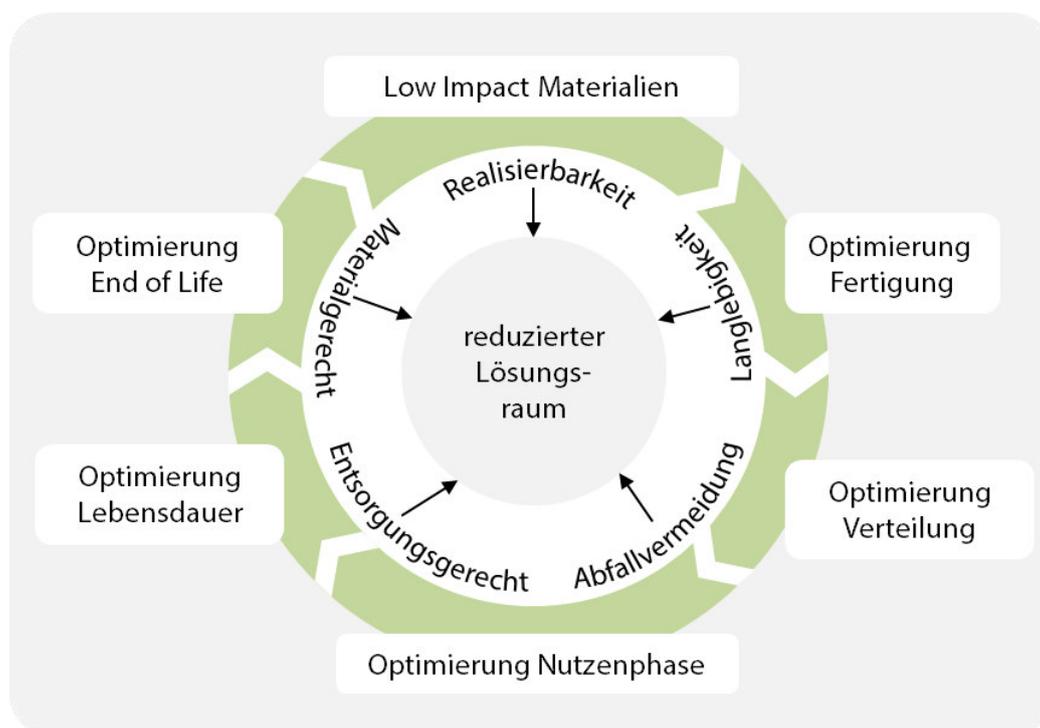


Abbildung 5-2: Reduktion des Lösungsraums entlang der Lebensphasen eines Produktes in der Konzeptionsphase

leitbild, Akzeptanz innerhalb der Abteilung, Entscheidungshierarchien, Innovationsgrad) und externen (z.B. Materialverfügbarkeit, Stand der Technik, Dienstleistungsbetriebe) Umstände, denen sich der Anwender gegenüber sieht, und wurde mit dem höchsten Gewichtungsfaktor versehen. Da im Falle der vorliegenden Arbeit das Praxisbeispiel jedoch nur zur Veranschaulichung der Vorgehensweise dienen sollte, wurden Lösungen, die

- zu komplex
- den technologischen Rahmen der Arbeit übersteigen
- den Kunden in das Lösungsprinzip einbinden

als gering bis gar nicht realisierbar eingestuft. Die weiteren Kriterien wurden entsprechend dem Ranking abstufend gewichtet. Entfällt eine Lösungsidee auf noch mindestens eine weitere nicht den konkreten ausgewählten Designstrategien so wurde diese mit dem geringsten Gewichtungsfaktor berücksichtigt. Somit konnte der Lösungsraum erheblich auf eine überschaubare Auswahl eingegrenzt werden (vgl. Abbildung 5-2). Die wesentlichen Lösungsideen sind in der Tabelle 5-1 aufgelistet.

Tabelle 5-1: Darstellung der wichtigsten Lösungskonzepte

Kategorie	Konzept	Idee
Low Impact Materials	Recyclbare Materialien	Einsatz weniger Materialien
		Meidung schlecht trennbarer Materialien
Optimierung Nutzenphase	Geringer Energieverbrauch	Manuelle Betätigung (kein Akkubetrieb für Kraftersparnis)
Optimierung Lebensdauer	Reparatur und Wartung	Lösbare Verbindungen
		Fokussierung auf die wesentlichen Kernfunktionen
	Modulares Design	Verbesserung der Zugänglichkeit der Komponenten und folglich der Reparierbarkeit
		Ermöglichung eines zeitloses Design durch einfachen Austausch von Komponenten

Im Hinblick auf die Modularität schloss sich eine weitere Lösungsfindungsphase an. Dies fand am Beispiel der Verbindung zwischen Stock und Griff statt, wobei die Ringschnappverbindung den anderen mechanischen Lösungskonzepten vorzuziehen ist. Diese wurde jedoch nur exemplarisch modelliert. Eine exakte Auslegung ist in

weiteren Arbeitsschritten gemäß der Material-, Funktions- und Fertigungseigenschaften fortzuführen.

5.2 Auswertung der Lösungsentwürfe mit SolidWorks Sustainability

In den darauffolgenden Kapiteln wurden die Konzepte in der Entwurfsphase unter Verwendung der Software SolidWorks modelliert und mit dem softwareeigenem Tool Sustainability ausgewertet, wobei nicht alle ausgewählten Lösungsvarianten aus der Konzeptionsphase berücksichtigt werden konnten. Diese wären im Rahmen der täglichen Entwicklungstätigkeiten in der Praxis zu prüfen und zu realisieren.

5.2.1 Analyse des Referenzproduktes

Zunächst wurde hierfür das Referenzprodukt bis auf das Gestänge und die Bespannung auf die Umweltverträglichkeit geprüft. Hierbei hat sich herausgestellt, dass die Komponenten mit dem größten Gewichtsanteil die größten Umweltauswirkungen aufweisen (vgl. Abbildung 5-3). Den größten Einfluss übt

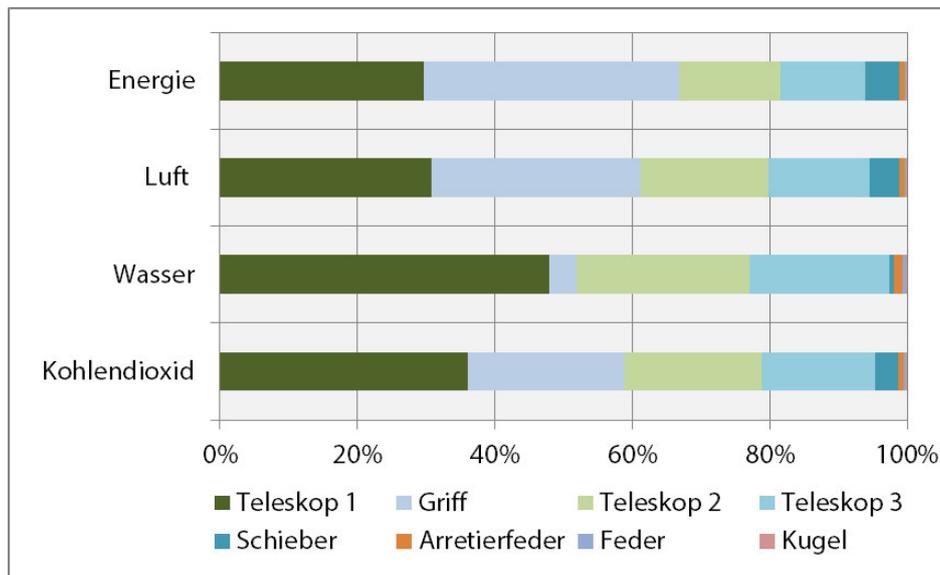


Abbildung 5-3: Darstellung der Komponenten mit den größten negativen Umweltauswirkungen

dementsprechend auch das Material sowie der Herstellungsprozess aus. Das Fügeverfahren konnte aufgrund der Beschränkung des Programmes nicht berücksichtigt werden. Aufgrund der Tatsache, dass der Regenschirm größtenteils manuell montiert wird, werden diese von geringer Relevanz sein. Allerdings kann der Einsatz von Klebstoffen sich negativ auf die Umweltbilanzierung auswirken, da

einerseits die Inhaltsstoffe als auch die für die Demontage notwendigen Lösemittel als weitere Eingangsparameter in die Ökobilanz einfließen.

5.2.2 Analyse weiterer Optimierungsparameter

Anschließend erfolgte die Optimierung vereinzelter Eingangsparameter für das Modell. Bei dem Referenzprodukt stellte sich der Teleskopstab als die Komponente mit den größten Umweltwirkungen heraus und diente daher bei der Untersuchung der einzelnen Parameter als Untersuchungsbasis.

Auswertung der Materialvariationen

Zunächst wurden die Umweltwirkungen des Teleskopstabes für unterschiedliche Materialien untersucht. Die Materialauswahl ist jedoch auf den dargebotenen Materialkatalog beschränkt. Für die Untersuchung der Kunststoffe und des Holzes wurde ein separates Modell mit angepassten Durchmessern erstellt um einen realistischeren Bezug zu erhalten. Das Modell wurde aus Plausibilitätsgründen mit der SolidWorks internen Software Simulation einer kurzen Überprüfung auf Druckkräfte unterzogen. Für den Vergleich wurde der Bezug des Basis-Teleskopstabes importiert. Da in der Analysephase keine exakte Materialbestimmung des Referenzproduktes möglich war, basiert die Modellierung auf Annahmen, die in der alltäglichen Konstruktionspraxis durch detailliertere Kenntnisse über das Produkt ersetzt werden müssen. Die Abbildung 5-4 zeigt die Auswertungsergebnisse der untersuchten Materialien Stahl, Aluminium, PE, ABS und PP in Bezug auf die verschiedenen Umweltverträglichkeitskategorien. In der Abbildung werden alle Lebensphasen zusammengefasst. Die Auswahl der Materialien erfolgte unter dem Gesichtspunkt, dass diese üblicherweise bei Regenschirmen eingesetzt werden. Verbundmaterialien wurden aus zwei Gründen nicht betrachtet: einerseits widerspricht der Einsatz einem ökologischen Produkt aufgrund der schlechten Separierbarkeit und andererseits ist die Analyse der Materialien auf den von der Software zur Verfügung gestellten Materialkatalog eingeschränkt. Aus diesem Grund konnten auch keine biologisch (abbaubaren) Thermoplaste berücksichtigt werden. Entgegen der standardmäßigen Werkstoffe, die im Maschinenbau eingesetzt werden, wurde jedoch beispielhaft Basal als Vertreter für die Werkstoffkategorie Hölzer untersucht.

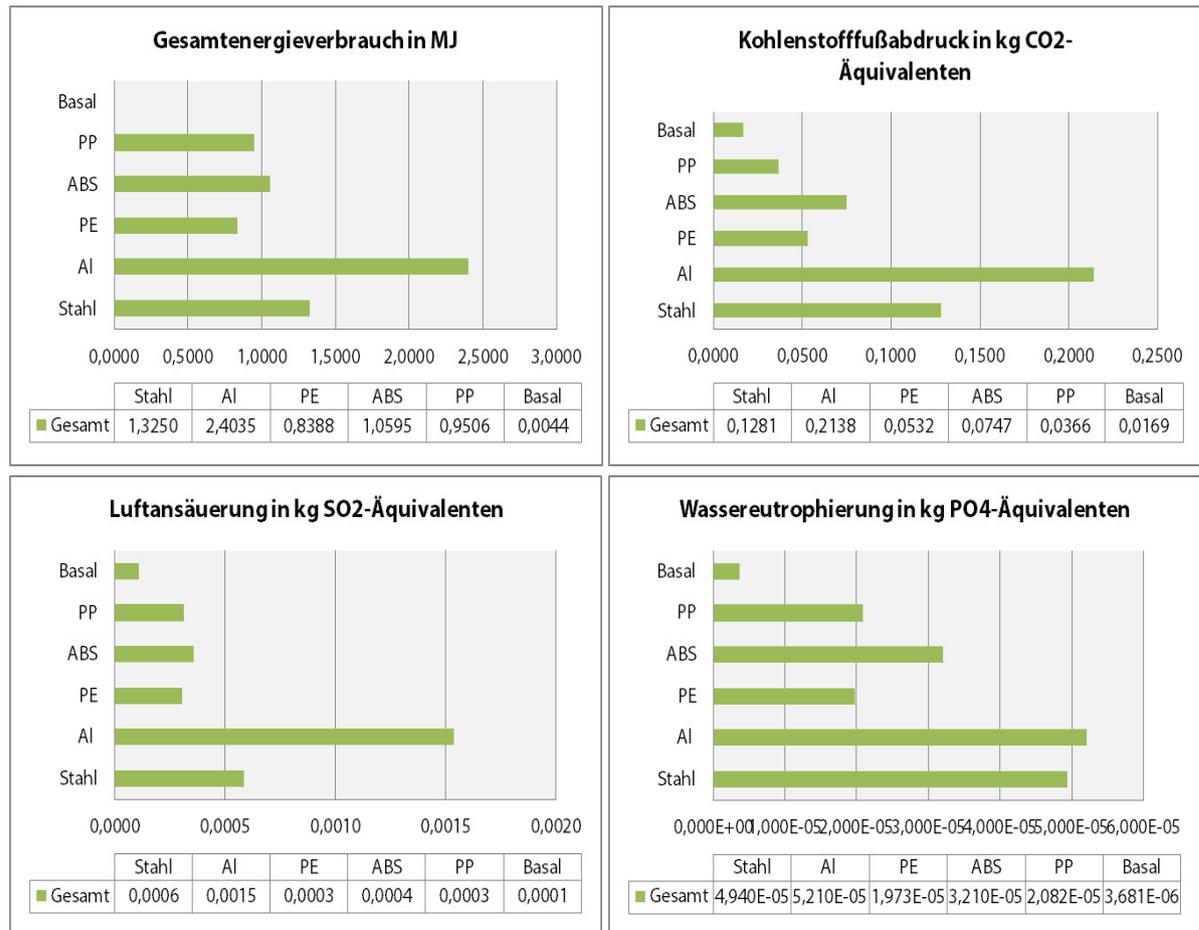


Abbildung 5-4: Auswertung der Umweltwirkungen verschiedener Materialien im Vergleich

Es ist ersichtlich, dass die Verwendung der Aluminiumlegierung sich negativ von den anderen betrachteten Materialien bei der Produktion der Rohstoffe abhebt. Dies mag unter

anderem dem Umstand geschuldet sein, dass Sustainability einen Sekundäranteil von 0% annimmt im Vergleich zum Stahl mit einem Anteil von 18%. Des Weiteren ist die Herstellung von Aluminium ein Prozess, der sich vor allem durch seinen hohen Gesamtenergieverbrauch auszeichnet. Die Kunststoffe PE, PP und ABS weichen in allen Kategorien kaum voneinander ab und können bei der Betrachtung der gesamten Auswirkungen auf eine bessere Bilanz verweisen als Stahl. Die beste Umweltbilanzierung ist durch das Holz Basal gegeben. In allen Umweltkategorien sind erheblich verbesserte Werte zu verzeichnen, insbesondere beim Gesamtenergieverbrauch.

Nach der Betrachtung der Gesamtauswirkungen, soll noch einmal der Blick auf die Umweltkategorien gerichtet werden, um die verursachenden Lebensphasen herauszustellen (vgl. Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6).

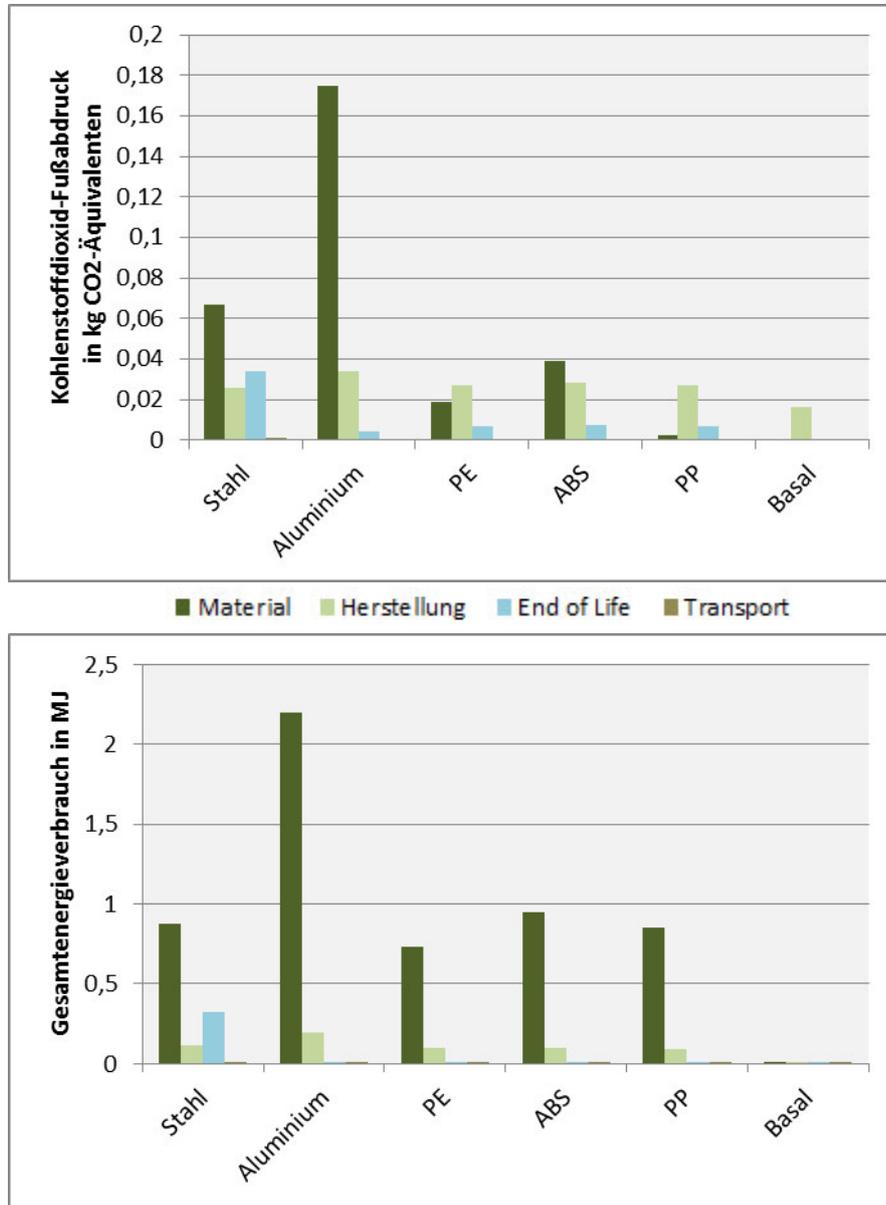


Abbildung 5-5: Auswertung der Umweltverträglichkeiten Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck und Gesamtenergieverbrauch verschiedener Materialien im Vergleich

Beim Gesamtenergieverbrauch gehen die größten Verbräuche vom Material aus, wobei Stahl und die Kunststoffe keinen großen Unterschied aufweisen. Im Vergleich zu den anderen Werkstoffen verbraucht Basal aufgrund seiner natürlichen Verfügbarkeit in der Lebensphase der Rohstoffbereitstellung nahezu keine Energie. Ebenso entfällt ein aufwendiger energetischer Verwertungsprozess beim Recycling –

vorausgesetzt das Holz wurde nicht zusätzlich chemisch aufbereitet oder mit Lacken, Anstrichen etc. behandelt.

Bei der Betrachtung der Kunststoffe fällt auf, dass ihre Umweltwirkungen sich bei allen Umweltkategorien in der Lebensphase Herstellung gleichen. Das liegt daran,

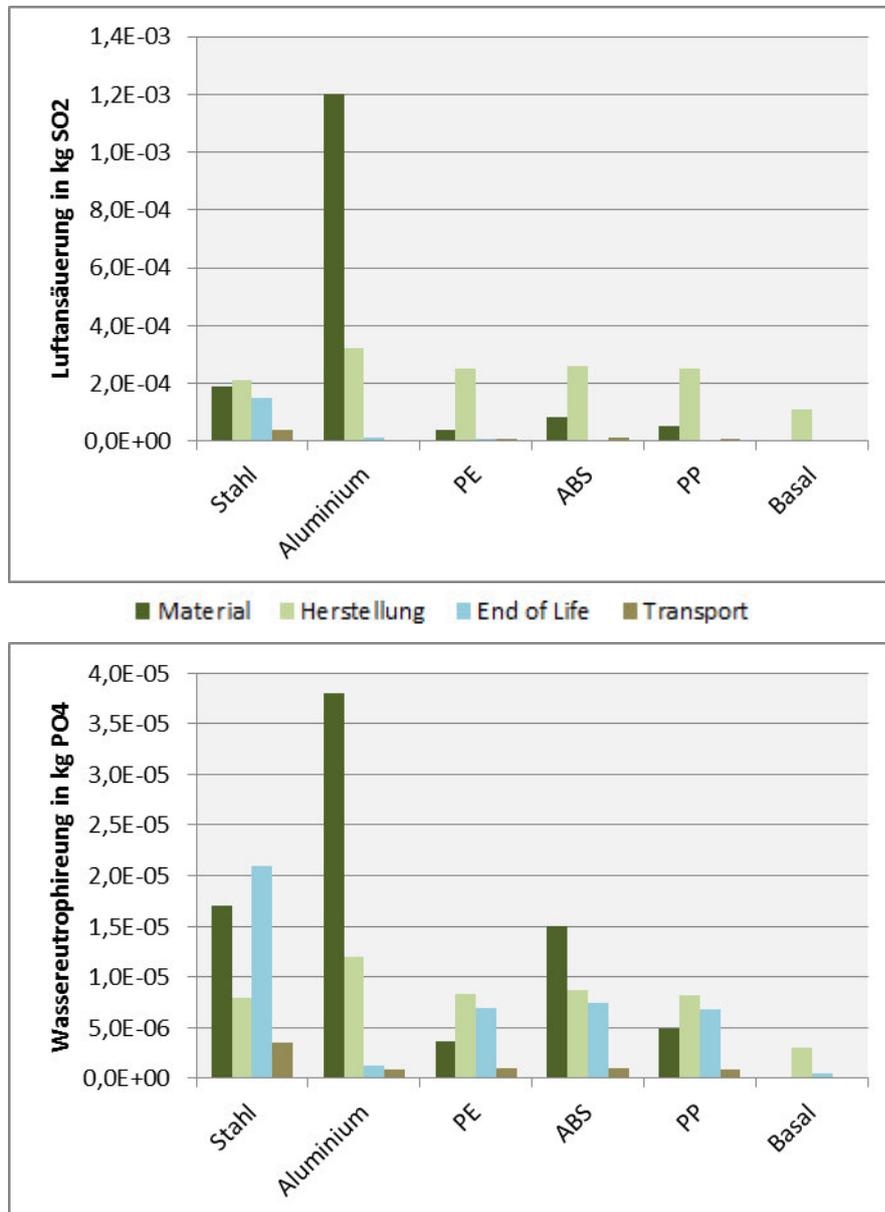


Abbildung 5-6: Auswertung der Umweltverträglichkeiten Luftansäuerung und Wassereutrophierung verschiedener Materialien im Vergleich

dass für alle Kunststoffe das gleiche Fertigungsverfahren ausgewählt und von Sustainability unabhängig vom Material die gleichen Verbrauchswerte bezüglich Strom und Gas angenommen worden sind. Den öffentlich zugänglichen Datenbanken wie z.B. ProBas des Umweltbundesamtes [45] sind zwar Werte für die Herstellung

der jeweiligen Stoffe zu entnehmen, zum Fertigungsverfahren Extrusion konnten jedoch keine Vergleichswerte herangezogen werden. Des Weiteren fällt auf, dass ebenfalls die emittierten Luftschadstoffe sich stark ähneln. Nach Aussagen der ProBas Datenbank beträgt jedoch allein der Unterschied bei der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) im Herstellungsprozess 2kg pro Tonne Material. Eine genaue Analyse der Datengrundlage ist jedoch nicht möglich. Trotz gleicher Verteilungsraten am Ende des Lebens fällt die Bilanz für Kunststoffe erheblich schlechter aus als bei Stahl. Zudem ist zu beachten, dass nach dem Recycling meist nur ein minderwertiges Recyclat entsteht. Aufgrund des hohen Heizwertes ist daher insbesondere beim Polyethylen eine energetische Verwertung vorzuziehen. Dies wirkt sich jedoch kaum in der Auswertung der Umweltkategorien aus. In Hinblick auf eine Konstruktion, die sich durch eine geringe Materialvielfalt auszeichnet und folglich das Recycling stützt, ist die Variante eines Regenschirms vollständig aus Kunststoff, insbesondere Polypropylen, in Betracht zu ziehen.

Betrachtung des modularen Ansatzes

Der modulare Ansatz diente als methodische Ergänzung für die Ermittlung von nachhaltigen Lösungsstrategien. Hierfür wurde im Rahmen der gängigen Konstruktionspraxis eine Ringschnappverbindung aus Kunststoff mit Materialpartnern gleicher Steifigkeit ausgewählt. Ringschnappverbindungen kommen in einer Vielzahl von Alltagsanwendungen zum Einsatz. Dadurch ist die Werkstoffauswahl auf Materialien mit hohen Elastizitätsgrenzen eingeschränkt. Bei der Auswertung mit Sustainability hat sich die Ringschnappverbindung als wenig vorteilhaft erwiesen – v.a. im Energieverbrauch. Als maßgeblichen Baustein konnte hierfür der Griff ermittelt werden, der im Spritzgussverfahren mit 32 MJ einen erheblichen Beitrag zum Gesamtenergieverbrauch leistet.

Die soeben beschriebenen negativen Umweltwirkungen beziehen sich allerdings rein auf die Materialdatenbank von SolidWorks. Es wird hierbei nicht berücksichtigt, dass der modulare Ansatz das Ziel verfolgt, dem Produkt weitere positive Eigenschaften zuzuweisen, die mit Sustainability nicht abzubilden sind:

- zeitloses Design durch einfachen Austausch von Komponenten
- Verbesserung der Wartbarkeit und Instandhaltung
- Erleichterung der Reparierbarkeit u.a.

Bei der Referenzbaugruppe handelt es sich um eine nicht/ schlecht lösbare Klebeverbindung. Diese konnte in dem Referenzmodell ebenfalls nicht angegeben werden, sodass ein zusätzlicher negativer Impact durch ebendiese in der Bilanzierung vernachlässigt worden ist.

5.2.3 Bewertung des Einsatzes von SolidWorks Sustainability

Mit dem zusätzlichen Tool Sustainability hat SolidWorks ein Instrument geschaffen, mit dem der Anwender schnell einen Überblick über die Umweltauswirkungen seiner Konstruktion erhält. Hierfür unterscheidet die Software zwischen der eingeschränkten SustainabilityXpress-Version und der Premiumversion. In der Premiumversion ist es dem Anwender möglich durch eigene benutzerspezifische Eingaben die Auswertung der Konstruktion stärker zu beeinflussen sowie Baugruppen zu untersuchen. Die manuelle Eingabe von Werten fordert vom ungeübten Anwender ein zusätzliches Wissen über die Eingangsparameter. Allerdings ist für eine tiefergehende Analyse der Konstruktion – soll sie beispielsweise als Kommunikationsmedium für den Kunden dienen - eine theoretische Auseinandersetzung mit dem Bereich der Ökobilanzierung, die in Kapitel 2.2.3 ausführlich behandelt worden ist, unerlässlich.

Im Zuge der Anwendung und der Auswertung des Programms sind neben den Vorteilen auch einige Schwachpunkte hervorgestochen, die im Folgenden nur in Kürze dargestellt werden sollen:

- Eingeschränkte Materialdatenbank: relativ kleine Auswahl an Werkstoffen; es werden v.a. keine neueren Werkstoffe wie beispielsweise biologisch abbaubare Polymere angeboten
- bei der Baugruppenanalyse können Montage- und Fügeprozesse nicht berücksichtigt werden
- fragliche Standardannahmen: äquivalente Entsorgungswege und deren Realitätsbezug bezweifelt werden darf; ebenso verhält es sich mit den Sekundärrohstoffanteilen
- Sekundärrohstoffanteile können vom Anwender nicht variiert werden
- Ausführliche Interpretation der Daten wird erschwert durch die Intransparenz des Programms: unbekanntes Allokationsverfahren, Datenherkunft

- Umständliches Handling der Bezugsreferenzen führt zu fehlerhaften Auswertungen
- Diagramme des Dashboards verleiten den Anwender zu einer schnellen Prognose, die bei einer Auswertung des Reports evtl. revidiert werden kann/muss

Trotz der bisherigen Mängel ist positiv festzuhalten, dass durch die Integration eines Nachhaltigkeits-Tools die Konstruktionsabteilungen sensibilisiert werden und die Angst vor den neuen Herausforderungen herabsenken können. Einfache Betrachtungen sind mit der Software innerhalb weniger Schritte durchgeführt. Durch die Baugruppenanalyse können zudem Komponenten ermittelt werden, die die größten Umweltauswirkungen aufweisen und durch Optimierungsmaßnahmen verbessert werden können. Durch das Dashboard erhält der Anwender auch eine direkte grafische Auswertung, die es im Anschluss genauer zu analysieren gilt. Zusammenfassend ist Sustainability für eine erste Abschätzung sehr gut geeignet, bedarf aber weiterer grundlegender Überlegungen des Anwenders.

5.2.4 Zusammenfassung

Anhand eines Praxisbeispiels wurde ein mögliches Vorgehen für die Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess aufgezeigt. Auf Grundlage der Planungsphase, in der eine ausführliche Analyse des Referenzproduktes stattgefunden hat, wurden anschließend in der Konzeptionsphase verschiedene Lösungskonzepte generiert und systematisch ausgewählt. Die Lösungsprinzipien wurden mit der CAD-Software SolidWorks Sustainability exemplarisch umgesetzt und auf die Umweltverträglichkeit in den Umweltkategorien Kohlenstoff-Fußabdruck, Wassereutrophierung, Gesamtenergiebedarf sowie Luftansäuerung in Bezug auf das Referenzmodell bewertet.

Es hat sich hierbei herausgestellt, dass Aluminium in allen Kategorien das Produkt aus ökologischer Sicht verschlechtern würde. Kunststoffe hingegen sind für eine Materialsubstitution geeignet, bedürfen aber weiterer konstruktiver Auslegungen und Überprüfungen.

Wird bei der Optimierung der Fokus lediglich auf umweltverträgliche Materialien gesetzt, so ist eindeutig die Variante aus Holz zu bevorzugen, da hier kaum negative Umweltauswirkungen auftreten. Allerdings sind auch hier sowohl die technologischen Parameter als auch die ökonomischen Faktoren aufgrund des

anisotropen Materials und der hohen Materialkennwertestreuung detailliert zu prüfen. Als Nachteil erweist sich zudem, dass der Ansatz der Modularität beim derzeitigen Stand der Technik in der Holzbearbeitung nicht gewährleistet werden kann. Durch den modularen Aufbau können jedoch Reparaturen ohne großen Aufwand aufgrund der erleichterten Demontage durchgeführt werden und folglich Ressourcen geschont werden.

Aufgrund der zahlreichen Designstrategien kann keine pauschale Aussage über den optimalen Regenschirm getroffen werden. Es liegt an dieser Stelle am Unternehmen, welcher Strategie in Abhängigkeit vom Produkt und seinem Nutzen der Vorrang gegeben werden soll.

6 Ausblick und Schlussbetrachtung

6.1 Schlussbetrachtung

Das Umfeld der Unternehmen ist geprägt durch zahlreiche dynamische Veränderungen, die miteinander in Wechselwirkung stehen: die fortschreitende Globalisierung, ungleiche (Lebens-)Standards, der Verbrauch natürlicher Ressourcen u.v.m. Dabei entstehen viele Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung, über die Produktplanung und –entwicklung, der Fertigung bis hin zur Nutzung und Entsorgung.

Die nachhaltige Produktentwicklung, die in der vorliegenden Arbeit theoretisch und anwendungsorientiert beleuchtet worden ist, bietet hierfür einen vielversprechenden Ansatz zur nachhaltigen Entwicklung und zur Erfüllung deren Ziele. Insbesondere die Entwicklungsabteilungen der Unternehmen nehmen eine tragende Rolle ein, indem sie bereits in der Planungsphase die Umweltauswirkungen des Produktes während des Lebenszyklus einbeziehen. Vor diesem Hintergrund wurde eine Vielzahl an Methoden und Instrumenten entwickelt, die sowohl bereits existieren als auch im Rahmen dieser Masterthesis entstanden sind. Die Ziele sind somit auch ohne große strukturelle und organisatorische Veränderungen im Unternehmen umsetzbar. Auch große Unternehmen wie Siemens und BMW bauen ihre Bestrebungen hinsichtlich eines vorsorgenden Umweltschutzes aus und sehen die Nachhaltigkeit längst als eine Notwendigkeit an: zum einen für den integrativen Umweltschutz und zum anderen für das verbesserte Unternehmensimage mit dem neue Kunden angezogen werden können.

Neben den steigenden Herausforderungen können durch die gezielten Maßnahmen Material- und Kosteneinsparungen als zusätzlicher Antriebsmotor für die Integration der Nachhaltigkeit gesehen werden. Aufgrund der Erschließung des neuen Themenfeldes umweltverträgliche Produktentwicklung bietet sich die Möglichkeit für Unternehmen, diese ebenso als Katalysator für neue Bestrebungen zu nutzen und die Unternehmensposition durch zusätzliche Dienstleistungen zu erweitern (z.B. Reparaturdienstleistungen, Rücknahmesysteme von Verpackungen, Leihsysteme).

Der Begriff der nachhaltigen Entwicklung fordert also einen Prozess, der alle Akteure (Produzenten, Dienstleister, Kunden, Endverbraucher) im Rahmen eines lebensphasenübergreifenden Denkens durch die Vereinigung der wesentlichen Aspekte Effizienz, Konsistenz und Suffizienz in die Verantwortung nimmt.

6.2 Ausblick

6.2.1 Die radikale Philosophie des Cradle to Cradle

Neben den vorgestellten Ansätzen soll abschließend die Philosophie des Cradle-to-Cradle-Prinzips vorgestellt werden. Seit der Gründung der „Environmental Protection Encouragement Agency“ (EPEA) durch Michael Braungart im Jahr 1987 wird Schritt für Schritt an dem grundsätzlichen Prinzip und der damit zusammenhängenden Designregeln gearbeitet. Hinter dem Begriff verbirgt sich dabei die Idee, von Beginn an in kompletten Produktkreisläufen zu denken und folglich im herkömmlichen Sinne keinen Müll zu produzieren („von der Wiege bis Wiege“). Dies bedeutet ebenso, dass Begrifflichkeiten wie „besser“ oder „nachhaltiger“ – ein Konstrukt der Industrie zur Bekämpfung der Symptome im Rahmen der Öko-Effizienzstrategie – überflüssig werden und durch die Ökoeffektivität abgelöst werden sollen. Es geht dabei im Wesentlichen darum, Produkte von Beginn an richtig zu denken¹². Die Produkte werden von den Nutzern solange wie nötig verwendet und anschließend in die Wiederverwertungs-/ verwendungskette zurückgeführt. Dies erfordert allerdings eine Umstrukturierung der bisherigen Kooperationen zwischen Produzenten, Zulieferern, Kunden, Verbrauchern sowie Materialmanagern. [50]

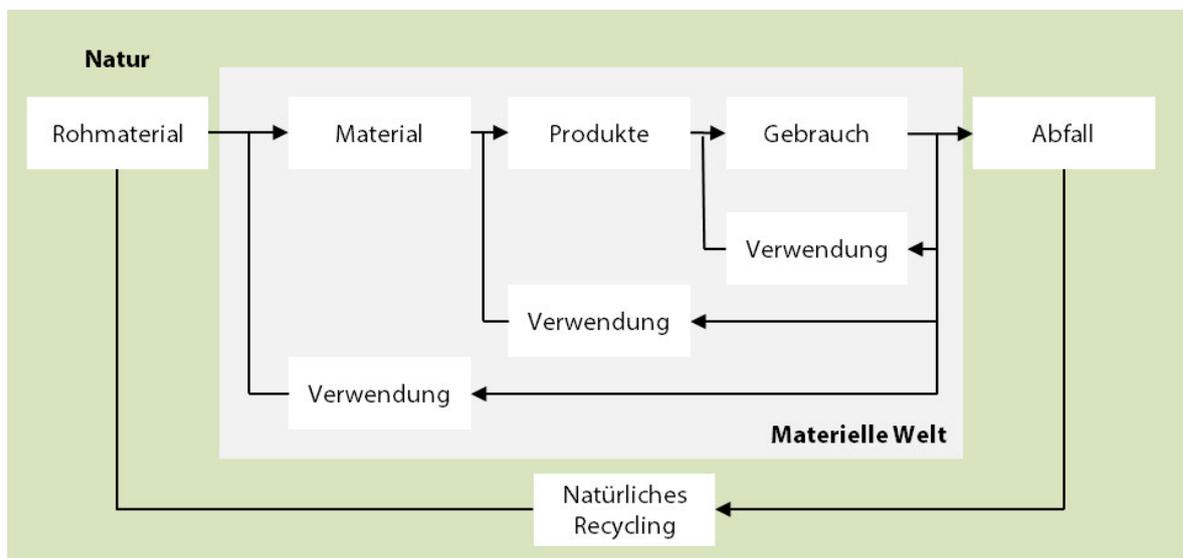


Abbildung 6-1: Prinzip des Cradle-to-Cradle in Anlehnung an [13]

¹² "It is not about 'doing more with less' and reducing waste (cradle to grave) but about 'doing right from scratch.'" [50]

6.2.2 Genereller Ausblick

Die globalen Herausforderungen aber auch die Dringlichkeit die negativen Umweltauswirkungen einzudämmen erfordern ein vollständiges Umdenken. Zur Erfüllung des wirtschaftlichen Erfolges wird das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung durch die Integration der sozialen und ökologischen Aspekte den Kern der künftigen Handlungsprinzipien einnehmen. Dabei ist es wichtig, nicht nur die Industrie- sondern auch die Schwellenländer einzubeziehen: sowohl in Hinblick auf die Rohstoffbeschaffung als auch auf die Absatzmärkte. In den letzten Jahrzehnten stiegen die Anforderungen seitens der Europäischen Union durch den Vorsatz der Integrierten Produktentwicklung. So ist die Öko-Design-Richtlinie ohne konkrete Zielvorgaben gestaltet worden und wird nach und nach durch weitere Produktgruppen ergänzt. Durch die vermehrten Klimakatastrophen und weltweiten Kriege um Ressourcen findet eine Sensibilisierung der Endverbraucher statt, sodass auch hier eine nachfrageorientierte Forderung nach sozial verträglichen und ökologischen Produkten vermehrt zu verzeichnen ist.

Durch ebendiese Forderungen eröffnen sich neue Geschäftsfelder, die nach und nach von Unternehmen erschlossen werden können, wie das Beispiel I:COLLECT gezeigt hat. Kosteneinsparungen im Sinne der Effizienzbestrebungen sind eine weitere positive Begleiterscheinung, die in der Praxis den häufigsten Grund für eine Unternehmensumstellung ausmacht, auch wenn dies zur Folge hat, dass nur eingeschränkt über eine „umwelteffiziente“ Maßnahme nachgedacht wird. Da Unternehmen aber auch wirtschaftlich agieren müssen, sollten tiefgreifende Veränderungen schrittweise umgesetzt werden.

Es ist zu wünschen, dass die Anzahl der partizipierenden Unternehmen, die den Prozess unterstützen und forcieren, in den nächsten Jahren steigen wird und somit den künftigen Generationen eine sozial und ökologisch gerechte Welt hinterlassen.

Literatur

- [1] Klaus Rennings: Messung und Analyse nachhaltiger Innovationen: Neue Wege statistischer Berichterstattung.
- [2] Presse und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012 2012.
- [3] Edeltraut Günter; Heiko Schuh: Definitionen, Konzepte, Kriterien und Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung 2000.
- [4] Farid Gardizi: Eine kurze Geschichte der Nachhaltigkeit. URL: www.unesco.de/3419.html. Abrufdatum 05.10.2015.
- [5] Carlo J. Burschel; Dirk Losen; Andreas Wiendl: Betriebswirtschaftslehre der nachhaltigen Unternehmung 2004.
- [6] Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg: Jahrbuch Erneuerbare Energien 02/03 plus. Radebeul 2003.
- [7] Forschungsstelle für europäisches Umweltrecht: Rechtliche Instrumente zur Förderung des nachhaltigen Konsums - am Beispiel von Produkten. Bremen 2012.
- [8] Erbguth; Schlacke: Umweltrecht, 3., überarb. und erw. Aufl. Baden-Baden 2010.
- [9] Balderjahn: Nachhaltiges Marketing-Management. Möglichkeiten einer umwelt- und sozialverträglichen Unternehmenspolitik. Stuttgart 2004.
- [10] Giljum; Hammer; Stocker; Lackner; Best; Blobel; Ingwersen; Naumann; Neubauer; Simmons; Lewis; Stanislav Shmelev: Wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- [11] Grunwald; Kopfmüller: Nachhaltigkeit, 2., aktualisierte Aufl. Frankfurt am Main 2012.
- [12] Herrmann: Ganzheitliches Life Cycle Management. Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen. Berlin, Heidelberg 2010.

- [13] Hans Böckler Stiftung: Eine Effizienzrevolution ist machbar.
URL: http://www.boeckler.de/20362_20370.htm. Abrufdatum 10.10.2015.
- [14] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH: Die kommunale Effizienzrevolution für den Klimaschutz in den deutschen Städten. Voraussetzungen, Transformationspfade und Wirkungen.
URL: <http://wupperinst.org/projekte/details/wi/p/s/pd/442>. Abrufdatum 31.12.2015.
- [15] Feldhusen; Grote: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung, 7., neu bearb. u. erw. Aufl. Berlin 2006.
- [16] Ehrlenspiel: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, 4., aktualisierte Aufl. München, Wien 2009.
- [17] Brezet; Bijma; Ehrenfeld; Silvester: The Design of Eco-Efficient Services. Method, Tools and review of the case study based "Designing Eco-efficient Services" project. Delft 2001.
- [18] Frei: Öko-effektive Produktentwicklung. Grundlagen - Innovationsprozeß - Umsetzung. Wiesbaden 1999.
- [19] Ponn; Lindemann: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Optimierte Produkte - systematisch von Anforderungen zu Konzepten. Berlin 2008.
- [20] Hermenau, U.: EcoDesign Implementierung in die Produktentstehungspraxis. Ein entscheidungsorientierter Ansatz, Techn. Univ., Diss.--Darmstadt, 2008. Aachen 2009.
- [21] Schimmelpfeng (Hrsg.): Ökologische Produktgestaltung. Stoffstromanalysen und Ökobilanzen als Instrumente der Beurteilung. Berlin [u.a.] 1999.
- [22] Umweltbundesamt: Texte 92/1999: Bewertung in Ökobilanzen - Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043 (Version '99).
URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3619.pdf>.

- [23] Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Hintergrundpapier. Handreichung Bewertung in Ökobilanzen 2000.
- [24] Walther: Recycling von Elektro- und Elektronik-Altgeräten. Strategische Planung von Stoffstrom-Netzwerken für kleine und mittelständische Unternehmen, 1. Aufl. Wiesbaden.
- [25] EU-Richtlinien online - EU-Richtlinien und "neue Konzeption". URL: http://www.eu-richtlinien-online.de/cn/J-S5VV5FIRN1DMOATEI7RCYIGK.3/bGV2ZWw9dHBsLWluZm8tZWctcmJjaHRsaW5pZW4*.html. Abrufdatum 31.12.2015.
- [26] Europaparlament: Nachhaltigkeit in Produktion und Verbrauch. URL: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/de/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.4.7.html.
- [27] Grünbuch vom 07. Februar 2001 zur Integrierten Produktpolitik.
- [28] UmweltPartnerschaft Hamburg. URL: <http://www.hamburg.de/umweltpartnerschaft>. Abrufdatum 04.04.2016.
- [29] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Öffentlichkeitsarbeit, R.: Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz - EVPG. EVPG 2011.
- [30] Ökopol, IÖW & Leuphana Universität Lüneburg im Auftrag des Umweltbundesamtes: Grundkonzeption eines Top-Runner-Modells auf der EU-Ebene.
- [31] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Öffentlichkeitsarbeit, R.: BMWi - Leitprinzip Nachhaltigkeit - Realisierung nur mit der Wirtschaft. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/leitprinzip-nachhaltigkeit.html>. Abrufdatum 05.09.2014.
- [32] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz in Zusammenarbeit mit juris GmbH: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) 2012.
- [33] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz in Zusammenarbeit mit juris GmbH: Verordnung über die Vermeidung und

Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung - VerpackV) 1998.

- [34] BMW Group: Umwelterklärung in der Produktion.
- [35] Siemens AG: Nachhaltigkeitsinformationen 2015. Als Ergänzung zum Siemens-Geschäftsbericht (2015).
- [36] Kärcher GmbH: Verantwortung für Mensch und Umwelt.
- [37] Abele; Anderl; Birkhofer; Rüttinger: Eco Design: Von der Theorie in die Praxis 2008.
- [38] Brezet; van Hemel (Hrsg.): Ecodesign. A promising approach to sustainable production and consumption. The Hague 1997.
- [39] FARE. URL: <https://www.fare.de/de/--Nachhaltig/>. Abrufdatum 04.02.2016.
- [40] Ginkgo. URL: <http://ginkgoumbrella.com/>. Abrufdatum 04.02.2016.
- [41] Burschel: Nachhaltiges Designmanagement. In: Linne; Schwarz (Hrsg.): Handbuch Nachhaltige Entwicklung. Wie ist nachhaltiges Wirtschaften machbar? Wiesbaden, s.l. 2003.
- [42] Material Archiv: Acrylnitril-Butadien-Styrol. URL: <http://www.materialarchiv.ch/materialarchiv/ws/helper/specsheet.php?id=4>. Abrufdatum 20.03.2016.
- [43] Köhler: Unterschätzte Gefahren bei der Kunststoffverarbeitung. Gesundheitsgefährdende Dämpfe beim Kunststoffschweißen/-schneiden.
- [44] Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.; Consultic (Hrsg.): Endbericht. Analyse/Beschreibung der derzeitigen Situation der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland.
- [45] Umweltbundesamt: ProBas. Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme. URL: <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>. Abrufdatum 17.03.2016.
- [46] Umweltbundesamt (UBA): Flüchtige organische Verbindungen. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinflue>

sse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/fluechtige-organische-
verbindungen. Abrufdatum 04.04.2016.

- [47] Tänzer: Biologisch abbaubare Polymere. 11 Tabellen. Stuttgart, Weinheim 2000.
- [48] SolidWorks: GaBi-Umweltdatenbank.
URL: <http://www.solidworks.de/sw/products/simulation/gabi-environmental-database.htm>. Abrufdatum 14.03.2016.
- [49] SolidWorks Sustainability :: SolidWorks Sustainability :: Anhang C –
Werkzeuge und Methoden zur Erstellung einer Ökobilanz (LCA, Life Cycle
Assessment). URL: http://www.solidworks.de/sustainability/sustainable-design-guide/3007_DEU_HTML.htm. Abrufdatum 15.03.2016.
- [50] Stouthousen; le Roy: Cradle to Cradle: Theoretical Framework.

Anhang

Anhang 1: Telefoninterview mit Tim Zimmerer

Gesprächsprotokoll

Datum:	15.01.2016	Art:	Telefongespräch
Teilnehmer:	Tim Zimmerer (Oekopol), Antje Klemichen		
Zweck:	Bewertung von nachhaltigen Konstruktionen		

- Kurze Vorstellung der Aufgabenstellung der Masterthesis sowie deren aktueller Stand
- Zusammenhänge erkennen zwischen Material, Fertigung, Herstellungsverfahren, Nutzungsdauer
- Ermitteln der relevanten Größen gerade in Bezug auf die Langlebigkeit
 - o Input: z.B. Einsatz primärer oder sekundärer Materialien; qualitativ hochwertiger Stahl
 - o Entsorgung:
- Strategien: Repapierbarkeit (leichte und zerstörbare Demontage des Griffes; Problematisch bei Kunststoffverbindungen), Steckverbindungen
- www.EcoDesignKit.de: Sammlung von Ideen für Produktdesigner
- Kunststoff: Enthält es Recyclatanteile, Additive?
- Fiberglas
- Datenbanken: Gabi, Probas, ELCD von der EU, Plastic Zero (europ. Kunststoffdatenbank)
- In der Nutzungsphase keine Auswirkungen -> einfache Streamlined Bilanzierung möglich
- Fokus auf die funktionelle Einheit setzen
- OpenLCA als Vergleichswert ist geeignetes Tool
- SolidWorks mit unterschiedlicher Lebensdauer testen
- Repapierbarkeit 1Nutzer mit teurem Regenschirm, 1 Nutzer mit Wegwerfregenschirm

Anhang 2: Persönliches Interview mit Walter Heidenfels

Gesprächsprotokoll

Datum:	17.01.2016	Art:	Persönliches Gespräch
Teilnehmer:	Walter Heidenfels (Teams Design Hamburg), Antje Klemichen		
Zweck:	Integration der Nachhaltigkeit in den Arbeitsalltag eines Produktdesigners		

Allgemeines

- Kurze Vorstellung der Aufgabenstellung der Masterthesis sowie deren aktueller Stand
- Dipl. Walter Heidenfels ist als Berater im Rahmen des IPP-Netzwerks Hamburg tätig mit den Arbeitsschwerpunkten: Integration der Umweltaspekte in den Produktentwicklungsprozess, Lebensdauerverlängerung, Umweltbezogene Materialauswahl

Gespräch

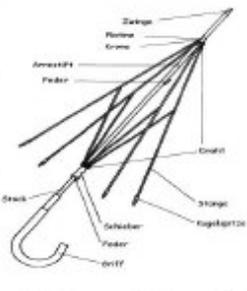
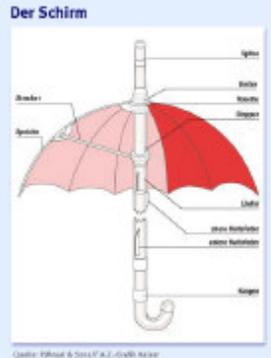
- es besteht ein Trend die Designphase mehr und mehr in die Planungsphase zu integrieren
- Fokus liegt auf den Zielgruppen und deren Bedürfnisse (Ermittlung erfolgt im Rahmen von Fragebögen, Interviews)
- derzeit ist kein Trend zu einer nachhaltigen Produktentwicklung seitens der Unternehmen zu verzeichnen, da es zu einem Zielkonflikt zwischen Umwelt und Kosten kommt
- Zunahme von Leasingkonzepten
- Unternehmen gehen von einer vom Verbraucher erwarteten Lebensdauer aus (geplante Obsoleszenz)
- Ökobilanz eignet sich als Marketinginstrument
- Allgemeine Fragestellung: In welcher Lebensphase kann welche Verbesserung erreicht werden?
- SolidWorks Sustainability:
 - Komfortable Software für einen schnellen Überblick
 - Benötigt für die Auswertung Experten

Anhang 3: ecoProdukt Checkliste

ecoProdukt-Checkliste

Regenschirm			
Internet	www.regenschirme.de www.schirmundco.de	Interview	Schirm&Co., Rosenstraße 6, 20095 Hamburg
			Fare
	Fragestellung	Antwort	
Allgemeines	Patentklassen	Spazierstöcke (Gehhilfen, z.B. Stöcke für Blinde, A61H 3/06 als Stative oder Stützen ausgebildete Spazierstöcke F16M 13/08) Schirme, Damen- oder ähnliche Fächer Stock- oder Schirmständer oder -halter A47G 25/12)	
	Hersteller	Knirps, Blunt, Sens (Hersteller von Windschirmen), Fassbender	
	Verwandte Produkte	Golfschirm, Sonnenschirm, Anglerschirm, Trekkingschirm, Brautschirm, Kofferschirm, Künstlerschirm, Portierschirm, Schutzschirm, Motivschirm, Selbstverteidigungsschirm Sturmschirm (http://www.wissenschaft-shop.de/geschenkkideen-schenken-sie-wissen/sturm-schirm-schwarz.html)	
	Unterscheidung nach	Strebenanzahl (Taschenschirm z.B. 10 Stangen) Stock Stangen flexibel Form Größe (Stockschirm, Taschenschirm, Mini Schirm) Automatisierungsgrad	
	Gewicht	Ab 140g (Taschenschirm)	
	Nutzungshäufigkeit (z.B. 10xJahr)/Einsatzdauer	Pro Regen (Hamburg ca. 195 Regentage im Durchschnitt) Bei integriertem UV-Schutz häufigere Nutzung möglich	
Funktion	Haupt- und Nebenfunktionen	Schutz vor Wettereinflüssen (Sonne, Regen, Wind, Schnee)	
	Automatik	Auf- und Zu-Automatik (mit Seilzugautomatik): 1. Knopf drücken -> Schirm öffnet 2. Knopf drücken -> schließt 3. manuell zusammenschieben Auf-Automatik: 1. Knopf drücken -> Schirm öffnet 2. manuell Zusammenschieben (hat sich nur bei Taschenschirmen durchgesetzt) Automatik mit Akku um das manuelle Zusammenschieben zu vermeiden (Nachteil bei leerem Akku: Schirm bleibt in der Position)	
	manuell	1. untere Feder drücken und mit Handkraft Schieber nach oben schieben bis zur Arretierung (obere Feder) 2. obere Feder drücken und Schirm mit Handkraft über Schieber schließen	
	Radius Regenschutz	Abhängig von Anzahl der Personen (Single-Schirm, Paar-/Gruppen-Schirm) mit Fokus auf Schutz vor Wettereinfluss	
Kunden	Kundenwünsche Optik	Farben (Karos können mustergenau zugeschnitten werden; sonstige Muster könnten Verschnitte produzieren) Form (Standard rund, sonstige Sens-Schirme gegen Sturm, aber nicht Nässe) Beleuchtung (ja, aber Drähte knicken schnell ab) Reflektoren (nachts) ja	
	Kundenwünsche Haptik	Gewicht: Herren bevorzugen höheres Gewicht als Damen Benutzerfreundlichkeit Material Griff (warm, nicht rutschig) Kleines Packmaß bei großem Schutzradius	

ecoProdukt-Checkliste

Kunden	Kundenwünsche Nachhaltigkeit	Trend zur Langlebigkeit nimmt zu; dieser steht im Widerspruch zu der schnellebigen Trendoptik, Materialien: Ökoschirm verkauft sich aufgrund der Optik nicht (Bambus-Gestell mit einer Bespannung aus recycelten PET-Flaschen)	
	Preisklassen Wie hoch ist der qualitative Unterschied?	Preisklassen bei Schirm&Co: 9,90€ - 1000,00€ (generell nach oben offen) Standard-Taschenschirm: 29,90€	
	Bereitschaft der Kunden Regenschirme reparieren zu lassen?	Sehr gute Auftragslage bei Schirm&Co Viele Schirme besitzen einen ideellen Wert	
Aufbau/Geometrie	Hauptbestandteile	 <p>Abbildung von Schirm und CO.</p>  <p>Der Schirm</p> <p>Quelle: Ethos & Sons (A.) - Grafik Netz</p>	
	Nebenbestandteile		
	Verwendete (Standard)bauteile (siehe Tabelle im Anhang)		
	Länge min/max (Packmaß)		Abhängig vom Regenschutradius
	Länge min/max (ausgefahren)		Abhängig vom Regenschutradius
Werkstoffe (inkl. Additive)	Stock (Material(-legierungen), Gewicht, Sekundär- oder Primärrohstoffe, Abmaße)	Stahl, Holz, Aluminium, Carbon, (v.a. Im Golfbereich als Blitzschutz), Stopper aus Metall	
	Bezug (Material, Gewicht, Sekundär, oder Primärrohstoffe, Abmaße)	Wasserabweisendes Material, z.B. imprägnierter Baumwolle (häufig Silikonbeschichtung) Kunststoff Nylon, eher Polyester mit verschiedenen Webarten (häufig Teflonbeschichtung)	
	Griffe (Material(-legierungen), Gewicht, Sekundär- oder Primärrohstoffe, Abmaße)	Metall, auch Silber (aber kalt) Kunststoff, Silikon (formanpassend) Holz Lederbespannung früher gummierte Kunststoffe (Schmiereigenschaften schon nach kurzem Gebrauch)	
	Stangen (Material, Gewicht, Sekundär- oder Primärrohstoffe, Abmaße)	Federstahl (Stangen), Paragonstangen, Aluminiumstangen Stahlhohlrieten, Einbindendraht	
	Oberflächenbehandlungen	Holz: Lackierung, Lasierung, ua. Bezug: Teflon, Silikon Stahl: Lackierung	

ecoProdukt-Checkliste

Fertigung	<p>Wie wird gefertigt?</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Kantengenaues Tafeln des Stoffes, 8-fach oder 10-fach, je nach Anzahl der Stangen - Aufzeichnen der Dreiecke - Ausschneiden mit der Kreismessermaschine - Legen des Stoffes (Außenseite nach innen, Vorbereitung zum Nähen) - Paarweise zusammennähen - Schirmbezug säumen - Federn in Stock einschneiden, Federn mit Prellstiftdraht einsetzen - Stangen mit Einbindedraht in Schieber und Krone einbinden - Krone mit Kronstift am Stock befestigen - Unterlegkappe ausschneiden - Gegebenenfalls Stangen-Benäher ausschneiden und Stangen benähen - Gegebenenfalls Schieber-Benäher ausschneiden und Schieber benähen - um die Krone nähen - Ecken nähen - Spitzen aufstecken - Heften - Kronrosette nähen - Platine aufsetzen - Zwinge anfräsen und aufsetzen - Griff aufsetzen - Bändchen zuschneiden und nähen - Bändchen mit Druckknopf an einer Bahn ansetzen - Schirm dämpfen/fixieren
	Wo wird gefertigt?	Bei Schirm&Co: Gestellfertigung in Italien, Fertigstellung in HH Österreich, Asien China Werbeproduktion, Knirps und Doppler fertigen ebenfalls in China
	Fügetechniken	Kleben (Griff: Heißkleber, Zwei-Komponenten-Kleber) Schrauben (Griff bei Taschenschirmen) Punzen (zum Fügen der Zwinge)
	Was wird an Hilfs-, Betriebsstoffen verwendet?	Klebmaterial Imprägnierspray aus der Drogerie Nägel Holzleim Silberpolitur Wasser zum Kühlen Nähmaschinenöl zum Schmieren der kleinen Kugel im Auszug WD 40
	Wieviel Müll wird produziert?	Beim Zuschritt: ca. 50g Polyester von 80g Polyester und 20g Garn Gestell zugekauft
	Wieviele Produkte erfüllen nicht die Qualitätsstandards?	Schirm&Co: Sehr selten bis gar nicht

ecoProdukt-Checkliste

Verteilung	Welche Art von Verpackung und welche Form (Größe, Gewicht, Volumen, Material, Wiederverwendung)	Folienverpackung für Stockschirm: ca. 10g Sens extra Verpackung Folienverpackungen werden im Laden wiederverwendet Polybags
	Welche Art von Transportmitteln wird verwendet?	Externe Lieferanten (DPD, Hermes, u.a.) Vollcontainer 20", 40" Flug bei schnellem Bedarf
Montage	Montagereihenfolge	Siehe Fertigung
Kräfte	Kinematik	
	Statische und dynamische Kräfte, Momente (Windlasten/Regenlasten)	Windkanaltests
Lebensdauer/Ökologie	Lebensdauer ist abhängig von	Gebrauch, Alter (Alterung v.a. des Kunststoff)
	Ca. Lebensdauerzeit (technisch, real, ästhetisch)	Automatikschirme: 10-15Jahre (abh. Von der Nutzung) Manuelle Schirme: ca. 25Jahre (abh. Von der Nutzung)
	Schwachstellen und ihre auftretenden Häufigkeiten	Bespannung löst sich oder reißt an den Enden Hohlknoten Kugelspitzen lösen sich und reißen Bespannung auf Stangen brechen Feder
	Wie häufig werden Regenschirme zur Reparatur gegeben?	pro Schirm i.d.R. 2-3x (Kostenfaktor, ideeler Wert)
	Welche Reparaturen werden am häufigsten durchgeführt?	Kugelspitzen erneuern
	Welche Bauteile werden bei der Reparatur direkt wieder-verwendet?	i.d.R. wird nur nach Bedarf repariert Ladeninterne Ansammlung von gebrauchten Tops (Zwingen)
	Kann der Schirm von einem Laien demontiert und repariert werden?	Montage erfordert Spezialwerkzeuge und Ersatzteile; Kugelspitzen können leicht repariert werden Hefte am Gestänge können selber genäht werden
	Welche Materialien können recycelt werden?	Abh. Von der Materialauswahl des Schirms Wird in der Praxis nicht durchgeführt aufgrund von Kosten (keine Herstellerrücknahme, keine Mülltrennung)
	Sind diese leicht erreichbar?	Materialien sind i.d.R. gut erreichbar
	Welche Werkstoffe werden deponiert und/oder thermisch recycelt? Treten hier Probleme auf?	Recyclinghof
	Alternative Werkstoffe?	Bioplastik (bei Schirm&Co. unbekannt) Holz Recycelte PET-Flaschen mit Bambusgestell
	Pflegemöglichkeiten	Aufgespannt trocken lassen (mindert die Rostgefahr)
	Einsatz von Sekundärrohstoffen	
	Wie häufig werden die Regenschirme einfach entsorgt?	Je günstiger desto schneller werden Schirme vergessen oder weggeschmissen

Anhang 4: Lösungskatalog

Konzept	Pos.	Beschreibung	Designstrategie	Designstrategie	Designstrategie	
A) Low Impact Materialien	A1.1	Einsatz von biologisch abbaubare Stoffen	entsorgungsgerecht			
	A1.2	Materialien ohne bedenklichen Additive verwenden	schadstoffarm	entsorgungsgerecht		
	A1.3	Alternativen zur Oberflächenbehandlung	schadstoffarm	materialineffizient		
	A1.4	Meiden von energieintensiven Materialien	energieeffizient			
	A2.1	Einsatz von Sekundärmaterialien (Stahl, Verwertbarkeit)	materialgerecht			
	A2.2	Einsatz von Stoffen mit einer hohen Verwertbarkeit	energieeffizient	recyclinggerecht		
	A2.3	Einsatz von recycelten Stoffen	materialineffizient	materialgerecht		
	A2.4	einheitliche Features gestalten	langlebig			
	A2.5	Einsatz weniger Materialien	recyclinggerecht	langlebig	abfallvermeidend	
	A2.6	Meiden von schlecht trennbaren Materialien (recyclinggerecht)	recyclinggerecht	entsorgungsgerecht	langlebig	
B) Optimierung Fertigung	A2.7	Nutzen von recyclebaren Materialien mit einem bei	recyclinggerecht	materialgerecht		
	A2.8	Vermeiden von Stickern	recyclinggerecht	entsorgungsgerecht	abfallvermeidend	
	A2.9	Bevorzugen von lokalen Zulieferern	logistikgerecht			
	B1.1	"Saubere" Fertigungstechniken	energieeffizient	schadstoffarm		
	B1.2	Fertigungstechniken mit wenig Emissionen	schadstoffarm			
	B1.3	Effiziente Fertigungen (Puder-Coating statt Spray P)	energieeffizient	materialgerecht		
	B1.4	Nutzen von Materialien ohne zusätzliche Oberfläche	materialgerecht	entsorgungsgerecht		
	B1.5	Fertigungsabfall reduzieren	abfallvermeidend			
	C) Optimierung Verteilung	C1.1	Integration von lokalen Zulieferern für kürzere Tra	logistikgerecht		
		C2.1	standardisierte Verpackungen	abfallvermeidend	logistikgerecht	
C2.2		Re-Use-Verpackungen einsetzen	abfallvermeidend	logistikgerecht		
C2.3		Verpackungsgewicht reduzieren	schadstoffarm	logistikgerecht		
C2.4		Verpackung reduzieren	schadstoffarm	logistikgerecht		
C3.3		Transport mit Containerschiff	schadstoffarm	energieeffizient		
D1.1		manuelle Betätigung (kein Akkubetrieb für Kr	energieeffizient		abfallvermeidend	
D2.1		Einzigtartigkeit des Schirms	langlebig	abfallvermeidend		
D2.2		Kennzeichnung mit Umweltprofil	langlebig	entsorgungsgerecht		

Konzept	Pos.	Beschreibung	Designstrategie	Designstrategie	Designstrategie
E) Optimierung Lebensdauer	E1.1	Design mit wenig Wartungsaufwand	langlebig		
	E1.2	Lösbare Verbindungen (Schrauben, Schnappverbindungen)	langlebig	recyclinggerecht	
	E1.3	Durchmesser des Stocks anpassen	langlebig	abfallvermeidend	materialgerecht
	E1.4	Zugänglichkeit der Komponenten erhöhen	langlebig	recyclinggerecht	entsorgungsgerecht
	E1.5	Fokussierung auf die wesentlichen Kernfunktionen	langlebig	abfallvermeidend	recyclinggerecht
	E1.5.1	Zeitstangen-Prinzip	langlebig		
	E1.5.2	Prinzip Staubsauger	langlebig		
	E1.5.3	Feststellschraube	langlebig		
	E1.5.4	Stand der Technik (Kugel-Feder-Prinzip)	langlebig		
	E1.6	"Bedienungsanleitung" und "Wartungsanleitung"	langlebig		
	E2.1	Modularer Aufbau für mögliche spätere Anpassungen	langlebig	abfallvermeidend	recyclinggerecht
	E2.2	Modularer Aufbau für einfachere Wartung	langlebig		
	E3.1	zeitloses Design	langlebig		
	E4.1	Produkt entspricht langfristig den "geheimen" Wünschen	langlebig		
	E4.2	Wartung und Reparatur wird nicht als Last angesehen	langlebig		
	E5.1	Zusammenarbeit mit lokalen Werkstätten für ein verbessertes Service-System fördern	langlebig	recyclinggerecht	entsorgungsgerecht
F) Optimierung End of Life	F1.1	zeitloses Design	langlebig		
	F1.2	Second-Hand-Schirme	langlebig	abfallvermeidend	
	F2.1	Zugänglichkeit der Komponenten erhöhen (siehe E1.4)	langlebig		
	F2.2	modularer Aufbau (siehe E2.2)	langlebig	recyclinggerecht	abfallvermeidend
	F2.3	Lösbare Verbindungen (Schrauben, Schnappverbindungen)	langlebig	recyclinggerecht	
	F2.4	standardisierte Verbindungen	langlebig	abfallvermeidend	recyclinggerecht
	F2.5	Positionierung der Verbindungsstellen	langlebig		
	F2.6	Verschleißteile schnell zugänglich positionieren	langlebig	recyclinggerecht	
	F3.1	primäres Recycling bevorzugen	recyclinggerecht		
	F3.2	modulares Design	langlebig	recyclinggerecht	abfallvermeidend
	F3.3	leicht separierbare Materialien verwenden	recyclinggerecht	entsorgungsgerecht	
	F3.4	keine toxischen Materialien	entsorgungsgerecht	schadstoffarm	
	F3.5	lokale Recyclesysteme nutzen	recyclinggerecht	logistikgerecht	

