

Bercan Tuna

Nachhaltigkeitsgerechte
Produktentwicklung anhand eines
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: Prof. Dr.-Ing. Andreas Meyer-Eschenbach

Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Frank Koppenhagen

Abgabedatum: 14. Oktober 2016

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier mit Blauem Engel und FSC-Umweltzeichen.

Kurzzusammenfassung

Bercan Tuna, 197 24 79

Thema der Masterarbeit

Nachhaltigkeitsgerechte Produktentwicklung anhand eines Praxisbeispiels

Stichworte

Nachhaltigkeit, Produktentwicklung, Ökologie, Ökonomie, Produktlebenszyklus

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit der Analyse und Anwendung von Methoden und Instrumenten zu dem Thema Nachhaltigkeit und der Implementierung dessen in den Produktentwicklungsprozess.

Mittels der Definition eines zu untersuchenden Produktsystems wurden erste Umweltaspekte für ausgewählte Praxisbeispiele in den Produktentwicklungsprozess, insbesondere in der Planungsphase, integriert, dessen Umweltauswirkungen anhand der ökologischen Analysemethoden *Ecolizer 2.0* und *SolidWorks Sustainability* ermittelt wurden.

Die ökologische Bewertung der ausgewählten Produkte erlaubt die Produktoptimierung und das schrittweise Bewerkstelligen eines nachhaltigkeitsgerechten Produktkonzeptes.

Abstract

Bercan Tuna, 197 24 79

Title of the paper

Sustainability-gearred product development based on a practical example

Keywords

sustainability, product development, ecology, economy, product life cycle

Abstract

The present master thesis employed with the analysis and application of methods and instruments to the subject of sustainability and implementation in the product development process.

By defining a product system to be examined, the first environmental aspects for selected practical examples have been integrated into the product development process, especially in the planning phase, whose environmental impacts have been determined using the ecological analysis methods *Ecolizer 2.0* and *SolidWorks Sustainability*.

The ecological evaluation of the selected products allows product optimization and the gradual realization of a sustainable product concept.



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Maschinenbau und Produktion

Aufgabenstellung

für die Masterthesis

von Frau Bercan Tuna

Matrikel-Nummer: 197 24 79

Thema: Nachhaltigkeitsgerechte Produktentwicklung anhand eines Praxisbeispiels

Schwerpunkte:

Die nachhaltige Produktentwicklung stellt einen wichtigen Beitrag zur Schonung von natürlichen Ressourcen dar. Angesichts einer ganzheitlichen Betrachtung des Produktlebenszykluses kann die Umweltauswirkung bereits in den einzelnen Entwicklungsphasen bestimmt werden.

Im Rahmen der Masterthesis soll die nachhaltige Produktentwicklung anhand eines Praxisbeispiels untersucht werden. Die Arbeit umfasst dabei neben der Auswahl und Findung eines geeigneten und zielführenden Produktes, die Analyse des Produktes anhand von Methoden und die Implementierung der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess. Für den Vergleich und die Bewertung des Produktes hinsichtlich der Umweltauswirkung wird zum Einen die Methodik *Ecolizer* von Ecodesign Kit angewendet und zum Anderen das Software-Tool von *SolidWorks Sustainability* genutzt.

Die folgenden Arbeitspakete sind in der Masterarbeit zu bearbeiten:

- Auswahl und Findung eines geeigneten Produktes
- Analyse des Produktes anhand der Methoden
- Implementierung der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess
- Erstellung von Konzepten hinsichtlich der nachhaltigen Produktentwicklung
- Vergleich und Bewertung der Umweltverträglichkeit des Produktes

Datum

Erstprüfer/in

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	1
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Prinzip der Nachhaltigkeit	4
2.2	Prinzip der Produktentwicklung	6
2.2.1	Methodisches Vorgehen bei der Produktentwicklung	7
2.2.2	Methodisches Vorgehen bei dem Produktlebenszyklus	9
2.3	Nachhaltigkeitorientierte Produktentwicklung	11
2.3.1	Aspekte einer nachhaltigkeitsorientierten Produktentwicklung	11
2.3.2	Recycling-Kriterien	12
2.3.3	Ressourceneffizienz	12
2.3.4	Umweltverträglichkeit	14
2.4	Rechtliche Instrumente	15
2.4.1	Internationale Ebene	16
2.4.2	Europäische Ebene	16
2.4.3	Nationale Ebene	17
2.4.4	Kennzeichnung umweltschonender Produkte	19
2.5	Begriffe und Definitionen	19
3	Findung und Auswahl eines geeigneten Praxisbeispiels	22
3.1	Produktplanung	22
3.2	Rahmenbedingungen	22
3.3	Findung von Produktkategorien	23
3.3.1	Kriterienanalyse	24
3.3.2	Freihandgewichtung	24
3.3.3	Punktebewertungsverfahren nach der Nutzwertanalyse und der Richtlinie VDI 2225	25
3.4	Auswahl von Produktkategorien	28
3.5	Produktauswahl als Referenzprodukt	29
3.5.1	Anforderungsanalyse	30

4	Ökologische Bewertungsmethoden	34
4.1	Ökodesign-Prinzipien	34
4.1.1	Langlebigkeit	35
4.1.2	Reparierbarkeit	35
4.1.3	Materialeffizienz	35
4.1.4	Energieeffizienz	36
4.1.5	Problemstoffarmut	36
4.1.6	Nachwachsende Rohstoffe	36
4.1.7	Kreislauffähigkeit	37
4.2	Kumulierter Energieaufwand nach VDI 4600	38
4.3	Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040	39
4.4	Analysemethode - ecodesign tool	41
4.4.1	Aufbau von Ecolizer 2.0	41
4.4.2	Vorgehensweise - Ecolizer 2.0	43
4.5	Analysemethode - SolidWorks 2016 Tool SustainabilityXpress	44
4.5.1	Vorgehensweise - SolidWorks Tool Sustainability	46
5	Life Cycle Analysis der Referenzprodukte	49
5.1	Evaluierung mittels Ecolizer 2.0 ecodesign tool	50
5.1.1	Transport der Rohstoffe	51
5.1.2	Herstellungsprozess der Rohmaterialien:	52
5.1.3	Transport der Rohmaterialien	54
5.1.4	Herstellungsprozess des Hammers	55
5.1.5	Nutzungsphase	56
5.1.6	Rohstoffe und Herstellungsprozess der Verpackung	56
5.1.7	Distribution der Hämmer	57
5.1.8	Transportwege zur Entsorgung der Hämmer mit Verpackung	57
5.1.9	Entsorgung / Recycling des Hammers	57
5.1.10	Entsorgung / Recycling der Verpackung	60
5.1.11	Zweiter Produktlebenszyklus	60
5.1.12	Bestimmung der Umweltwirkung	61
5.1.13	Auswertung der Ergebnisse mit Ecolizer	64
5.2	Evaluierung mittels SolidWorks 2016 Sustainability	66
5.2.1	Materialauswahl und Herstellungsprozess	67
5.2.2	Verwendung und Transport	72
5.2.3	Nutzungsphase	72

5.2.4	End of Life	73
5.2.5	Bestimmung der Umweltwirkungen	74
5.3	Auswertung der Ergebnisse	77
5.3.1	Definieren einer Referenzgröße	78
6	Ökologische Entwicklungsziele	80
6.1	Life Cycle Analysis des Referenzproduktes	80
6.2	Produktoptimierung	83
6.2.1	Optimierung durch Erhöhung der Umweltverträglichkeit	83
6.2.2	Optimierung durch Erhöhung der Lebensdauer	83
6.2.3	Optimierung durch Materialvariation	84
6.2.4	Optimierung durch Erhöhung der Recyclingfähigkeit	85
6.2.5	Optimierung durch Erhöhung der Ressourceneffizienz	86
7	Schlussfolgerung und Ausblick	87
	Literatur	89
A	Gesprächsprotokolle	93
A.1	Telefoninterview mit Heidi Götz (Halder Norm+Technik)	94
A.2	Telefoninterview mit Frank Simon (Picard GmbH & Co.KG)	95
A.3	Telefoninterview mit Dirk Jepsen (Ökopol GmbH)	96
B	Punktebewertungsverfahren nach VDI 2225	97
C	Vor-/Nachteil-Vergleich	99
D	Berechnung mit Ecolizer für den Schlosserhammer (1/1.1)	102
E	Berechnung mit Ecolizer für den Schonhammer (2)	107
F	Berechnung mit Ecolizer für den Zimmermannshammer (3)	112
G	Berechnung mit Ecolizer für den Axthammer (4)	117
H	Berechnung mit Ecolizer für den Schlosserhammer (1.2)	122

Abbildungsverzeichnis

1.1	Vorgehensweise der Arbeit (Eigene Grafik)	2
2.1	Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit und die Handlungsstrategien	5
2.2	Aufbau des Produktlebenszyklus nach dem Stage-Gate-System	7
2.3	Produktentwicklungsprozess und Produktlebenszyklus [21]	8
2.4	Übersicht der Recyclingarten - mit Fallbeispiel	10
2.5	Werkzeuge zur Integration von Recyclingaspekten in den Produktentwicklungsprozess [10]	12
2.6	Recyclingkriterien angelehnt an VDI 2243 [10]	13
2.7	Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz [11]	14
2.8	Übersicht der nationalen und internationalen Richtlinie	15
2.9	Abfallhierarchie nach KrWG	18
3.1	Übersicht der sechs Produktkategorien	24
3.2	Bewertungsverfahren - Auswahl der Produktkategorie	27
3.3	Rangfolge als Ergebnis des Bewertungsverfahrens nach VDI 2225	28
3.4	Bewertungsverfahren nach der Nutzwertanalyse	28
3.5	Anschauungsbeispiel von Hammer-Varianten	29
3.6	Auszug aus dem Vor-/Nachteil-Vergleich der vier Hämmer	31
3.7	Umweltwirkungen entlang der Wertschöpfungskette	32
4.1	Übersicht herkömmlicher Kunststoffe und Biokunststoffe	37
4.2	Allgemeine Darstellung der Umweltwirkung eines Produktsystems als Blackbox	39
4.3	Phasen der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040	40
4.4	Auszug aus dem Datensatz vom <i>Ecolizer 2.0</i> zu Stahl, Polyethylen und Transport	42
4.5	Prinzipieller Aufbau des SolidWorks Tool <i>Sustainability</i>	45
4.6	Materialauswahl und Herstellung	47
4.7	Verwendung, Transport und Ende der Lebensdauer in SustainabilityXpress	48
4.8	Umweltverträglichkeits-Dashboard	48

5.1	Übersicht der ausgewählten Hammer	49
5.2	Produktsystem und die Umwelteinwirkungen	51
5.3	Umweltwirkungen der vier Hämmer in Prozent	65
5.4	Umweltauswirkungen der vier Hämmer zusammengefasst in die Hauptphasen nach FREI	65
5.5	CO_{2e} -Emissionsersparnis der vier Hämmer im Vergleich	66
5.6	Modelldarstellung der vier Hämmer mit SolidWorks	67
5.7	Auswahl der Materialien (Stahlsorten) in der Software <i>SolidWorks Sustainability</i>	68
5.8	Vergleich der Umweltauswirkungen bei unterschiedlicher Lebensdauer desselben Produktes	73
5.9	Vergleich der Umweltauswirkungen bezüglich der Lebensdauer von 10 zu 20 Jahren	76
5.10	Umweltauswirkungen der vier Hämmer - zusammengefasst in die Hauptphasen	78
5.11	CO_{2e} -Emissionen auf die Referenzgröße bezogen	79
6.1	Grafische Übersicht der Ergebnisse für die Schlosserhammer 1.1 und 1.2	82
6.2	Grafische Übersicht der Ergebnisse für die Schlosserhammer 1.1 und 1.2 - bezogen auf die Referenzgröße	82
6.3	Auszug aus SolidWorks Sustainability - „Ähnliches Material aussuchen“	84
6.4	Auszug aus SolidWorks Sustainability - Materialauswahlmöglichkeiten	85
6.5	Checkliste	86

Tabellenverzeichnis

2.1	Kennzeichnungen von Produkten auf internationaler und nationaler Ebene	20
3.1	Vorgehensweise der Planungsphase	23
3.2	Wertskala der Bewertungskriterien für das Bewertungsverfahren nach VDI 2225 und dem Projekt	25
3.3	Freihandgewichtung für das Bewertungsverfahren nach VDI 2225	26
3.4	Wertskala der Bewertungskriterien für die Nutzwertanalyse und dem Projekt	27
3.5	Wirkprinzipien der mechanischen Verbindungen	32
3.6	MET-Matrix Referenzprodukt im Allgemeinen	33
5.1	Ergebnisse der Berechnung mit <i>Ecolizer</i>	63
5.2	In SolidWorks Sustainability ausgewählten Parameter	75
5.3	Ergebnisse der Berechnung mit SolidWorks Sustainability	77
6.1	Übersicht der Auswertungsergebnisse für die Schlosserhämmer 1.1 und 1.2	81
6.2	Mindestwerte der Rohdichte und der Bruchschlagarbeit nach DIN 68340	84

Formelzeichen, Symbole, Index und Abkürzungen

Formelzeichen, Symbole

Eco_{Ind}	mPt/tkm	Eco-Indikator bezogen auf die Strecke
Eco_{Ind}	mpt/kg	Eco-Indikator bezogen auf die Masse
M	g, kg, t	Masse
U_{Ind}	mPt/St	Umwelt-Indikator
$U_{Ind.FE}$	mPt/FE	Umwelt-Indikator pro Funktionelle Einheit
U_{Bel}	$kgCO_2/FE$	Umweltbelastung pro Funktionelle Einheit
Q	BTU/g	Wärmemenge in W

Index

U	Umwelt
Bel	Belastung
FE	Funktionelle Einheit
RF	Referenzfluss
Ind	Indikator

Abkürzungen

bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
etc.	et cetera, ist gleichbedeutend mit und so weiter
gep	geprüft
u.a.	unter anderem
zul	zuletzt
Abb	Abbildung
Abs	Absatz
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
Art	Artikel
BFW	Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BTU	Britisch thermal unit

CEN	Europäisches Komitee für Normung
DIN	deutsches Institut für Normung
EMAS	Eco Management and Audit Schema
Eidg.	Eidgenossenschaft
EN	Europäische Norm
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer
EVPG	Energieverbrauchsrelevante Produkte-Gesetz (EVPG)
FE	Funktionelle Einheit
FSC	Forest Stewardship Council
FVA	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaft
IDZ	Internationales Design Zentrum Berlin
IHK	Industrie- und Handelskammer Nürnberg
INFA	Institut für Abfall, Abwässer und Infrastruktur-Management GmbH
IPP	Integrierte Produktpolitik
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LDPE	Low Density Polyethylene
LWF	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
PET	Polyethylenterephthalat
Pos	Positionsnummer
QM	Qualitätsmanagement
QS	Qualitätssicherung
RF	Referenzfluss
Tb	Tabelle
UBA	Umweltbundesamt Mensch und Umwelt
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VerpackV	Verpackungsordnung
WSL	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

Anmerkung

Anmerkung

Vorab sei erwähnt, dass die vorliegende Masterthesis bei der Bezeichnung von Personen und Personengruppen zu meist das generische Maskulinum verwendet. Gemeint sind dabei selbstverständlich sowohl die männlichen als auch die weiblichen Personen und Personengruppen. Der Verzicht auf die weibliche Form beabsichtigt einen angenehmen Lesefluss und die Vermeidung von grammatikalischen Verkomplizierungen.

1 Einleitung

Im Zentrum der Überlegungen der Politik verbunden mit der Industrie und Wissenschaft steht seit langem die Frage nach einem „umweltfreundlichem Produkt“. Was ist ein Umweltfreundliches Produkt und welche Kriterien sorgen dafür, dass es umweltfreundlich ist bzw. wird?

Diese Fragestellung ist dennoch nicht richtig. Denn während der Herstellung, Nutzung und End of Life von Produkten werden natürliche Ressourcen genutzt, die unweigerlich mit negativen Umweltauswirkungen verbunden sind. Folglich kann die Frage nur lauten: Welches Produkt oder welche Produktgestaltung steht in Wechselwirkung mit einer geringeren Umweltbelastung?

Der Begriff der „Umweltfreundlichkeit“ beschreibt also keinen absoluten Zustand, sondern lediglich eine Innovationstendenz, die in der heutigen Gesellschaft zunehmend an Bedeutung gewinnt. Zur Verbesserung der umweltbezogenen Leistung muss demnach jede einzelne Phase des Produktentwicklungsprozesses betrachtet und optimiert werden. Eine Optimierung des Produktentwicklungsprozesses kann unter anderem durch Verringern des Energiebedarfs, vermindertes Freisetzen von Emissionen und durch effizientes Nutzen der eingesetzten Ressourcen erzielt werden. Weiterhin stellt die Dienstleistung eine „umweltfreundlichere“ Alternative dar.

Ökologische Anforderungen sind im Zusammenhang mit den produktbezogenen ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen zu definieren. Demnach sollte eine Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Produkten nur in begrenzten Rahmen mit signifikanter Kostensteigerung korrelieren, sofern negative soziale Wirkungen ausgeschlossen werden sollen. Die Grenze und die Akzeptanz einer signifikanten Kostensteigerung für ein Produkt steht in gesellschaftspolitischer Diskussion und muss stets ausgehandelt werden. Dennoch ist zur Optimierung der Produktumweltverträglichkeit eine gesamt einheitliche Betrachtung des Produktlebenszyklus erforderlich.

In der Masterarbeit von Antje Klemichen - *Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess anhand eines ausgewählten Praxisbeispiels* wurde ein Vorgehensmodell zur Integration von Umweltaspekten in den Produktentwicklungsprozess während der Planungsphase aufgestellt, auf dem die vorliegende Ausarbeitung aufbaut.

1.1 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Bislang wurde in der unternehmerischen Praxis der Produktentwicklungsprozess hinsichtlich technischer und wirtschaftlicher Anforderungen optimiert. Umwelt- und Nachhaltigkeitsanforderungen hatten bisher nur einen geringen Stellenwert und wurden erst in späten Entwicklungsphasen betrachtet. Selbstverständlich weist die Entsorgung bzw. Recycling des Produktes nach Ende der Lebensdauer dabei eine wesentliche Rolle auf. Allerdings ist dies nicht das einzige Kriterium. Denn die Reduzierung der Umweltbelastungen, die während der Entwicklungsphasen entstehen, und die effiziente Nutzung

von Ressourcen sollten ebenfalls im Vordergrund der Überlegungen stehen. In Anbetracht einer gesamtgesellschaftlichen Betrachtung des Produktlebenszyklus können negative Umweltauswirkungen bereits in der Entwicklungs- und Designphase bestimmt werden.

Durch die gezielte Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess können Unternehmen Ressourcen schonen und einen Beitrag zur Umweltschonung leisten. Zur heutigen Zeit werden eine Vielzahl an Instrumenten für ökologische Analysemethoden angeboten, wodurch einfach und schnell erste Ergebnisse erreicht werden. Dabei stellt sich die Frage, wie praxisnahe und plausibel die Ergebnisse der Auswertung sind. Demnach müssen die Ergebnisse und Daten der Analysemethoden analysiert und interpretiert werden, um eine Transparenz der Methoden erreichen zu können. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden einige Instrumente und Methoden zur Bewertung der Umwelteigenschaften von Produkten vorgestellt und angewandt.

Weiterhin ist Ziel dieser Arbeit die Beantwortung der Leitfragen: Welche Kriterien haben den größten Einfluss auf eine nachhaltigkeitsgerechte Entwicklung eines Produktes und welche ökologischen Entwicklungsziele müssen definiert werden, um aus diesem Produkt ein „umweltverträgliches“ Produkt zu konzipieren?

Abbildung 1.1 stellt schematisch den grundlegenden Ablauf der vorliegenden Ausarbeitung dar.

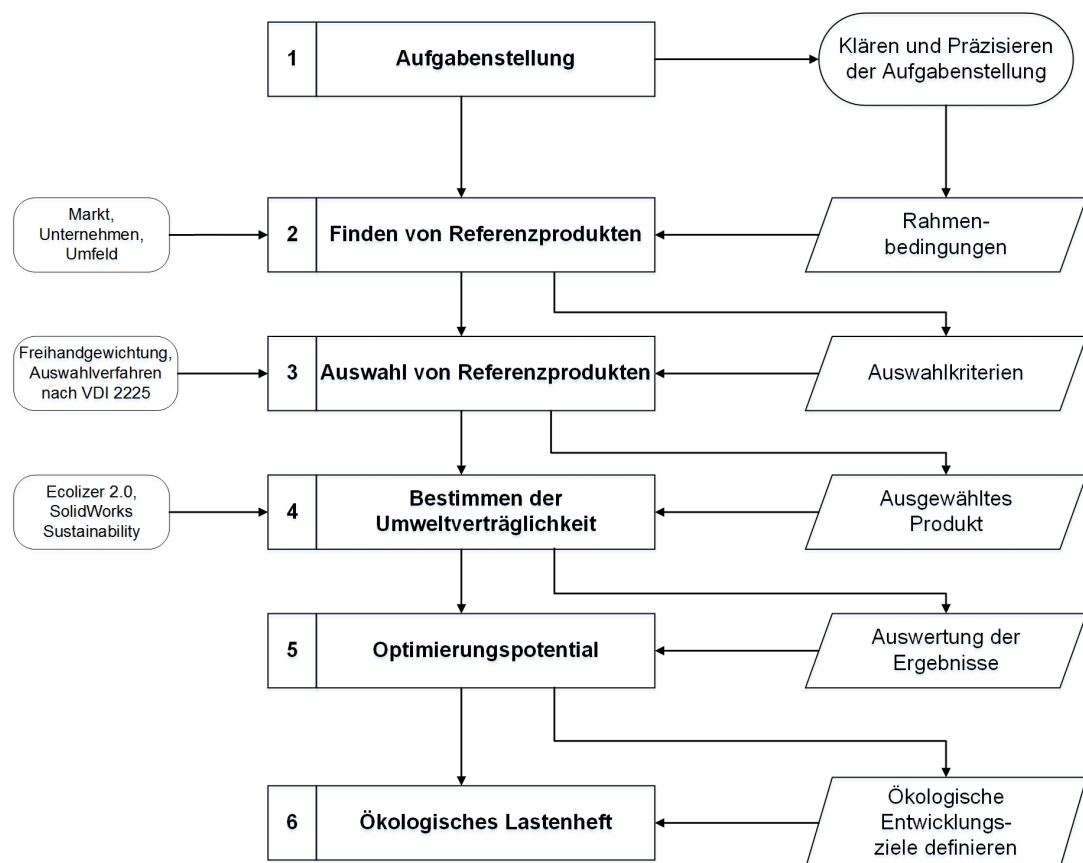


Abbildung 1.1: Vorgehensweise der Arbeit (Eigene Grafik)

In Kapitel 2 werden wichtige theoretische Grundlagen zu den Themen Nachhaltigkeit und Produktentwicklung aufgeführt, sowie der Zusammenschluss beider Themengebiete als nachhaltigkeitsorientierte Produktentwicklung charakterisiert. Zunächst wird der Impuls und die Motivation für ein nachhaltigkeitsgerechtes Agieren aufgezeigt. Des Weiteren gibt das Kapitel einen Überblick über Begrifflichkeiten zu dem Thema „nachhal-

tigkeitsgerechte Produktentwicklung“ vor.

In Kapitel 3 werden anhand der zuvor ausgearbeiteten Rahmenbedingungen Bewertungskriterien aufgestellt, anhand dessen erste Produktkategorien ausgewählt werden. Mittels der Bewertungsverfahren nach der VDI-Richtlinie 2225 und der Nutzwertanalyse erfolgt die Auswahl einer Referenzproduktkategorie und die Selektion von Referenzprodukte, deren Umweltauswirkungen in den folgenden Kapiteln bewertet wird.

Kapitel 4 widmet sich den ökologischen Analysemethoden zur Bestimmung der Umweltverträglichkeit. Es werden Methoden und Instrumente vorgestellt, die von akribischen und zeitaufwändigen Detailanalysen bis zu überblicksartigen Kalkulationen reichen. In der vorliegenden Arbeit werden die Methoden mit *Ecolizer 2.0* und *SolidWorks 2016 SustainabilityXpress* angewendet.

Kapitel 5 befasst sich mit der Bestimmung der Umweltverträglichkeit der ausgewählten Referenzprodukte mit den Methoden *Ecolizer 2.0* und *SolidWorks 2016 SustainabilityXpress*. Hierzu werden auf Basis von Produktdatenblätter, Herstelleraussagen und Rechercheergebnissen Informationen zu den Phasen des Produktlebenswegs gesammelt und als Rahmenbedingungen festgelegt. Anschließend werden alle Ergebnisse der Umweltauswirkungen für jedes Referenzprodukt zusammengetragen und ausgewertet.

Das sechste Kapitel dient dem Aufdecken und Definieren von Optimierungspotentialen und der Ableitung von ökologischen Entwicklungszielen für eines der Referenzprodukte.

Im letzten Kapitel wird die Masterarbeit kurz zusammengefasst.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Prinzip der Nachhaltigkeit

„Eine Gesellschaft kann dann als nachhaltig bezeichnet werden, wenn sie selbst existenzfähig bleibt“ (...) [2].

Mit anderen Worten, zum Wohle jetziger und zukünftiger Generation sollen alle materiellen und sozialen Lebensgrundlagen bewahrt werden.

Die Beschäftigung mit dem Thema Nachhaltigkeit war die Folge der Problemanalyse: Natürliche Ressourcen, wie fossile Rohstoffe, Wasser, Energie und Fläche wurden in Übermaßen genutzt. Die erste Einsicht, dass natürliche Ressourcen bei grenzenlosem und ökonomischem Wachstum gegen Grenzen stoßen, begann bereits im 18. Jahrhundert. Breite politische Aufmerksamkeit erhielt der Begriff allerdings erst in den 1970er Jahren, infolgedessen Umweltministerien in vielen Ländern Europas eingerichtet wurden. Ein neues Themengebiet entstand, welches in der heutigen Gesellschaft, Politik und Wissenschaft zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Die Vielfalt der Definitionen zu dem Begriff „Nachhaltigkeit“ bietet drei Bedeutungen, welche im Modell „der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit“ festgelegt sind. Es handelt sich um:

- die soziale Nachhaltigkeit,
- die ökonomische Nachhaltigkeit und
- die ökologische Nachhaltigkeit.

Eine eigene Darstellung stellt in Abbildung 2.1 das Modells „der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit“ dar.

Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass die „scheinbare“ Trennung der unterschiedlichen Bereiche nicht als solche aufgenommen werden soll, da das Prinzip der Nachhaltigkeit als *gesamteinheitliches* Konzept zu betrachten ist. Zur Lokalisierung und Konkretisierung von spezifischen Aspekten ist eine analytische Trennung sinnvoll.

Das Modell der „drei Dimensionen der Nachhaltigkeit“ dient demnach dazu bei, ein Gleichgewicht zwischen der sozialen Gerechtigkeit, der Wirtschaft und der ökologischen Komponenten zu schaffen. Folglich wird mit dem „Nachhaltigkeitsdreieck“ eine Version erschaffen, in der die Dimensionen in Balance zueinanderstehen.

Soziale Nachhaltigkeit

Nach dem Begriff der Sozialen Nachhaltigkeit werden Synonyme, wie die soziale Gerechtigkeit verwendet, um die Bedeutung von sozialer Nachhaltigkeit beschreiben zu können. Der Begriff Gerechtigkeit ist nach dem Duden als: „Prinzip eines staatlichen

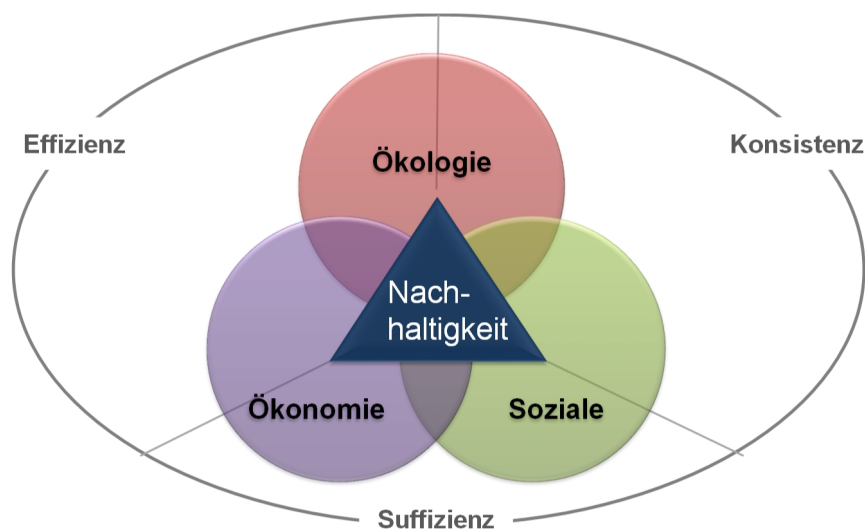


Abbildung 2.1: Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit und die Handlungsstrategien

und/oder gesellschaftlichen Verhaltens, das jedem gleichermaßen sein Recht gewährt“ definiert. Mit anderen Worten, die Gerechtigkeit beschreibt eine Haltung, in dem alle heute lebenden Menschen und zukünftige Generationen die gleichen Chancen und Gütern bewahrt werden und angemessen verteilt werden. Die sozialen Fragen nach der gerechten Verteilung und nachhaltigen Entwicklung machen die Gerechtigkeit aus und basieren auf ein Solidaritätsgefühl zwischen den Menschen. Demnach ist die Solidarität eine substantielle Voraussetzung für eine soziale und stabile Gesellschaft [5].

Ökonomische Nachhaltigkeit

Im Rahmen der ökonomischen Nachhaltigkeit muss das Unternehmen mit den gesellschaftlichen und ökologischen Anforderungen Wettbewerbsvorteile erzielen. In Zusammenhang des Wirtschaftens stehen die Reduzierung der Energie-, Materialressourcen und die Vermeidung bzw. Verminderung von Abfällen. Unternehmen sollen zur Erhaltung bzw. Erhöhung des Kapitals den Fokus nicht auf kurzfristige Erträge legen, sondern vielmehr auf langfristige Gewinne setzen. Des Weiteren können Unternehmen dadurch ein umweltbewusstes Image gegenüber den Kunden und der Gesellschaft aufbauen. Die ökonomische Dimension umfasst dabei auch Intentionen wie die Bereitstellung finanzieller Mittel für Entwicklungsländer, das Erreichen einer angemessenen und gesellschaftsfähigen Lebensbasis für alle Menschen der Welt, sowie die Beschaffung von Arbeitsplätzen [7]. Die ökonomische Nachhaltigkeit ist quantifizierbar, d.h. eine Operationalisierung als Bruttoinlandsprodukt oder über den Pro-Kopf-Einkommen ist möglich.

Ökologische Nachhaltigkeit

Die ökologische Nachhaltigkeit beschreibt das nachhaltige Wirtschaften und ist definiert als eine langfristige und sorgsame Handhabe mit den begrenzten natürlichen Ressourcen. Sobald die ökologische Nachhaltigkeit vernachlässigt wird, würden natürliche Ressourcen in Übermaßen unwiderruflich verbraucht. Die folgenschwere Konsequenz des hohen Verbrauchs an Energie, Wasser und Fläche gefährdet das natürliche Ökosystem, welches für die dauerhafte Existenz der Menschheit von enormer Wichtigkeit ist und mit einer Eindimensionalen Optimierung der Nachhaltigkeit nicht ausgleichbar. Mit anderen Worten die dauerhafte Existenz der Menschheit bedingt ein Mindestmaß an Qualität und Stabilität des natürlichen Ökosystems. Ohne ein funktionierendes Ökosystem ist das wirtschaftliche Handeln des Menschen stark eingegrenzt. Die ökologische Sicht ist folglich Bestandteil der Nachhaltigkeit und wird somit nicht isoliert von der sozialen und wirtschaftlichen Entwicklung betrachtet [8].

Die Ermittlung der ökologischen Nachhaltigkeit stellt im Gegensatz zur ökonomischen Nachhaltigkeit eine Komplexität dar, denn zahlreiche Faktoren üben einen Einfluss auf die Ökologie und damit auf das natürliche Ökosystem aus, die verbunden mit hohem Aufwand - oftmals nur teilweise- zu durchschauen sind. Ein bekannter Maßstab für den Ressourcenverbrauch innerhalb der Produktions- und Konsumphasen stellt der ökologische Fußabdruck dar. In Kapitel 4 wird näher auf das Thema eingegangen.

Nach KURZ und FISCHER werden zur Umsetzung der Kernforderungen drei Handlungsstrategien genannt: „Effizienz“, „Konsistenz“ und „Suffizienz“, die in den folgenden Abschnitten erklärt werden [9]:

Effizienz

Die Effizienzstrategie beschreibt die gemeingültige Formel zur Errechnung eines Wirkungsgrades, die in Wirtschaft und Technik oft angewendet wird: Nutzen/Aufwand. Auf ökologischen Zusammenhang beschreibt der Aufwand den Ressourceneinsatz und den Schadstoffausstoß und der Nutzen umfasst die Nutzungsphase des zu betrachtenden Produktes. Durch die gezielte Umsetzung der Effizienzstrategie auf eine Minimierung des Material- und Energieeinsatzes, sowie der Umweltbelastung pro Produktionseinheit kann auch die Ökonomie langfristig gewährleistet werden. Die Förderung der Langlebigkeit von Produkten stellt beispielsweise ein guten Ansatz zur Umsetzung der Effizienzstrategie dar.

Konsistenz

Die Konsistenzstrategie fokussiert sich auf die Kopplung von Ökologie und Soziale und damit auf die Anpassung der anthropogenen¹ Stoff- und Energieströme an die natürlichen umgebenen Stoffwechselprodukte (wie z.B. Pflanzen betreiben Photosynthese).

Suffizienz

Die Suffizienzstrategie zielt die Minimierung der Umweltbelastung, sowie die gerechte Lastenverteilung und legt den Fokus auf die Eigenverantwortung des Konsumenten, da dieser mit seinem Konsumverhalten und den damit einhergehenden Verbrauch an Energie ein entscheidenden Einfluss auf die Umweltverträglichkeit von Produktes ausübt. Die Kopplung des Nutzerverhaltens mit den Stoffströmen der Wirtschaft als dritte Handlungsstrategie der Nachhaltigkeit ist erforderlich, um die durch die Effizienzsteigerung gewonnenen Einsparungen mit Umweltentlastungen zu kombinieren.

2.2 Prinzip der Produktentwicklung

Ziel der Produktentwicklung ist das Erschaffen eines neuen produzierbaren und funktionsfähigen Produktes. Demnach muss die nachhaltigkeitsgerechte Produktentwicklung bei der Funktion ansetzen. Es stellt sich die Frage: Wie kann die gewünschte Funktion eines Produktes nachhaltigkeitsgerecht umgesetzt werden? Ökologische Aspekte sind wegen der Konzentration auf die Produktfunktion in den frühen Stadien der Produktentwicklung zu berücksichtigen, da während der Phasen die Funktion und das Lösungskonzept definiert werden [20]. Zudem bildet die Produktfunktion die Basis der Umweltverträglichkeit eines Produktes, insbesondere beim Vergleich von verschiedenen Produktsystemen miteinander. In der Summe betrachtet, bilden die Prozesse der Produktentwicklung den Produktlebensweg von der „Wiege bis zur Bahre“ eines Produktes. Abbildung 2.2 stellt den Aufbau des traditionellen Produktentwicklungsprozesses als Stage-Gate-Modell dar.

Zunächst werden interne und externe Faktoren definiert, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Produktplanung ausüben. Jedes Unternehmen stellt interne Ansprüche und

¹beschreibt alles was vom Menschen verursacht oder hergestellte

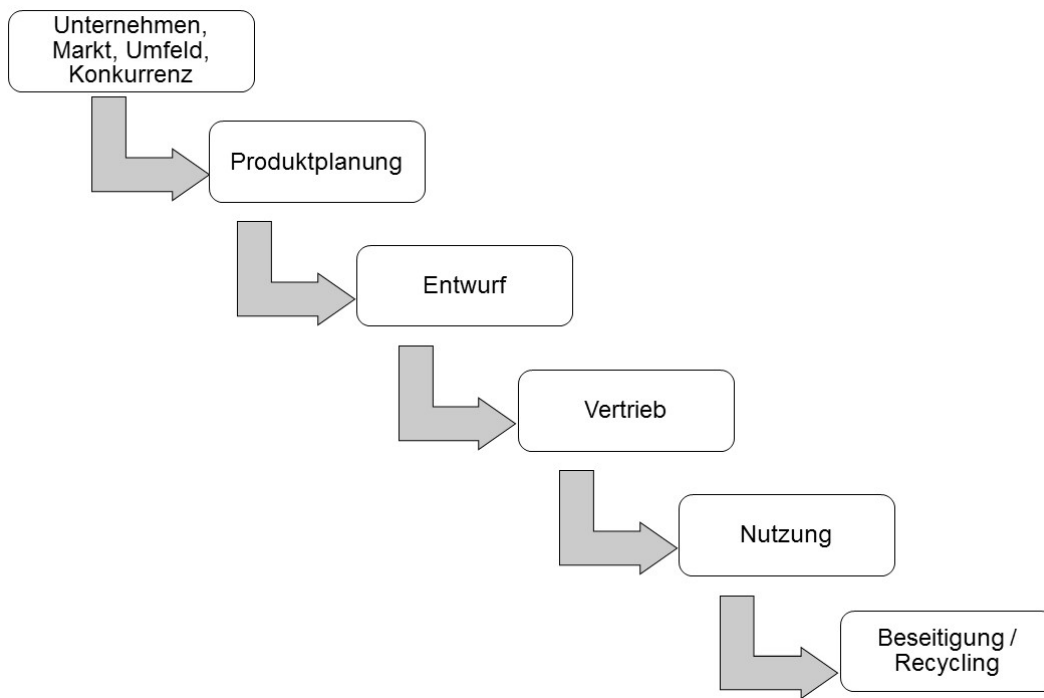


Abbildung 2.2: Aufbau des Produktlebenszyklus nach dem Stage-Gate-System

Ziele, die sich in Unternehmensleitbildern abbilden und in die Produktentwicklung mit einfließen. Der Markt liefert eine Vielzahl an Kundenanforderungen und -bedürfnisse, die zu erfüllen sind. Zudem fließen nationale und internationale Gesetze und Normen ebenso in die Produktentwicklung ein. In dem Abschnitt 2.4 wird näher auf das Thema eingegangen.

2.2.1 Methodisches Vorgehen bei der Produktentwicklung

Eine moderne Entwicklung technischer Produkte umfasst eine Abfolge mehrerer Prozessschritte bzw. Phasen, die in erster Linie einer Richtschnur dient. Die Abfolge ist sukzessiv aufzufassen, da beispielsweise eine Lösungsbeurteilung erst nach Finden und Ausarbeiten einer Lösung erfolgen kann. Mit der Richtlinie VDI 2221 - „Methoden zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ wurde eine allgemeingültige Vorgehensweise für die Entwicklung und Konstruktion technischer Produkte geschaffen. Anlehnend an FELDHUSEN - Methoden und Anwendungen erfolgreicher Produktentwicklung kann der Kernprozess, d.h. der eigentliche Produktentwicklungsprozess dabei grundlegend in die vier Phasen „Planen“, „Konzipieren“, „Entwerfen“ und „Ausarbeiten“ gegliedert werden. Abbildung 2.3 stellt eine schematische Übersicht der Prozessketten Produktentwicklung und Produktlebenszyklus und deren Zusammenhang zueinander dar. Eine scharfe Trennung ist nicht immer möglich, da Überschneidungen zwischen den Hauptphasen entstehen können, wenn beispielsweise gestalterische Festlegungen bereits beim Konzipieren nötig sind oder wenn bereits bei gestalterischen Entscheidungen fertigungstechnische Aspekte mitberücksichtigt werden. Dennoch ist die Unterteilung der Hauptphasen für die Planung des Entwicklungsprozesses hilfreich [12].

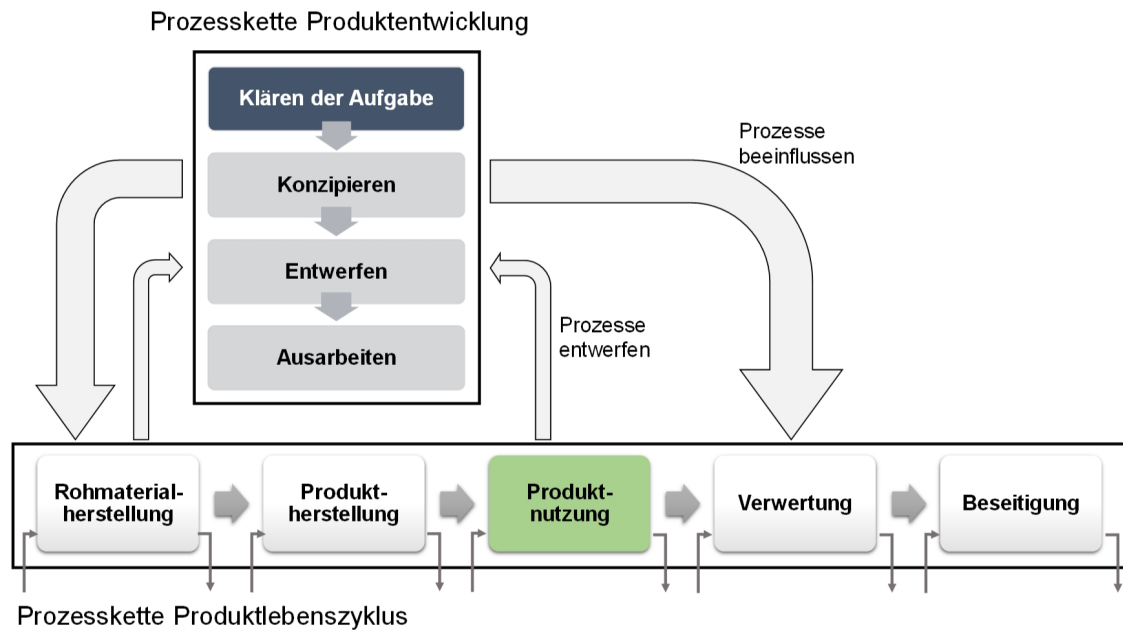


Abbildung 2.3: Produktentwicklungsprozess und Produktlebenszyklus [21]

Planen und Klären der Aufgabe

In der Planungsphase wird die Basis der Produktentwicklung geschaffen, die Aufgabenstellung. Die Aufgabe kann dabei aus einem durch die Produktplanung entstandenen Produktvorschlag oder aus Kundenaufträgen und -anforderungen entstanden sein. Demnach werden in der Phase der Planung vorrangig Informationen zu Produkthanforderungen, sowie zu bestehenden Bedingungen beschaffen. Alle ermittelten Anforderungen werden in einer Anforderungsliste zusammengetragen und festgehalten.

Nach Festlegung der Anforderungen, Bedingungen und deren Bedeutungen in einer Anforderungsliste erfolgt die Freigabe zum „Konzipieren“ und aus dem die weitere Arbeit ausgeht (Arbeitsplan). Demnach muss die Anforderungsliste stets auf den neusten Stand gehalten werden. Zum Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung werden vorrangig Methoden, wie Analyse-, Such- und Planungsmethoden, angewendet [12].

Konzipieren

Nachdem die Aufgabenstellung geklärt wurde, erfolgt in der Konzeptphase die eigentliche, prinzipielle Festlegung der Lösung. Im ersten Schritt wird hierbei die Aufgabenstellung auf die wesentlichen Probleme abstrahiert (Abstraktion), sodass das Produkt in seine Haupt- und Teilfunktionen zerteilt wird. So wird der Blick dem eigentlichen und entscheidenden Kernproblem der Aufgabenstellung gewidmet. Alle Funktionen werden in einer Funktionsstruktur zusammengetragen. Im nächsten Schritt werden aus Gründen der Lösungssuche geeignete Wirkprinzipien aufgesucht mit denen die Funktionen umgesetzt werden sollen. Die Verknüpfung der Wirkprinzipien mehreren Teilfunktionen bildet dabei die Wirkstruktur [12].

Nach Generierung zahlreicher Lösungen erfolgt im nächsten Schritt die Konkretisierung. Dazu ist eine Strukturierung der Ergebnisse z.B. anhand einer Auswahlliste oder einem Vorteil/Nachteil-Vergleich sinnvoll. Zudem können quantitative Bewertungen durch die

technisch-wirtschaftliche Bewertung nach der Nutzwertanalyse oder nach der Richtlinie VDI 2225 erzielt werden.

Entwerfen

In der Entwurfsphase erfolgt die gestalterische Festlegung der prinzipiellen Lösung. Im Allgemeinen werden mehrere maßstäbliche Entwürfe im Sinne von vorläufigen Entwürfen angefertigt, um weitere Informationen über Vor- und Nachteile der Varianten zu erlangen. Anschließend werden alle Entwürfe mit einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung miteinander verglichen, wobei erneut neue Erkenntnisse im Sinne von mögliche Schwachstellen gewonnen werden. Nach Beseitigung der Schwachstellen kann die endgültige Lösung verbunden mit der abschließenden Gestaltung des endgültigen Gesamtentwurfes gewonnen werden und damit die Freigabe zur Ausarbeitung erfolgen [19].

Ausarbeiten

In der Ausarbeitungsphase werden fertigungstechnische Festlegungen der Lösung erarbeitet. Hierbei wird der Gesamtentwurf der Lösung durch die endgültige Festlegung der Mikrogeometrie ergänzt, dazu gehören endgültige Vorschriften für Form, Lage und Bemessung, Festlegung aller Werkstoffe und Überprüfung der Herstellungsmöglichkeiten. Zudem werden endgültige Produktkosten bestimmt und die Technischen Zeichnungen, Pläne und Arbeitsanweisungen angepasst [12].

2.2.2 Methodisches Vorgehen bei dem Produktlebenszyklus

Im Sinne einer umweltverträglichen Produktentwicklung wird der Blick auf die einzelnen Phasen des Produktlebenszykluses gerichtet. Grundlegend lässt sich nach FREI der Produktlebenszyklus in drei Hauptproduktlebensphasen unterteilen, die mit einer vierten Phase - den Transport - erweitert wurden [20].

1. *Produktionsphase:*

Die Produktionsphase umfasst die Herstellung von Rohmaterialien über Zwischenprodukte bis zum Endprodukt. Die Informationsbeschaffung über die ökologische Vorgeschichte von Rohmaterialien und Produktteilen von Zulieferern ist oftmals sehr mangelhaft. Im Gegensatz dazu ist die Belastung durch die eigene Produktion relativ gut erfasst und nachvollziehbar.

2. *Nutzungsphase:*

Der Produktverantwortliche, in der Regel ist das der Konstrukteur, legt mit der Auslegung des Produktes die mit ihm einhergehenden Umweltbelastungen fest. Grundlegend wird in der Nutzungsphase zwischen aktiven und passiven Produkten unterschieden. Bei aktiven Produkten ist die Nutzung mit einem zusätzlichen Ressourceneinsatz verbunden und damit mit zusätzlichen Umweltbelastungen, wie beispielsweise bei Personenfahrzeugen. Passive Produkte hingegen verbrauchen während der Nutzung keine zusätzlichen Ressourcen. Demnach sind die Umweltbelastungen bei der Nutzung der Passiv-Produkte in der Regel vernachlässigbar.

3. *Entsorgungsphase:*

Für die Entsorgung von Produkten werden drei Unterteilungen vorgenommen: „das stoffliche Recycling“, „das thermische Recycling (Verbrennung)“ und „die Deponie“. Altprodukte, die das Recyclingsystem verlassen, landen zunächst in der

Deponie, jedoch können diese in der Zukunft erneut in den Recyclingkreislauf eingeführt und als Rohstoff genutzt werden. Durch das Recycling können Primärmaterialien gespart, damit wertvolle natürliche Ressourcen geschont und die Abgabe von Emissionen reduziert werden. Damit schließt das Produkt- und Materialkreislauf. Abbildung 2.4 stellt die verschiedenen Recyclingarten dar. Weniger recyclingfreundige Materialien sollte möglichst vermieden werden. Sofern dies nicht ausführbar ist, ist eine möglichst umweltfreundliche Beseitigung dieser Materialien sicherzustellen.

4. *Transport:*

Das Produkt wird zwischen den Phasen meist befördert / transportiert, wodurch ebenfalls Emissionen der Umwelt abgegeben werden. Relevant hierfür sind die Transportmittel, die Strecke, das Gewicht bzw. die Menge und das Volumen. Abhängig von Kundenbedürfnissen ist eine logistikgerechte Verpackung zu berücksichtigen.

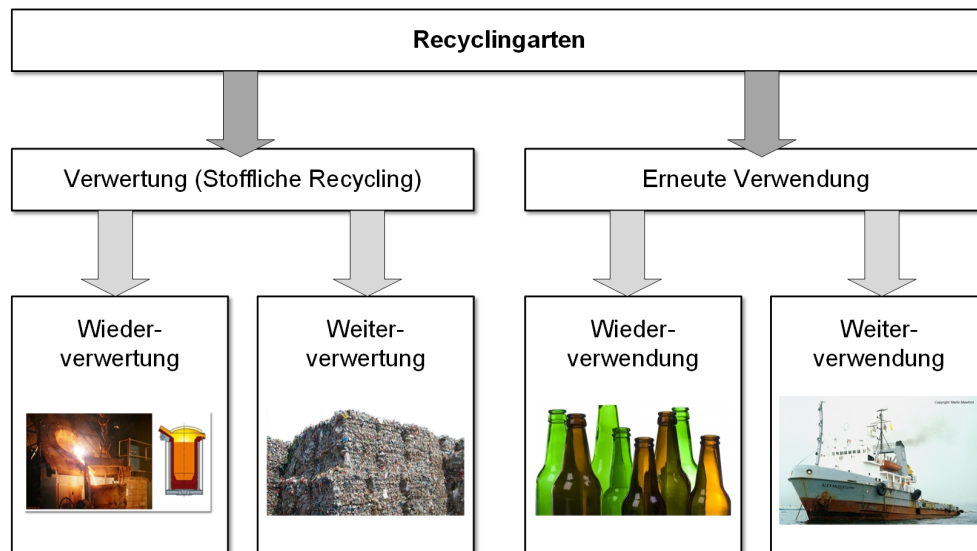


Abbildung 2.4: Übersicht der Recyclingarten - mit Fallbeispiel

Grundsätzlich sind innerhalb der Recyclingkreisläufe verschiedene Recyclingarten möglich. Im Allgemeinen wird hierbei zwischen einer *Verwertung* und einer *erneuten Verwendung* von Produkten unterschieden. Die *Verwertung* beschreibt das Auflösen des Produktes, wodurch zunächst ein großer Wertverlust entsteht. Altprodukte können entweder für eine gleichartige (Wiederverwertung) oder geänderte Herstellung (Weiterverwertung) dienen. Die stoffliche Verwertung von Altprodukten und -teilen im Sinne einer Wiederverwertung stellt beispielsweise die Herstellung von Stahl aus Schrott dar, einer Weiterverwertung z.B. die Herstellung von Schulheften aus Altpapier [19].

Die *erneute Verwendung* beschreibt die weitestgehende Beibehaltung der Produktformen, die entweder für den selben (Wiederverwendung) oder für einen anderen (Weiterverwendung) Verwendungszwecken dienen. Die Wiederverwendung stellt beispielsweise das erneute Befüllen von Glasflaschen dar, die Weiterverwertung hingegen beschreibt z.B. die Nutzung abgefahrener Autoreifen als Fender für Boote oder Schiffe [19].

2.3 Nachhaltigkeitorientierte Produktentwicklung

In der heutigen Gesellschaft nimmt mit steigendem Wohlstand auch der Verbrauch der natürlichen Ressourcen zu. Die Politik reagiert mit Gesetzgebungen und -Verordnungen. Die Wissenschaft und Industrie nehmen mit Entwicklung und Umsetzung zukunftsorientierter Lösungsansätze für ein umwelt- und sozialverträglicheres, d.h. nachhaltigeres Wirtschaften zunehmend eine Schlüsselfunktion ein.

Das effiziente Recycling im Sinne von einer erneuten stofflichen und/oder thermischen Verwertung stellt in der Betrachtung des technisch-ökonomischen-ökologischen Komplex nur ein Teilaspekt dar. In der Praxis ist zur Beurteilung und Optimierung der Umweltverträglichkeit eine möglichst umfangreiche und ganz einheitliche Betrachtung des Produktlebenszyklus notwendig. Es wird jedoch empfohlen, für eine pragmatische Bewertung der Umweltverträglichkeit und für das Aufstellen eines Lösungskonzeptes Prioritäten zu setzen.

Wie zuvor erwähnt, legt der Konstrukteur im Verlauf des Produktlebenszyklus mit seinen gestalterischen Entscheidungen für das Produkt auch die Umweltverträglichkeit des Produktes fest. Demnach wird empfohlen, dass ökologische Anforderungen direkt von Anfang an in den Produktentwicklungsprozess integriert werden, da im Nachhinein Änderungen durch gezielte Maßnahmen nur bedingt möglich und allenfalls mit hohem Aufwand verbunden sind.

In diesem Kapitel werden weitere Informationen für die einzelnen Produktentwicklungsphasen geben, um technisch-wirtschaftliche Alternativen und Lösungskonzepte zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit erarbeiten, auswählen und bewerten zu können. Die Umweltbelastungen eines Produktes kann dabei mit mehreren Möglichkeiten reduziert werden: Zum einen kann das Optimieren der Recyclingfähigkeit eines Produktes bzw. Produktteiles dazu beitragen. Hierbei ist zu prüfen, ob dies kompatibel zu anderen ökologischen Kriterien, sowie markt- und kundenbezogenen, technischen und wirtschaftlichen Anforderungen steht. Eine weitere Möglichkeit der Steigerung der Umweltverträglichkeit ist das Verringern des Ressourcenverbrauchs (Materialeinsparung) durch Umgestalten des Produktdesigns.

2.3.1 Aspekte einer nachhaltigkeitsorientierten Produktentwicklung

Im Rahmen der VDI-Richtlinie 2243 - Recyclingorientierte Produktentwicklung werden Informationen ausgehend von der Strategieentwicklung über Vorentwicklung bis zur Serienentwicklung von technischen Produkte geschaffen und wesentliche recyclinggerechte Konstruktionsaspekte geboten.

Abbildung 2.5 stellt die grundlegenden Aspekte zur Implementierung der Recyclingaspekte in einem Modell dar.

In dem unteren Teil des Modells sind zur Abarbeitung der recyclingrelevanten Arbeitsschritte verschiedene Tools und Werkzeuge aufgelistet. Mit Fortschreiten des Produktentwicklungsprozesses nimmt die Berücksichtigungsmöglichkeit von Recyclingaspekten ab. Demnach ist von Anfang an der Einsatz geeigneter Tools und Werkzeuge vorzunehmen.

Strategieentwicklung

In der Strategieentwicklung sind ökologische Entwicklungsziele, wie die Umweltverträglichkeit und die Recyclingfähigkeit zu ermitteln und in einem ökologischen Lastenheft festzuhalten. Sofern durch den Auftraggeber ökologische Produkthanforderungen angegeben sind, sind diese in die Anforderungsliste zu übertragen [10]. In dieser Arbeit werden

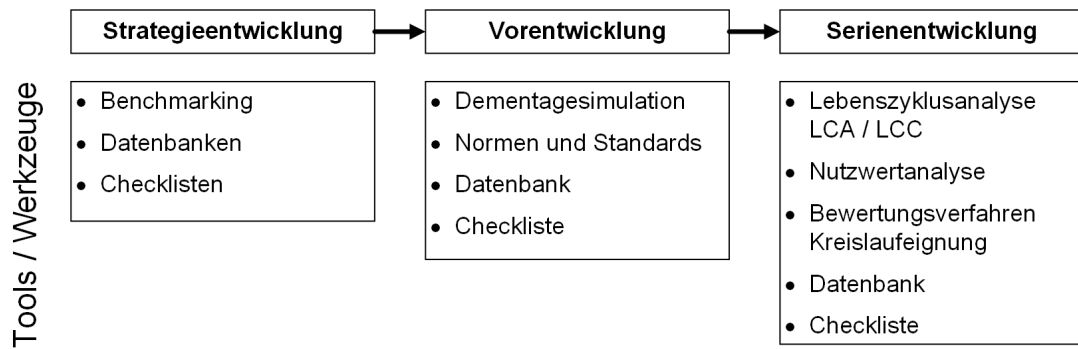


Abbildung 2.5: Werkzeuge zur Integration von Recyclingaspekten in den Produktentwicklungsprozess [10]

nach Produktanalyse der Referenzprodukte Schwachstellen hinsichtlich der ökologischen Aspekte ermittelt und Optimierungspotenziale für die Produkte bzw. Produktteile zur Entwicklung von Lösungskonzepten für das Produkt abgeleitet.

Vorentwicklung

Die Entscheidungen, die Verlauf der Produktentwicklung durch die Produktverantwortliche getroffen werden, haben einen großen Einfluss auf die Umweltverträglichkeit des Produktes, da hier grundlegende Produktstrukturen u.a. wie Werkstoffe, Herstellungsverfahren und Verbindungen der Produktteile festgelegt werden. Demnach sind die gestalterischen Festlegungen so zu wählen, dass möglichst hohe recyclingbezogene Wertschöpfungen bei möglichst geringem Aufwand für den Recyclingprozess erreicht werden. Produktstruktur ist dabei so zu wählen, dass die zuvor definierten Entwicklungsziele erfüllt werden, bei gleichzeitigem Einklang der technischen, wirtschaftlichen und sozialen Anforderungen an das Produkt. Dafür ist eine gesamt einheitliche Betrachtung und Bewertung des Produktentwicklungsprozesses durchzuführen [10].

In den nächsten Schritten kann das aufgestellte Konzept in Anbetracht der Randbedingungen weiter konkretisiert und optimiert werden.

Serienentwicklung

In der Serienentwicklung ist die Definition von Nachhaltigkeitsziele nicht mehr möglich bzw. nur noch mit hohem Aufwand verbunden. In dem Stadium sollten keine gestalterischen Festlegungen mehr erfolgen, sondern es erfolgt lediglich die Dokumentation der nachhaltigkeitsrelevanten Produkteigenschaft zur Umsetzung der vorgeschriebenen ökologischen Entwicklungsziele [10].

2.3.2 Recycling-Kriterien

Die Recyclingfähigkeit von Produkten und Produktgruppen ist ein integraler Bestandteil der gesamtökologischen Produktoptimierung. Hierbei ist selbstverständlich das bestmögliche Ökologisch-Ökonomische-Verhältnis zur Umsetzung der Recyclinganforderungen auszuwählen. Angelehnt an die VDI 2243 sind im Folgenden einige Recycling-Kriterien in Form eines Organigramms dargestellt.

2.3.3 Ressourceneffizienz

Das ressourceneffiziente Handeln ist nicht nur aus politisch-gesellschaftlichen Gründen sinnvoll, sondern es gibt eine Vielzahl an zusätzlichen Vorteilen und Bewegungsgründen

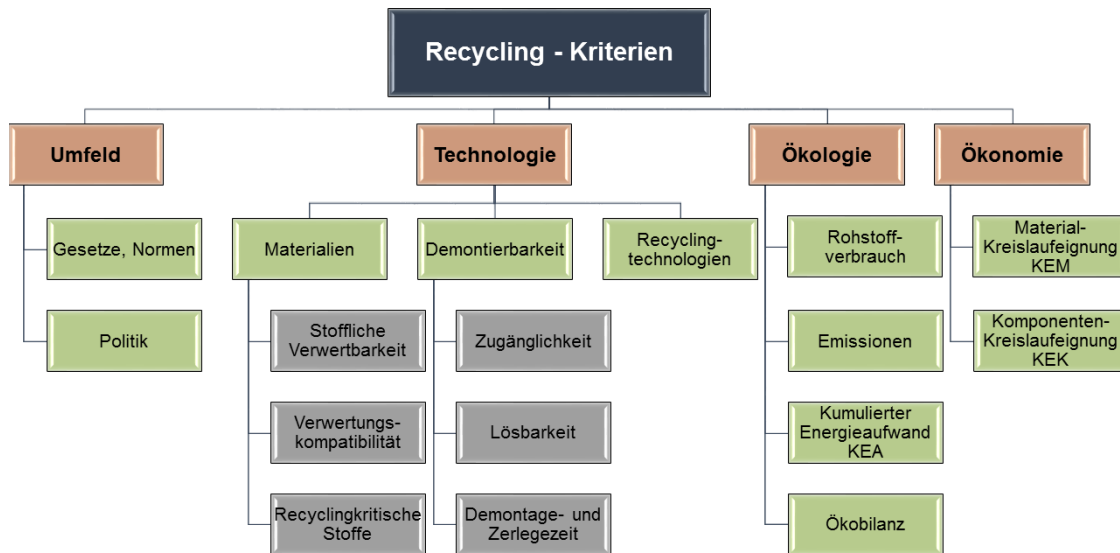


Abbildung 2.6: Recyclingkriterien angelehnt an VDI 2243 [10]

für Unternehmen, die in ihrer Ausprägung wesentlich von Gestaltungsentscheidungen abhängen. Die entscheidendsten Vorteile für ein Unternehmen sind vorrangig Kostensparnisse, die infolge des geringeren Einsatzes von Ressourcen entstehen. Im Gegenteil dazu will die Volkswirtschaft durch das ressourceneffiziente Handeln die Importabhängigkeit von speziellen Rohstoffen verringern. Demzufolge können Handlungsmotive für die Ressourceneffizienz ganz unterschiedlich sein, wichtig ist jedoch, dass die effiziente Nutzung der Ressourcen in eine umfassende Betrachtungsebene eingebettet wird. Zudem ist zu prüfen, ob bei der Ressourceneffizienz Nebeneffekte, wie z.B. Verlagerungseffekte von einer Wertschöpfungskette zu einer anderen oder Rebound-Effekte entstehen, um die tatsächliche Wirkung von Effizienzmaßnahmen angemessen bewerten zu können. Angelehnt an die VDI 4800-1 werden im Folgenden einige unternehmensspezifische Bewegungsmotive für ressourceneffizientes Handeln aufgelistet [17]:

- generelle Kosteneinsparung, auch bedingt durch steigende Rohstoffpreise
- Wettbewerbsvorteile durch Ressourcenschonende Produkte
- Reduktion der Rohstoffabhängigkeit
- Einführung eines Umwelt-/ Nachhaltigkeitsmanagementsystems
- Bessere Darstellung des Unternehmens in der Öffentlichkeit

Die Ressourceneffizienz ist definiert als das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand:

$$\text{Ressourceneffizienz} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad (2.1)$$

Der Nutzen beschreibt dabei ein bestimmtes Ergebnis, wie Produkt, Funktion oder funktionelle Einheit. Der Aufwand umfasst den dafür benötigten Ressourceneinsatz.

Die Ressourceneffizienz wird mit dem Nutzen von Gütern und/oder Dienstleistung mit geringerem Einsatz erreicht. Eine weitere Möglichkeit einer erhöhten Ressourceneffizienz ist das erhöhte technisch-funktionelle Nutzen bei sonst gleichem Einsatz von Gütern und/oder Dienstleistung. Die natürlichen Ressourcen beschreiben hierbei alle, die in der

Natur vorkommenden Bestandteile, wie erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, Raum (Fläche), Umweltmedien (Boden, Wasser, Luft) und strömende Ressourcen (z.B. Erdwärme, Windenergie und Sonnenenergie).

Abbildung 2.7 stellt Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz in Form eines Organigramms dar.

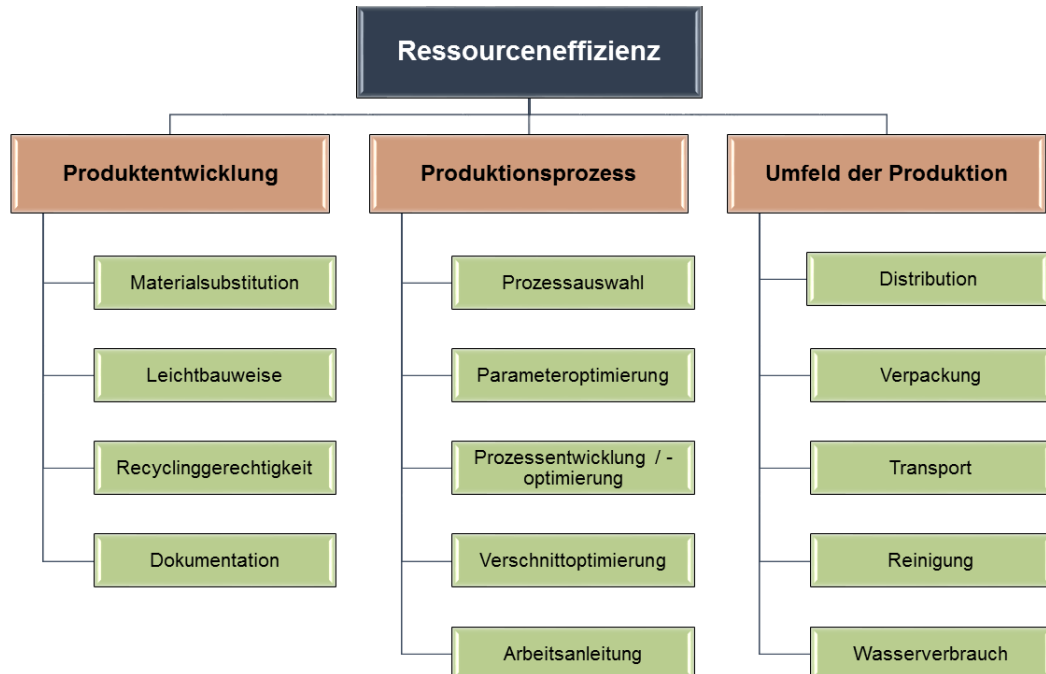


Abbildung 2.7: Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz [11]

2.3.4 Umweltverträglichkeit

Die Umweltverträglichkeit von Produkten ist ein wesentlicher Bestandteil einer nachhaltigkeitsgerechten Produktentwicklung und muss ebenfalls berücksichtigt werden. Um Umweltaspekte in einer nachhaltigkeitsgerechten Produktentwicklung berücksichtigen zu können, sind Ermittlungen von den zu erwartenden Umwelteinwirkungen und ihrer Beurteilung anhand von Analyse- und Bewertungsmethoden erforderlich. Die Basis für die Beurteilung der ökologischen Aspekte bildet dabei das System des Produktes, welches sowohl das Produkt selbst als auch die Summe aller Prozesse über den gesamten Produktlebenszyklus beinhaltet. Die Produktfunktion bildet die Ausgangslage zur Modellierung des Produktsystems ab.

Ziel der Integration von Umweltaspekten in die Produktentwicklung ist die systematische Reduzierung von negativen Umweltwirkungen [20]. Das Definieren von ökologischen Anforderungen erfordert sowohl umweltbezogene Anforderungen von Gesetzeslagen sowie unternehmensspezifische Anforderung zur Verbesserung der Produkte. Nach FREI wird ein existierendes Referenzprodukt ausgewählt, analysiert und das Wissen gezielt als ökologische Entwicklungsziele für die Entwicklung neuer, umweltgerechter Produkte verwendet. Dadurch lassen sich Umweltaspekte in vollem Umfang umsetzen. Die gezielte und systematische Integration der ökologischen Anforderungen in die Produktentwicklung basiert dabei auf den Eintragungen in einem ökologischen Lastenheft.

Nach FREI lässt sich die Vorgehensweise zur Bestimmung der ökologischen Anforderungen in zwei Schritte einteilen:

1. Auswahl des Referenzproduktes
2. Bestimmen der Umweltwirkungen des Referenzproduktes

1. Auswahl des Referenzproduktes

In der Vielzahl von verschiedenen Produkten können Unternehmen nicht das ganze Produktsortiment analysieren. Vielmehr werden Referenzprodukte, basierend auf Fragestellungen und Zielsetzungen ausgewählt, bezüglich denen die Umweltauswirkungen ermittelt werden. Zudem sind neben Zielsetzungen auch Kriterien zu Stand der Technik und mögliche Trends zu analysieren.

2. Bestimmen der Umweltwirkungen des Referenzproduktes

Sofern ein Referenzprodukt ausgewählt wurde, können die zu erwartenden Umwelteinwirkungen ermittelt werden. Dabei ist die Beurteilung der Umwelteinwirkung subjektiv, denn die Definition dieser hängt nicht von der Umwelt ab, vielmehr von ihrem Umfeld, der Gesellschaft, den Kunden und dem Unternehmen. Grundlegend wird je nach Bezug und Geltungsbedürfnis darüber entschieden welche Umweltbelastungen verbessert werden sollen. Zur Beurteilung der Umweltauswirkungen werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf Analyse- und Bewertungsmethoden, wie Ecolizer 2.0 und SolidWorks Sustainability zurückgegriffen. In Kapitel 4 werden die Methoden vorgestellt.

2.4 Rechtliche Instrumente

Für eine nachhaltigkeitsorientierte Produktentwicklung sind Anforderungen seitens aller Stakeholder ² zu berücksichtigen. Innerhalb der letzten Jahre entstanden auf internationaler und nationaler Ebene Gesetze, Normen und Richtlinien, um Umweltschäden reduzieren, anfallende Abfälle vermindern und Produkte gemäß den sozialen, ökonomischen und ökologischen Bedürfnissen heutiger und zukünftiger Generationen nutzen zu können.

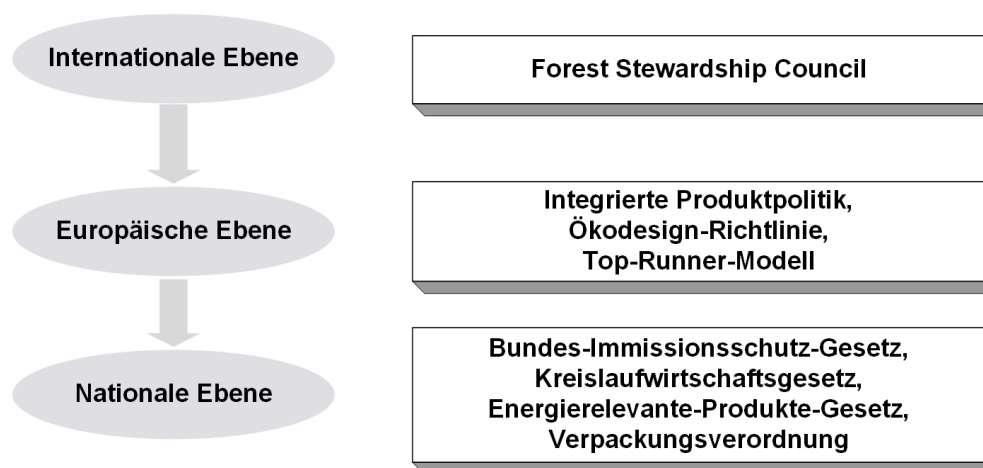


Abbildung 2.8: Übersicht der nationalen und internationalen Richtlinie

²beschreibt „eine Einzelperson oder eine Organisation, die aktiv an einem Projekt beteiligt sind, oder deren Interesse als Folge der Projektdurchführung oder des Projektabschlusses positiv oder negativ beeinflussen“ [22]. Unterschieden in internen (Eigentümer, Mitarbeiter) und externe (Markt/Kunden, Zulieferer, Konkurrenz, Gesellschaft, Staat) Stakeholder)

2.4.1 Internationale Ebene

Forest Stewardship Council (FSC)

Forest Stewardship Council (FSC) ist eine unabhängige, gemeinnützige Nicht-Regierungsorganisation, welches im Jahre 1993 als Ergebnis der Konferenz „Umwelt und Entwicklung“ in Brasilien gegründet wurde. Mittlerweile ist der FSC in über 80 Ländern weltweit mit nationalen Arbeitsgruppen vertreten. Ziel des FSC's ist das nachhaltigkeitsgerechte Bewirtschaften von Wäldern [23].

FSC-Produkte werden kontrolliert, zertifiziert und mit den FSC-Label versehen. Mit dem Anbringen des FSC-Labels wird dem Endverbraucher die Chance gegeben, bewusst umweltverträgliche Produkte auswählen und somit einen Beitrag zur Umweltschonung leisten zu können [23].

2.4.2 Europäische Ebene

Im Jahre 1993 wurde der Vertrag von Maastricht (Maastrichter Vertrag) über die Europäische Union abgeschlossen. Mit dem Zusammenschluss vieler Länder wurde ein gemeinsamer Handlungsrahmen geschaffen, welches die Verabschiedung von Richtlinien und Verordnungen auf internationaler Ebene ermöglicht [24]. Ein Ziel der Europäischen Union ist das „Nachhaltige Wachstum“ infolge der „weltweiten Verknappung der natürlichen Ressourcen“ mit dem Motto „mit weniger mehr erreichen“ [25].

Integrierte Produktpolitik

Im Jahre 2008 wurde die erste Strategie zur Verbesserung von Waren und Dienstleistungen durch Verminderung der Umweltbelastung und den Einsatz natürlicher Ressourcen in allen Phasen des Produktlebenszyklus verabschiedet: *Die integrierte Produktpolitik* (IPP) [25]. Die Integrierte Produktpolitik (IPP) beschreibt das nachhaltige Handeln auf Produktebene und liegt im EU-Grünbuch vor. Ziel der integrierten Produktpolitik ist die Entwicklung eines Marktes zur europaweiten Förderung von umweltfreundlichen Produkten [27]. Schwerpunkt der produktbezogenen Umweltpolitik sind Anreizsysteme zur Förderung eines umweltfreundlicheren Verbraucherhandels, sowie die Förderung einer Schlüsselrolle der Industrie bei der Integration von Umweltaspekten in die Produktentwicklung. Hierbei wird empfohlen, Produkte und Dienstleistungen über ihren gesamten Produktlebenszyklus zu betrachten [27]. Die Strategie basiert auf folgende Leitprinzipien [27]:

- Kommunikation

Die Kommunikation stellt ein wesentlichen Erfolg- bzw. Misserfolgfaktor der Strategie dar. Denn die Basis einer nachhaltigen Optimierung von Produkten und damit die Steigerung von Unternehmensfähigkeiten wird durch die Kommunikation der Akteure (Unternehmen, Produktverantwortlichen der Prozesskette, Politik und Kunde) gewährleistet - Unternehmen mit Politik, Projektverantwortliche der Prozesskette innerhalb des Unternehmens und Unternehmen mit Endverbraucher. Jeder muss in seinem Bereich ökologische Verantwortung übernehmen.

- Kooperation

Im Sinne einer erfolgreichen Umweltpolitik stellt die Zusammenarbeit zwischen Politik und Industrie ein wesentlichen Faktor für die erfolgreiche Umweltpolitik dar. Denn, die durch die Politik definierten Ziele und verschafften rechtlich-instrumentelle Rahmen sollten Bestandteile des produktbezogenen Umweltmanagements sein.

- Integration

Zur Herstellung umweltfreundlicher Produkte ist eine integrierte Sichtweise und die Berücksichtigung sozialer, ökonomischer und ökologischer Entwicklungsziele erforderlich. Ziel dieses Leitprinzips ist die Integration umweltorientierter Analysemethoden und -instrumente in den gesamten Produktentwicklungsprozess.

Ökodesign-Richtlinie

Ziel der Ökodesign-Richtlinie ist die „Schaffung eines Rahmens zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung (Ökodesign) von energieverbrauchsrelevanten Produkten“ [51]. Angelehnt an den Vertrag zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft wurde 2005 die Ökodesign-Richtlinie 2005/32/EG verabschiedet, die produktbezogene Anforderungen für eine umweltgerechte Gestaltung vorgibt. Mit der Ökodesign-Richtlinie wird ein einheitlicher, rechtlich-instrumenteller Rahmen zur Umsetzung der IPP geschaffen. Die ursprüngliche Fassung (Richtlinie 2005/32/EG) beschränkte sich auf energiebetriebene Produkte, d.h. Produkte, die zur Erreichung ihrer Funktion Energieformen von Elektrizität (Strom), fossilen Treibstoffen oder erneuerbaren Energiequellen benötigen. Mit der neuen Fassung (Richtlinie 2009/125/EG) wurde im Jahre 2009 der Geltungsbereich auf alle energieverbrauchsrelevanten Produkte³, jene die zur Erfüllung ihrer Funktion keine zusätzlichen Energieformen benötigen, aber während ihrer Nutzung den Energieverbrauch beeinflussen, erweitert [51].

Die Rahmenbedingungen werden hierbei jeweils für einzelne Produktgruppen durch das EU-Kommission in sogenannte „Durchführungsmaßnahmen“ festgelegt. Somit handelt es sich bei der Ökodesign-Richtlinie nicht um eine Rahmenrichtlinie, die konkrete Zielvorgaben vorgibt. In Deutschland erhalten Produkte, die in den Durchführungsmaßnahmen formulierten Anforderungen erfüllen, eine CE-Kennzeichnung und Konformitätserklärung und können damit auf dem europäischen Markt vertrieben werden.

EU-Top-Runner-Modell

Das Top-Runner-Modell wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes für Mensch und Umwelt durch Ökopol - Institut für Ökologie und Politik GmbH Hamburg in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung Berlin erarbeitet. Es stellt einen produktbezogenen und umweltpolitischen Ansatz dar. Ziel des Ansatzes ist die Einsparung von Energie und damit die Reduzierung von CO_2 -Emissionen auch für den Anwendungsbereich der energiebetriebenen Produkte. Konkretes Ziel des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ist die übergreifende Energieeffizienzsteigerung von +20% für das Jahr 2020 [29].

Eco Management and Audit Schema - EMAS

Das Eco Management and Audit Schema (Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung) ist ein freiwilliges Instrument, welches 1993 von der Europäischen Gemeinschaft entwickelt wurde und seit 2001 auf den Anforderungen der DIN EN ISO 14001⁴ basiert. Ziel der EMAS ist die kontinuierliche Optimierung von Umweltverhalten.

2.4.3 Nationale Ebene

Die Richtlinien und Verordnungen auf Europäischer Ebene sind mit der Verabschiedung des Maastrichter Vertrag für jedes Europäische Mitgliedsstaat verbindlich und in nationales Recht umzusetzen. Im Folgenden werden einige wesentliche Verordnungen und Gesetze vorgestellt.

³Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG)

⁴DIN EN ISO 14001 - Umweltmanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung: weltweit anerkannte Norm.

Bundes-Immissionsschutzgesetz

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) dient zum Schutz vor schädlichen Umweltwirkungen, wie Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und weiteren negativen Faktoren. Die Anforderungen des BImSch-Gesetzes gelten u.a. für Industrieanlagen, Brennstoff, Treibstoff sowie Kraft-, Schienen-, Luft- und Wasserfahrzeuge [31].

Kreislaufwirtschaftsgesetz

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) beinhaltet die Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen und wurde 2012 vom Bundestag mit Zustimmung des Bundesrates verabschiedet [32]. Ziel des KrWG-Gesetzes ist die Effizienzsteigerung von Abfallprodukten, d.h. die Verminderungen von Abfallprodukten zur Beseitigung, die nicht verwertet werden und die Steigerung von Abfallprodukten zur Verwertung, die durch Aufbereitung verwertet werden können. Damit werden natürlichen Ressourcen geschont und Mensch und Umwelt geschützt. Der Begriff „Abfall“ beschreibt in dem KrWG-Gesetz „alle Stoffe oder Gegenstände, deren sich der Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“ [32]. Das Prinzip der Vermeidung im Sinne des Gesetzes schreibt die Verringerung der Abfallmenge, der negativen Auswirkungen des Abfalls auf den Menschen und die Umwelt und die Reduzierung des Gehaltes an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen, vor [32]. Das Gesetz legt Maßnahmen der Vermeidung und der Abfallbewirtschaftung dazu in einer Abfallhierarchie vor, welches in Abbildung 2.9 dargestellt wird.

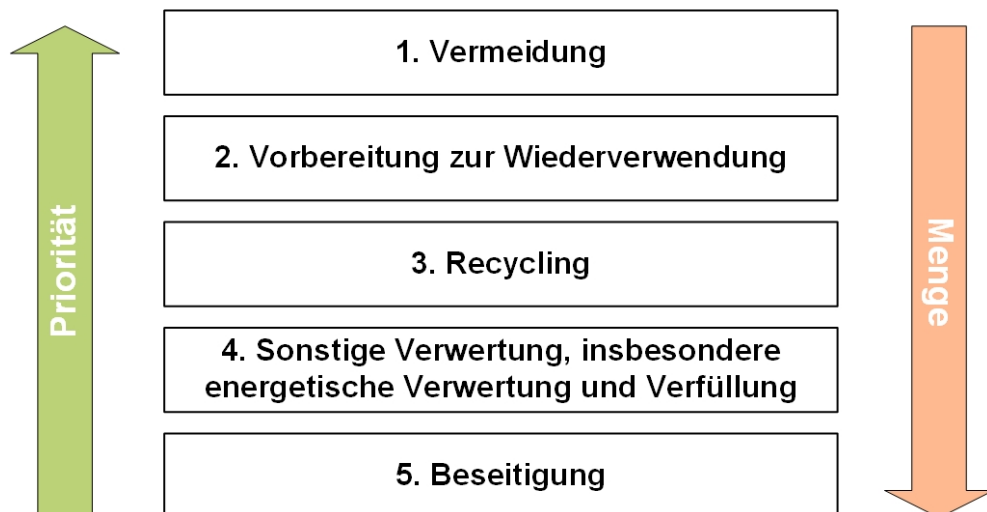


Abbildung 2.9: Abfallhierarchie nach KrWG

Demnach nimmt die Priorität mit der Rangfolge ab. Dabei sollen diejenigen Maßnahmen Vorrang haben, „die den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen unter Berücksichtigung des Versorge- und Nachhaltigkeitsprinzips am besten sicherstellen“ [32]. Dazu sind gemäß KrWG § 6 folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- zu erwartenden Emissionen,
- Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen,
- einzusetzende oder zu gewinnende Energie sowie
- Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, in Abfällen zu Verwertung oder in daraus gewonnenen Erzeugnissen.

Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG)

Mit dem Gesetz der Energieverbrauchsrelevanter Produkte wird die Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union in nationales Recht umgesetzt. Ziel der Richtlinie ist die Optimierung der Energieeffizienz und der Umweltverträglichkeit von Produkten [33].

Verpackungsverordnung (VerpackV)

Die Verpackungsverordnung zur Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen gilt für alle im Geltungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes in Verkehr gebrachten Verpackungen. Die Verordnung beschreibt ein nachhaltiges Geschäftsmodell, welches Unternehmen und Industrie im Sinne der Abfallpolitik in die Produktverantwortung für Entsorgung der gebrauchten Verpackungen (u.a. durch Rücknahmesysteme) nimmt und Mensch und Umwelt in den Mittelpunkt der Betrachtung des unternehmerischen Handelns stellt. Demnach wurden ein deutschlandweites Sammel- und Entsorgungssystem für Verpackungen unter dem Namen „Der Grüne Punkt“ eingerichtet [34].

2.4.4 Kennzeichnung umweltschonender Produkte

Grundsätzlich richtet sich die Kennzeichnung umweltschonender Produkte an den Verbraucher und stellt die Erfüllung der ökologischen Anforderungen von Kunden und der Öffentlichkeit dar. Im Allgemein handelt es sich um eine freiwillige Maßnahme, die keinen allgemeingültigen Gebots- oder Verbotscharakter aufweist - Ausnahme die CE-Kennzeichnung. Tabelle 2.1 stellt einige Kennzeichnungen von Produkten internationaler und nationaler Ebene dar.

2.5 Begriffe und Definitionen

In diesem Kapitel werden Begrifflichkeiten erklärt, welche zum vollständigem Verständnis der vorliegenden Arbeit wichtig sind [10].

Beseitigung:

Die Beseitigung beschreibt jedes Abfallbehandlungsverfahren, wie das Ablagern (Deponieren) und das Verbrennen. Das Abfallbehandlungsverfahren ist keine Verwertung, auch wenn durch das Verfahren als Nebenfolge Stoffe und Energien zurückgewonnen werden.

Aufbereitung:

Verfahrenstechnische Behandlung von Abfälle und Rückstände von Produkten und Materialien zur Verwertung und Verwendung.

Rohmaterial:

Rohmaterial beschreibt Stoffe und Stoffgemische, die in relativ gering bearbeitetem Zustand in den Produktionsprozess eingeführt werden.

Primärrohstoff:

Primärrohstoff bezeichnet den Rohstoff, der aus der Natur gewonnen wird.

Sekundärwerkstoffe, -materialien:

Sekundärwerkstoffe und Sekundärmaterialien sind Abfälle und/oder Materialien, die nach Aufbereitung erneut als Rohstoffe in den Produktionsprozess zur Herstellung von weiteren Produkte eingeführt werden.

Verwendung:

Der Begriff der Verwendung stellt in diesem Zusammenhang eine erneute Nutzung von gebrauchten Produkten, Produktteilen und Werkstoffen dar. Gebrauchte Produkte und

Verordnung / Bezeichnung	Kennzeichnung	Geltungsbereich	Voraussetzung
Forest Stewardship Council		Holz und Holzprodukte, (Möbel, Papierindustrie	eingesetztes Material (Herkunft, Recyclingmaterial)
EU-Ecolabel		Konsumgüter (Reinigungsprodukte, Elektrogeräten etc.)	Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus
CE- Kennzeichnung		Spielzeuge, Elektrogeräte, Schutzausrüstungen	Anforderungen der EU
Umweltmanagement nach DIN EN ISO 14001		registrierte Organisation mit Registrierungs- nummer	Anforderungen der EMAS-Verordnung
Blauer Engel		Büromaterial, Heimwerkerbedarf, Drucker etc.	Kriterienkataloge für bestimmte Produktgruppen
(EU-Label bzw. Energieverbrauchsetikett)		Elektro-, Haushaltsgeräte	Energieverbrauch, wie Wasser, Strom
Verpackungsverordnung (Der Grüne Punkt)		Verpackungsmaterial	Kreislaufwirtschaft

Tabelle 2.1: Kennzeichnungen von Produkten auf internationaler und nationaler Ebene

Produktionsteile können sowohl für den selben (Wiederverwendung) als auch einen anderen (Weiterverwendung) Verwendungszweck dienen.

stoffliche Verwertung:

Die stoffliche Verwertung beschreibt die Nutzung von Abfällen durch das Gewinnen von Stoffen durch Abfälle (rohstoffliche Verwertung) oder die Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle (werkstoffliche Verwertung).

thermische Verwertung:

Bei der thermischen Verwertung werden Abfälle als Brennstoff eingesetzt.

Rebound-Effekt:

„Der Rebound-Effekt beschreibt den ökonomischen Effekt, wobei eine absolute Einsparung von natürlichen Ressourcen bei Effizienzmaßnahmen nicht oder nur teilweise erreicht wird“.

3 Findung und Auswahl eines geeigneten Praxisbeispiels

Ziel des folgenden Abschnittes ist die Findung und Auswahl eines geeigneten Produktes zur weiteren Untersuchung. Der Arbeitsprozess soll durch geeignete Methoden und Instrumente der Produktentwicklung unterstützt werden. In den folgenden Kapiteln werden die ausschlaggebenden Kriterien für die Auswahl des Praxisbeispiels definiert und zunächst in einer Freihandgewichtung gewichtet. Im Anschluss dessen erfolgt durch das Punktebewertungsverfahren nach VDI 2225 die Auswahl.

3.1 Produktplanung

Wie in Kapitel 2 erklärt, nimmt nach FREI die Produktplanung in der nachhaltigkeitsgerechten Produktentwicklung eine zentrale Rolle ein. Die Literatur liefert zu dem Begriff der „Produktplanung“ unterschiedliche Definitionen. Im Sinne dieser Arbeit beschreibt die Produktplanung die unternehmensspezifische, systematische Findung und Auswahl von Produktideen und das Heranbringen von Ausgangssituation und Aufgabenklärung. Die Grundlegenden Anforderungen für die Produktentwicklung des neuen nachhaltigkeitsgerechten Produktes werden nach *Feldhusen* in einer Anforderungsliste festgelegt. Tabelle 3.1 stellt die Vorgehensweise bei der Planungsphase tabellarisch dar.

3.2 Rahmenbedingungen

Der erste Schritt einer Bewertung ist das Aufstellen von Rahmenbedingungen, aus denen sich die Bewertungskriterien (Ziele) ableiten und nach denen die Produktkategorien bewertet werden. Die Rahmenbedingungen ergeben sich aus der Zielvorstellung der Arbeit und umfassen mehrere Ziele, die möglichst vollständig erfasst werden müssen, um bei der Bewertung keine wesentlichen Gesichtspunkte unberücksichtigt zu lassen [13]. Definierte Ziele werden unabhängig voneinander betrachtet, d.h. die Erhöhung eines Zielwertes darf die Wertigkeit anderer Ziele nicht beeinflussen.

Für die effektive und zielführende Selektion eines Praxisbeispiels zur ökologischen Betrachtung werden sich, anlehnend an FELDHUSEN [19] im Rahmen dieser Arbeit folgende Leitfragen gestellt:

- Welche Eigenschaften müssen die auszuwählende Produktkategorien aufweisen?
- Welche Eigenschaften sollte sie nicht haben?
- Welchen Kriterien führen zu einer ökologischen Optimierung des Produktes und sollten Teil der nachhaltigkeitsgerechten Betrachtung sein?

Arbeitsschritte	Beschreibung	Werkzeuge / Tool
1. Rahmenbedingungen	Klären und Präzisieren von Zielen für das Projekt	
2. Finden von Produktkategorien	Findung von Produktkategorien als mögliches Referenzprodukt	Marktrecherche
	Festlegen von Kriterien mit technischen, ökonomischen, ökologischen Eigenschaften	Eigenschaftsprofil
	Gewichtung der Kriterien für je Produktkategorie	Freihandgewichtung
	Bewertung der Kriterien für je Produktkategorie	Bewertungsverfahren nach VDI 2225, Nutzwertanalyse
3. Auswahl einer Produktkategorien	Auswahl einer Produktkategorie mit technischen, ökonomischen, ökologischen Eigenschaften	
4. Produktauswahl als Referenzprodukt	Auswahl eines Referenzproduktes für die weitere Untersuchung	

Tabelle 3.1: Vorgehensweise der Planungsphase

Das auszuwählende Produkt sollte ein breites Spektrum an Werkstoffen zur Auswahl liefern, damit die negativen Umwelteinwirkungen signifikant verdeutlicht werden. Durch eine Kombination der verschiedenen Werkstoffe miteinander in Form eines Hybrid-Modells könnten technische Anforderungen simultan mit Materialeinsparungen erreicht werden und damit Umweltbelastungen reduziert werden. Umwelteinwirkungen, die während der Herstellungsverfahren entstehen, sollten ebenfalls eine besondere Betrachtung finden. Eine mögliche Variation der Herstellungsverfahren selbst für das Rohmaterial kann zu unterschiedlichen Umweltbelastungen führen. Zudem sollte die zerstörungsfreie Demontage des Produktes bei den Umweltaspekten und damit auch bei der Auswahl des Praxisbeispiels eine Berücksichtigung finden.

3.3 Findung von Produktkategorien

Um ein geeignetes und zielführendes Produkt für die Untersuchung gemäß den Rahmenbedingungen auswählen zu können, wird ein analytischer Blick in unterschiedliche Bereiche im Alltag, wie der Gartenabteilung, Innen- und Außenbereich geworfen. Dabei liegt der Fokus auf einen alltäglichen und kompakten Gebrauchsgegenstand, der aufgrund seiner hohen Stückzahl einen maßgeblichen Einfluss auf die Umwelt ausübt. Beim Auswahlvorgehen ist ein möglichst umfangreiches Betrachtungsfeld erwünscht. Mit der Berücksichtigung der Gesichtspunkte können eine Vielzahl an Produktkategorien in Erwägung gezogen werden. Nichtsdestotrotz muss die Anzahl der Produktkategorien begrenzt werden, um eine Übersichtlichkeit nicht zu verlieren. In erster Linie eignen sich für die Untersuchung der vorliegenden Arbeit folgende sechs Produktkategorien. Abbildung 3.1 stellt die zutreffenden Produktkategorien in einem Organigramm dar.



Abbildung 3.1: Übersicht der sechs Produktkategorien

3.3.1 Kriterienanalyse

Die in einem ersten Auswahlverfahren festgelegten Produktkategorien werden nun weiter konkretisiert, um vor allem detailliertere und quantifizierbare Kriterien zu ermöglichen. Die Produktkategorien werden hierbei nach technisch, sicherheitlichen, ökologischen und ökonomischen Werten untersucht. Für diesen Zweck haben sich Bewertungsverfahren etabliert, die bei Definieren der zutreffenden Kriterien zur Betrachtung von Systemen, Prozessen und Produkten eingesetzt werden. Durch die Betrachtung soll ein Vergleich der Produktkategorien untereinander gezogen werden und die Eignung dieser für die vorzunehmende Untersuchung bestimmt werden.

3.3.2 Freihandgewichtung

Mit der Festlegung der Bewertungskriterien sind ihre Bedeutungen (Gewicht) für den Gesamtwert der Produktkategorien zu erkennen. So wird sichergestellt, dass unbedeutende Bewertungskriterien bereits vor Beginn der Bewertung ausgeschieden werden. Die Bedeutung der Bewertungskriterien werden durch Gewichtungsfaktoren g_i klassifiziert, welche im Bewertungsverfahren berücksichtigt werden. Der Gewichtungsfaktor stellt dabei eine reelle, positive Zahl dar und gibt die Bedeutung eines Bewertungskriteriums gegenüber der Summe aller an.

$$g_k = \frac{g_i}{\sum g_i} \quad (3.1)$$

Durch die Vergabe von Werten wird nun die eigentliche Bewertung durchgeführt. Bei der Freihandgewichtung nach VDI 2225 wird mit Faktoren zwischen 0 - 4 gewichtet. Tabelle 3.2 stellt die Wertskala für das Bewertungsverfahren nach der Richtlinie VDI 2225 und deren Bedeutung für die Arbeit dar.

Bei der Freihandgewichtung wurden innerhalb der Bewertungskriterien die Varianten mit den Extremeigenschaften, d.h. mit den extrem guten und schlechten Eigenschaften festgelegt und extreme Punktzahlen - hier 0 und 4 bzw. nach der Nutzwertanalyse 10 vergeben. Dadurch lassen sich die übrigen Varianten relativ leicht dazu zuordnen. In Tabelle 3.3 ist die Freihandgewichtung der Bewertungskriterien dargestellt. Da die Gewichtungsfaktoren der Zielsetzung der Arbeit und den damit verbundenen Rahmenbedingungen abgeleitet wurden, sind sie einheitlich für jedes der sechs Produktkategorien gültig. Die Summe der Gewichtungsfaktoren beträgt dabei 1.0, so wird eine prozentuale Gewichtung der Ziele untereinander erreicht:

Pkt.	Bedeutung nach VDI 2225	Bedeutung im Projekt
0	unbefriedigend	unwichtig
1	gerade noch tragbar	eher unwichtig
2	ausreichend	teils - teils
3	gut	wichtig
4	sehr gut (ideal)	sehr wichtig

Tabelle 3.2: Wertskala der Bewertungskriterien für das Bewertungsverfahren nach VDI 2225 und dem Projekt

$$\sum g_k = 1$$

Die Bewertungskriterien der Rubrik Technik, Ökologie und Wirtschaft haben den größten Gewichtungsfaktor in der Freihandgewichtung. Bewertungskriterien der Rubrik Dokumentation sind für das Projekt dagegen eher unbedeutend und werden mit einer „0“ als Gewichtungsfaktor bewertet. Die Universaleinsatzbarkeit und der Zusatznutzen gehören der Rubrik Funktion an und sind im Bezug des Projektes eher von geringerer Größe. Für den Fall, dass eine Unentschiedenheit zweier Produktkategorien entsteht, können diese in dem Auswahl- und Entscheidungsprozess als „Bonuskriterium“ mitberücksichtigt werden.

3.3.3 Punktebewertungsverfahren nach der Nutzwertanalyse und der Richtlinie VDI 2225

Die zuvor in der Freihandgewichtung ermittelten Gewichtungsfaktoren der Bewertungskriterien werden dem Bewertungsverfahren übertragen und gelten für jedes der zu bewertenden Produktkategorien. Hierbei wird die Eignung der Produktkategorien für die vorzunehmende ökologische Untersuchung bewertet. Die Wertvorstellung der Bewertungskriterien wird durch die Vergabe von Punkten definiert. Für die Vergabe der Punktezahlen wird auf die Wertskala nach der Richtlinie VDI 2225 zurückgegriffen. Abbildung 3.2 stellt das Bewertungsverfahren nach der VDI 2225 für die sechs Produktkategorien dar.

Die ermittelten Punktezahlen (P_i) zu jeder Produktkategorie hinsichtlich aller Bewertungskriterien werden anschließend mit den entsprechenden Gewichtungsfaktoren multipliziert. Es ergibt sich ein Teilwert.

$$TW = P_i * g_{ki} \quad (3.2)$$

Die Summe aller Teilwerte bildet demnach den Gesamtwert für je Produktkategorie.

$$Gesamtwert = \sum P_i * g_{ki} \quad (3.3)$$

Nach den Ergebnissen aus dem Bewertungsverfahren ergibt sich eine Rangfolge, die in Abbildung 3.3 grafisch dargestellt wird.

Pkt.	Rubrik	Bewertungskriterien	g_i	g_k
1	Funktion	Kraftaufwand	4	0,0482
2		Reinigung	1	0,0120
3		Transportierbarkeit	3	0,0361
4		Zusatznutzen	2	0,0241
5		Universaleinsatzbarkeit	3	0,0241
6	Technik	Vielfalt der Materialien	4	0,0482
7		Vielfalt der Herstellungsverfahren	4	0,0482
8		Vielfalt der Verbindung	4	0,0482
9	Sicherheit	Sicherheit gegen Deformation	4	0,0482
10		Sicherheit gegen Korrosion	4	0,0482
11		Sicherheit gegen Aufschlaf	4	0,0482
12	Dokumentation	Festigkeitsberechnung	0	0,0000
13		Simulation der Fertigung	0	0,0000
14	Qualität	Zuverlässigkeit	4	0,0482
15		Verhinderung von Fehlbedienung	4	0,0482
16	Montage	Ohne Spezialwerkzeuge	1	0,0120
17		Kein Schweißen	1	0,0120
18		Eindeutig - Visuelle Erkennung	4	0,0482
19		Einfache Handhabung	4	0,0482
20	Ökologie	Recyclingbarkeit	4	0,0482
21		Ressourceneffizienz	4	0,0482
22		keine Umweltkritische Inhaltsstoffe	4	0,0482
23		Demontierbarkeit	4	0,0482
24	Demontage	Reparatur	2	0,0241
25		Austausch von Einzelzeilen	3	0,0361
26	Betrieb	Verfügbarkeit	4	0,0482
27		Wartung	0	0,0000
28	Wirtschaft	geringer Kaufpreis	4	0,0482
Summe:			83	1

Tabelle 3.3: Freihandgewichtung für das Bewertungsverfahren nach VDI 2225

Demnach ist der Hammer mit knapp 74% an erster Stelle. An zweiter Stelle stehen der Fahrradschloss und der Schlüsselkasten mit 71%. Da die ersten drei Produktkategorien sehr dicht zueinander stehen und prinzipiell alle drei in Erwägung gezogen werden können, erfolgt eine weitere Konkretisierung, diesmal nach der Nutzwertanalyse. Durch ein Zehnersystem in Anlehnung an eine Prozentvorstellung könnten die Punktevergabe und die anschließende Auswertung erleichtern. Zudem werden hierbei nur noch die wichtigsten Bewertungskriterien betrachtet, alle „eher unwichtigen“ Bewertungskriterien scheiden aus der Betrachtung aus. Im Rahmen der Arbeit werden nun die Bewertungskriterien der Rubrik Ökologie, Wirtschaft und Technik nach der Wertskala der Nutzwertanalyse bewertet. Tabelle 3.4 stellt dazu die Wertskala nach der Nutzwertanalyse und deren Bedeutung für das Projekt dar.

Das Berechnungsverfahren nach der Nutzwertanalyse ist in Abbildung 3.4 dargestellt.

Bewertungsverfahren				Produktkategorien											
				1 Hammer		2 Schaufel		3 Zange		4 Schlüsselkasten		5 Fahrradschloss		6 Walze	
Pkt.	Rubrik	Bewertungskriterien	g _k	Pi	g _k Pi	Pi	g _k Pi	Pi	g _k Pi	Pi	g _k Pi	Pi	g _k Pi	Pi	g _k Pi
1	Funktion	Kraftaufwand	0,0482	3	0,145	3	0,145	4	0,193	4	0,193	4	0,193	2	0,096
2		Reinigung	0,0120	4	0,048	4	0,048	4	0,048	3	0,036	3	0,036	3	0,036
3		Transportierbarkeit	0,0361	4	0,145	4	0,145	4	0,145	2	0,072	4	0,145	2	0,072
4		Zusatznutzen	0,0241	3	0,072	0	0,000	0	0,000	0	0,000	2	0,048	1	0,024
5		Universalbarkeit	0,0241	2	0,048	0	0,000	1	0,024	0	0,000	2	0,048	0	0,000
6	Technik	Vielfalt der Materiellen	0,0482	4	0,193	4	0,193	2	0,096	4	0,193	1	0,048	4	0,193
7		Vielfalt der Herstellungsverfahren	0,0482	3	0,145	3	0,145	2	0,096	3	0,145	1	0,048	2	0,096
8		Vielfalt der Verbindungen	0,0482	2	0,096	2	0,096	1	0,048	3	0,145	1	0,048	3	0,145
9	Sicherheit	Sicherheit gegen Deformaton	0,0482	4	0,193	3	0,145	2	0,096	1	0,048	3	0,145	2	0,096
10		Sicherheit gegen Korrosion	0,0482	3	0,145	2	0,096	3	0,145	1	0,048	3	0,145	2	0,096
11		Sicherheit gegen Abschlag	0,0482	0	0,000	1	0,048	2	0,096	1	0,048	3	0,145	1	0,048
12	Dokumentation	Festigkeitsberechnung	0,0000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
13		Simulation der Fertigkeit	0,0000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
14	Qualität	Zuverlässigkeit	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193
15		Verhinderung von Fehlbedienung	0,0482	4	0,193	2	0,096	2	0,096	4	0,193	4	0,193	3	0,145
16	Montage	Ohne Spezialwerkzeuge	0,0120	4	0,048	4	0,048	0	0,000	4	0,048	4	0,048	4	0,048
17		kein Schweißen	0,0120	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	4	0,048	0	0,000
18		eindeutig - Visuelle Erkennbarkeit	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	3	0,145
19		einfache Handhabung	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	2	0,096
20	Ökologie	Recyclingbarkeit	0,0482	2	0,096	2	0,096	3	0,145	3	0,145	3	0,145	4	0,193
21		Ressourceneffizienz	0,0482	2	0,096	2	0,096	3	0,145	2	0,096	3	0,145	3	0,145
22		keine Umweltkritischen Inhaltstoffe	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	3	0,145	3	0,145
23		Demontierbarkeit	0,0482	1	0,048	1	0,048	1	0,048	4	0,193	1	0,048	2	0,096
24	Demontage	Reparatur	0,0241	1	0,024	1	0,024	0	0,000	1	0,024	1	0,024	2	0,048
25		Austausch von Einzelteilen	0,0361	3	0,108	4	0,145	0	0,000	3	0,108	1	0,036	4	0,145
26	Betrieb	Verfügbarkeit	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193
27		Wartung	0,0000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	2	0,000
28	Wirtschaft	geringer Kaufpreis	0,0482	3	0,145	4	0,193	3	0,145	3	0,145	4	0,193	2	0,096
Punktzahlen - Summe					PZ = 2,952		PZ = 2,771		PZ = 2,530		PZ = 2,843		PZ = 2,843		PZ = 2,590
Rangfolge					R = 1		R = 4		R = 6		R = 3		R = 2		R = 5
Wertigkeit - Gesamt					W = 73,80%		W = 69,28%		W = 63,25%		W = 71,08%		W = 71,08%		W = 64,76%

Abbildung 3.2: Bewertungsverfahren - Auswahl der Produktkategorie

Pkt.	Bedeutung nach der Nutzwertanalyse	Bedeutung im Projekt
0	absolut unbrauchbare Lösung	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 gering
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
7	gute Lösung	erfüllt das Kriterium
8	sehr gute Lösung	erfüllt das Kriterium sehr gut
9	über die Zielvorstellung hinausgehende Lösung	erfüllt das Kriterium über die Zielvorstellung hinaus
10	Ideallösung	Ideallösung

Tabelle 3.4: Wertskala der Bewertungskriterien für die Nutzwertanalyse und dem Projekt

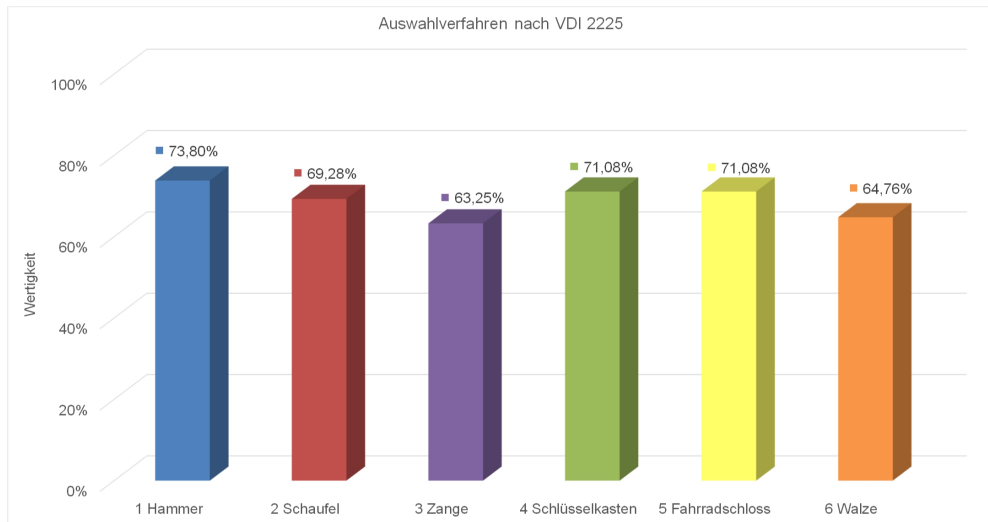


Abbildung 3.3: Rangfolge als Ergebnis des Bewertungsverfahrens nach VDI 2225

Bewertungsverfahren nach Nutzwertanalyse				Produktkategorien					
				1 Hammer		4 Schlüsselkasten		5 Fahrradschloss	
Pkt.	Rubrik	Bewertungskriterien	g _k	Pi	g _k Pi	Pi	g _k Pi	Pi	g _k Pi
1	Technik	Vielfalt der Materiellen	0,0482	8	0,386	7	0,337	2	0,096
2		Vielfalt der Herstellungsverfahren	0,0482	7	0,337	5	0,241	3	0,145
3		Vielfalt der Verbindungen	0,0482	5	0,241	2	0,096	5	0,241
4	Ökologie	Recyclingbarkeit	0,0482	6	0,289	6	0,289	5	0,241
5		Ressourceneffizienz	0,0482	5	0,241	4	0,193	5	0,241
6		keine Umweltkritischen Inhaltstoffe	0,0482	6	0,289	7	0,337	7	0,337
7		Demontierbarkeit	0,0482	5	0,241	9	0,434	1	0,048
8	Wirtschaft	geringer Kaufpreis	0,0482	8	0,386	8	0,386	8	0,386
Punktzahlen - Summe				PZ = 2,410		PZ = 2,313		PZ = 1,735	
Rangfolge				R = 1		R = 2		R = 3	
Wertigkeit - Gesamt				W = 60,2%		W = 57,8%		W = 43,4%	

Abbildung 3.4: Bewertungsverfahren nach der Nutzwertanalyse

3.4 Auswahl von Produktkategorien

Es ergibt sich die Reihenfolge: Hammer, Schlüsselkasten und Fahrradschloss. Aus Gründen der Sicherheit besteht ein Fahrradschloss in der Regel aus Stahl, gelegentlich auch mit einer Kunststoffummantelung. Wegen den schlechten Ergebnissen der Materialvielfalt, Vielfalt der Herstellungsverfahren und Demontierbarkeit scheidet der Fahrradschloss zu schlecht ab und fällt raus. Der Schlüsselkasten kann aus vielerlei Materialien, wie z.B. aus Metallblech, Aluminium, Kunststoff oder aus Holz, hergestellt werden. Im Allgemeinen werden Schlüsselkasten verschraubt. Bei unterschiedlichen Werkstoffen von Deckel und Kasten lässt sich dieser somit ohne großen Aufwand demontiert. Allerdings ist die Nachfrage und der Bedarf nach einem Hammer weitaus höher. Ein Hammer findet über viele Jahre, in unterschiedlichen Zeitabschnitten, Verwendung und wird für verschiedene Anwendungsbereiche eingesetzt. Zudem erfüllt dieser alle erforderlichen Kriterien für die weitere Untersuchung des Projektes, wie eine Vielfalt an Materialien und Herstellungsverfahren. Im Rahmen der die vorliegende Arbeit wird ein Hammer als Referenzproduktkategorie für die vorzunehmende Untersuchung ausgewählt.

3.5 Produktauswahl als Referenzprodukt

Ein Hammer ist bekannt als ein Werkzeug, welches für vielseitige Anwendungsbereiche verwendet werden kann. Je nach Verwendungszweck hat der Hammer einen eckigen (nach vorn spitz zulaufenden) oder abgerundeten Hammerkopf und einem dem angepassten Stiel. Hammer können beispielsweise zum Einschlagen von Nägel und Meißel, Abklopfen von Putz an der Wand oder zum Schmieden von Produkten, sowie zum Ausziehen von Nägeln eingesetzt werden. Mit einer stiellosen Variante (Faustkeil) gehört *der Hammer* zu den ältesten Werkzeugen der Menschheit.

Der Normenausschuss Werkzeuge und Spannzeuge (FWS), NA 121-05-12 AA „Schlagwerkzeuge“ veröffentlichte eine Reihe von Normen zu verschiedenen Hämmern, in denen jene Technische Anforderungen vorgegeben werden.

Im Sinne der Veranschaulichung sind in Abbildung 3.5 einige Beispiele von Hämmern teils mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen dargestellt.



Abbildung 3.5: Anschauungsbeispiel von Hammer-Varianten

Funktionsbeschreibung

Um das Verständnis für die Produktkategorie *Hammer* zu erleichtern, sind die Anwendungsbereiche verschiedener Hämmern im Folgenden aufgelistet:

(1) *Schmiedehammer*

beschreibt einen im Schmiedehandwerk eingesetzten Hammer.

(2) *Schlosserhammer*

dient grundsätzlich dem Zerschlagen, Einschlagen und Formen von Teilen.

(3) *Axthammer*

wird grundsätzlich zum Bearbeiten von Holz eingesetzt.

(4) *Fäustel*

wird in der Steinmetzerei oder Steinbildhauerei eingesetzt und dient zum Beschlagen anderer Werkzeuge, wie beispielsweise einem Meißel.

(5) Goldschmiedehammer

ist eine Sonderausführung der Hammerwerkzeuge und beschreibt ein Schmiedehandwerk für Juwelierarbeiten.

(6) Schweißerhammer

wird bei Schweißerarbeiten eingesetzt und dient zum Ausklopfen von Schlacke beim Lichtbogenhandschweißen.

(7) Zimmermannshammer

eignet sich zum Anheben und richtigen Ansetzen der Nadel.

(8) Maurerhammer

dient zum Bearbeiten und Zerkleinern von Stein, dem Abklopfen von Putz und dem Auskratzen von Fugen. Mit der flachen Seite lassen sich Nägel einschlagen

(9) Dangelhammer

dient dem Schärfen der Schneide einer Sense.

(10) klassischer Schlosserhammer

gilt als Standard Hammer. Die flache Seite des Hammerkopfes dient (Bahn) zum Einschlagen von Nägel, Meißel oder anderen Werkstücken. Die spitze Seite (Pinne) erlaubt das exakte, punktuelle Arbeiten.

(11) Schonhammer

dient dem Positionieren und Ausrichten von Werkstücken und dem schonenden Bearbeiten weicher Materialien, wie Fliesen.

3.5.1 Anforderungsanalyse

Angelehnt an die Zielsetzung und Rahmenbedingungen wurden für die Entwicklung eines nachhaltigkeitsgerechten Hammers vier Hämmer als Basis der weiteren Untersuchung ausgewählt: „Schlosserhammer“, „Schonhammer“, „Zimmermannshammer“ und „Axthammer“.

Im Folgenden werden zur ersten Bewertung der vier Hammer ein Vor-/Nachteil-Vergleich durchgeführt (s. Abbildung 3.6). Die Kriterien bauen hierbei auf grundlegende, technische Anforderungen auf, die als Basis der späteren Entscheidungen in der Entwurfs- und Konzeptphase festgehalten werden. Die Eigenschaften bestimmen in Konsequenz auch die Funktionen, Wirkprinzipien, Gestalt und deren Auswirkungen auf die Umwelt. Sodass der Konstrukteur mit dem Konzipieren und dem Gestalten der Produkte die Umweltverträglichkeit festlegt.

In der bisherigen Konstruktionspraxis wurde vor allem das Prinzip des „Cradle to Grave“⁵ angewandt, mit der Priorität technische und ökonomische Eigenschaften zu verbessern. Künftig sind diese im Sinne eines Umweltprofils mit den ökologischen Anforderungen zu erweitern und in der Anforderungsliste bzw. in dem Lastenheft zu definieren. Es genügt dabei nicht eine „geringe“ Umweltbelastung als Forderung festzulegen. Vielmehr müssen nach *Frei* spezifische, ökologische Anforderungen in Erfahrung gebracht werden, die in der Entwicklung der neuen, umweltverträglichen Produktentwicklung einfließen.

Werkstoffe

Bei der Betrachtung der vier Hämmer ist erkennbar, dass verschiedene Werkstoffe miteinander kombiniert werden können. Als Werkstoffe für den Hammer werden:

- Hammerkopf:
geschmiedeter Stahl (C45), Kunststoff (Polyamid, Polyethylen, Polypropylen, Ny-

⁵Von der Wiege bis zur Bahre

Vorteil / Nachteil- Vergleich	Variationen Blatt: 1/2							
	1 Schlosserhammer		2 Schonhammer		3 Zimmermannshammer		4 Axtspalt	
Kriterien	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil
1 Kraftaufwand	wesentlich geringer Kraftaufwand (Vielfalt an Gewichtsklassen)	---	geringer Kraftaufwand, geringer Rückschlag [1]	---		beim Schlag weniger gedämpft	hoher Kraftaufwand (längerer Stiel und schwerer Kopf)	---
2 Transportierbarkeit	geringes Gewicht (Vielfalt an Gewichtsklassen)	---	geringes Gewicht	---	---	---	Kopf wesentlich schwerer als Griff	Schutzkappe erforderlich
3 Schlagfertigkeit	präzise Schläge	---	breite Schlagfläche	Einsatz in den Ecken bedingt möglich (runde Schlagfläche)	präzise Schläge (gerippte Oberfläche)	---	hohe Schärfe, präzise Schläge	---
4 Bedienung	geformter Griff, liegt gut in der Hand, präzise Schläge, gedämpfter Rückschlag	---	liegt gut in der Hand	nicht geformt	gummierter, geformter Griff gegen Abrutschen	---	---	keine Gummierung
5 Zusatznutzen	---	---	---	---	herausziehen von Nägeln	---	zum Schneiden und Trennen	---
6 Beschädigungen des Hammers beim Bedienen		---	geringe Beschädigungen	kein Stielschutzhülse angebracht	Hülse mit Hammerkopf vereinbart, schützt Holzstiel vor Schäden	---	---	kein Stielschutzhülse angebracht

Abbildung 3.6: Auszug aus dem Vor-/Nachteil-Vergleich der vier Hämmer

lon), Holz; in seltenen Fällen auch Kupfer und Aluminium (für weiche Oberflächen)

- Hammerstiel:
Holz (Esche, Hickory), Kunststoff (Gummierter Kunststoff, Ultramid), Glasfaser, Fiberglas und Stahlrohr
- Griffe:
Gummi oder Leder
- Keil
Eisen mit besonderen Rippen
- Stielschutzhülse bzw. -manschette
Stahl, Kunststoff, Gummierter Kunststoff

eingesetzt.

Verbindungsmöglichkeiten

Grundsätzlich wird der Hammerstiel direkt in dem Hammerauge eingepresst und der Griff in Hammerstiel eingeklemmt. Im Allgemeinen bieten sich verschiedene Verbindungsmöglichkeiten zwischen Hammerkopf, -stiel und Griff an. Diese werden nach den Wirkprinzipien Form-, Kraft- und Stoffschluss unterschieden. Eine *formschlüssige* Verbindung entsteht durch das körperliche Ineinandergreifen von mindestens zwei Verbindungselementen. Beim *Kraftschluss* erfolgt die Verbindung der Verbindungselemente mittels Klemmung oder Pressung, wobei eine Normalkraft auf die Wirkflächen erzeugt wird und Reibkräfte entstehen. Im Gegensatz zu den anderen beiden Verbindungstechniken vereinen sich die Verbindungselemente beim *Stoffschluss* stofflich mittels eines Zusatzstoffes. Tabelle 3.5 stellt die Verbindungstechniken am Beispiel des Hammers dar.

Verbindungstechniken	Schlosserhammer	Schonhammer	Zimmermannshammer	Spalthammer
Formschluss			Kopf/Stiel (Querstift)	
Kraftschluss	Stiel/Griff (Pressung)	Kopf/Stiel (Klemmung)	Stiel/Griff (Pressung)	Kopf/Stiel (Verschraubung mit Schraube, Sicherungsplatte und Ringkeil)
Stoffschluss	Kopf/Stiel (Kleben)			

Tabelle 3.5: Wirkprinzipien der mechanischen Verbindungen

Ermitteln von relevanten Umweltaspekten

Zur nachhaltigkeitsgerechten Optimierung von Produkten werden zahlreiche Ansätze und Methoden verfolgt. Um jedoch eine zielführende Optimierung von Produkten erreichen zu können, sind geeignete Produktverbesserungsstrategien auszuwählen, die direkt an den relevanten Produktlebensphasen ansetzen.

Abbildung 3.7 stellt die zu erwartenden Umweltauswirkungen entlang der Wertschöpfungskette (Produktlebenszyklus) dar.

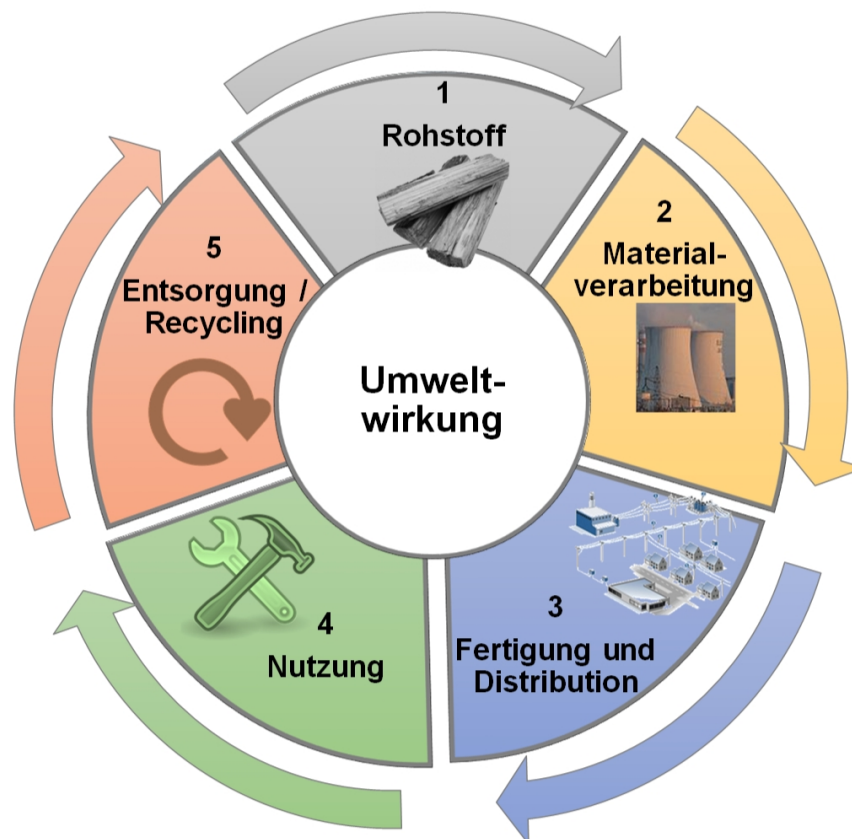


Abbildung 3.7: Umweltwirkungen entlang der Wertschöpfungskette

Die Technische Universität Delft hat ein Instrument zur Analyse der zu erwartenden Umweltauswirkungen entwickelt (MET-Matrix), welcher im Sinne der Arbeit zur ersten

	Produktion	Nutzung	End of Life
Materialeinsatz (Input)	-Rohstoffe, wie Erdöl, Erze, Rohholz; -Hilfsstoffe, wie Klebstoff Schmierstoff	-ggf. Einsatz von Teilen bei der Wartung	-kaum Materialeinsatz
Energieverbrauch (Input)	-hoher Energieverbrauch bei der Herstellung von Aluminium -Kunststoff-spritzguss -Metallverarbeitung	-Passives Produkt -geringer Energieverbrauch	-Energieverbrauch beim Recyclingprozess, -bei Holz, Kunststoff Energieverbrauch höher als Metall
Toxische Emissionen (Output)	-Emissionen, wie CO_2 -Abfälle, wie Altmetall, -holz, -kunststoff	-Passives Produkt -kaum Energieverbrauch	-Emissionen beim Recycling / Beseitigung

Tabelle 3.6: MET-Matrix Referenzprodukt im Allgemeinen

Untersuchung angewandt wird. In dem Ansatz wird das Produkt bzw. in der Arbeit die Produktkategorie im Allgemeinen über seinen Lebenszyklus hinweg betrachtet. MET-Matrix steht für Materials, Energy and Toxicity und stellt eine 3x3 Matrix dar.

Hierbei werden die zu erwartenden Umwelteinwirkungen bezüglich Materialeinsatz, Energieverbrauch, toxischen Emissionen untersucht. Der Materialeinsatz und der Energieverbrauch fließen als Input-Ströme in das Produktsystem ein. Die toxischen Emissionen stellen im Gegensatz dazu die Output-Ströme dar. In Tabelle 3.6 ist die MET-Matrix für das Referenzprodukt im Allgemeinen dargestellt.

4 Ökologische Bewertungsmethoden

Im Sinne der ökologischen Bewertung und Folgeabschätzung werden Produkte und Dienstleistungen unter den Aspekten wie Energieaufwand, Ressourcennutzung und Umweltbelastungen analysiert, um möglichst umfangreiche und vollständige Information für eine umweltgerechte Produktgestaltung und -entwicklung, wie auch Nutzung und Entsorgung bereitzustellen.

In diesem Kapitel werden einige ökologische Analysemethoden und -instrumente vorgestellt, die von detaillierten und zeitaufwändigen ökologischen Bewertungen bis zu ersten Abschätzung reichen. Auch sorgfältig durchgeführte, umfangreiche ökologische Analysen liefern nicht immer eindeutige Ergebnisse. Denn hierbei gibt es keine übergreifende „Gesamtwahrheit“. Primärer Ziel aller ökologischen Bewertungen ist die Schonung der natürlichen Ressourcen verbunden mit der Effizienzsteigerung und die Reduktion von Schadstoffen und Abfällen.

4.1 Ökodesign-Prinzipien

Für die erste Abschätzung der Umweltfreundlichkeit von Produkten werden in der Entwurfsphase obligatorisch Ökodesign-Prinzipien angewandt. In erster Linie dienen die Ökodesign-Prinzipien einer Orientierung, wobei Aspekte bzw. Anforderungen für eine umweltgerechte Gestaltung bzw. Verbesserung von Produkten vorgegeben werden:

1. „Langlebigkeit“,
2. „Reparierbarkeit“,
3. „Materialeffizienz“,
4. „Energieeffizienz“,
5. „Problemstoffarmut“,
6. „Nachwachsende Rohstoffe“ und
7. „Kreislauffähigkeit“.

Allerdings gelten die Vorsätze nicht in jedem Produktbereich und unter allen Nutzungsbedingungen als absolut „richtig“. Denn es ist nicht sinnvoll, ein Produkt besonders langlebig oder gar reparaturfähig auszulegen, sofern dieser beispielsweise nur zur einmaligen, kurzzeitigen Nutzung dienen soll (Pappbecher). Demnach ist für jedes der sieben Ökodesign-Prinzipien die Grenze der Gültigkeit zu erkennen und zu betrachten.

4.1.1 Langlebigkeit

Für den Begriff der Langlebigkeit gibt es viele unterschiedliche Definitionen. Im Rahmen der Arbeit und der Ökodesign-Prinzipien beschreibt diese eine Eigenschaft von Produkten, ihre Funktion und Leistungsfähigkeit über eine verlängerte Lebensdauer beizubehalten [28].

Das Ökodesign-Prinzip „Langlebigkeit“ baut auf das bekannte Verhältnis von Nutzen zu Aufwand auf. Hierbei beschreibt der Zähler die Nutzungsdauer des Produktes. Mit dem Nenner werden die kumulierten Umweltlasten beschrieben, die über den Produktlebenszyklus eines Produktes entstehen.

$$\text{Langlebigkeit} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad (4.1)$$

Eine Erhöhung der Nutzungsdauer ohne Veränderung der kumulierten Umweltlasten führt zur umweltgerechten Verbesserung des Produktes, da dadurch das Produkt insgesamt mehr Nutzen findet. In diesem Zusammenhang wird auch von einer „verbesserten, ökologischen Amortisation“ gesprochen.

Neben den Gesichtspunkten der sorgfältigen Konstruktion und der materialtechnischen Auslegung können noch andere Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensdauer eines Produktes führen, wie durch:

- die zerstörungsfreie Demontage (Nutzung lösbarer Verbindungstechniken)
- ein Modularer Aufbau (Austausch von Verschleißteilen)
- ein geringerer Aufwand für Wartung (Reparatur)
- die Garantien-/Gewährleistungsverlängerung durch den Hersteller
- die Förderung von Anreizsystemen für das umweltbewusste, verlängerte Nutzungsverhalten von Endverbrauchern ggf. auf Wartungs- und Reparaturintervalle hinweisen.

4.1.2 Reparierbarkeit

Die Reparaturfähigkeit von Produkten ist eng mit ihrer Lebensdauer verbunden. Denn die Reparatur und der Austausch von Verschleißteilen führt schlicht zur Verlängerung der Gesamtlebensdauer des Produktes und wirkt sich damit positiv auf die Umweltverträglichkeit aus. Ohne die Reparaturfähigkeit von Produkten wäre die Lebensdauer eines Produktes auf die Lebensdauer der Verschleißteile begrenzt. Das gleiche gilt bei nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch (wie z.B. bei einem Sturz). Demnach vermeidet die Reparatur das vorzeitige Ende des Produktlebens und damit den Einsatz von neuen Ressourcen für die Herstellung eines Ersatzproduktes.

4.1.3 Materialeffizienz

Der vermehrte Einsatz von Material wirkt sich in nahezu allen Phasen des Produktlebenszyklus - mit dem Abbau von Rohstoffe, der Rohmaterialherstellung, über den Transport bis hin zur Produktherstellung negativ auf die Umweltverträglichkeit eines Produktes aus. Das Motto „Weniger ist besser“ stellt dabei eine gute Orientierung dar, ist jedoch nicht für jeden Produktbereich gültig. Denn die Umweltvorteile, die durch

den Leichtbau erreicht werden, können durch einen deutlich höheren Aufwand spezieller Materiallösungen aufgebraucht werden. Demnach sollte das Motto vielmehr lauten: „Weniger vom Gleichen“. Ziel der Materialeffizienz ist die Schonung von natürlichen Ressourcen, wobei Gleiches nicht immer Gleiche ist. Unterschiedliche Förderstandorte für die Förderung der Referenzmenge an Rohstoffen können unterschiedliche Qualitäten mitbringen (Wasserqualität). Im Gegensatz dazu ist die Nutzung von Recyclingmaterial immer mit einer natürlichen Ressourcenschonung verbunden, sofern dieser ähnliche technische Eigenschaften zum Ausgangsmaterial bietet oder bei schlechteren Eigenschaften des Recyclingmaterials, dieser durch geeignete Lösung wieder nutzbar wird.

4.1.4 Energieeffizienz

Wird zum Erreichen der Funktionalität eines Produktes weniger Energie eingesetzt, so wird von Energieeffizienz gesprochen. Die Erzeugung und Verteilung von Energieträgern, thermischer und elektrischer Energie verursacht eine Umweltbelastung. Dabei ist wichtig, wieviel Primärenergie eingesetzt wird und wie diese Energie erzeugt wird. Sowohl der niedrige Energieverbrauch spielt in der Nutzungsphase eine Rolle, als auch der kumulierte Gesamtenergieverbrauch im gesamten Lebenszyklus des Produktes. Mit der Reduzierung des Energieverbrauchs erreichen Unternehmen neben Umweltvorteile auch Kostenvorteile, was im Allgemeinen zu einer ökonomisch-ökologischen Verbesserung des Produktes führt.

4.1.5 Problemstoffarmut

Ein problemstoffarme Produkt ist für die menschliche Gesundheit und Umwelt erstrebenswert, jedoch aufgrund der Komplexität nicht immer umsetzbar, da einige Produkte ihre Funktionalität nur mit und wegen den schädlichen Stoffen erreichen. Oftmals ist der geringere Einsatz von Alternativen mit Qualitätsverlusten verbunden. Insofern ist mit dem Ökodesign-Prinzip „Problemstoffarmut“ abzuwägen, inwiefern ein Verzicht auf Problemstoffe⁶ möglich ist. Risiken der Problemstoffe entstehen mit der Freisetzung von schädlichen Stoffen durch das Produkt und den damit ggf. entstehenden Explosionen. Zur vollständigen Betrachtung sind jedoch nicht nur das Produkt selbst, sondern jegliche schädlichen Stoffe, die auch in den Prozessen Herstellung, Nutzung und der Entsorgung freigesetzt werden (könnten), zu betrachten.

4.1.6 Nachwachsende Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe beschreiben jene Biotische Rohstoffe, die aus der Land- und Forstwirtschaft stammen und zur stofflichen (Material) oder energetischen (Brennstoff) Nutzung eingesetzt werden. Grundsätzlich stammen diese Rohstoffe der pflanzlichen Natur. Die mit der Verbrennung entstehenden CO_2 Emissionen, werden mit dem Wachstum der Rohstoffe (nahezu) vollständig eingebunden. Demnach gelten die Rohstoffe als besonders umweltfreundlich. Typische nachwachsende Rohstoffe und ihre stoffliche Verwendung sind beispielsweise [37]:

- Holz als Vollholz
- Baumwollfasern für Textilien aller Art

⁶Der Begriff „Problemstoff“ kann durch „gefährliche Stoffe“ ersetzt werden, da dem eine eindeutige, chemikalienrechtliche Definition zugrunde liegt.

- Wolle für Textilien aller Art und Dämmstoff
- Stroh als Dämmmaterial

Neben den gängigsten Materialien kommen auch zunehmend Biopolymere (Biokunststoffe) zum Einsatz. Im Gegensatz zu den fossil (Erdöl, Erdgas) basierten Kunststoffen werden Biopolymere aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, die auch als *biobasierte Kunststoffe* bezeichnet werden. Hierbei werden zwischen biologisch abbaubare⁷ und nicht biologisch abbaubare Kunststoffe unterschieden [38]. Die Bioabbaubarkeit kann auch bei Kunststoffen aus fossilen, nicht nachwachsenden Rohstoffen erreicht werden und ist demnach nicht abhängig von der Rohstoffbasis. Angelehnt an [38] wird in Abbildung 4.1 eine Übersicht herkömmlicher Kunststoffe und Biokunststoffe in Form einer Matrix dargestellt.

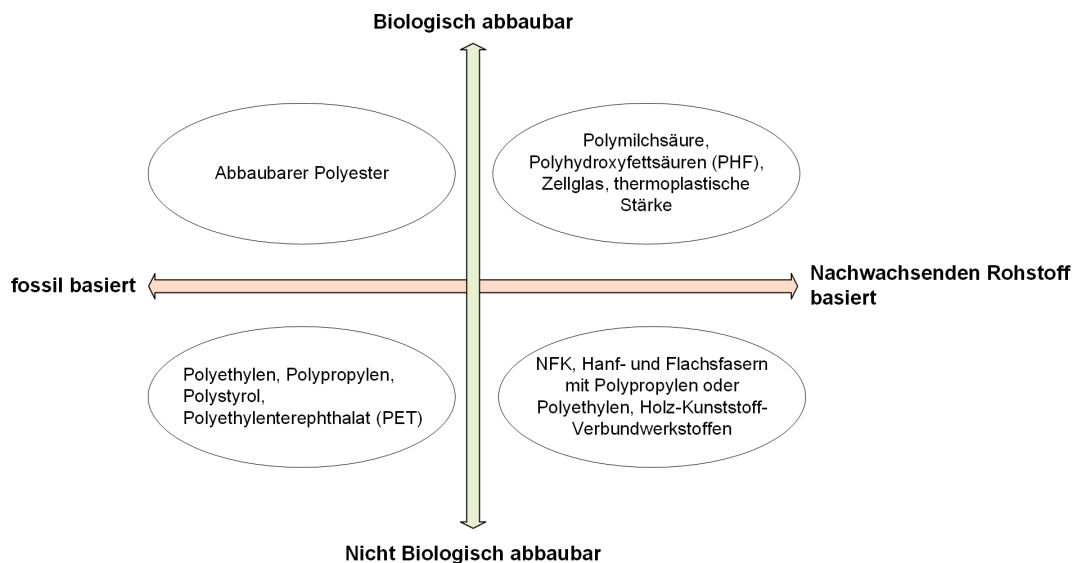


Abbildung 4.1: Übersicht herkömmlicher Kunststoffe und Biokunststoffe

4.1.7 Kreislauffähigkeit

Mit der Kreislauffähigkeit wird das Wiedereinführen eines aufbereiteten Sekundärmaterials als Primärmaterial in den Produktlebenszyklus beschrieben. Ziel der Kreislauffähigkeit ist die Einsparung wertvoller natürlicher Ressourcen und die Senkung umweltbelastenden Wirkungen. Mit der Kreislauffähigkeit ist jedoch eine 100-prozentige Ersetzung der Materialien technisch nicht umsetzbar. Prinzipiell ist diese bereits ohne substantiellen Einsatz zusätzlicher Ressourcen in Form von Energie und Hilfsstoffe nicht möglich. Ein wichtiges Kriterium der Kreislauffähigkeit im Sinne eines Ökodesign-Produktes stellt demnach die Recyclingfähigkeit von Materialien dar. Es stellen sich hierbei die Fragen: Welche Materialien wurden für das Produkt gewählt und wie werden funktionale Baugruppen und/oder besonders hochwertige Materialien dem Produkt entnommen? In der Konzept- und Entwurfsphase sind demnach Gesichtspunkte des hochwertigen Recyclings, etablierter Entsorgungsverfahren und die Wahrscheinlichkeit,

⁷Bioabbaubarkeit wird als ein Material beschrieben, dass nach einer festgeschriebenen Zeit unter definierte Temperatur-, Sauerstoff- und Feuchtebedingungen zu mehr als 90% zu Wasser, Kohlendioxid und Biomasse abgebaut werden muss [DIN EN 13432].

dass Recyclingpotentialen des Produktes auch ausgeschöpft werden, zu berücksichtigen. Nach Stand der Theorie, in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2243 lässt sich das Ökodesign-Prinzip „Kreislauffähigkeit“ für technische Produkte durch folgende Anforderungen verbessern [36].

- modularer Aufbau
- Demontage (lösbare Verbindungstechniken)
- Reduzierung der Materialvielfalt
- Auswahl verwertbarer Werkstoffe
- Kennzeichnung von Teilen und Werkstoffen

In der Entsorgungspraxis werden Kostenrelationen zwischen Material und der damit einhergehenden Aufwendung zur separierenden Materialfraktionen aufgestellt und mit den auf dem Markt etabliertem Trennstandard zum Stand der Technik verglichen [36].

4.2 Kumulierter Energieaufwand nach VDI 4600

Die ökologische Bewertungsmethode *Kumulierter Energieaufwand (KEA)* dient hauptsächlich der energetischen Beurteilung beginnend von der Material-, Produktionsaufwendung über den Einfluss der Nutzungsdauer bis hin zu den Energieumwandlungen bei der Entsorgungsphase. Die Methode ermöglicht mittels der quantifizierbaren Daten die erste Abschätzung von Energieeinsparpotenzialen in dem Produktlebenszyklus und lässt alle Umweltaspekte unbeachtet (Im Gegensatz zu der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040, vgl. Kapitel 4.3). Die folgende Gleichung gibt nach der Richtlinie *VDI 4600 Kumulierter Energieverbrauch* die Gesamtheit des Primärenergiestromes in Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und der Entsorgung von Produkten an [40]:

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E \quad (4.2)$$

Demnach ergibt sich der Energieaufwand aus der Summe der kumulierten Energieaufwendung von Herstellung KEA_H , Nutzung KEA_N und Entsorgung KEA_E eines technischen Produktes.

Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung

Der Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung beschreibt die Primärenergieströme, die bei der Gewinnung, Verarbeitung, Herstellung und Entsorgung aller Roh- und Hilfsstoffen einschließlich der Transportwege für Materialien und Produktteile anfallen.

Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung

Der Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung beschreibt die Primärenergieströme, die beim Betrieb und/oder Nutzung eines Produktes oder bei einer Dienstleistung auftreten können. Transportwege sind mit einzuschließen. Passive Produkte können vernachlässigt werden.

Kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung

Der Kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung beschreibt die Primärenergieströme, die sich bei der Entsorgung (Beseitigung / Recycling) eines Produktes bzw. Produktteiles und bei der Herstellung und Entsorgung von Hilfsstoffen, die für die Entsorgung erforderlich sind, ergeben. Transportwege sind ebenfalls mit einzuschließen.

4.3 Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040

Die Ökobilanz gilt als eine der gängigsten und präzisesten Methoden für die ökologische Bewertung von zunächst nur Produkten - später auch für Prozesse, Materialien und Dienstleistungen. Im Sinne der Ökobilanz nach DIN ISO 14040 erfolgt die ökologische Bewertung über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg, möglichst umfangreich und detailliert. Hierbei wird der Lebensweg eines Produktes in Form eines Produktsystems definiert und Input- und Output-Ströme zur Bestimmung der potenziellen Umwelteinwirkungen zusammengestellt und beurteilt. Zur Veranschaulichung einer allgemeinen Darstellung von Input und Output-Strömen einer möglichen Umweltwirkung eines Produktsystems wird diese in Form einer Blackbox in Abbildung 4.2 aufgezeigt [39].

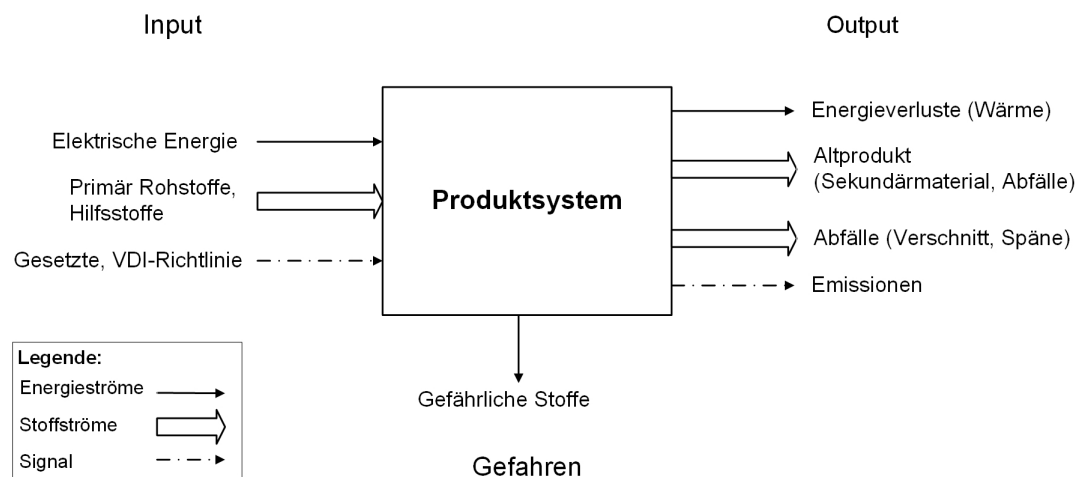


Abbildung 4.2: Allgemeine Darstellung der Umweltwirkung eines Produktsystems als Blackbox

Die Grundidee dabei ist die Darstellung aller mit dem Produkt bzw. Prozess verknüpften Energie-, Stoff- und Signalströme und die ökologische Bilanzierung über den gesamten Produktlebensweg.

Grundlegend ist die Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 - Umweltmanagement - in vier Schritten bzw. Phasen gegliedert (Vgl. Abb. 4.3).

(1) Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Mit dem ersten Schritt der Ökobilanz erfolgt die Konkretisierung der angestrebten Ziele, ihre Größenordnung und das gewünschte Erkenntnisgrad der Untersuchung. Auf Basis der Zielsetzungen werden Untersuchungsrahmen aufgestellt, die zudem von Produkt, deren Anwendung und den vorgesehenen Anforderungen abhängen. Zudem sind in dieser Phase mit den Untersuchungsrahmen die Systemgrenzen zu setzen, anhand dessen die zu untersuchenden Prozessmodule festgelegt werden. Die Auswahl der Komponenten des zu modellierenden Systems hängt dabei von der Datenverfügbarkeit, der Datenqualität und den Abschneidekriterien ab. Das Abschneidekriterien legt die Stoffmenge, den Energiefluss und den Umwelrelevanzgrad an. Das zu modellierende System ist hierbei so zu definieren, dass die Schnittstelle zwischen Produkt und Umwelt betrachtet werden kann[39].

Im Allgemeinen ist die Ökobilanz ein relativer Ansatz, der um einer funktionellen Einheit erweitert wird. Aus Gründen einer quantifizierten Nutzung als Vergleichseinheit wird dem Produkt bzw. Produktsystem eine funktionelle Einheit zugeordnet. Dieser bezieht sich auf die Daten der Input- und Output-Ströme und dient somit als Bezugsbasis

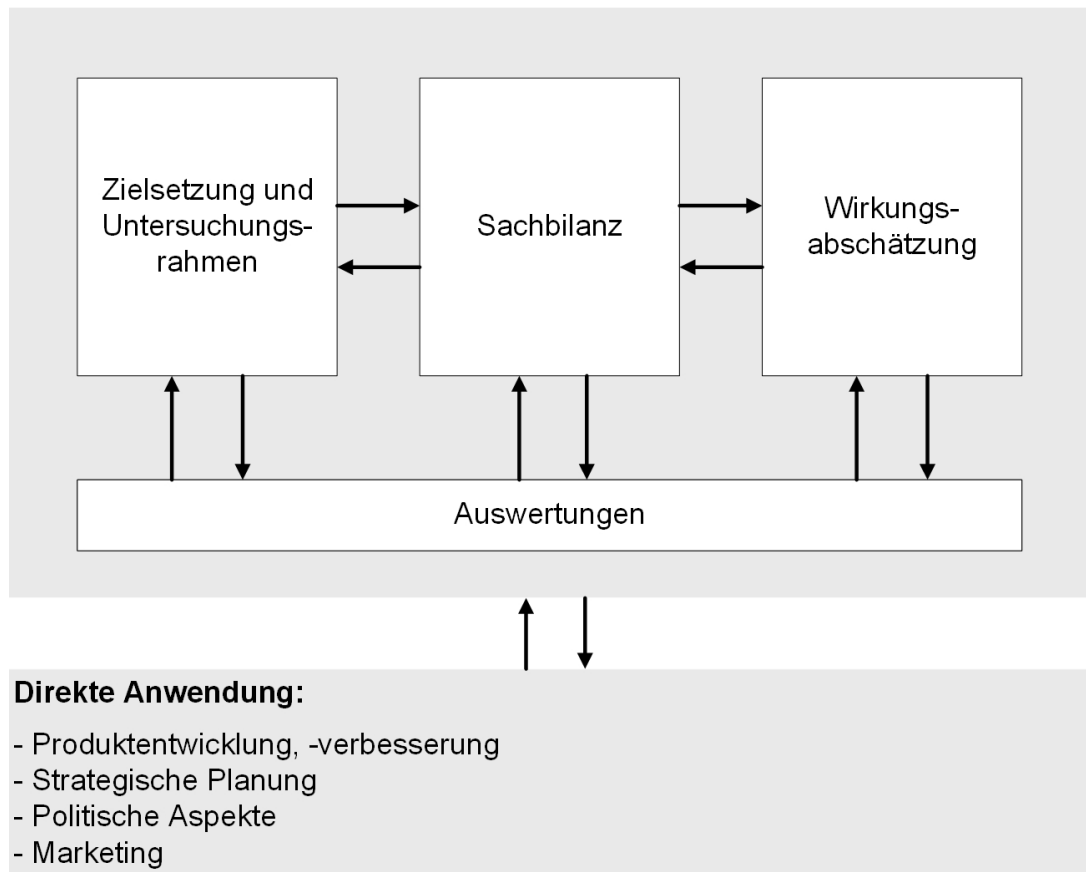


Abbildung 4.3: Phasen der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040

sämtlicher nachfolgender Analysen. Des Weiteren ist es erforderlich einen Referenzfluss für jedes Produktsystem, d.h. die erforderliche Anzahl an Produkten zur Erfüllung ihrer Funktion, zu definieren [39].

(2) Sachbilanz

Die zweite und zentrale Phase der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 ist die Sachbilanz. In dieser Phase werden Input- und Output-Daten in Abhängigkeit des zu untersuchenden Produktsystems zusammengetragen. Zudem werden hierbei Berechnungsverfahren zur Quantifizierung der relevanten Input- und Output-Ströme eines Produktsystems bestimmt. Die Sachbilanz stellt einen interaktiven Schritt dar, da mit der Datensammlung und der Untersuchung des Systems, neue Anforderungen oder Einschränkungen erkenntlich werden können und damit Änderungen der Datenerhebung vorgenommen werden müssen [39].

(3) Wirkungsabschätzung

In der dritten Phase der Ökobilanz, der Wirkungsabschätzung werden die zuvor ermittelten Sachbilanzdaten mit den spezifischen Wirkungskategorien verknüpft (Klassifizierung), um die Größe und Bedeutung von potentiellen Umwelteinwirkung zu erkennen. Auch die Wirkungsabschätzung stellt einen interaktiven Prozess dar, denn das Erreichen des Ziels und der Untersuchungsrahmen erfolgt durch die interaktive Prüfung, d.h. wenn Ziel und Untersuchungsrahmen nicht erreicht werden, werden diese neu modifiziert. Jede Wirkungskategorie wird einem Wirkungsindikator für die Untersuchung der Treibhauseffekte z.B. Kohlenstoffdioxid (CO_2)-Äquivalente zugeordnet (Charakterisierung). Die Äquivalentfaktoren für jeden Schadstoff ermöglichen die Überführung aller Treibhausemissionen in die Einheit CO_2 -Äquivalente.

Für die Wirkungsabschätzungen können die folgenden Methoden verwendet werden:

- Eco-Indikator
- CML Methode
- Methode der ökologischen Knappheit

(4) Auswertung

In der vierten und letzten Phase der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 erfolgt das Zusammentragen der Ergebnisse aus den Phasen Sachbilanz und Wirkungsabschätzung, um Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Einschränkungen in Übereinstimmung mit den eingangs festgelegten Zielen und Untersuchungsrahmen definieren zu können. Die Auswertung dient der leichten und vollständigen Verdeutlichung von potenziellen Umwelteinwirkungen und wirkt bei der ökologischen Entscheidungsfindung in Politik, Wissenschaft, Industrie, Gesellschaft und Wirtschaft unterstützend (Vgl. Abbildung 4.3) [39].

4.4 Analysemethode - ecodeign tool

Der erste Ecolizer wurde im Jahre 2005 entwickelt. Dabei wurden Eco-Indikatoren kalkuliert und in Form einer Methodik, damals genannt als Eco-Indikator 99 - Methode zugänglich für den Anwender gemacht. Nach vier Jahren erfolgte eine grundlegende Aktualisierung der Daten und Optimierung der Methode. Der Nachfolger des Eco-Indikator 99 - Methode war die ReCiPe - Methode. Hierbei wurden Umweltwirkungskategorien (Mittelpunkt) und Schadenskategorien (Endpunkt) definiert und weiter in einzelne Indikatoren gewogen. Der Ecolizer 2.0 ist die neueste Version und umfasst nun Daten zu Umweltbelastungen, die durch eine Kombination der beiden Methoden Ende des Jahres 2009 entstand. Die sorgfältig durchgeführte Ökobilanz kann als eines der präzisesten Analyseinstrumente für die Ermittlung von Umweltauswirkungen von Produkten bezeichnet werden.

Im Rahmen des folgenden Abschnitts wird die Methodik des Ecolizers und deren Aufbau und Vorgehensweise vorgestellt. Im Anschluss wird die Methodik an dem zuvor ausgewählten Beispiel - dem Hammer- angewendet. Es erfolgt die Berechnung der Umwelteinwirkungen von Materialien, Verarbeitung, Verfahren, Transport, Energie, Recycling und/oder Abfallbehandlung.

4.4.1 Aufbau von Ecolizer 2.0

Mit dem *Ecolizer 2.0* wurde in Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und dem Umweltbundesamt (UBA), in Kooperation mit Ökopol GmbH und Internationale Design Zentrum Berlin (IDZ) ein Instrument für Designer geschaffen, mit dem der Anwender relativ schnell ein Überblick über die Umweltbelastungen seines Produktes erhält. In erster Linie soll der Ecolizer 2.0 als Werkzeug dienen, um das zu analysierende Produkt bewerten zu können.

Die durch den Datensatz von Ecolizer 2.0 vorgegebenen Eco-Indikatoren dienen als Maßstab der zu erwartenden Umweltbelastungen bei Materialherstellung, -verarbeitung, Produktherstellung-, -verarbeitung, Transportwege, Energieeinsatz und Entsorgung von Produkten. Darüber hinaus können verschiedene Materialien verglichen und Alternativen definiert werden. Einige Materialien, wie beispielsweise Sondermetall und Metallsorten mit speziellen Legierungselementen sind in der Datenbank nicht mit aufgeführt.

In diesen Fällen ist eine Schätzung auf der Grundlage vergleichbarer Indikatoren zu bevorzugen.

Aufbau und Inhalt des Datenblattes

Der *Ecolizer 2.0* beinhaltet eine Reihe von Konzeptionen, die unabhängig voneinander, in Bezug der eingangs definierten Zielsetzungen und Untersuchungsrahmen ausgewählt werden können. In Abbildung 4.4 ist ein Auszug aus dem Datensatz von *Ecolizer 2.0* zu Stahl, Polyethylen und Transport dargestellt.

Steel 01.03		PE Polyethylene 03.05		Transport* 07.01	
PRODUCTION mPt/kg		PRODUCTION mPt/kg		PRODUCTION mPt	
Primary		Low Density Polyethylene, LDPE/kg		Road	
Low-alloyed (converter)**	231	High Density Polyethylene, HDPE/kg (products)	277	Van <3.5t/tkm	186
Un-alloyed (converter)	165	Linear Low Density Polyethylene, LLDPE/kg	272	Lorry >16t (Eur4)/tkm	15
High alloyed	dna	EPE (expanded PE)	dna	Lorry >32t (Eur4)/tkm	12
High strength steel	dna	PROCESSING mPt		Railroad	
Secondary		Revolving, milling, drilling/cm ³	0,01 (!)	Train (freight)/tkm	3,9
Low-alloyed (average)	195	Extrusion, plastic film/kg	49	Water	
Un-alloyed or low-alloyed (elektrostahl)	61	Extrusion, plastic pipes/kg	36 (!)	Barge tanker (inland)/tkm	4,4
PROCESSING mPt		Stretch blow moulding/kg	131 (!)	Barge (inland)/tkm	4,7
Zinc coating, coils (continuous)/m ²	735 (!)	Hot element welding (30sec)/welding	2 (!)	Transoceanic tanker (ocean)/tkm	0,6
Welding/m	15	Hot element welding (45min)/welding	155 (!)	Transoceanic freight ship/tkm	1,3
Drilling, CNC*/kg	340	Blow moulding/kg	123 (!)	Air	
Drilling, conventional/kg	311	Laser welding/m	0,46 (!)	Aircraft, freight, Europe/tkm	181
Bending/cm	1,4	Foaming/kg	60 (!)	Helicopter, LTO cycle (takeoff and landing)/piece	14637
Deep drawing, automode operation/kg	26	Reaction injection moulding (RIM)/kg, large scale/kg	21 (!)	Helicopter (flying time)/hour	8601
Deep drawing, 650 kN press, single stroke operation/kg	28	Rotation Forming/kg	106 (!)	Aircraft, freight, intercontinental/tkm	99
Deep drawing, 3500 kN press, single stroke operation/kg	30	Mirror-welding	dna		
Deep drawing, 10000 kN press, single stroke operation/kg	36	Injection moulding/kg	126 (!)		
Deep drawing, 38000 kN press, single stroke operation/kg	38	Ultrasonic welding (15kHz)/welding*	0,04 (!)		
Wire drawing/kg	40	Ultrasonic welding (20kHz)/welding*	0,02 (!)		
Turning, CNC*/kg	398	Ultrasonic welding (40kHz)/welding*	0,01 (!)		
Turning, conventional/kg	318	Vacuum forming/kg	dna		
Sheet rolling/kg	11 (!)	RECYCLING** mPt/kg			
Enamelling/m ²	841 (!)	Proces	25 (!)		
Milling/kg	337	Primary material saved	-285		
Welding, gas (autogenous)/m	dna	Total	-260 (!)		
Hardening/kg	9	WASTE TREATMENT mPt/kg			
Sheet rolling, steel/kg	35	Waste treatment scenario in the EU	39 (!)		
Laser cutting/m (4 mm steel)	17				
Stamping/kg	-40 (!)				
Plasma cutting	dna				
Powder coating/m ²	424				
Section bar rolling/kg	20				
Spot welding/jpt	1				
Forge	dna				
Punching/cutting/cm ²	0,0107				
Drawing of pipes/kg	44				
Ultrasonic welding/m	dna				
Black chrome coating, plate/m ² (only Cr3 tolerated)	dna				
Zinc coating, pieces/m ²	671 (!)				
Zinc coating, extra thickness/m ²	dna				
Hot rolling/kg	27				
Waterjet cutting	dna				
RECYCLING mPt/kg					
Prinos	76 (!)				
Primary material saved	-231				
Total	-155 (!)				
WASTE TREATMENT mPt/kg					
Waste treatment scenario in the EU	26 (!)				

* Computer Numerical Control.
** Primary material = Fe, Cr, Ti, Mn, P, Mo, Ni.
No data available for this plate.

Black indicator: trustworthy data
Grey indicator: less trustworthy data/ limited data
(!): generic data for this group of materials
dna: data not available
na: not applicable

* Including production of fuels.
Indicators per tkm (ton kilometer, transport of one tonne over one kilometer).

Abbildung 4.4: Auszug aus dem Datensatz vom *Ecolizer 2.0* zu Stahl, Polyethylen und Transport

In *Ecolizer 2.0* sind Datenblätter der Materialien u.a. zu Metallsorten, wie Stahl, Aluminium, Bronze, Kupfer, Kunststoffarten (Polypropylen (PP), Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polyethylen (PE), Gummi), Holz, Papier und Verpackung und Baumaterialien (wie Möbelplatten, Glas, Mineralien) aufgeführt. Die aufgeführten Eco-Indikatoren

werden zum größten Teil in der Einheit mPt/kg (millipoint pro ein kg Material) angegeben. Die Datenblätter zu den Materialien sind in drei Unterpunkte gegliedert:

- **Produktion:**
Dieser Bereich deckt alle Produktionsdaten, wie Primär- und Sekundärmaterial.
- **Prozess:**
Der Bereich deckt die Herstellungsverfahren.
- **Recycling / Abfallbehandlung:**
Der Bereich beschreibt alle Recycling und Abfallbehandlungs-Daten.

Des Weiteren sind Daten zum Energieaufwand (Strom, Wärme) mittels des Ecolizers vorgegeben. Bei den Datenblättern der Elektrizität werden zwischen den konventionellen (wie Strom aus Kernenergie und Fossilen Energieträgern) und den erneuerbaren (wie Strom aus Solar-, Wind- und Wasserenergie) Energieerzeugungen unterschieden. Der Datenblatt zu Wärme bietet ebenfalls verschiedene Wärmequellen, wie Gas, Erdöl, Brennholz und Solarenergie an.

Zudem gibt es ein Datenblatt zu den Transportmöglichkeiten, wie Schiff, LKW, Flugzeug und Bahn. Die Berechnung der Transportprozesse erfolgt auf Basis der Emissionsbelastung infolge Herstellung von Kraftstoffen und Energieaufwand während dem Transport des Produktes.

Nachfolgend werden zum Verständnis einige Bedeutungen in der Ecolizer-Methode erklärt.

Prozess

Der Prozess beinhaltet die Behandlung und die Verarbeitung von Materialien.

Recycling

Recycling beschreibt die Behandlung der Sekundärmaterialien zur Rückgewinnung von Rohstoffen als Primärmaterial. *Ecolizer 2.0* begrenzt die Definition von Recycling auf die maximale Aufbewahrung von Materialien in einem geschlossenen Kreislauf. Dies umfasst jedoch nicht die Behandlung von Kraftstoffabfällen, welche infolge des Verbrennungsprozesses als Emissionen in die Atmosphäre überführt werden. Der Recyclingprozess von Materialien wird durch das Material und ihren Zweck bestimmt. Durch den Recyclingprozess lässt sich wertvoller Primärmaterial gewinnen, der für die Wieder- oder Weiterwertung genutzt werden kann und als „Gewinn“ in die Berechnung einfließt.

Abfallbehandlung

Ecolizer 2.0 legt im Sinne der europäischen Abfallbehandlung ein Abfall-Szenario fest, in dem das Deponie/Verbrennungs-Verhältnis bei 80/20 liegt. Demnach werden 80% des Abfalls deponiert und die restlichen 20% verbrannt.

4.4.2 Vorgehensweise - Ecolizer 2.0

Es ist wichtig zunächst ein Produktsystem über den gesamten Produktlebenszyklus zu definieren, um eine Funktionseinheit des Produktes bestimmen zu können.

Der Designer definiert bei der Entwicklung eines Produktes Parameter, welche während ihres gesamten Lebenszyklus Auswirkungen auf die Umwelt ausübt. Rohstoffe müssen extrahiert werden, das Produkt muss hergestellt, verteilt und verpackt werden. Am Ende ihrer Lebensdauer wird sie entsorgt. Darüber hinaus fallen Umweltbelastungen während ihrer Nutzung infolge der Energie- oder Materialverbrauch des Produktes an.

Demnach ermöglicht Ecolizer 2.0 Designern noch zu frühen Entwicklungsphasen eine kompetente und ökologische Aussage zu liefern.

Mit dem Eco-Indikator wird die Einflussgröße von Umweltaspekten verdeutlicht. Je höher der Eco-Indikator ist, desto größer ist Umweltbelastung des Produktes. Hierbei entspricht ein Eco-Indikator Punkt einem Tausendstel der jährlichen Gesamtumweltbelastung durch einen durchschnittlichen Europäer und wird in millipoint (mPt) angegeben.

Für die korrekte Anwendung des *Ecolizers* 2.0 sind folgende Schritte durchzuführen [36]:

Schritt 1:

Exakte Beschreibung des zu untersuchenden Produktes oder Produktteils.

Schritt 2:

Darstellung des gesamten Produktlebenszyklus als Produktsystem, zur einheitlichen Betrachtung des Prozesses.

Schritt 3:

- Quantifizierung von Material und Prozess des Produktes und/oder Produktteils,
- Zusammentragen der Eco-Indikatoren und
- Bestimmung der Umweltindikatoren
- Ggf. Einschätzung und Bewertung der Datenqualität

Die Umweltindikatoren der Materialien und Prozesse werden durch die Multiplikation der Masse des Produktes [kg] mit dem Eco-Indikator [mPt/kg] berechnet.

$$U_{Indikator} = M * Eco_{Indikator} \quad (4.3)$$

Schritt 4:

Interpretation der Ergebnisse, Überprüfung der Schätzungen und Unsicherheiten und deren Auswirkungen auf die Umwelt. Der Prozess und die Entwicklungsphase mit dem höchsten Umweltindikatorwert hat demnach den größten Einfluss auf die Umwelt.

4.5 Analysemethode - SolidWorks 2016 Tool SustainabilityXpress

Die Zeit, in der Konstruktionen von Hand an einem Zeichenbrett aufgestellt wurden, gilt seit Jahren der Vergangenheit an. Heute erfolgen Konstruktionszeichnungen und -entwürfe standardmäßig am Rechner. Hierfür stehen den Anwendern eine Reihe von CAD-Programmen zur Verfügung, wobei sich bereits in jedem Konstruktionsunternehmen eine Software etabliert hat. Neben der 3D-Konstruktion bieten ausgewählte Softwareprodukte bereits Tools für die Bestimmung der Umwelteinwirkungen an. In der vorliegenden Arbeit wird das CAD-Programm *SolidWorks2016*[®] herangezogen, da dieses mit dem Tool *SustainabilityXpress*[®] Anwendern ein Instrument zur ökologischen

Evaluierung des Bauteils bzw. der Baugruppe verschafft. Durch die Anwendung von spezialisierter Software wird die sonst aufwändige und zeitintensive Analyse technisch vereinfacht. Wie in dem Kapitel 2 bereits erwähnt, übernimmt der Produktdesigner hinsichtlich der frühzeitigen Etablierung der Nachhaltigkeit in den Entwicklungsprozess eine Schlüsselerolle an. Durch die softwarebasierende Umsetzung der Konstruktion ist eine frühe Erkennung der Umweltverträglichkeit des Produktes möglich.

Das Prinzip kann in Form einer vereinfachten Blackbox dargestellt werden: Hierbei werden Eingangparameter (Input) definiert, welche ein Referenzmodell für das Produkt bilden. Auf Basis dessen berechnet die Software die Umweltbelastungen des Produktes aus und gibt sie als Ausgangsparameter (Output) in je Tortendiagrammen an. Dadurch ist eine Auswertung der Umweltverträglichkeit möglich. Abbildung 4.5 stellt das Prinzip des SolidWorks Tools *SustainabilityXpress* in Form einer Blackbox dar.

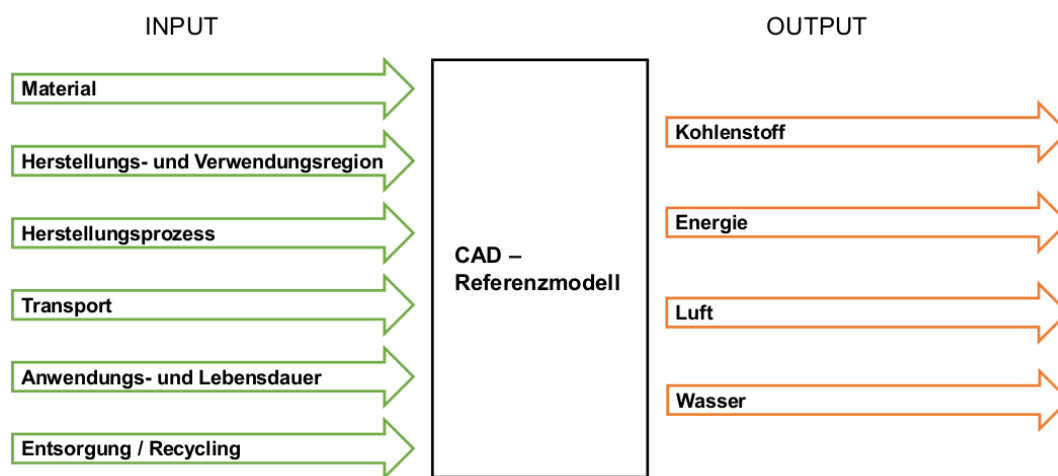


Abbildung 4.5: Prinzipieller Aufbau des SolidWorks Tool *Sustainability*

Die Daten zur Bestimmung der Umwelteinwirkungen stammen aus der *GaBi*[®]-Datenbank und werden vom Beratungsunternehmen PE-International erstellt und zur Verfügung gestellt. PE-International ist kein unabhängiges Forschungsinstitut, sondern ein Beratungsunternehmen, welches international vertreten ist. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart, der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi) entstand die Datenbank. Die Daten aus der *GaBi*[®]-Datenbank basieren dabei aus Primärdatenerhebungen aus der Praxis von Industriezweigen, wie der Metallherstellung und -verarbeitung, Kunststoffe-, Mineralstoffe, Herstellungs- und Bearbeitungsprozesse, Recycling, etc. Zudem werden die Daten laut PE-International regelmäßig hausintern kontrolliert, optimiert und erweitert, was dazu führt, dass den Daten eine hohe Datenqualität zugeschrieben wird [41].

SolidWorks berechnet die Ergebnisse hierbei durch Anwendung der vom Umweltinstitut Leiden (Niederlande) entwickelten CML 2001 -Methode, welche vorwiegend europäische Daten zur Ableitung der Wirkungsfaktoren einsetzt [41]. Sie gilt als die vollständigste Methode [42].

SolidWorks liefert folgende Umwelteinwirkungen als Ergebnis vor und gibt sie in einem Balken- oder Tortendiagramm an:

- Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck
- Gesamtenergieverbrauch

- Luftansäuerung
- Überdüngung von Gewässern

Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck

Der Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck ist ein Maß für Kohlenstoffdioxid und ähnliche Emissionen, wie z.B. Kohlenstoffmonoxid und Methan, die hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe der Atmosphäre abgestoßen werden. Der Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck wird in CO_2 -Äquivalenteinheiten ausgedrückt, welche eine einheitliche Bemessungsgrundlage zur Vergleichbarkeit der Klimawirksamkeit von Treibhausgasen darstellt. Es wird hierbei das globale Erwärmungspotenzial von Treibhausgasen in Relation zum CO_2 gestellt.

Gesamtenergieverbrauch

Der Gesamtenergieverbrauch beschreibt alle erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energiequellen, die im gesamten Produktlebenszyklus entstehen. Der Wert umfasst zum einen den Brennstoff- und Stromverbrauch, die während der Gewinnung und Verarbeitung des Brennstoffes und der Nutzung des Produktes anfallen. Zum anderen umfasst der Wert die Energie, die z.B. durch Verbrennung des Material als Wärmeenergie freigesetzt wird. Der Energieverbrauch wird in MJ angegeben.

Luftansäuerung

Die Luftansäuerung stellt ein Maß für die Säureemissionen, wie z.B. Stickoxide und Schwefeldioxid dar, welche letztendlich zum sauren Regen führen. Die Luftansäuerung wird in Schwefel-Äquivalenteinheit ($kgSO_{2e}$) gemessen.

Überdüngung von Gewässern

Zur Bewertung der Verunreinigungen von Wasserökosystemen durch Abwasser und Düngemittel wird die Überdüngung von Gewässer in Phosphat-Äquivalente ($kgPO_{4e}$) berechnet. Die Verunreinigungen führen zu vermehrter Algenbildung und letztendlich zum Absterben von Pflanzen und Tieren.

4.5.1 Vorgehensweise - SolidWorks Tool Sustainability

SolidWorks bietet im Rahmen der Modellierung des Produktes eine Materialdatenbank an, sodass für jedes der Baugruppe zugehörige Bauteil ein Material ausgewählt werden kann. In Abbildung 4.6 werden die ersten Eingabefelder in der Software dargestellt. Mitunter werden hier Angaben zu der Materialauswahl und der Herstellung des Bauteils bzw. der Baugruppe angeben. Sowohl Gewicht des Bauteils bzw. der Baugruppe, als auch sein Recyclinganteil gibt SolidWorks lediglich an, eine Korrektur durch Eingabe ist hier nicht möglich.

Zudem sind Angaben festzulegen, in welcher Region das Produkt hergestellt wurde. Zur Auswahl stehen die Regionen: Nordamerika, Europa, Asien, Japan, Südamerika, Australien und Japan. Des Weiteren werden Angaben zu den jeweiligen Be- und Verarbeitungsprozessen ausgewählt, wobei sich die Auswahlpunkte auf das ausgewählte Material beziehen. Bei Stahl stehen die Verarbeitungsverfahren: Druckguss, Extrusion, Geschmiedet, Gefräst, etc. zur Auswahl. Hierbei wurden die durch das Programm vorgegebenen Durchschnittswerte für den Strom- und Brennstoffverbrauch, sowie für die Ausschussrate angenommen. Die Ausschussrate beschreibt die Menge des Materials, welches als Abfall entsorgt wird [42]. Eine Betrachtung ist durch individuelle Angabe hierbei jedoch möglich. Zudem können in *SolidWorks Sustainability* Anstriche der Produkte bzw. Produktteile in der Umweltverträglichkeit berücksichtigt werden. Zur Auswahl stehen: „mit wasserlöslicher Farbe gestrichen“ und mit „lösemittelhaltiger Farbe“ gestrichen.

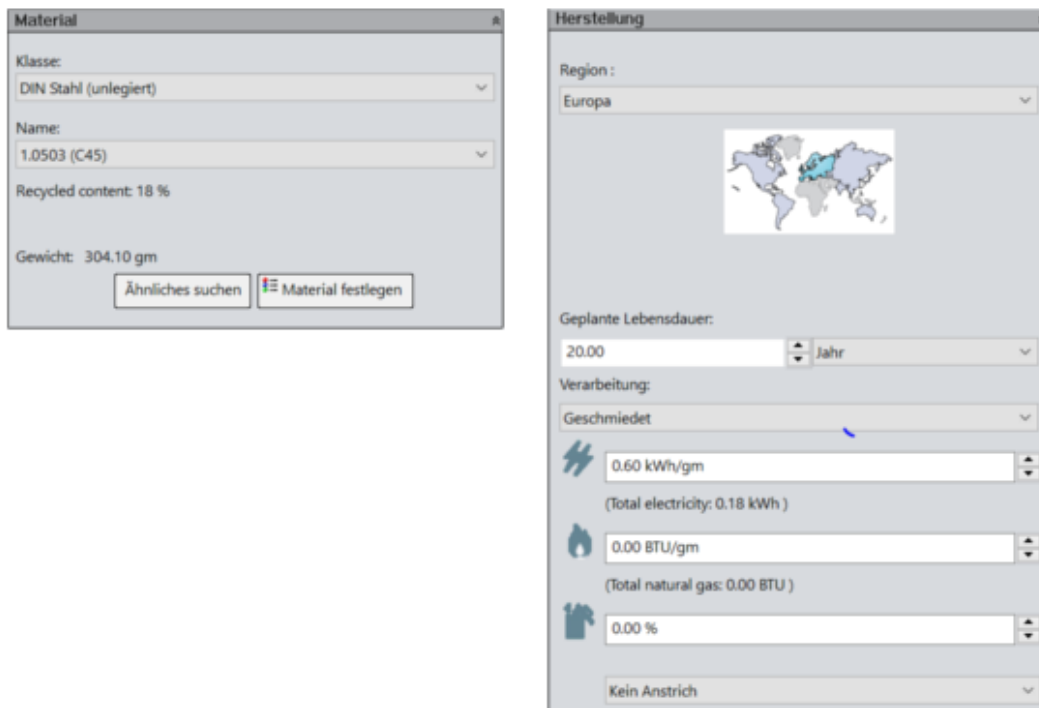


Abbildung 4.6: Materialauswahl und Herstellung

Bestandteil der ökologischen Betrachtung ist die Distribution des Produktes, d.h. Transportwege des Produktes zum Endverbraucher werden berücksichtigt. Die Auswahl der Verwendungsregionen entspricht der Herstellungsregionen. Als Transportmittel kann hierbei zwischen Bahn, LKW, Schiff und Flugzeug entschieden werden. Für die Entsorgung werden vom Programm, abhängig von der Materialauswahl, Vorschläge zu Recycling, Verbrennung und Deponie gemacht. Dabei können diese Angaben individuell entsprechend korrigiert und angepasst werden. Anwendungs- und Lebensdauer werden abgefragt. Die Abbildung 4.7 stellt die Eingabefelder zu Verwendung, Transport und Ende der Lebensdauer dar.

Zur Überwachung der Umwelteinwirkungen bietet SolidWork Sustainability, das in Abbildung 4.8 dargestellte Dashboard an.

Nachdem ein Bezugssystem bzw. Referenzsystem gesetzt wurde, kann eine Optimierung der Umweltverträglichkeit des Produktes durch Variation der einzelnen Eingangsparameter erzielt werden.

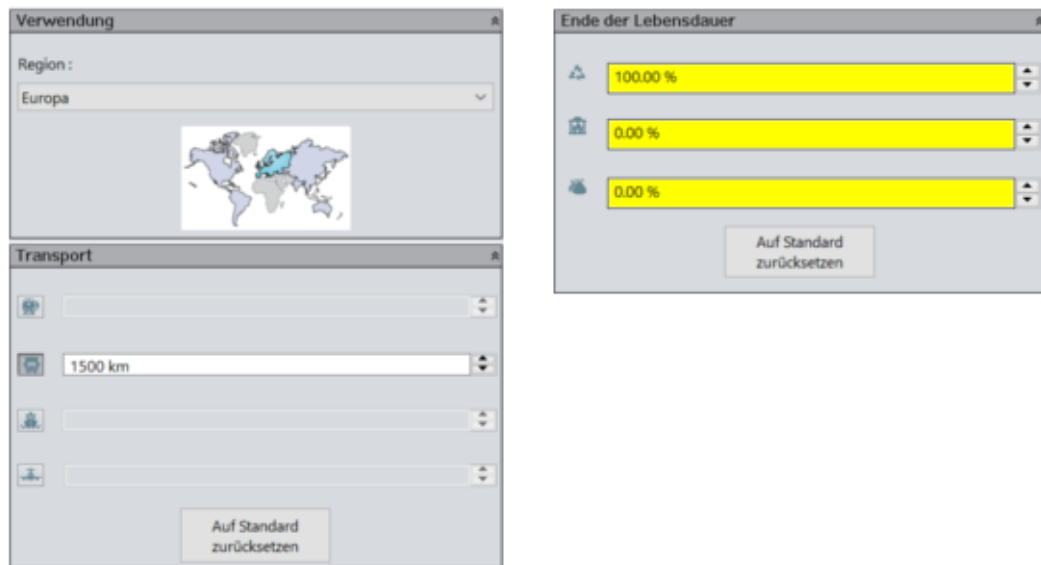


Abbildung 4.7: Verwendung, Transport und Ende der Lebensdauer in SustainabilityXpress

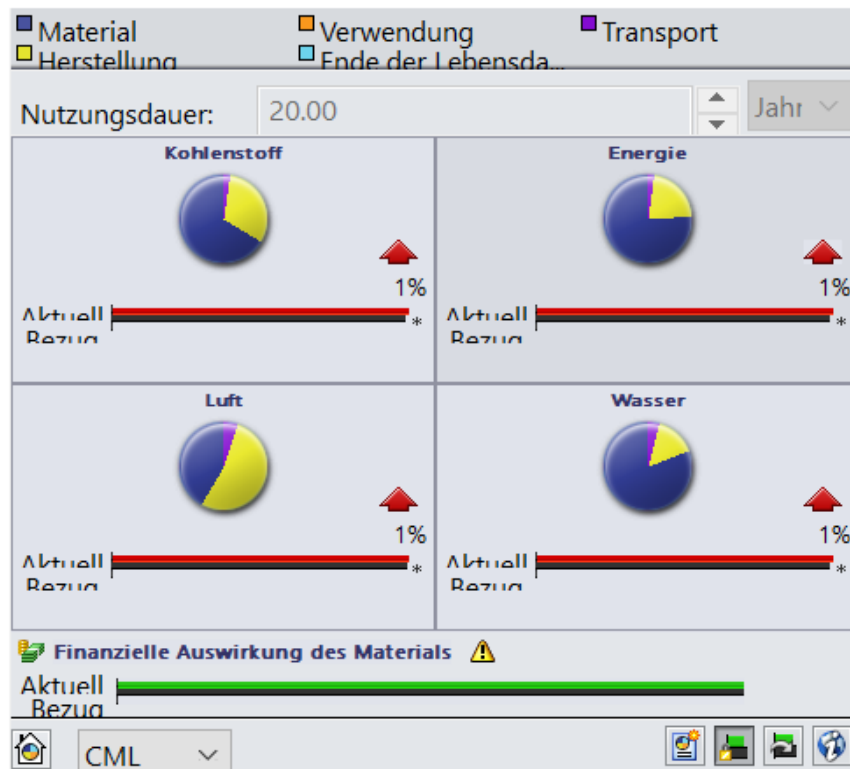


Abbildung 4.8: Umweltverträglichkeits-Dashboard

5 Life Cycle Analysis der Referenzprodukte

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden vier Hammer ökologisch untersucht. Ein Hammer ist ein Verbrauchsprodukt und kommt im Alltag nur gelegentlich zum Einsatz. Für den Vergleich wird angenommen, dass die Hämmer eine Anwendungsdauer bzw. Nutzungsdauer von 20 Jahren haben und ebenso lange im Alltag verwendet werden sollen. Die Lebensdauer der Hämmer kann jedoch tatsächlich materialbedingt durch den Tausch von Einzelteilen verlängert werden. Abbildung 5.1 dient der Illustration der Hämmer und bildet die hier beschriebenen Produkte nicht exakt ab - von links nach rechts: 1. Schlosserhammer, 2. Schonhammer, 3. Zimmermannshammer und 4. Axthammer (Quelle: Produktabbildung von www.blackanddecker.de, www.lux-tools.com, www.picard-hammer.de und www.rickert-werkzeug.de).



Abbildung 5.1: Übersicht der ausgewählten Hammer

Die Hämmer setzen sich grundlegend aus drei Teilen zusammen: Hammerkopf, Hammerstiel und ggf. Griff. Im Allgemeinen werden der Hammerkopf und -stiel durch einen Eisen-Keil, wie ein Ringkeil befestigt. Dieser wird, aufgrund der relativ kleinen Dimension von den folgenden Berechnungen vernachlässigt. Die Stielschutzhülse wird ebenfalls in den ökologischen Betrachtungen nicht berücksichtigt. Für die Durchführung der Untersuchung wurden Hämmer mit unterschiedlichen Gewichtsklassen ausgewählt.

Hammer 1

Hammer 1, ein Klassiker zwischen den Hammertypen ist der Schlosserhammer. Dieser besitzt einen geschmiedeten Hammerkopf mit einem Nenngewicht von 300g. Da keine exakten Werkstoffdaten durch den Hersteller des gewählten Schlosserhammers Black&Decker bekannt wurden, wird auf das Telefoninterview mit dem Geschäftsführer Frank Simon von dem Unternehmen *Joh. Hermann Picard GmbH & Co. KG* ausgewichen. Nach dem Gespräch werden geschmiedete Stahlhammerkopf in der Regel aus Vergütungsstahl (Eigenschaften ähneln dem eines C45-Vergütungsstahls) gefertigt. Demnach wird hier der C45-Stahl für den Hammerkopf gewählt. Der Hammerstiel besteht aus Spezialkunststoff mit Vibrationsdämpfung. Nach Produktbeschreibung handelt es sich um einen glasfaserverstärktem Kunststoff-Stiel (GFK) mit einem Gewicht von 147g.

Zudem bietet der Hammer einen ergonomischen, gummierten Griff für einen guten und sicheren Halt, der in etwa 50g wiegt. Der Schlosserhammer ist etwa 288mm hoch, 105mm breit und 18mm tief und hat ein Gesamtgewicht von 497g. Die Lebensdauer des Schlosserhammers wird mit 20 Jahren angenommen.

Hammer 2

Hammer 2, ein Schonhammer besteht aus einem Polyethylen Kopf mit einem Nenngewicht von 250g und einem Eschen-Holz-Siel von 105g Gewicht. Der Hammerstiel wird hierbei in den Hammerkopf geschlagen und festgekeilt. Somit ist kein zusätzlicher Ringkeil angebracht. Insgesamt wiegt der Schonhammer also 355g. Die Abmaße des Hammers sind 54mm x 90mm x 325mm. Besonders eignet sich der Schonhammer zum schonenden Schlagen von empfindlichen Oberflächen und wird z.B. zum Verlegen von Fliesen verwendet. Auch hier wird für die Lebensdauer auf Annahme zurückgegriffen. Durch die fehlende Stielschutzhülse kann es jedoch vorkommen, dass beim falschen Bedienen des Hammers der Stiel beschädigt wird. In dem Fall ist der Verbraucher gezwungen, entweder den Stiel auszutauschen oder sich (auch durch den im Vergleich geringen Preis) einen neuen Hammer anzuschaffen. Für das Beispiel wird angenommen, dass der Schonhammer eine Lebensdauer von 10 Jahren hat.

Hammer 3

Hammer 3, ein Latthammer, auch genannt Zimmermannshammer besteht aus einem geschmiedeten C 45G-Hammerkopf. Der Hammerstiel besteht aus C45-Stahl mit einem ergonomischen Handgriff aus Gummi. Der Hammerkopf hat ein Nenngewicht von 600g, der Hammerstiel wiegt in etwa 460g und der Griff 66g. Demnach hat der Zimmermannshammer ein Gesamtgewicht von 1,126 kg und ist 327mm hoch, 170mm breit und 26mm tief. Es wird angenommen, dass der Zimmermannshammer eine Lebensdauer von 20 Jahren hat.

Hammer 4

Hammer 4, der Axthammer besteht aus rostfreiem Schmiedestahlkopf mit einem Nenngewicht von 1.000g, welcher am Stiel mit einer Aussparung versehen ist, damit die Hand bei Schneidearbeiten direkt über der Schneide gehalten werden kann. Der Hammerstiel besteht aus amerikanischem Hickory-Holz mit einer Länge von 500mm und wird leinölbehandelt. Als Gewicht des Hammerstiels werden 160g veranschlagt. Die Lebensdauer der Schonhammer wird aufgrund der fehlenden Schutzhülse mit 10 Jahren angenommen.

Abbildung stellt das zu betrachtende Produktsystem dar, wobei die Nutzungsphase in der Betrachtung mit der Methode Ecolizer 2.0 eingeklammert wird. Siehe dazu Erklärung im Abschnitt 5.1.5.

5.1 Evaluierung mittels Ecolizer 2.0 ecodesign tool

Für die Berechnung mit der Methodik *Ecolizer 2.0* werden Annahmen zu Material und Herstellungsverfahren so getroffen, sodass eine pragmatische Durchführung mit dem vorhandenen Datensatz im Ecolizer möglich ist. Bei nicht vorhandenen Daten zu Material und Prozess, werden ähnliche Datensätze ausgewählt oder die Eco-Indikatoren in

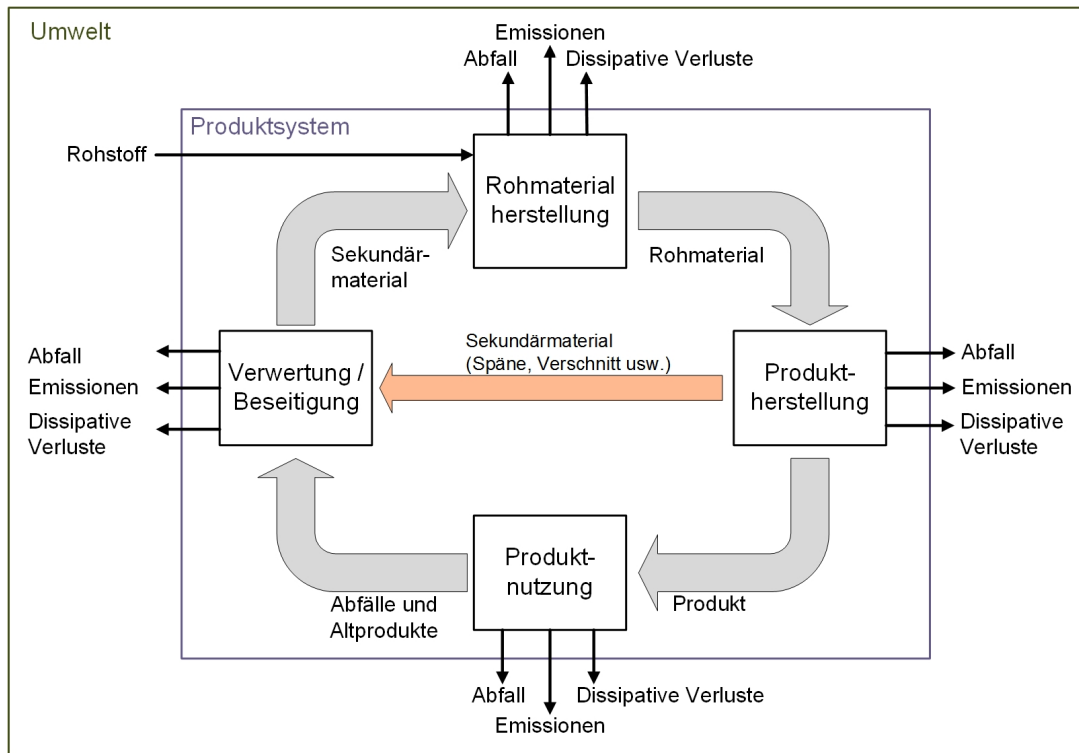


Abbildung 5.2: Produktsystem und die Umwelteinwirkungen

Anlehnung an bekannte Datensätze bestmöglich abgeschätzt. Dabei liegt der Fokus des Beispiels auf der Nachvollziehbarkeit des Vorgehens und der Bewertung der Ergebnisse.

Für jedes der vier Hammer-Beispiele werden die Eco-Indikatoren aus dem Datensatz des Ecolizer abgelesen und zusammengetragen, um im Anschluss dessen die Umweltauswirkungen zu bestimmen. Wie zuvor in dem Kapitel 5 beschrieben, sind dazu einige Hintergrundinformationen, wie Gewicht, Produktionsprozess, Entsorgung usw. erforderlich. Ein Teil der für die Berechnung erforderlichen Informationen sind auf Nachfrage bei den Herstellern bekannt geworden. Für andere, speziellere Informationen zu der Produktentwicklung, wie die exakte Materialzusammensetzung, Verarbeitung und Entsorgung mussten teilweise Annahmen basierend auf Rechercheergebnissen getroffen werden.

5.1.1 Transport der Rohstoffe

In Rahmen dieser Arbeit werden u.a. auch die Herkunft und der Transport der Rohstoffe in der Berechnung mit Ecolizer 2.0 berücksichtigt, da in den genannten Phasen selbstverständlich ebenfalls Umweltbelastungen entstehen, dessen Einfluss und Größenordnung zu bestimmen sind.

Sowohl die Rohstoffe als auch die fertigen Produkte müssen zum Händler bzw. zum Hersteller transportiert werden. Zudem ist die Verteilung und die Strecke für die Entsorgung des Produktes zu berücksichtigen.

In der Praxis wird aufbereiteter Sekundärmaterial selbstverständlich bereits in dem ersten Zyklus für die Herstellung des Produktes eingesetzt. Zur besseren Bewertung der Kreislauffähigkeit der Materialien wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch angenommen, dass im ersten Produktlebenszyklus 100% der Materialien Primär bezogen werden müssen. Erst ab dem zweiten Produktlebenszyklus fließt der aufbereitete Altmateri-

al (Sekundärmaterial) als Primärrohstoff wieder in die Herstellung des Produktes und damit in den Produktlebenszyklus ein.

Des Weiteren gilt für alle vier Hämmer, dass sich das Gewicht der Rohstoffbeschaffung auf das Gewicht des Rohmaterials bezieht.

Der Rohstoff für die Herstellung von Stahl-Komponenten wird zu 100% aus dem Ausland bezogen [43]. Hauptexporteure sind Brasilien, China, Indien und Russland mit insgesamt über 3 Milliarden Tonnen pro Jahr. Schweden ist auf Platz 11 mit 25 Million Tonnen pro Jahr. Die Rohstoffe werden mit Seetankern, die oft über 100.000 Tonnen über die Weltmeere zu den Stahlproduzenten in Deutschland transportieren, befördert. Angenommen werden hierfür 15.000km. Zur Produktion einer Tonne Stahl werden ca. zwei Tonnen Rohstoffe benötigt. Neben Kokskohle, Zusatzstoffe und Legierungsmittel ist Eisenerz mit 46% der größte Rohstoffeinsatz. Der Eisenerz- und Kokskohle-Anteil decken zusammen 57% des Rohstoffeinsatzes für die Produktion von Stahl [43].

Zur Herstellung von Kunststoffen wird Erdöl benötigt, welcher zumeist aus Saudi-Arabien, Russland, den Vereinigten Staaten und Kanada gewonnen wird. Rohöl ist ein Stoffgemisch aus mehr als 1000 Kohlen-Wasserstoffkomponenten mit unterschiedlichen Siedepunkten. In der Raffinerie werden die verschiedenen Erdölprodukte gewonnen. In einer Kolonne, einem Fraktionierturm wird das Rohöl in seine wichtigsten Bestandteile zerlegt. Dafür wird das Rohöl erhitzt bis er zu verdampfen beginnt und in den Fraktionierturm strömt. Die Temperatur nimmt dabei nach oben hin ab. Ganz unten fällt der schwerste Bestandteil mit dem höchsten Siedepunkt, Bitume aus. Die leichteren Bestandteile kondensieren weiter oben, an Glockenböden, u.a. Gasöl, Petroleum, Leicht-, Schwerbenzin und Gase wie Methan, Ethan, Propan, Butan. Teile des Leichtbenzins werden zu Kunststoffen weiterverarbeitet [46]. Demnach wird der Transportweg des Erdöls mit 5.000km angenommen. Aus einem Kilogramm Erdöl wird ein knappes halbes Kilogramm Kunststoff gewonnen. Da zur Kunststoffherstellung neben dem Erdöl auch Erdgas benötigt wird, wird das Verhältnis von Erdöl/Erdgas zu Kunststoff mit 2:1 angenommen [48].

Für die Herstellung des Holz-Elementen wird der Rohholz den deutschen Wäldern entnommen und mit dem LKW zum Produkthersteller befördert. Der Transportweg wird mit 50km festgelegt und es werden 158g Rohholz für den Holz-Stiel benötigt.

Folgende Daten wurden aus dem Ecolizer 2.0 zusammengetragen:

Transport 07.01

- Transoceanic tanker (ocean) pro tkm
- Lorry>32t (Eur4)

5.1.2 Herstellungsprozess der Rohmaterialien:

Für jedes Hammer-Beispiel gilt, dass im ersten Produktlebenszyklus der Hammer zu 100% aus Primärmaterial hergestellt wird.

Hammer 1 - Schlosserhammer

Der Hammerkopf wird aus dem Vergütungsstahl C45 hergestellt. Im ersten Produktlebenszyklus wird angenommen, dass es sich um primäre Stahlerzeugung aus Erz handelt. Dies ist die typische Produktionsroute von hochwertigen Stählen aus Primärrohstoff.

Alternativ dazu gibt es die Herstellung von rostfreien Stählen bevorzugt aus Sekundärrohstoff (Schrott) im Elektrolichtofen. Vereinfacht wird angenommen, dass das Rohmaterialgewicht für die Herstellung eines Hammerkopfes 512g beträgt.

Der Stiel besteht aus Glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK). Der glasverfaserverstärkte Kunststoff PA 6 ist für den Hammerkopf des Schlosserhammers geeignet - jedenfalls sofern die Auswahl auf im *Ecolizer 2.0* vorhandene Datensätze beschränkt ist. Nach dem Telefoninterview mit Dirk Jepsen sind Schwindungsmaß in den Eco-Indikatoren mitberücksichtigt und werden demnach in der vorliegenden Arbeit nicht weiter berücksichtigt. Das Rohmaterialgewicht für die Herstellung des Hammerstiels wird mit 147g angenommen.

Der gummierte Griff wird zusätzlich auf den Hammerstiel gesteckt, und sorgt für einen guten Halt. Ein Teil der Gummi-Herstellung wird aus dem Rohstoff Kautschuk gewonnen. Kautschukbäume wachsen in den tropischen Regionen, wie Brasilien, Thailand und Indonesien, sind 15m bis 30m hoch und haben einen Stammdurchmesser von bis zu einem Meter. Durch Ritzen der Rinde wird ein weißer Milchsaft, auch genannt Latex entnommen. Dieser Milchsaft besteht zu 1/3 aus Kautschuk und sonst vor allem aus Wasser. Pro Tag lassen sich ungefähr 20 bis 30g Latex einfangen [47]. Der amerikanische Chemiker Charles Goodyear stellte im 19. Jahrhundert ein chemisch-technisches Verfahren (Vulkanisation) bei dem Kautschuk unter Einfluss von Zeit, Temperatur und Druck widerstandsfähig gemacht wurde. Es entstand Gummi, welches damals überwiegend für die Verarbeitung von Kleidung und Schuhe genutzt wurde. Der Begriff der Vulkanisation geht auf Vulcanus zurück, dem römischen Gott des Feuers und der Schmiedekunst [44].

Heute kann die Menge des Naturkautschuks die Nachfrage der Industrie an Gummi nicht stillen. Hersteller verwenden in der heutigen Zeit vor allem Erdöl als Basis für synthetischem Gummi, der in Deutschland hergestellt wird [47]. Das Rohmaterialgewicht des Griffes wird mit 50g veranschlagt.

Production

- 01.03 Primary material, low Alloyed (converter 1% Cr, 1% Mn, 1% Mo, 1% Ni)
- 03.03 Glass-filled PA6
- 03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)

Hammer 2 - Schonhammer

Der Hammerkopf besteht aus RCH 1000 Natur. Es ist ein Polyethylen mit niedriger Dichte. Hauptmerkmal des Polyethylen-Kopfes ist die hohe Kerbschlagzähigkeit und Verschleißfestigkeit. Der Polyethylen-Kopf nimmt kaum Feuchtigkeit auf. Es wird Rohmaterial mit dem Gewicht von 250g für die Herstellung des Kunststoffhammerkopfes benötigt.

Die Rohstoffausbeutung von Holz liegt bei 100%. Für den Hammer-Stiel wird Schnittholz mit 10% Feuchtegehalt ausgewählt. Der Feuchtegehalt der Holz-Stiele darf ab Herstellwerk höchsten 18% betragen. Wichtig ist dabei, dass beim Einstielen der Feuchtegehalt zwischen 12% und 14% bezogen auf die Darrmasse (Masse des Holzes im absolut trockenen Zustand - Feuchtegehalt von 0%) liegen sollte. Da bei Werten, die wesentlich darunter liegen, die Festigkeit des Holzes beeinträchtigt wird und bei Werten, die deutlich darüber liegen, der sichere Sitz des Stiels im Hammerkopf nicht sichergestellt wird [18]. Des Weiteren ist der Stiel glatt bearbeitet und geschliffen und hat ein Rohmaterialgewicht von 158g.

Es wurden folgende Datensätzen aus *Ecolizer 2.0* entnommen:

Production

- 03.05 Low Density Polyethylene
- 04.01 Hardwood, Sawn timber, raw, kiln dried (u=10%)

Hammer 3 - Zimmermannshammer

Der Hammerkopf des Zimmermannshammers bestehen aus Nitrierstahl C45G mit einem Rohmaterialgewicht von 900g. Für den Hammerstiel wird C45-Vergütungsstahl mit 680g als Rohmaterial angenommen. Das Rohmaterialgewicht des Gummi-Griffes wird mit 66g veranschlagt.

Hierfür wurden folgende Daten aus dem *Ecolizer 2.0* herausgesucht:

Production

- 01.03 Primary material, low alloyed (converter 1% Cr, 1% Mn, 1% Mo, 1% Ni)
- 03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)

Hammer 4 - Axthammer

Für den Hammerkopf wird ein rostfreier Schmiedestahl vorgesehen. Im ersten Produktlebenszyklus wird der Stahl zu 100% aus natürlichen Rohstoffen gewonnen. Nach Ende der Lebensdauer des Produktes wird das Sekundärmaterial (Schrott) recycelt und geht zu 80% als Primärmaterial wieder in den Kreislauf ein. Es wird angenommen, dass das Gewicht des Rohmaterials 1,5kg beträgt.

Zur Herstellung des Hickory-Holzstiels werden 320g Rohholz benötigt. Wie bereits beim Schonhammer erwähnt, wird dafür Hartholz mit einem Feuchtegehalt von 10% vorgesehen. Die Rohstoffausbeutung von Holz liegt bei 100% und geht nach Ende der Lebensdauer zu 100% in die Papierindustrie ein.

Production

- 01.02 Stainless Steel 18/8 (converter, Primary)
- 04.01 Hardwood, Sawn timber, raw, kiln dried (u=10%)

5.1.3 Transport der Rohmaterialien

Die Transportwege vom Stahllieferant bzw. vom Kunststofflieferant zum Hammerhersteller werden mit 450km bzw. 60 km mit dem LKW (16t) veranschlagt.

Rohholz wird den deutschen Wäldern entnommen und inländisch zur Weiterverarbeitung bereitgestellt. Demnach ist hierbei ein geringer Transportweg von 50km zum Produkthersteller annehmbar.

Der hierfür verwendete Datensatz ist:

Transport 07.01

- Lorry > 16t (EUR4) pro tkm

5.1.4 Herstellungsprozess des Hammers

Hammer 1 - Schlosserhammer

Der Hammerkopf aus geschmiedetem Vergütungsstahl wird durch Fräsen und Bohren gefertigt.

Sowohl der Hammerstiel als auch der Griff werden infolge der Thermoformbarkeit des Kunststoffes durch das Spritzgussverfahren gefertigt. Bei diesem Verfahren können Teile mit komplexer Geometrie ohne Werkzeugerstellung kostengünstig und flexibel hergestellt werden. Dazu wird Granulat aus einem Trichter gezogen und anschließend erwärmt. Die Schmelze kann nun mittels einer Einspritzeinheit unter hohem Druck in den formgebenden Hohlraum gepresst werden. Nach dem vollständigen Abkühlen der Produktteile wird es mittels eines Auswerfers ausgeworfen. Es wird angenommen, dass nur kaum bis sehr gering Nacharbeiten anfallen.

Production

- 01.03 Forge
- 01.03 Milling
- 03.03 Injection moulding
- 03.16 Injection moulding

Hammer 2 - Schonhammer

Der Hammerkopf aus Polyethylen-Materials wird analog zu den Kunststoffteilen des Schlosserhammers durch das Spritzgussverfahren bearbeitet. Es fallen kaum Nacharbeiten an.

Der Rohholz wird durch Sägen mit anschließendem Glätten und Schleifen der Oberfläche bearbeitet.

Es folgenden folgende Datensätze herangezogen:

Production

- 03.05 Injection moulding
- 04.01 Sawing

Hammer 3 - Zimmermannshammer

Die Halbzeuge für Hammerkopf und -stiel aus Stahl werden im Allgemeinen durch das Strangpressverfahren hergestellt. Im Anschluss dessen erfolgen Fertigungsschritte wie das Fräsen und Bohren. Die, während der Herstellung entstehenden Späne werden in die Berechnung hinzugerechnet. Anschließend werden die Bereiche der Pinne und der Bahn des Hammerkopfes zusätzlich geschmiedet und gehärtet.

Der Griff wird durch das Spritzgussverfahren gefertigt. Eine Nachbehandlung ist nicht erforderlich.

Hierzu wurden folgende Datensätze herausgenommen:

Production

- 01.03 Forge
- 01.03 Milling
- 01.03 Drawing of Pipes
- 03.16 Injection moulding

Hammer 4 - Axthammer

Es wird angenommen, dass die Form des Hammerkopfes im Tiefziehverfahren mit 3500kN erzeugt wird. Der Rohholz wird durch Sägen mit anschließendem Glätten und Schleifen der Oberfläche in Form gebracht.

Production

- 01.02 Deep drawing, 3500kN press, single stroke operation
- 04.01 Sawing

5.1.5 Nutzungsphase

Im Allgemeinen wird die Nutzungsphase von Produkten mitberücksichtigt, da verschiedene Produkte zu unterschiedlichen Umweltauswirkungen führen. In dieser Betrachtung wird jedoch davon ausgegangen, dass die Hämmer in der gleichen Häufigkeit Anwendung finden. Zudem handelt es sich bei einem Hammer um ein passives Produkt. Daher wird diese Phase aus der Betrachtung ausgeklammert.

5.1.6 Rohstoffe und Herstellungsprozess der Verpackung

Alle Hämmer werden für den Versand mit LDPE-Luftpolsterfolie umwickelt und in einem beschrifteten Karton aus Recyclingfasern versendet. Das Verpackungsgewicht für die Hämmer 1, 2 und 3 beträgt 20g/Hammer für die LDPE-Folie und 140g/Hammer für den Wellpappe-Karton. Insgesamt wiegt die Verpackung demnach 160g.

Der Axthammer benötigt aufgrund der höheren Dimension und des höheren Gewichtes eine größere Verpackung. Es wird angenommen, dass das Gewicht der LDPE-Folie 40g/Hammer und der des Kartons aus Recyclingfasern 280g/Hammer beträgt.

Production

- 03.05 Low Density Polyethylene, LDPE
- 05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall

Processing

- 03.05 Extrusion, plastic film
- 05.03 Carton board boxes, offset printing

5.1.7 Distribution der Hämmer

In der Praxis sind die exakten Distributionszahlen der Hämmer bekannt und sollten an der Stelle für die Berechnung verwendet werden. In dieser Betrachtung wird jedoch vereinfacht die Annahme getroffen, dass die Hämmer innerhalb Deutschlands mit 550km mit dem LKW (min. 16t) vertrieben werden.

Transport 07.01

- Lorry > 16t (EUR4) pro tkm

5.1.8 Transportwege zur Entsorgung der Hämmer mit Verpackung

Die Phase betrachtet das Sammeln der Produkte und das Transportieren dieser zum Recyclinghof. Der Transportweg wird mit durchschnittlich 125km mit einem Transporter (max. 3,5t) veranschlagt. Dabei wird auch die Entsorgung der Verpackung mitberücksichtigt.

Transport 07.01

- Van < 3,5t pro tkm

5.1.9 Entsorgung / Recycling des Hammers

In der Praxis muss die Entsorgung von Produkten sorgfältig recherchiert werden. Wie sieht die Recyclingfähigkeit von Produkten aus und zu welchem Anteil wird das Produkt deponiert und verbrannt? Da viele Produkte - wie auch das ausgewählte Produkt - global vertrieben werden, ist zu bedenken, dass die jeweilige Abfallbehandlung des Landes bzw. des Kontinentes sehr unterschiedlich sein können. Demnach sollte für jedes Land (Kontinent) ein, an die Praxis angepasstes Abfallbehandlungsszenario erstellt werden.

In dieser Arbeit wird der Energieaufwand, der für die Sortierung des Restmülls aufzubringen ist, vernachlässigt. Eine Betrachtung der Energiebilanzen ist im Rahmen weiterer Untersuchungen möglich.

Angelehnt an die Praxis der deutschen Abfallbehandlung, werden im Folgenden alle Annahmen aufgeführt.

Hammer 1 - Schlosserhammer

Sowohl der Hammerkopf als auch der -stiel werden zu 100% recycelt. Das Recyceln von Stahl geschieht einerseits durch die gezielte Sammlung und den Transport des Hammers zum Altmetall-Recyclinghof durch den Verbraucher und andererseits durch eine sorgfältige Abscheidung von Metallen aus dem Restmüll.

Der Recyclingprozess selber bedarf selbstverständlich auch Energie und Ressourcen, die mit in die Berechnung hinzugerechnet werden müssen. Durch den Recyclingprozess wird Primärmaterial eingespart, welcher in *Ecolizer 2.0* als negativen Eco-Indikator [mPt/kg] als „Gutschrift“ mit in die Berechnung fließt und durch Verringerung der Gesamtsumme, den Produkt zu einem besseren Ergebnis verhilft.

Stahl ist ein Werkstoff, der sich ohne Qualitätsverluste immer wieder recyceln lässt. In Deutschland werden jährlich mehr als 20 Millionen Tonnen Stahl- und Eisenschrott zur Weiter- und Wiederverwertung recycelt [43]. Auch weltweit ist Stahl der meist

recycelte Material. Jedoch ist durch die geringen Verluste, die während der Herstellung des Sekundärmaterials anfallen, nie eine 100%-ige Ersatzquote erreichbar. Angelehnt an die Untersuchung von Stahl-Online wird die Recyclingquote von Stahl mit 48% festgelegt [43]. Darüber hinaus wird festgelegt, dass 100% der anfallenden Späne angesammelt und ebenfalls durch Recycling wiederverwertet werden.

Kunststoffe werden zum Stand der Technik über Wertstoffmischsysteme ggf. Wertstofftonne gesammelt. Nichtverpackungskunststoff werden zunehmend zusätzlich separat auf Recyclinghöfen erfasst. Bei der stofflichen Verwertung wird der Mischkunststoff nach der Aufbereitung zu Industriepaletten etc. verpresst. Darüber hinaus kann Mischkunststoff zur thermischen Verwertungszwecken, als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden [49].

Im Allgemeinen beschränkt sich das Recyceln von Kunststoffen auf das Einmahlen des Materials und die alleinige Weiterverwertung. Eine vollkommene Wiederverwertung ist eingeschränkt, da sich infolge des Verwertung des Altmaterials die mechanischen Eigenschaften enorm verschlechtern.

Beim Recyceln von Glasfaserverstärktem Kunststoff wird dieser zunächst grob zerkleinert, um es im Anschluss in einer Hammermühle fein zerkleinern zu können. Es entsteht ein Mahlgut, welches als Verstärkungsgut anteilig den Neufasern ohne große Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften zugegeben werden kann. Der Anteil des Mahlguts beschränkt sich dabei auf 20% [49].

Der Griff wird hingegen gesammelt und zum Recyclinghof transportiert - jedenfalls sofern die Auswahl auf im *Ecolizer 2.0* vorhandene Datensätze beschränkt ist.

Recycling

- 01.03 Process (Recycling)
- 03.03 Plastics (packain mix) process

Waste treatment

- 03.16 Waste treatment scenario in the EU

Hammer 2 - Schonhammer

Beide Teile des Schonhammers werden zu 100% für Weiterverwertungszwecke aufbereitet. Wie oben bereits erwähnt, werden dazu Kunststoffe zum Stand der Technik über Wertstoffmischsysteme ggf. Wertstofftonne gesammelt. Der, durch den Verwertungsprozess entstandene PE-Regranulat wird als Material für die Herstellung von beispielsweise Bautenschutzplatten oder Müllbeutel genutzt.

Für den Holzstiel wird angenommen, dass das aufbereitete Altholz in der Papierindustrie verwendet wird, da die Verwertung des Altholzes mit Qualitätsverlusten verbunden ist. Der Holzstoff deckt dabei 20% des Primärfaserbedarfs für die deutsche Papierindustrie. Der *Ecolizer 2.0* bietet für die Verwertung des Hickory-Holz-Stiels und der Verschnitte das europäische Abfallbehandlungsszenario an, der aus 20% Verbrennung und 80% Deponie besteht.

Hierfür wurden folgende Datensätze aus *Ecolizer* herangezogen:

Recycling

- 03.05 Process (Recycling)

Waste treatment

- 04.01 Waste treatment scenario in the EU

Hammer 3 - Zimmermannshammer

Sowohl Altmaterial von Hammerkopf und Hammerstiel als auch alle anfallenden Späne werden zu 100% recycelt. Dabei werden 48% des Altmetalls als Primärmaterial zur Wiederverwertung gespart [43].

Es ist nicht möglich Gummi unbegrenzt zu lagern, da mit der Zeit ihre Sprödigkeit, Porosität ansteigt und es sich Risse bilden [49]. Der gummierte Griff wird gesammelt und zum Recyclinghof transportiert. *Ecolizer 2.0* bietet Daten zur Behandlung von Gummi aus dem Restmüll, die an der Stelle hinzugerechnet werden.

Die verwendeten Datensätze werden im Folgenden aufgeführt:

Recycling

- 01.03 Process (Recycling)

Waste treatment

- 03.16 Waste treatment scenario in the EU

Hammer 4 - Axthammer

Analog zu den Berechnungen zuvor, wird 100% des Hammerkopf-Sekundärmaterials zur Verwertung aufbereitet. Edelstahl kann grundsätzlich ohne Qualitätsverluste recycelt werden. Selbstverständlich geht auch hier der, während des Recyclingprozesses anfallende Recyclingaufwand in die Berechnung ein. Dieser Aufwand wird im *Ecolizer 2.0* jeweils im Datensatz *Process* beim Recycling mitberücksichtigt. Edelstahl bietet mit 80% eine hohe Recyclingquote [45]. Demnach werden durch das Recyceln von 1kg Sekundärmaterial 0,8kg Metall aus Primärherstellung ersetzt.

Recycelter Holz wird in der Papierindustrie verwendet, da die Verwertung des Altholzes mit Qualitätsverlusten verbunden ist. Der Holzstoff deckt dabei 20% des Primärfaserbedarfs für die deutsche Papierindustrie. Hickory-Holzstiel und alle anfallenden Späne werden vollständig der Abfallbehandlung zugefügt. Der *Ecolizer 2.0* bietet für die Verwertung des Hickory-Holz-Stiels und der Späne das europäische Abfallbehandlungsszenario, der u.a. aus Verbrennung und Deponie besteht.

Recycling

- 01.02 Process (Recycling)

Waste treatment scenario in the EU

- 04.01 Waste treatment scenario in the EU

5.1.10 Entsorgung / Recycling der Verpackung

Das Recyceln der LDPE-Folien aus Polyethylen setzt eine sortenreine Abtrennung der FDPE-Folie von anderen Kunststoffen aus dem Abfall, wie auch aus dem sortiertem Wertstoff (gelber Sack) voraus. Den je besser und sortenreiner der Abfall getrennt und eingesammelt wird, desto hochwertiger und steuerbarer ist der Ausgangsstoff. In der vorliegenden Arbeit wird angenommen, dass die PE-Folie nicht recycelt wird, sondern in der Müllverbrennungsanlage als Brennstoff verbrannt wird. Dieser Vorgang ist selbstverständlich ebenfalls mit Aufwand verbunden, der in der Berechnung berücksichtigt wird. Es steht jedoch offen, inwiefern dem Aufwand die Energierückgewinnung durch die Verbrennung zugerechnet wurde.

Wellpappe hat sowohl in Deutschland als auch in Europa eine sehr hohe Sammelquote. In Anlehnung an die Untersuchungen des Instituts für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH wird die Recyclingquote mit 80% angenommen [45]. Folglich werden 80% des recycelten Materials als Primärmaterial für Weiterverwertungszwecke verwendet. Demnach müssten konkret 20% pro kg Wellpappe Frischfasern in die recycelte Wellpappe eingearbeitet werden. Mit jedem Recyclingdurchlauf werden die Fasern immer kürzer und brüchiger, was jede weitere Aufbereitung schwieriger macht.

Folgender Datensätze werden herangezogen:

Waste treatment

- 03.05 Waste treatment scenario in the EU

Recycling

- 05.03 Process (Recycling)
- 05.03 Primary Material saved

5.1.11 Zweiter Produktlebenszyklus

Durch das Recyceln von Sekundärmaterialien (Metallschrott, Altglas, Kunststoff Altpapier usw.) können wertvolle Rohstoffe gespart werden. Dabei wird aus Sekundärmaterial Primärmaterial gewonnen, der je nach Material entweder erneut in den Kreislauf geführt wird oder für weitere Zwecke genutzt wird. Zudem fallen durch die Einsparung von Primärrohstoffen weniger CO_{2e} -Emissionen an.

Hammer 1 -Schlosserhammer

Durch das Recyceln des Hammerkopfes aus C45-Vergütungsstahl wird 48% als Sekundärrohstoff gewonnen. Demnach müssen 52% des Rohmaterials primär bezogen werden. Der Hammerstiel aus Glasfaserverstärktem Kunststoff wird nach Ende der Lebensdauer recycelt und geht zu 20% als Verstärkungsgut erneut in den Kreislauf ein. Der gummierte Griff wird hierbei gesammelt und zum Recyclinghof transportiert.

Es wurden folgende Datensätze aus *Ecolizer 2.0* bezogen:

Production

- 01.03 Secondary material, low Alloyed (converter 1% Cr, 1% Mn, 1% Mo, 1% Ni)
- 03.03 Glass-filled PA6
- 03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)

Hammer 2 - Schonhammer

Sowohl der Hammerkopf aus Polyethylen als auch der Holzstiel werden zu Weiterverwertungszwecken genutzt. Demnach wird angenommen, dass für beide Produktteile der Rohstoff primär bezogen werden muss.

Hierbei wurden folgende Datensätze aus *Ecolizer 2.0* herangezogen:

Production

- 03.05 Low Density Polyethylene
- 04.01 Hardwood, Sawn timber, raw, kiln dried (u=10%)

Hammer 3 - Zimmermannshammer

Die Recyclingquote von Stahl wird hier ebenfalls mit 48% angenommen. Der Griff aus Gummi wird gesammelt und zum Wertstoffhof transportiert.

Es wurden folgende Datensätze aus *Ecolizer 2.0* bezogen:

Production

- 01.03 Secondary material, low Alloyed (converter 1% Cr, 1% Mn, 1% Mo, 1% Ni)
- 03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)

Hammer 4 - Axthammer

Edelstahl hat mit 80% eine hohe Recyclingquote. Demnach werden nur 20% des Rohmaterials primär bezogen. Gewählt wird hier der Elektro Stahl. Der Hickory-Holzstiel wird recycelt und geht zu 100% in die Papierindustrie.

Die ausgewählten Datensätze lauten:

Production

- 01.02 Stainless electric Steel 18/8 (secondary)
- 04.01 Hardwood, Sawn timber, raw, kiln dried (u=10%)

5.1.12 Bestimmung der Umweltwirkung

Zur Berechnung der Umweltwirkung muss eine funktionelle Einheit (FE) festgelegt werden. In diesem Praxisbeispiel soll die Funktion eines Hammers über eine Anwendungsdauer von 20 Jahren betrachtet werden.

Wie oben bereits festgelegt, halten Schlosser- und Zimmermannshammer 20 Jahre. Für die Schon- und Axthämmer werden bei derselben Nutzung 10 Jahre veranschlagt. Um eine einheitliche Betrachtung durch dieselbe funktionelle Einheit der vier Hämmer durchführen zu können, wird ein Referenzfluss von:

1 Schlosserhammer,

2 Schonhammer,

1 Zimmermannshammer und

2 Axthammer

betrachtet und miteinander verglichen.

Die Umwelt-Indikatoren können nun mit Hilfe der getroffenen Annahmen und den abgelesenen Eco-Indikatoren bestimmt werden. Die in *Ecolizer 2.0* definierten Eco-Indikatoren stellen ein Maßstab für die Bestimmung der Umwelt-Indikatoren von Materialien und Prozessen dar. Allerdings ist die konkrete Ermittlung der Umweltauswirkungen auf Basis der Umwelt-Indikatoren nicht möglich. Der ermittelte Umwelt-Indikator muss dazu im nächsten Schritt auf eine allgemeingültige Einheit umgerechnet werden.

Wie zuvor erwähnt, entspricht ein Eco-Indikator Punkt einem Tausendstel der jährlichen Gesamtumweltbelastung durch einen durchschnittlichen Europäer. Im europäischen Durchschnitt verursachten im Jahre 2012 jeder Mensch etwa 9,0 Tonnen CO_{2e} -Äquivalent-Emissionen. Die Umrechnung der Emissionen auf die Einwohnerzahl bzw. auf die Wirtschaftsleistung erlaubt den besseren Vergleich der Emissionssituation der Mitgliedsländer miteinander [51].

Im Anhang D sind die Tabellen der Berechnung für jedes Praxisbeispiel zu finden. Die Endergebnisse der vier Hämmer werden nun in der Tabelle 5.1 aufgeführt.





	1 Schlosserhammer		2 Schonhammer		3 Zimmermannshammer		4 Axthammer	
	1. Zyklus	2. Zyklus	1. Zyklus	2. Zyklus	1. Zyklus	2. Zyklus	1. Zyklus	2. Zyklus
								
Phase	Kohlenstoffdioxid-Emissionen [kgCO₂]							
1	0,05	0,03	0,02	0,02	0,13	0,07	0,25	0,05
2	2,05	1,98	1,96	1,96	3,50	3,25	16,17	15,30
3	0,03	0,03	0,01	0,01	0,09	0,09	0,03	0,03
4	1,74	1,74	0,57	0,57	3,03	3,03	0,81	0,81
5	0,27	0,27	0,53	0,53	0,27	0,27	0,62	0,62
6	0,05	0,05	0,08	0,08	0,10	0,10	0,22	0,22
7	0,14	0,14	0,22	0,22	0,27	0,27	0,62	0,62
8	0,21	-0,31	0,21	0,21	1,11	-0,47	2,11	-9,79
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GESAMT Umweltbelastung [kgCO ₂]	4,53	3,92	3,59	3,59	8,48	6,60	21,26	8,30
Umweltbelastung [%]	100%	87%	100%	100%	100%	78%	100%	39%
CO₂-Ersparnis [%]		13%		0%		22%		61%

Tabelle 5.1: Ergebnisse der Berechnung mit Ecolizer

Die Ergebnisse stellen demnach ganz klar die Reihenfolge: Schonhammer, Schlosserhammer, Zimmermannshammer und Axthammer dar.

5.1.13 Auswertung der Ergebnisse mit Ecolizer

Bevor die Ergebnisse ausgewertet werden, wird die Datenqualität geprüft.

Im Bereich des Herstellungsprozesses der Hämmer mussten auf Datensätze verzichtet werden, da u.a. für das Schmieden der Stähle keine Daten vorliegen. Zudem liegen bei der Holzverarbeitung keine Daten zum Sägen, Glätten und Schleifen vor. Die fehlenden Daten der Phasen würden den Umwelt-Indikator etwas erhöhen und folglich das Ergebnis etwas verschlechtern.

Außerdem fehlen Eco-Indikatoren im Bereich der Herstellung von Gummi Produkten durch das Spritzgussverfahren. Es wurden Ausweich-Daten aus ähnlichen Materialien - hier Daten zu Verbundwerkstoffen - gewählt. Das Ergebnis wird dadurch nach oben hin korrigiert.

Die Daten zur Entsorgung des Verpackungskartons der vier Hämmer sind ebenfalls nicht vorhanden, d.h. die Primärmaterial-Einsparung (Frischfaser für Verpackungskartonage) ist nicht bekannt. Da die Verpackungsmenge des Kartons für die Schlosser- und Zimmermannshammer über die Anwendungsdauer von 20 Jahren identisch sind, würde dies das Ergebnis der beiden Hämmer um denselben Faktor nach unten hin korrigieren. Der Schonhammer benötigt die doppelte Menge an Verpackung über die Anwendungsdauer, demzufolge würde das Ergebnis für den Schonhammer ebenfalls um den entsprechenden Faktor nach unten hin korrigiert. Der Korrekturfaktor beim Axthammer beträgt sogar das vierfache des ersten Faktors beim Schlosser- und Zimmermannshammer.

In der Summe betrachtet, bedeutet dies: Für die ersten drei Hämmer würde sich das Gesamtergebnis etwas erhöhen. Das Ergebnis für den Axthammer würde sich sogar um die vierfache es Eco-Indikator-Punktes verbessern.

Tendenziell bleibt das Gesamtergebnis jedoch gleich. Der Schonhammer ist das Produkt mit den niedrigsten Umweltauswirkungen, gefolgt von dem Schlosserhammer. An dritter Rangfolge steht der Zimmermannshammer und als viertes folgt der Axthammer mit den höchsten Umweltauswirkungen. Abbildung 5.3 stellt die Umweltauswirkungen der einzelnen Phasen für je Hammer anteilig in Prozent dar.

Die Höhe der negativen Umwelteinwirkungen liegt zunächst an der Dimension des Hammers bzw. der Masse. Je mehr Material für das Produkt benötigt wird, desto höher fallen die Auswirkungen auf die Umwelt aus. Es wird schnell klar, dass die höchsten Emissionen während der Herstellung der Rohmaterialien entstehen. Bei allen vier Hämmern liegt der Wert bei mindestens 41%. Während der Rohmaterialherstellung für den Schonhammer sind es sogar knapp 55%.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Lebensdauer, die für jedes Produkt angenommen wurde. Auch wenn die Annahmen in der Praxis etwas abweichen können, wird durch die Berechnung die Relevanz der Lebensdauer eines Produktes auf dessen Umweltverträglichkeit verdeutlicht.

Des Weiteren wird durch die Betrachtung der Ergebnisse klar, dass der Axthammer im Vergleich zu den anderen drei Hämmern ab dem zweiten Produktlebenszyklus mit 9,79 $kgCO_2e$ als „Gutschrift“ deutlich positivere Umweltwirkung erzielt. Grund hierfür ist die Annahme des sachgerechten Entsorgens des Altmaterials (auch bedingt durch den hohen Referenzfluss: 2 Axthammer). Der Edelstahl wird sorgfältig gesammelt und ohne Qualitätsverluste, mit einer Recyclingquote von 80% recycelt. Die sortenreine Trennung von Kunststoff ist dagegen zum Stand der Technik selbst mit hohem Aufwand

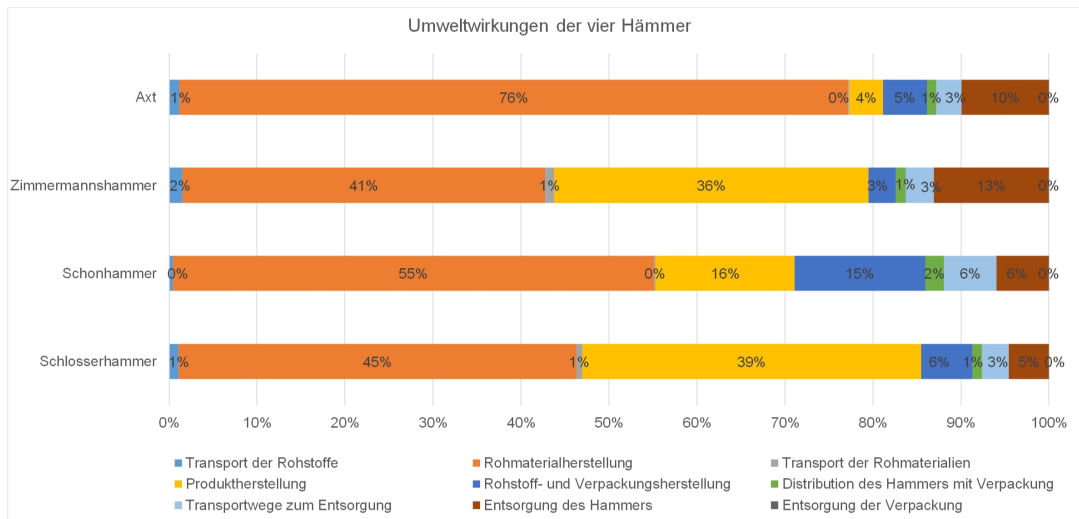


Abbildung 5.3: Umweltwirkungen der vier Hämmer in Prozent

nur begrenzt möglich. Zudem ist der recycelte Kunststoff oft minderwertiger als das Ausgangsmaterial. Dadurch wird weniger „Gutschrift“ angerechnet. In Abbildung 5.4 ist eine grafische Darstellung der CO_2e -Emissionen der vier Hammer zusammengefasst in die Hauptphasen, Transport, Herstellungs- und Entsorgungsphase, dargestellt.

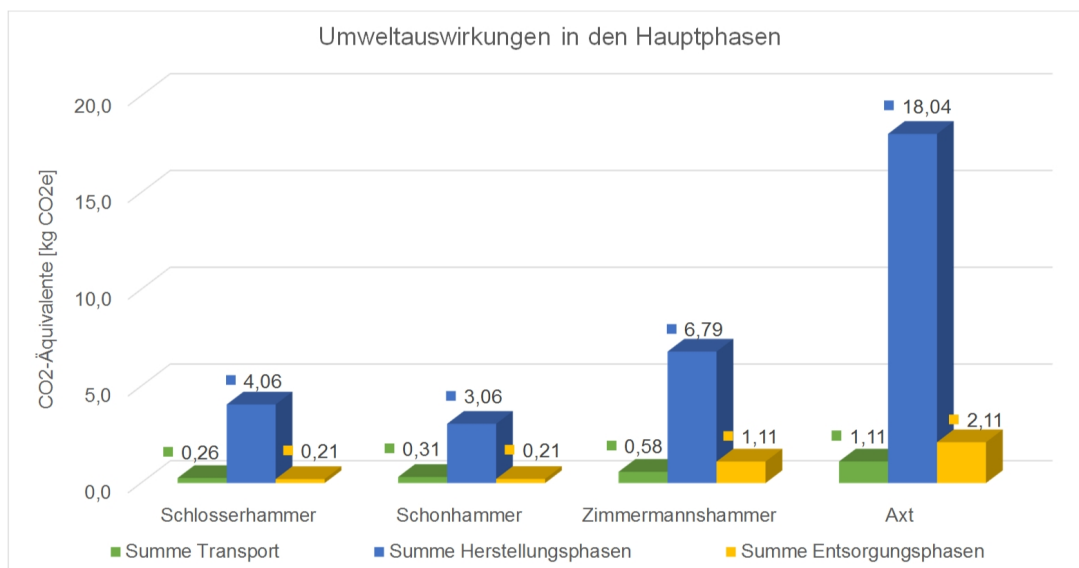


Abbildung 5.4: Umweltauswirkungen der vier Hämmer zusammengefasst in die Hauptphasen nach FREI

Weniger Einfluss auf die Umweltauswirkungen haben die Transportwege. Bei allen vier Produkten fallen die Umweltbelastungen der Transportwege des Rohstoffes, der Rohmaterialien und die Transportwege zur Entsorgung relativ gering aus. Dadurch sind Vorteile, die durch den geringen Transportweg des Rohholzes gegeben sind, relativ klein vermessen. Zudem fallen die Umweltbelastungen mit der Entsorgung der Verpackung sehr gering aus.

Sofern in der Praxis Ergebnisse ermittelt wurden, die eine starke Abhängigkeit von Kriterien - in dem Fall Lebensdauer und Entsorgung - vorweisen, sollte eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Hierbei sollten durch den Konstrukteur Planungsalter-

nativen in einem Planungsmodell auf ihre Robustheit gegenüber Änderungen einzelner Parameter hin überprüft werden.

In der vorliegenden Arbeit kann jedoch festgehalten werden, dass die Umweltauswirkungen des Hammers mit dem geringsten Gewicht am geringsten ausfallen, obgleich die Kreislauffähigkeit des Hammers am schlechtesten abschneidet.

Mit dem Einsatz des aufbereiteten Sekundärmaterials werden neben Primärmaterial auch CO_{2e} -Emissionen eingespart. Abbildung 5.5 stellt den Ausmaß der CO_{2e} -Emissionsersparnis für jedes der vier Hämmer dar.

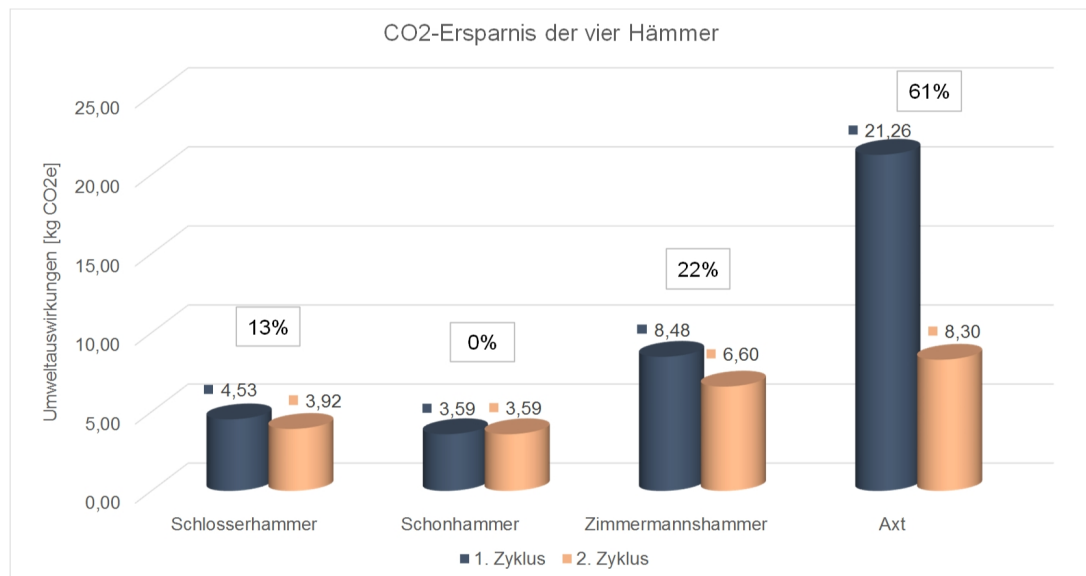


Abbildung 5.5: CO_{2e} -Emissionsersparnis der vier Hämmer im Vergleich

Damit werden in dem zweiten Produktlebenszyklus des Axthammers 61% weniger CO_{2e} -Emissionen im Vergleich zum ersten Zyklus der Umwelt freigesetzt. Mit der Herstellung, dem Transport und der Entsorgung des zweiten Zimmermannshammers fällt die Umweltbelastung um 22% geringer aus. Bei dem zweiten Schlosserhammer werden etwa 13% CO_{2e} -Emissionen eingespart. Beim Schonhammer bleibt die Umweltbelastung im zweiten Produktlebenszyklus gleich dem ersten, da angenommen wurde, dass das Material mit jedem Produktlebensweg zu 100% primär bezogen wird. Demnach verhält sich die CO_{2e} -Emissionsersparnis in etwa proportional zum Primärmaterialersparnis.

5.2 Evaluierung mittels SolidWorks 2016 Sustainability

Wie in dem Kapitel 4 erklärt, gibt SolidWorks nach Eingabe der Eingangsparameter die Umweltauswirkungen in vier Kategorien an: Kohlenstoff-Fußabdruck, Gesamtenergieverbrauch, Luftansäuerung und Überdüngung von Gewässer.

Für die Durchführung der Berechnung mit SolidWorks ist das Konstruieren der Hämmer als Modell Voraussetzung. Alle Angaben zu den Produkten werden an die Berechnung mit *Ecolizer 2.0* angelegt, um so die Methoden besser miteinander vergleichen zu können. Die wesentlichen Konstruktionsabmaße wurden den Produktdatenblättern der Hersteller entnommen und für das Modellieren der Hämmer eingesetzt. Trotzdem können Abweichungen zwischen den Modellen und den zuvor ausgewählten Praxisbeispielen entstehen. Das Fehlen der exakten Materialangaben durch die Hersteller und die Abhilfe mittels Annahmen führt beispielsweise zu Gewichtsabweichungen, da das Programm

mit der Auswahl eines Materials und der damit verknüpften Dichte, das Produktgewicht bestimmt. Zudem wurde die Hammerform ebenfalls bestmöglich an die Praxis angelehnt. Auch hier können kleine Abweichungen entstehen. Abbildung 5.6 stellt die für die Berechnung mit SolidWorks erstellten Modelle der vier Hammer dar.

Des Weiteren kann das Programm, bei einer eigenen Durchführung der Berechnung mit einer anderen Version, abweichende Ergebnisse liefern.

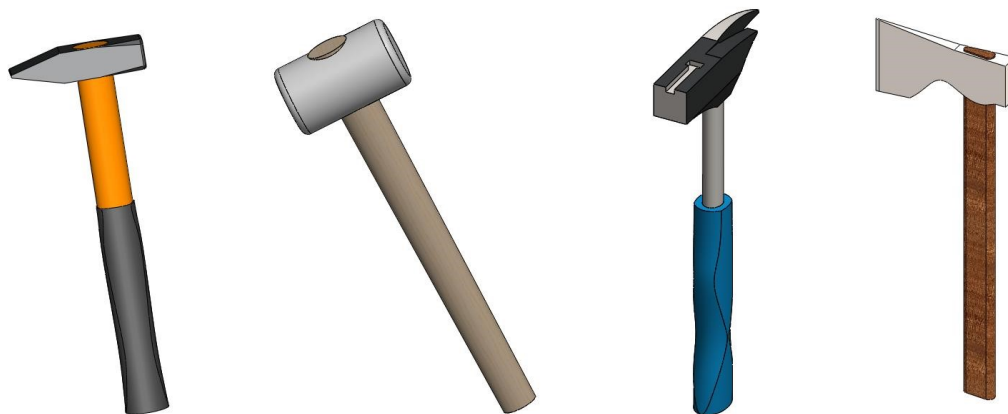


Abbildung 5.6: Modelldarstellung der vier Hämmer mit SolidWorks

5.2.1 Materialauswahl und Herstellungsprozess

Nachdem die Modelle fertig erstellt wurden, kann die Berechnung mit dem Tool *SustainabilityXpress* erfolgen. Dazu werden die Materialien und Verarbeitungsverfahren aus der, von der Software angebotenen, Datenbank ausgewählt. Für die Materialien und Verfahren sind Umweltdaten aus der GaBi-Datenbank von PE-International hinterlegt.

Hammer 1 - Schlosserhammer

Wie in der Berechnung mit *Ecolizer 2.0* festgelegt, besteht der Hammerkopf aus geschmiedetem Vergütungsstahl C45. Abbildung 5.7 stellt ein Auszug der Stahlsorten von *SolidWorks* dar.

Bei der Berechnung mit *Ecolizer 2.0* wurde angenommen, dass die Rohmaterialien im ersten Produktlebenszyklus zu 100% primär bezogen. Mit der Durchsicht der Datenbank von *SolidWorks* wird festgestellt, dass SolidWorks Sustainability für niedrig legierte Vergütungsstähle einen festen Recyclinganteil von 18% angibt. Ob dies in der Praxis absolut korrekt ist, ist für die weitere Durchführung des Beispiels nicht relevant, demnach ist der Wert an dieser Stelle anzunehmen und in der Auswertung der Umweltverträglichkeit auszuwerten. Als Verarbeitung wird hier zunächst „Schmieden“ gewählt, da die Eingabemaske nur ein Verfahren pro Durchlauf annehmen kann.

Der Hammerstiel wird aus Glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt. Es wurde Polyamid Typ 6 für den Hammerstiel gewählt, der durch das Spritzgussverfahren gefertigt wird. Für den Griff wird Natürliches Gummi festgelegt. Als Verarbeitung muss „Benutzerdefiniert“ gewählt, da die Software sonst keine Alternative anbietet. Wenn die Recyclinganteile in *SolidWorks Sustainability* mit 0% angezeigt werden, sind keine Verwertungswerte zu den Materialien verfügbar. Das Gesamtgewicht des Schlosserhammer beträgt dadurch 457g. Die Lebensdauer wird mit 20 Jahren angenommen.

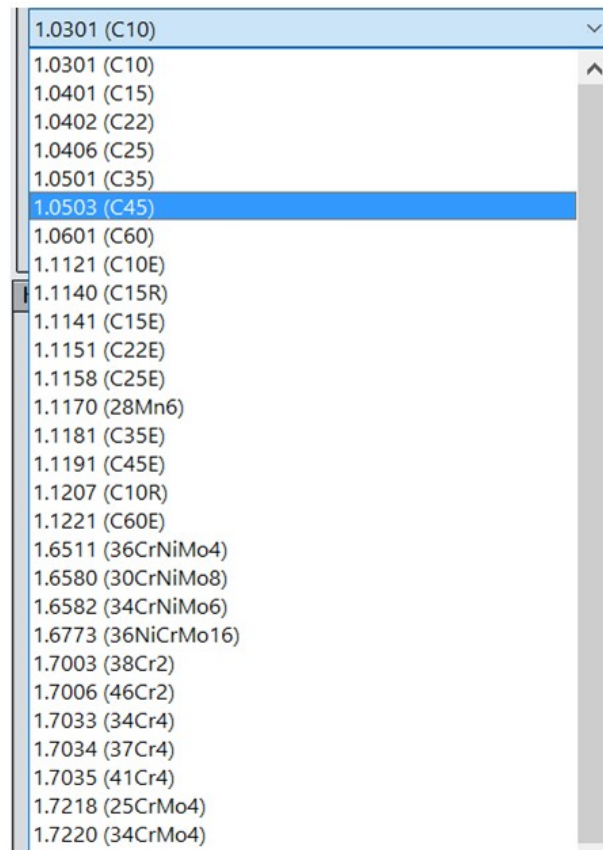


Abbildung 5.7: Auswahl der Materialien (Stahlsorten) in der Software *SolidWorks Sustainability*

Die folgenden Angaben wurden nun ausgewählt:

Material

01.01 Hammerkopf	1.0503 (C45) (18% Recyclinganteil)
01.02 Hammerstiel	PA Typ 6 (0% Recyclinganteil)
01.03 Griff	Natürliches Gummi (0% Recyclinganteil)

Region der Herstellung

01.00 Schlosserhammer	Europa ¹
-----------------------	---------------------

Geplante Lebensdauer

01.00 Schlosserhammer	20 Jahre ¹
-----------------------	-----------------------

Verarbeitung

01.01 Hammerkopf	Geschmiedet
01.02 Hammerstiel	Spritzguss
01.03 Griff	Benutzerdefiniert

Energiebedarf für die Herstellung²

01.01 Hammerkopf	0,60 kWh/kg
01.02 Hammerstiel	1,85 kWh/kg
01.03 Griff	0,77 kWh/kg

Wärmeenergiebedarf für die Herstellung²

01.01 Hammerkopf	550,00 BTU/kg
01.02 Hammerstiel	407,00 BTU/kg
01.03 Griff	407,00 BTU/kg

Ausschussrate²

01.01 Hammerkopf	0,0%
01.02 Hammerstiel	2,0%
01.03 Griff	5,0%

¹ angelehnt an die Berechnung mit *Ecolizer 2.0*

² Standard-Annahmen von *SolidWorks Sustainability*

Hammer 2 - Schonhammer

Der Hammerkopf besteht aus RCH 1000 Natur - Polyethylen mit niedriger Dichte. In *SolidWorks Sustainability* wird PE niedrige / mittlere Dichte ausgewählt und durch das Spritzgussverfahren gefertigt.

Die Auswahl des Holzes ist jedoch nicht ganz so einfach, da *SolidWorks Sustainability* keine Daten zu Esche-Holz liefert. In dem Fall wird durch Recherche ein ähnliches Holz mit ähnlichen Eigenschaften festgelegt. Der Esche-Holz gleicht in seinen Eigenschaften weitestgehend einem Eiche-Holz. Zudem ist der Kernholz teils von gleicher heller weißlicher bis weißrötlicher Färbung. Eschenholz ist grobporig und mit markant gestreifter Textur [52]. Anders als bei Kunststoff stehen hier keine Herstellungsverfahren zur Auswahl, allerdings können benutzerdefinierte Daten eingegeben werden. Rechercheergebnisse lieferten hier keine konkreten Zahlen zu dem Energiebedarf während der Herstellung des Produktes, demnach muss zur Weiterführung der Berechnung ein Pauschaler Energiebedarf ermittelt werden. Nach intensiver Recherche wird, angelehnt an die Studie von Waldwissen.net der Energiebedarf mit $23 \frac{kWh}{kg}$ festgelegt. Waldwissen.net ist eine Informationsplattform und wurde als Gemeinschaftsprodukt von den vier Forschungsinstituten: FVA, LWF, BFW und WSL herausgebracht [53]. In der Studie wurde der Produktionsaufwand von Schnittholz je nach Mechanisierungsgrad und Arbeitsorganisation bestimmt. Hierbei wurde die Arbeitsschritte von der Holzernste, über die Verarbeitung und Lagerung des Holzes bis hin zum Transport zum Kunden (Produkthersteller) betrachtet. Für die vorliegende Arbeit müsste der Energieaufwand, der während der Fertigung des Hammerstiels entsteht zugerechnet werden, dafür aber Transportwege von der Ernte zum Holzlieferanten und von dort dann zum Produkthersteller dem Wert abgerechnet werden, da SolidWorks dies nicht betrachtet. Demnach wird vereinfacht halber der Energiebedarf zur Weiterführung des Beispiels mit $23 \frac{kWh}{kg}$ angenommen, welcher sowohl Strom- als auch Brennstoffenergie umfasst. Es wird die Annahme getroffen, dass 2/3 der Energie aus Brennstoffenergie besteht. Demnach beträgt der Stromverbrauch $7,67 \frac{kJ}{kg}$ und der Brennstoffbedarf $14,52 \frac{BTU}{kg}$. Sowohl für Kunststoffe, als auch für alle Hölzerarten liegen keine Recyclingquoten in Sustainability vor. Analog zu der Berechnung mit *Ecolizer* wird die Lebensdauer für den Schonhammer mit 10 Jahren angenommen.

Es werden folgende Angaben ausgewählt:

Material

02.01 Hammerkopf	PE niedrige / mittlere Dichte (0% Recyclinganteil)
02.02 Hammerstiel	Eiche (0% Recyclingquote)

Region der Herstellung	Europa ¹
Geplante Lebensdauer	10 Jahre ¹
Verarbeitung	
02.01 Hammerkopf	Extrusion
02.02 Hammerstiel	Benutzerdefiniert
Energiebedarf für die Herstellung	
02.01 Hammerkopf ²	1,85 kWh/kg
02.02 Hammerstiel	0,002 kWh/kg
Wärmeenergiebedarf für die Herstellung²	
02.01 Hammerkopf ²	407,00 BTU/kg
02.02 Hammerstiel	14,52 BTU/kg
Ausschussrate²	
02.01 Hammerkopf	2,0%
02.02 Griff	5,0%

¹ angelehnt an die Berechnung mit *Ecolizer 2.0*

² Standard-Annahmen von *SolidWorks Sustainability*

Hammer 3 - Zimmermannshammer

Der Hammerkopf des Zimmermannshammers besteht aus C45G-Stahl, welcher in *SolidWorks Sustainability* zu finden ist. Die Recyclingquote wird ebenfalls mit 18% angegeben. Als Verarbeitung wird Druckguss gewählt, da der Strom- und Energieverbrauch hier nach Sustainability am höchsten ist und nur ein Verarbeitungsverfahren pro Durchlauf gewählt werden kann. Für den Griff wird Natürlicher Gummi gewählt, der zu 100% aus Primärmaterial besteht (da es keinen Recyclinganteil enthält). Das Gewicht des Modells beträgt 1.150 g.

Als geographischer Bezug wird Europa gewählt und als Lebensdauer werden, angelehnt an die Berechnung mit *Ecolizer 2.0* 20 Jahre angenommen.

Hierbei werden folgende Angaben ausgewählt:

Material	
03.01 Hammerkopf	1.1193 (18 % Recyclinganteil)
03.02 Hammerstiel	1.0503 (18 % Recyclingquote)
03.03 Griff	Natürliches Gummi (0 % Recyclingquote)

Region der Herstellung	Europa ¹
Geplante Lebensdauer	20 Jahre ¹
Verarbeitung	
03.01 Hammerkopf	Druckguss
03.02 Hammerstiel	Druckguss
03.03 Griff	Benutzerdefiniert

Energiebedarf für die Herstellung²

03.01 Hammerkopf	2,73 kWh/kg
03.02 Hammerstiel	2,73 kWh/kg
03.03 Griff	0,77 kWh/kg

Wärmeenergiebedarf für die Herstellung²

03.01 Hammerkopf	6424,50 BTU/kg
03.02 Hammerstiel	6424,50 BTU/kg
03.03 Griff	407,00 BTU/kg

Ausschussrate²

03.01 Hammerkopf	10,0 %
03.02 Hammerstiel	10,0 %
03.03 Griff	5,0 %

¹ angelehnt an die Berechnung mit *Ecolizer 2.0*

² Standard-Annahmen von *SolidWorks Sustainability*

Hammer 4 - Axthammer

Der Hammerkopf des vierten Hammers besteht, in Anlehnung an die Berechnung mit *Ecolizer 2.0*, aus geschmiedeten Edelstahl. Die Recyclingquote wird von *SolidWorks* hier ebenfalls mit 18% angegeben. Für den Hammerstiel wurde Hickory-Holz vorgesehen, dieser ist in SolidWorks nicht aufgelistet. Folglich wird hier ein ähnliches Material mit ähnlichen Eigenschaften ausgesucht - in dem Fall wird der Mahagoni-Holz für den Hammerstiel ausgewählt. Für den Hammerstiel wird der Energiebedarf (Strom) mit $7,67 \frac{kJ}{kg}$ und der Brennstoffbedarf mit $14,52 \frac{BTU}{kg}$ angenommen. Das Gesamtgewicht des Axthammermodells liegt nun bei 1.211g.

Als Herstellungsregion wird Europa gewählt und die Lebensdauer werden aus den oben genannten Gründen mit 10 Jahren angenommen.

Die folgenden Angaben werden festgelegt:

Material

04.01 Hammerkopf	Nichtrostender Schmiedestahl (18 % Recyclinganteil)
04.02 Hammerstiel	Mahagoni (0% Recyclingquote)

Region der Herstellung Europa¹

Geplante Lebensdauer 10 Jahre¹

Verarbeitung

04.01 Hammerkopf	Gefräst
04.02 Hammerstiel	Benutzerdefiniert

Energiebedarf für die Herstellung

02.01 Hammerkopf ²	1,85 kWh/kg
02.02 Hammerstiel	0,002 kWh/kg

Wärmeenergiebedarf für die Herstellung²

02.01 Hammerkopf ²	407,00 BTU/kg
02.02 Hammerstiel	14,52 BTU/kg

Ausschussrate²

02.01 Hammerkopf	2,0%
02.02 Griff	5,0%

¹ angelehnt an die Berechnung mit *Ecolizer 2.0*

² Standard-Annahmen von *SolidWorks Sustainability*

5.2.2 Verwendung und Transport

Alle Hämmer werden, gemäß den Festlegungen in Kapitel 5.1, in Europa gefertigt und verwendet. Zudem wurde angenommen, dass die Hämmer innerhalb Deutschlands distribuiert werden. Für jeden Hammer wird der Transportweg hier mit 550 km mit dem LKW veranschlagt.

Erstaunlicherweise wird durch das Experimentieren mit der Software festgestellt, dass für das Transportieren des Produktes mit unterschiedlichen Transportmöglichkeiten über dieselbe Strecke die gleichen Umweltbelastungen durch SolidWorks Sustainability berechnet werden. Der Transport mit einem Seetanker, LKW oder der Bahn liefern keine Unterschiede bezüglich der Umweltverträglichkeit vor. Diese Erkenntnis muss bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Die folgende Maßnahme kann eventuell Abhilfe schaffen: Die Transportwege zunächst nicht zu berücksichtigen, sondern diese erst nach Auswertung der reinen Material- und Herstellungskalkulation separat zu betrachten.

5.2.3 Nutzungsphase

Analog zu der Berechnung mit *Ecolizer 2.0* wird die Nutzungsphase hier ebenfalls nicht betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass die Hämmer in gleicher Art und Häufigkeit verwendet werden und auch die Reinigung in gleichen Abständen erfolgt.

Im Gegensatz zu der Methode mit *Ecolizer 2.0* können in SolidWorks die Auswirkungen der Lebensdauer auf die Umwelt automatisch berechnet werden. Die geplante Lebensdauer wird im Verhältnis zu der tatsächlichen Nutzungsdauer in Bezug gesetzt.

- 1. Variante: 10 Jahre Lebensdauer
- 2. Variante: 20 Jahre Lebensdauer

Bei beiden Varianten wird eine Nutzungsdauer von 20 Jahren festgelegt. Hierbei sollten die Umweltauswirkungen passiver Produkte um jeweils 100% ansteigen, wenn die Lebensdauer um die Hälfte reduziert wird. In Abbildung 5.8 wird das Ergebnis der Umweltverträglichkeit dargestellt, in der bei ansonsten gleichen Bedingungen, lediglich mit 10 (roter Balken) statt 20 Jahren (schwarzer Balken) Lebensdauer angesetzt wird.

Die Grafik zeigt, dass bei einem Produkt mit weniger Lebensdauer über dieselbe Nutzungsdauer die Umweltwirkung nur kaum bis sehr gering ansteigen. Die CO_2e -Emissionen steigen dabei lediglich um 1 % an, genau wie der bei Überschuss zur Überdüngung von Gewässern führende Phosphat. Das Ergebnis ist fragwürdig und wird in der Auswertung weiter betrachtet.

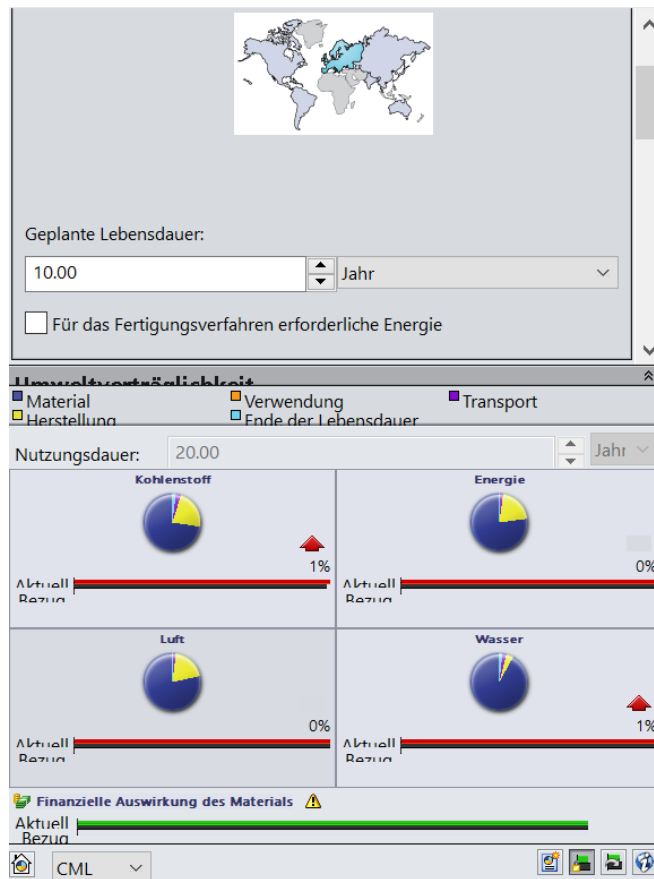


Abbildung 5.8: Vergleich der Umweltauswirkungen bei unterschiedlicher Lebensdauer desselben Produktes

5.2.4 End of Life

Für die Entsorgung der vier Hämmer wird, ähnlich wie die Kapitel zuvor, vorgegangen. Es gilt, dass die Angaben angelehnt an die Berechnung mit *Ecolizer 2.0* zu wählen sind, auch wenn aufgrund der sehr unterschiedlichen Herangehensweise der zwei Methoden ein Vergleich nur bedingt möglich ist. SolidWorks macht es dem Anwender etwas einfacher, da im Gegensatz zu *Ecolizer* hier lediglich die Anteile für Recycling, Verbrennung und Deponie abgefragt werden. Durch die Datensätze von Sustainability werden zwar Verteilungsquoten zum *End of Life* automatisch vorgegeben und angenommen, stellen jedoch für alle Materialien dieselben Quoten dar und können demnach so nicht belastet werden. In der vorliegenden Arbeit werden die Anteile entsprechend der vorigen Berechnung angepasst und korrigiert.

Die Angaben zu End of Life erfolgen für jedes Produktteil, da bei Produktteilen mit unterschiedlichen Materialien die Recycling-, Verbrennungs- und Deponieanteile sehr unterschiedlich ausfallen können. Im Abschnitt 5.1.9 wurden bereits umfassende Hinweise zum End of Life geliefert, daher wird im Folgenden die Vorgehensweise mit Sustainability erklärt.

Hammer 1 - Schlosserhammer

Der Recyclinganteil für den Schlosserhammerkopf wird mit 100 % veranschlagt, da die Anteile für Verbrennung und Deponie nur sehr gering anfallen. In der europäischen

Praxis können diese Werte etwas abweichen, dennoch wird in der vorliegenden Arbeit, angelehnt an deutsche Statistiken von einer Recyclinganteile von 100 % ausgegangen. Dieser Werte bedeutet nicht, dass das Produkt bzw. Produktteil zu 100 % aus Sekundärmaterial besteht, sondern dass 100 % des Sekundärmaterials recycelt werden. Wie viel davon als Rohmaterial zur Wiederverwertungszwecken genutzt werden können, kann hier nicht individuell festgelegt werden (fester Recyclingquote in dem Fall von 18%). In der Berechnung mit Ecolizer 2.0 wurde für den Glasfaserverstärkten Hammerstiel eine Recyclingquote von 20 % zugeschrieben, da die Menge als Verstärkungsgut für Wiederverwertungszwecke genutzt wird, ohne dass Qualitätsverluste dabei entstehen. Die restlichen 80 % des Sekundärmaterials werden als Brennstoff genutzt. Der Gummigriff wird zu 100 % verbrannt (Erläuterung sieht 5.1.9).

Hammer 2 - Schonhammer

Wie in der Berechnung mit Ecolizer angenommen, werden die Altkunststoffe der Abfallbehandlung zugefügt, zu 80% deponiert, und zu 20% als Ersatzbrennstoffe eingesetzt, da diese einen besonders hohen Heizwert haben. Der Holzhammerstiel wird hingegen zu 100 % für Weiterverwertungszwecke genutzt, wie in der Papierindustrie. Selbstverständlich wird ein Teil des Holzes auch in Form von Holzbriketts als Brennstoff genutzt. Das verbrannte Holz landet letztendlich als Asche in Deponie, demnach kann hier ein Deponieanteil von 100 % eingetragen werden. Der Verschnitt wird hier nicht betrachtet.

Hammer 3 - Zimmermannshammer

Altmetalle können ohne Qualitätsverluste recycelt werden. Sowohl Hammerkopf als auch -stiel werden demnach zu 100 % wiederverwertet. Der Griff aus Gummi wird gesammelt und der Abfallbehandlung zugefügt. Demnach wird dafür ein Verbrennungsanteil von 100 % angenommen. Die während der Herstellung des Hammers anfallenden Späne werden durch die Software nicht miteinkalkuliert.

Hammer 4 - Axthammer

Auch für den Edelstahl-Hammerkopf wird der Recyclinganteil mit 100 % angenommen. Holzstiele werden für Weiterverwertungszwecke genutzt. Es wird hierfür ein Deponieanteil von 100% veranschlagt. Späne und Verschnitt werden durch die Software nicht betrachtet.

5.2.5 Bestimmung der Umweltwirkungen

Die Tabelle 5.2 stellt eine Übersicht, der in SolidWorks Sustainability ausgewählten Parameter da. Im Anschluss folgt die Berechnung und Auswertung der Umweltauswirkungen.

Parameter	1 Schlosserhammer			2 Schonhammer			3 Zimmermannshammer			4 Axthammer	
	Kopf	Stiel	Griff	Kopf	Stiel	Griff	Kopf	Stiel	Griff	Kopf	Stiel
Material	1.0503 (C45)	PA Typ 6	Gummi	PE niedrige / mittlere Dichte	Eiche	Gummi	1.1193 (C45G)	1.0503 (C45)	Gummi	Nichtrostender Schmiedestahl	Mahagoni
Region Herstellung	Europa										
Lebensdauer	20 Jahre			10 Jahre			20 Jahre			10 Jahre	
Verarbeitung	Ge- schmiedet	Spritz- guss	Benutzer- definiert	Extrusion	Benutzer- definiert	Druck- guss	Druck- guss	Druck- guss	Benutzer definiert	Gefräst	Benutzer definiert
Energiebedarf [kWh/kg]	0,60	1,85	0,77	1,85	0,002	1,85	2,73	2,73	0,77	1,85	0,002
Wärmebedarf [BTU/kg]	550,00	407,00	407,00	407,00	14,52	407,00	6424,50	6424,50	407,00	407,00	14,52
Region Verwendung	Europa										
Transport [km]	550km										
Ende der Lebensdauer	RA: 100%	RA: 20% VA: 80%	VA: 100%	VA: 20% DA: 80%	DA: 100%	RA: 100%	RA: 100%	RA: 100%	VA: 100%	RA: 100%	DA: 100%
Nutzungsdauer	20 Jahre										
Legende:											
	RA: Recyclinganteil in %										
	VA: Verbrennungsanteil in %										
	DA: Deponieanteil in %										

Tabelle 5.2: In SolidWorks Sustainability ausgewählten Parameter

SolidWorks stellt die Umweltauswirkungen in vier verschiedenen Grafiken dar. Bei Veränderung von einzelnen Parameter wird die Wirkung der Parameterveränderung direkt in zeitgleich dargestellten Grafiken angezeigt. In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der Umwelteinwirkung betrachtet werden. Auf Knopfdruck können in SolidWorks Sustainability Berichte angefertigt werden, aus denen, für den Vergleich der Hämmer, Teile entnommen und in neuer Konstellation dargestellt werden.

Interessant ist nun zu wissen, inwieweit SolidWorks den Faktor berücksichtigt, dass zur Abdeckung von 20 Jahren Nutzungsdauer (speziell beim Schon- und Axthammer) je zwei Hammer benötigt werden. In Ecolizer 2.0 wurde zur Bildung einer funktionellen Einheit je ein Referenzfluss definiert. Folgende Untersuchung wird dazu mit SolidWorks Sustainability durchgeführt:

Die Lebensdauer der Schonhammers wird von 10 Jahren auf 20 Jahre erhöht. Sofern sich nun die Umwelteinwirkung in jeder Produktentwicklungsphase um die Hälfte reduzieren, wird davon ausgegangen, dass SolidWorks Sustainability entsprechend zwei Hammer zur Abdeckung von 20 Jahren Nutzungsdauer in der Berechnung einkalkuliert. Abbildung 5.9 stellt die Grafik der Umweltauswirkungen für den Schonhammer dar.

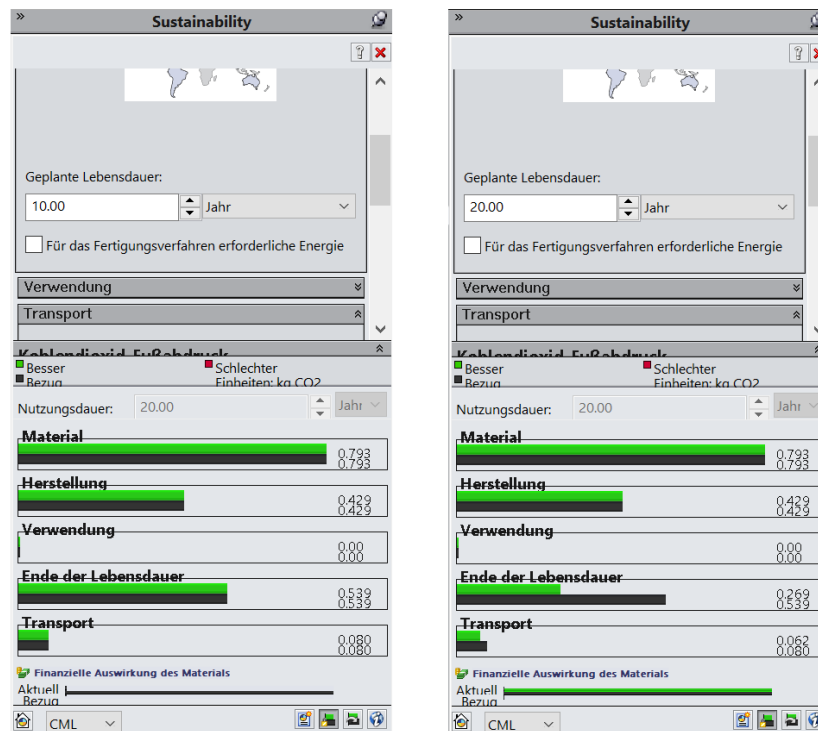


Abbildung 5.9: Vergleich der Umweltauswirkungen bezüglich der Lebensdauer von 10 zu 20 Jahren

Wie in der Grafik zu erkennen, fällt die Umwelteinwirkung lediglich beim End of Life um die Hälfte. Während der Distribution des Produktes entstehen hierbei 22,5 % weniger CO_{2e}-Emissionen. Die Umwelteinwirkung während der Material- und Produktherstellung bleiben unverändert. Demnach wird festgehalten, dass SolidWorks Sustainability nicht über die Nutzungsdauer von 20 Jahren einkalkuliert. Für die vorliegende Arbeit bedeutet dies, dass analog zu der Vorgehensweise von Ecolizer die Umweltwirkungen der Schon- und Axthammer um den Faktor 2 erhöht werden.

Tabelle 5.3 stellt die Ergebnisse der Berechnung mit SolidWorks Sustainability dar.

Ergebnisse pro RF	Schlosserhammer (20 Jahre)	Schonhammer (10 Jahre)	Zimmermannshammer (20 Jahre)	Axthammer (10 Jahre)
Kohlenstoff-Fußabdruck [<i>kg CO_{2e}</i>]	13,0	1,85	95,2	67,6
Gesamtenergieverbrauch [<i>MJ</i>]	272,2	71,4	1431,1	830,0
Luftansäuerung [<i>kg SO_{2e}</i>]	0,10	0,01	0,50	0,30
Überdüngung [<i>kg PO_{4e}</i>]	0,02	0,00	0,07	0,23
Ergebnisse über die Nutzungsdauer (20 Jahre)	Schlosserhammer	Schonhammer	Zimmermannshammer	Axthammer
Kohlenstoff-Fußabdruck [<i>kg CO_{2e}</i>]	13,0	3,7	95,2	135,2
Gesamtenergieverbrauch [<i>MJ</i>]	272,2	142,8	1431,1	1660,0
Luftansäuerung [<i>kg SO_{2e}</i>]	0,10	0,02	0,50	0,60
Überdüngung [<i>kg PO_{4e}</i>]	0,02	0,00	0,07	0,46

Tabelle 5.3: Ergebnisse der Berechnung mit SolidWorks Sustainability

5.3 Auswertung der Ergebnisse

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass über den Produktlebensweg des Schonhammers, in allen vier Kategorien, die geringsten Umweltauswirkungen entstehen. Selbst bei kurzer Lebensdauer des Schonhammers und den damit verdoppelten Umweltbelastungen, fällt dieser im Vergleich zu den anderen Hämmern deutlich umweltverträglicher aus. Dies ist u.a. auf die geringe Materialmenge zurückzuführen. Der Schlosserhammer ist mit 13,0 *kgCO_{2e}* auf Platz zwei und macht dabei das 10fache des Kohlenstoff-Fußabdruckes im Vergleich zum Schonhammer aus. Der hohe Kohlenstoff-Fußabdruck wird den hohen Umweltbelastungen, während der Herstellung des Hammers zugeschrieben.

Zudem wird festgestellt, dass der Axthammer im Vergleich zum Zimmermannshammer (pro Referenzfluss), mit Ausnahme der Überdüngung, weniger Umweltbelastungen ausübt. Über die Nutzungsdauer von 20 Jahren werden deutlich mehr Umwelteinwirkungen verursacht. Die Ergebnisse stellen demnach ganz klar die Reihenfolge: Schonhammer, Schlosserhammer, Zimmermannshammer und Axthammer dar. Die Abbildung 5.10 stellt den Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck der vier Hammer dar - zusammengefasst in die Hauptphasen nach FREI.

Die Verteilung der Hauptphasen entsprechen der, des Ecolizers. Die Größten Umweltbelastungen entstehen bei allen vier Hämmern durch die Materialherstellung und während der Produktionsphasen der Hämmer. Transportwege machen dabei weniger als 1 % der Gesamtumweltbelastung aus, genau wie die Ergebnisse beim End of Life. Trotz geringem Gewicht entstehen während der Entsorgung des Schonhammers mit 1,08 *kg CO_{2e}* die höchsten Umweltbelastungen im Vergleich zu den anderen Hämmern.

Wie zuvor bereits erwähnt, werden durch die Verwertung von Sekundärmaterialien sowohl wertvolle Ressourcen eingespart als auch insgesamt weniger *CO_{2e}*-Emissionen wäh-

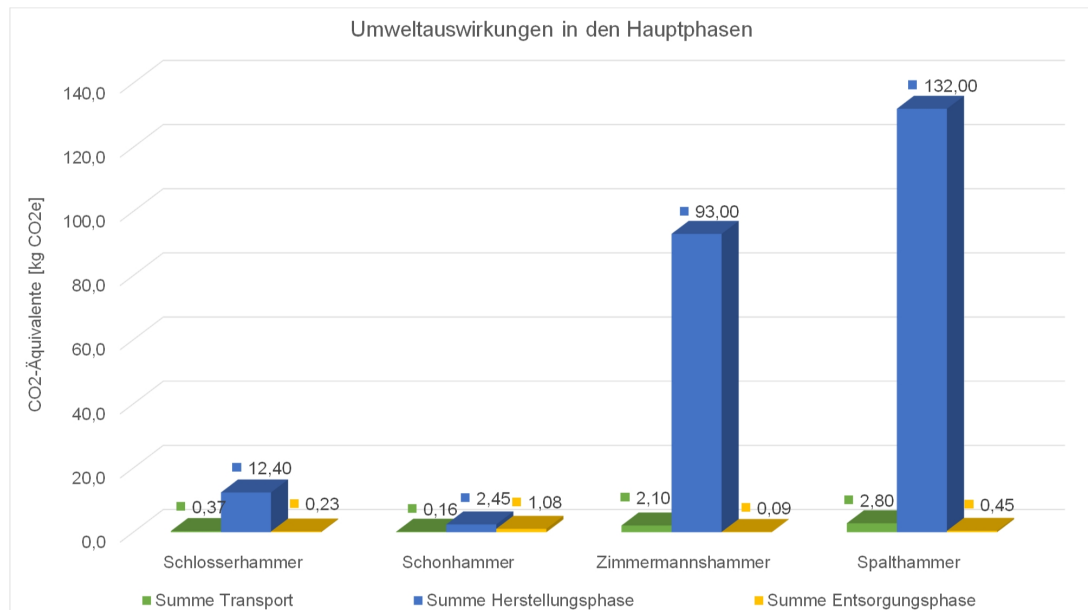


Abbildung 5.10: Umweltauswirkungen der vier Hämmer - zusammengefasst in die Hauptphasen

rend des Produktlebenszyklus verursacht. Inwieweit SolidWorks Sustainability dies bei den Stahlteilen (Recyclingquote von 18 %) in der Berechnung einkalkuliert wurde, steht offen.

Die Daten und der Ablauf im Hintergrund der Software sind nicht transparent genug, um die Methode auf Detail hin analysieren zu können. Anhaltspunkt verschaffen hier lediglich die Endergebnisse.

Selbst bei Unterschiedlichkeiten der dahinter liegenden Daten und der unterschiedlichen Allokationsmethoden der beiden Methoden liefern, sowohl die Berechnung mit Ecolizer, als auch die mit SolidWorks Sustainability, das selbe Endergebnis bzw. die selbe Reihenfolge: Schonhammer, Schlosserhammer, Zimmermannshammer und Axthammer.

5.3.1 Definieren einer Referenzgröße

Wie in Kapitel 4 bereits erwähnt, ist es wichtig Referenzgrößen zu definieren, um eine Vergleichsebene der Ergebnisse verschiedener Produkte mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen erreichen zu können. Ein Produktsystem kann hierbei eine Vielzahl möglicher Funktionen haben, die von festgesetzten Zielsetzungen der Arbeit einzurahmen sind. Die Bewertung unterschiedlicher System erfordert eine kritische Prüfung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse und die sichergestellte Durchführung derartiger Vergleiche auf einer einheitlichen Grundlage.

Für das vorliegende Beispiel nimmt der Materialeinsatz eine entscheidende Rolle ein. Es scheint sinnvoll, die vier Hämmer, bezogen einer Referenzgröße von beispielsweise 100g, zu betrachten und auszuwerten (vgl. Abbildung 5.11)

Sofern die CO_{2e} -Emissionen der vier Hämmer auf die Referenzgröße von 100g bezogen werden, entsteht eine andere Rangfolge. Hierbei wird deutlich, dass der Zimmermannshammer im ersten Zyklus mit $0,66 \text{ kgCO}_{2e}/100g$ und im zweiten Zyklus mit $0,513 \text{ kgCO}_{2e}/100g$ als umweltverträglichstes Produkt abscheidet. Beim ersten Lebensweg des Schlosserhammers wird die Umwelt mit etwa $0,689 \text{ kgCO}_{2e}/100g$ und

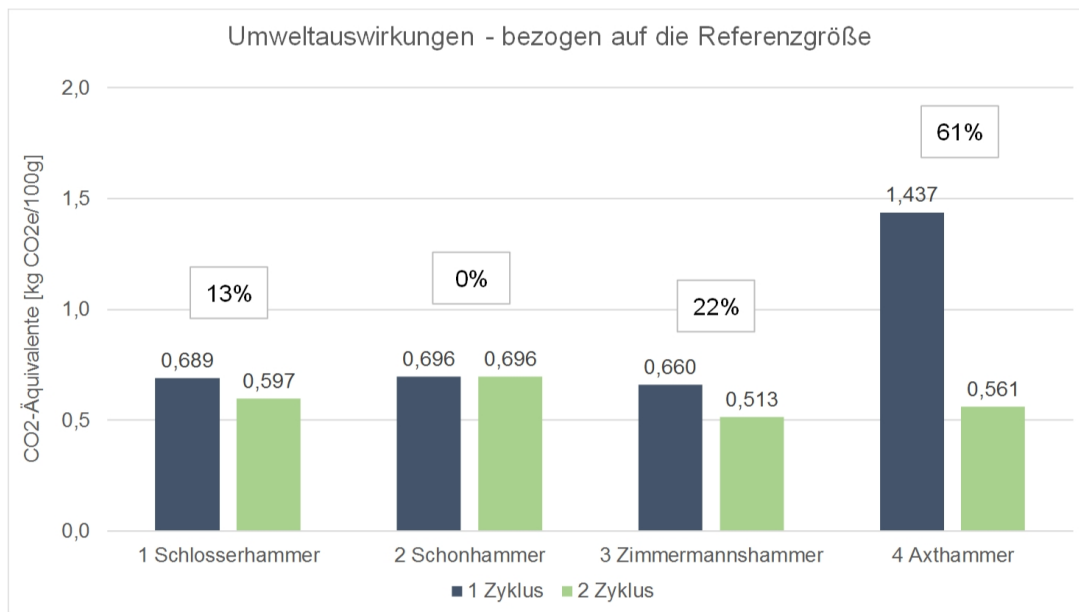


Abbildung 5.11: CO_{2e} -Emissionen auf die Referenzgröße bezogen

beim zweiten Lebensweg mit etwa $0,597 \text{ kgCO}_{2e}/100\text{g}$ belastet. Mit dem Schonhammer entstehen laufend etwa $0,696 \text{ kgCO}_{2e}/100\text{g}$ Auswirkungen auf die Umwelt. Bei dem Axthammer hingegen werden mit etwa $1,437 \text{ kgCO}_{2e}/100\text{g}$ im ersten Zyklus die größten Umweltauswirkungen ausgelöst. Im zweiten Zyklus entstehen, aufgrund der hohen Recyclingquote des Edelstahl lediglich nur noch $0,561 \text{ kgCO}_{2e}/100\text{g}$.

6 Ökologische Entwicklungsziele

Mit den bisherigen Ergebnissen und Schlussfolgerungen soll für ein Anwendungsbeispiel, d.h. für einen Hammertypen (gleicher Verwendungsbereich), eine Produktoptimierung hinsichtlich nachhaltigkeitsgerechter Aspekte durchgeführt werden. In Anbetracht dessen, dass ein Hammer im allgemeinen ein Gebrauchsgegenstand ist und speziell der Schlosserhammer, den in Deutschland am weitesten verbreiteten Hammertypen darstellt, wird sich diese für die folgende Untersuchung entschieden. Für den direkten Vergleich wird neben dem Schlosserhammer mit Glasfaserstiel und gummiertem Griff (1.1), ein klassischer Schlosserhammer mit Holzstiel (1.2)- ausgewählt. Wichtig ist hierbei, dass beide Hämmer dieselbe Gewichtsklasse (haben).

6.1 Life Cycle Analysis des Referenzproduktes

Hersteller des Schlosserhammers (1.1) aus glasfaserverstärktem Kunststoff (PA 6) ist Black&Decker. Der Fachhändler bietet den Hammer mit einem passenden, extra robusten 5m Maßband im Kunststoffgehäuse mit Gürtelclip als Set, für einen Kaufpreis von 24,99€, an. Weitere Informationen zu dem Hammer 1.1 sind dem Kapitel 5 zu entnehmen.

Der Schlosserhammer (1.2) besteht ebenfalls aus einem geschmiedeten, gehärteten C45-Hammerkopf und einem Hickory-Stiel, mit einer Stielschutzhülse. Der Holzstiel ist mit einem Ringkeil direkt an dem Hammerkopf befestigt. Genau wie der Schlosserhammer (1.1), hat dieser einen Nenngewicht von 300g. Insgesamt wiegt der Hammer (1.2) 470g. Sowohl Schutzhülse als auch Ringkeil werden aus der Bilanzierung vernachlässigt. Der ausgewählte Schlosserhammer (1.2) wird durch den Hersteller Lux GmbH & Co.KG hergestellt und hat einen Kaufpreis von 15,49€. Weiterhin wird angenommen, dass der Schlosserhammer (1.2), analog zu dem (1.1), eine Lebensdauer von 20 Jahren hat und genau so lange genutzt wird.

Die Berechnung der Umwelteinwirkungen für beide Schlosserhammer wird nach der Methode Ecolizer durchgeführt. Auf die detaillierte Beschreibung der einzelnen Produktlebensphasen wird hierbei verzichtet. In Tabelle 6.1 werden alle Ergebnisse der Berechnung der Umwelteinwirkungen aufgelistet, die anschließend ausgewertet werden. Im Anhang D befinden sich alle Tabellen der Berechnung mit Ecolizer, für jedes der untersuchten Hämmer.

Demnach steht der Schlosserhammer (1.2) mit insgesamt 4,04 $kgCO_2$ Umweltbelastungen im ersten Zyklus und 3,42 $kgCO_2$ als umweltverträgliches Produkt dar. Im Vergleich zum Schlosserhammer (1.1) werden hierbei über den gesamten Produktlebenszyklus mindestens 11% weniger CO_2 -Emissionen ausgelöst. Bei der Rohmaterialherstellung bzw. Produktherstellung für den Schlosserhammer (1.2) entstehen 21,5% bzw. 11% weniger CO_2 -Emissionen. Aufgrund des geringen Gewichtes beim Schlosserhammer (1.2) entstehen geringe Transportvorteile, wie bei der Beschaffung des Rohstoffes, Rohmaterials und beim Entsorgen des Hammers. Abbildung 6.1 stellt die Aus-



		1.1		1.2	
		Schlosserhammer		Schlosserhammer	
					
		1. Zyklus	2. Zyklus	1. Zyklus	2. Zyklus
Phase		Kohlenstoffdioxid-Emissionen [$kgCO_2$]			
1	Transport der Rohstoffe	0,05	0,03	0,04	0,02
2	Rohmaterialherstellung	2,05	1,98	1,61	1,53
3	Transport der Rohmaterial	0,03	0,03	0,01	0,01
4	Produktherstellung	1,74	1,74	1,55	1,55
5	Rohstoff- und Verpackungs-herstellung	0,27	0,27	0,27	0,27
6	Distribution des Hammers mit Verpackung	0,05	0,05	0,05	0,05
7	Transport zum Entsorgen des Hammers mit Verpackung	0,14	0,14	0,13	0,13
8	Entsorgung des Hammers	0,21	-0,31	0,38	-0,14
9	Entsorgung der Verpackung	0,00	0,00	0,00	0,00
GESAMT Umweltbelastung [$kgCO_2$]		4,53	3,92	4,04	3,42
Umweltbelastung [%]		100%	87%	100%	85%
CO_2-Ersparnis [%]			13%		15%
Gesamt Primärmaterialersparnis [%]			44%		50%

Tabelle 6.1: Übersicht der Auswertungsergebnisse für die Schlosserhämmer 1.1 und 1.2

wertungsergebnisse der Umweltbelastung grafisch dar. Bei beiden Schlosserhämmern werden ab dem zweiten Zyklus weniger Emissionen der Umwelt freigesetzt. Demnach entstehen ab dem zweiten Produktlebenszyklus beim Schlosserhammer (1.1) 87% und beim Schlosserhammer (1.2) nur noch 85% Umwelteinwirkungen. Zudem werden beim Schlosserhammer (1.2) 50% Primärmaterial eingespart.

Die grafische Darstellung der Auswertungsergebnis der Umweltbelastung, bezogen auf die Referenzgröße von 100g, ist in Abbildung 6.2 aufgeführt. In Bezug auf die Referenzgröße von 100g, entstehen bei dem Schlosserhammer (1.2) im ersten Zyklus 0,641 $kgCO_{2e}/100g$ und ab dem zweiten Zyklus 0,542 $kgCO_2/100g$ Auswirkungen auf die Umwelt. Beim Schlosserhammer (1.1) sind es im ersten Zyklus 0,689 $kgCO_{2e}$ und ab dem zweiten Zyklus 0,597 $kgCO_{2e}$ pro 100g Referenzgröße.

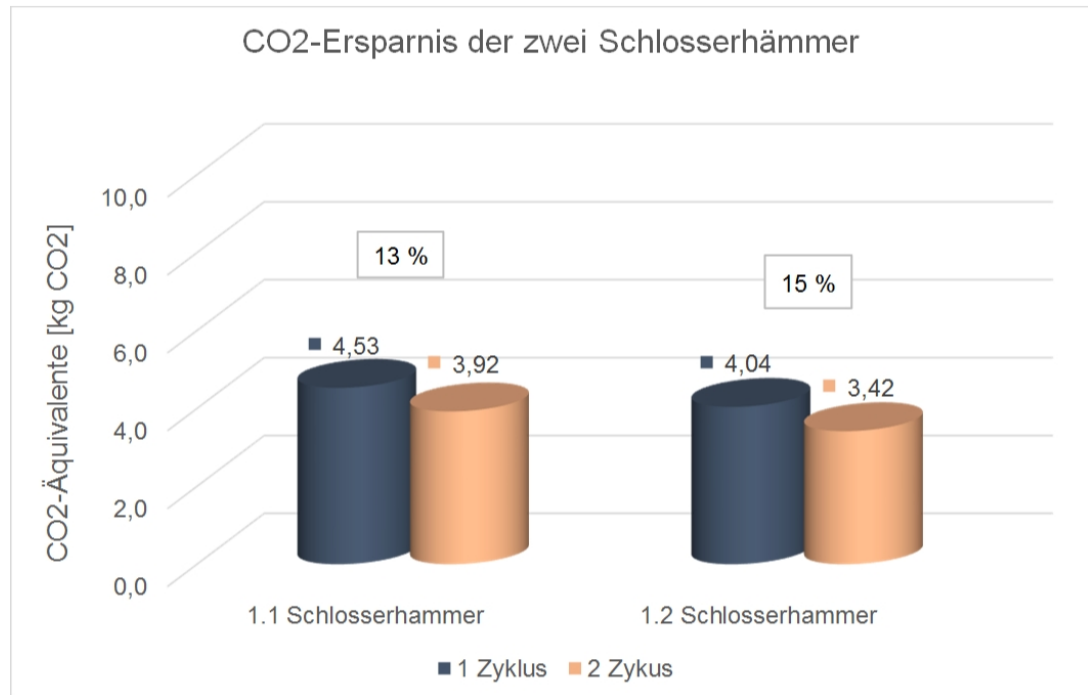


Abbildung 6.1: Grafische Übersicht der Ergebnisse für die Schlosserhammer 1.1 und 1.2

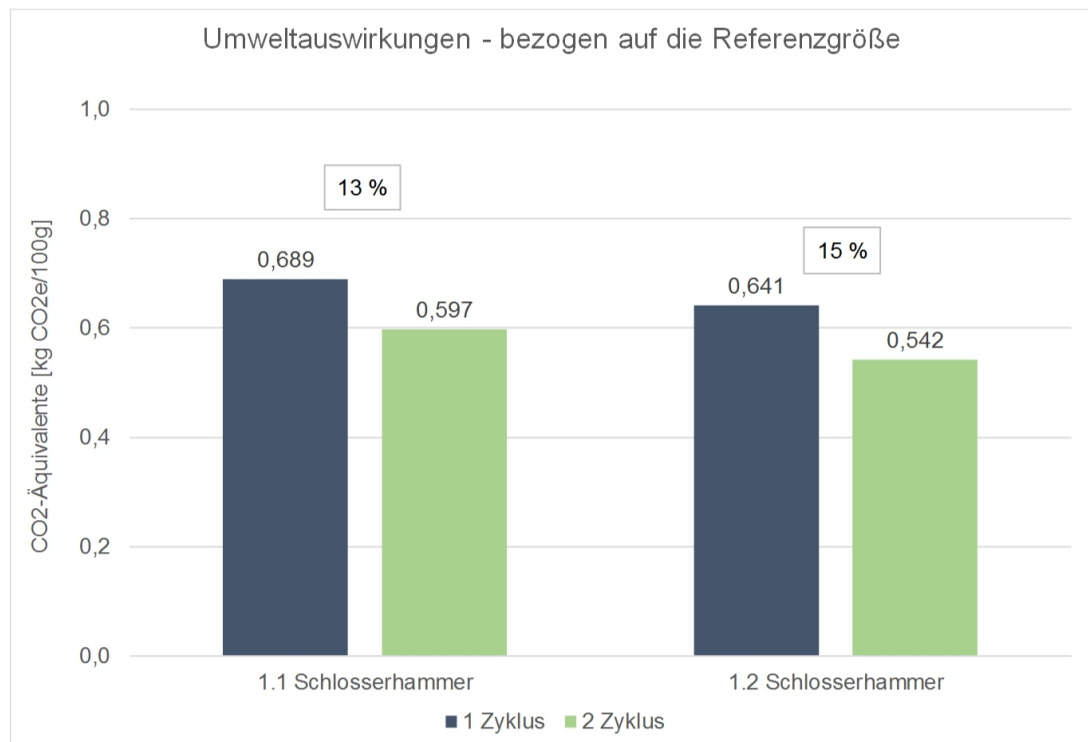


Abbildung 6.2: Grafische Übersicht der Ergebnisse für die Schlosserhammer 1.1 und 1.2 - bezogen auf die Referenzgröße

Der Schlosserhammer (1.1) hingegen bietet zwar mit einem Spezialstiel aus Glasfaserverstärktem Kunststoff eine besondere Vibrationsdämpfung, stellt jedoch in der gesamten Bilanzierung eine schlechtere Alternative dar. Zusammengefasst stellt sich der Schlosserhammer (1.2) mit einem Holzstiel im Vergleich zum Schlosserhammer (1.1), bei sonst gleichen technischen Eigenschaften, als eine ökologisch bessere Alternative heraus. Demnach wird der Schlosserhammer (1.2) als Basisgrundlage für die weitere ökologische Optimierung festgelegt, anhand dessen wesentliche Einflusskriterien untersucht werden. Dadurch lässt sich das Optimierungspotential für das Referenzprodukt aufstellen, wodurch sich die ökologischen Entwicklungsziele ableiten lassen.

6.2 Produktoptimierung

Aus Basis der zuvor ermittelten Auswertungsergebnisse für den Schlosserhammer (1.2), erfolgt in den folgenden Abschnitten ihre ökologische Optimierung und die Definition der ökologischen Entwicklungsziele für das Produkt.

Durch die Betrachtung des Produktes hinsichtlich der sieben Ökodesign-Prinzipien können negative Umwelteinwirkungen reduziert werden und folglich das Produkt ökologisch -ohne Verschlechterung der technischen Eigenschaften- optimiert werden. Hierzu werden die wesentlichen Prinzipien mit Relevanz für die vorliegende Arbeit ausgewählt.

6.2.1 Optimierung durch Erhöhung der Umweltverträglichkeit

Ein wesentlicher Faktor bei der Lösungsauswahl liegt bei der Materialauswahl und deren Herstellungsprozessen. Dieser Ansatz wird im Sinne einer nachhaltigen Produktentwicklung verfolgt. (Vgl. Kapitel 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4 und 6.2.5.)

6.2.2 Optimierung durch Erhöhung der Lebensdauer

Ein Schlosserhammer ist das in Deutschland gängigste, weitverbreitete Hammertyp und in der Regel, neben Schraubendreher und Zange, Bestandteil eines jeden Werkzeugkastens. Oftmals kommt der Schlosserhammer im Alltag über die Jahre nur gelegentlich zum Einsatz. Dabei kann der Hammer selbst durchaus langlebig sein. Die wohl mögliche geringe Lebensdauer des Hammers ist oftmals nicht der Grund für ein erneutes „Besorgen“ eines neuen Hammers, sondern schlicht der Grund, dass der Hammer „verschwindet“, d.h. nicht mehr auffindbar ist.

Laut Aussage des Geschäftsführers des Unternehmens Picard Hammer treten die häufigsten Beschädigungen am Holzstiel auf. Der zu untersuchende Schlosserhammer bietet zwar eine entsprechende Schutzausrüstung als Stielschutzhülse bzw. -manschette vor, trotzdem kann es mal vorkommen, dass der Holzstiel mal abbricht. Der alte Stiel kann durch einen Ersatzstiel ausgetauscht werden. Dazu werden Reststücke des Holzstiels mit einem Hammer und stumpfen Meißel aus dem Hammerkopf (Auge) ausgeklopft und der neue Stiel eingepresst und verkeilt. Oftmals sind jedoch die, für den Austausch des Holzstiels erforderlichen, Werkzeuge in einem herkömmlichen Haushalt nicht vorhanden, was den Kunden bequemer weise dazu verlockt, sich ein neuen Hammer zuzulegen (auch bedingt durch den relativ geringen Kaufpreis). Das Problem kann durch den Hersteller gelöst werden, denn für ein ökologisches Konzept kann dieser ein Reparatur- und Rücknahmesysteme einführen. Dadurch ließe sich der Hammer bequem reparieren, infolge dessen seine Lebensdauer erhöht und dieser insgesamt länger Nutzen finden würde.

, kann dieser durch einen Ersatzstiel ausgetauscht werden

Eigenschaften	Güteklasse		Prüfung nach
	A	B	
Rohdichte [$\frac{g}{cm^3}$]	0,75	0,60	DIN 52182
Bruchschlagarbeit [$\frac{kJ}{m^2}$]	75	45	DIN 52189-1

Tabelle 6.2: Mindestwerte der Rohdichte und der Bruchschlagarbeit nach DIN 68340

6.2.3 Optimierung durch Materialvariation

Grundlegend kommen nach der DIN 68340 *Stiele aus Holz für Schlagwerkzeuge*, für Hämmer und andere Schlagwerkzeuge mit Holzstiel, nur Hartholzarten mit erwiesener Eignung in Frage. Neben Hickory-Stiele eignen sich auch Esche-Stiele sehr gut als Holzstiel. Die Anforderungen und Eigenschaften der Holzstiele werden nach den Normen DIN 52182 und DIN 52189-1 geprüft, bevor sie als Holzstiel zum Einsatz kommen. Die Eignung eines Esche-Holzes ist dadurch gegeben, sofern nach den Normen ein Mindestwert der Güteklasse nach der Tabelle 6.2 nachgewiesen wurde:

Ein Esche-Stiel ist demnach mit einem Rohgewicht von $0,60 \frac{g}{cm^3}$ leichter als ein Hickory-Stiel und hat eine höhere Bruchschlagfestigkeit. Demnach wird davon ausgegangen, dass ein Esche-Stiel über den Produktlebensweg hinweg, in den Phasen der Transportwege des Rohholzes, Zwischenproduktes und des Endproduktes, der Distribution, sowie in den Herstellungsprozessen, weniger Auswirkungen auf die Umwelt ausübt.

Eine Produktoptimierung durch Materialvariation für den geschmiedeten und gehärteten Stahlkopf ist nicht ganz so einfach. Die Auswahl ist groß. Demnach muss zunächst eine Eingrenzung auf die, für den Hammerkopf in Frage kommende, Stahlsorten erfolgen. *SolidWorks Sustainability* bietet zur Optimierung des Produktes hinsichtlich der Umweltverträglichkeit ein praktisches Tool an, auf welches im Folgenden zurückgegriffen wird. Mit der Funktion „ein ähnliches Material mit ähnlichen Eigenschaften zu suchen“ und anschließend die Auswertungsergebnisse visuelle darzustellen bietet die Software für den Anwender eine schnelle Materialübersicht zur Verbesserung der Umweltbelastungen. In Abbildung 6.3 ist ein Auszug aus *SolidWorks Sustainability* - Tool „Ähnliches Material aussuchen“ und die hierzu festgelegten Eigenschaften und Anforderungen abgebildet.

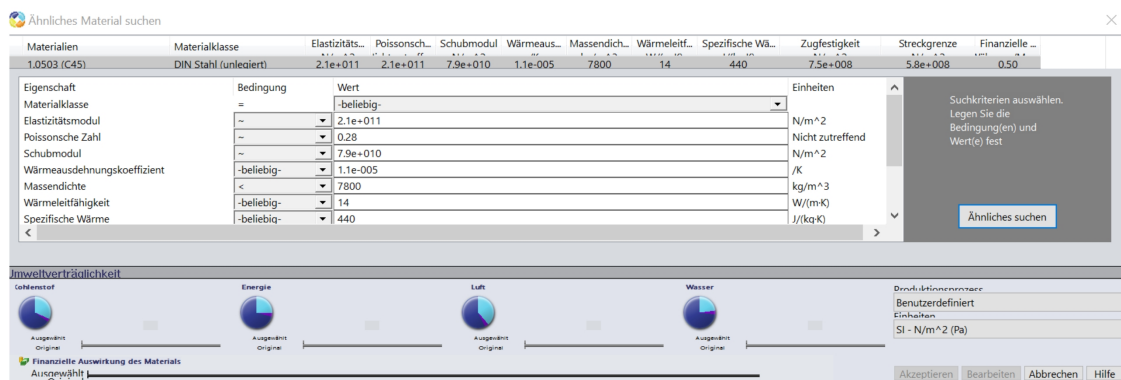


Abbildung 6.3: Auszug aus SolidWorks Sustainability - „Ähnliches Material aussuchen“

Nach Festlegung eines Referenzmaterials aus der Datenbank von SolidWorks, wird dem

Anwender, nach Angabe einer Materialklasse, Festlegung von erforderlichen Eigenschaften und/oder Setzen von Suchkriterien und Bedingungen (niedrigere oder höheren Anforderungen), eine Reihe von Materialien zur Auswahl aufgelistet (Vgl. Abbildung 6.4). In diesem Fall wird die Datenbank nach Materialien gesucht, die über eine geringere Massendichte und über eine höhere Zugfestigkeit verfügen. Der Elastizitätsmodul, die Poissonsche Zahl und der Schubmodul sollen unverändert bleiben.

The screenshot shows a window titled 'Ähnliches Material suchen' (Search for similar materials). It contains a table with the following columns: Materialien, Materialklasse, Elastizitätsmodul, Poissonsche Zahl, Schubmodul, Wärmeausdehnungskoeffizient, Massendichte, Wärmeleitfähigkeit, Spezifisch., Zugfestigkeit, Streckgrenze, and Finanzielle Auswir... (Financial Impact). The table lists several materials, with 1.2842 (90MnCrV8) highlighted in blue. Below the table, there are four charts for environmental impact: Luft (Air), Energie (Energy), Wasser (Water), and CO2. Each chart shows a green bar indicating a reduction from the original state. The CO2 chart shows a 10% reduction, Energy shows an 8% reduction, Air shows a 2% reduction, and Water shows a 25% reduction. At the bottom, there are buttons for 'Akzeptieren', 'Bearbeiten', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Materialien	Materialklasse	Elastizitätsmodul	Poissonsche Zahl	Schubmodul	Wärmeausdehnungskoeffizient	Massendichte	Wärmeleitfähigkeit	Spezifisch.	Zugfestigkeit	Streckgrenze	Finanzielle Auswir...
1.0503 (C45)	DIN Stahl (Unlegiert)	2.1e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7800	14	440	7.5e+008	5.8e+008	0.50
1.4122 (X39CrMo17-1)	DIN Stahl (Edelstahl)	2.15e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7700	14	440	8e+008	6e+008	3.60 USD/kg
1.4116 (X50CrMoV15)	DIN Stahl (Edelstahl)	2.15e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7700	14	440	8.5e+008	7.85e+008	3.10 USD/kg
1.4057 (X17CrNi16-2)	DIN Stahl (Edelstahl)	2.15e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7700	14	440	8.5e+008	7.5e+008	3.40 USD/kg
1.4031(X39Cr13)	DIN Stahl (Edelstahl)	2.15e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7700	14	440	8.5e+008	7e+008	2.70 USD/kg
1.4028 (X30Cr13)	DIN Stahl (Edelstahl)	2.15e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7700	14	440	9e+008	7e+008	2.60 USD/kg
1.2842 (90MnCrV8)	DIN Stahl (Kaltarbeitsstahl)	2.1e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7610	14	440	1.93e+009	1.75e+009	0.50 USD/kg
1.2316 (X36CrMo17)	DIN Stahl (Kaltarbeitsstahl)	2.07e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7750	14	440	1.135e+009	9.35e+008	3.60 USD/kg
1.2085 (X33Cr16)	DIN Stahl (Kaltarbeitsstahl)	2.07e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7750	14	440	1.16e+009	9.5e+008	3.10 USD/kg
1.2083 (X42Cr13)	DIN Stahl (Kaltarbeitsstahl)	2.1e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7740	14	440	1.5e+009	1.2e+009	2.70 USD/kg
1.2083 (X40Cr14)	DIN Stahl (Kaltarbeitsstahl)	2.1e+011	0.28	7.9e+010	1.1e-005	7740	14	440	1.5e+009	1.2e+009	2.70 USD/kg

Abbildung 6.4: Auszug aus SolidWorks Sustainability - Materialauswahlmöglichkeiten

Der Werkzeugstahl 1.2842 (90MnCrV8) stellt als einzigen Werkstoff, bei ähnlichen Eigenschaften zum C45-Vergütungsstahl (1.0503), eine Optimierung der Umweltverträglichkeit dar. Die CO_2 -Emissionen werden hierbei um 10%, der Energieverbrauch um 8%, die Luftansäuerung um 2% und die Überdüngung von Gewässern sogar um 25% reduziert.

Weshalb SolidWorks eine Erhöhung der „finanziellen Auswirkungen“ des Materials um 96% anzeigt ist unklar, denn sowohl der C45-Vergütungsstahl als auch der Werkzeugstahl 1.2842 haben laut dem Programm eine finanzielle Auswirkung von 0,5 USD/kg. Zudem ist die Massendichte des Werkzeugstahl 1.2842 mit $7,61g/cm^3$ geringer als die des C45-Vergütungsstahls. Für jedes Material ist in SolidWorks die finanzielle Auswirkung definiert, die mit der Masse bzw. mit dem Gewicht des fertigen Modells multipliziert wird [42]. Demnach müsste die „finanzielle Auswirkungen“ des Werkzeugstahls ebenfalls geringer ausfallen.

6.2.4 Optimierung durch Erhöhung der Recyclingfähigkeit

Gemäß der VDI 2243 - recyclingorientierte Produktentwicklung wird zum Bewerten der Recyclingfähigkeit und zum Aufdecken von Recyclingpotentialen die Maßnahme *Checkliste* angewendet.

Die Verbesserung der Recyclingfähigkeit durch eine direkte Demontierbarkeit des Schloserhammers ist in diesem Fall nicht sinnvoll, da die Löslichkeit des Produktes seine Funktionalität eingeschränkt würde. Vielmehr sollten durch den Hersteller Reparatur- und Wartungsintervalle, sowie Rücknahmesysteme eingeführt werden.

Auf Basis der Optimierungspotentialen können Anforderungen für neue, recyclinggerechte Produkt weitergeleitet werden. Im Sinne weiterer Untersuchungen können Produkte mit diesen Anforderungen analysiert, bewertet und erneut optimiert werden, wodurch die Recyclingtendenz von Produkten stets erhöht werden kann.

Technische Recycling-Kriterien	Produkt /- teil	Bewertung	Optimierungspotential durch
Stoffliche Verwertbarkeit	Kopf	Recyclingfähig, gleiche Eigenschaften	Keine Optimierung erforderlich
	Stiel	Recyclingfähig, mindere Eigenschaften	Evtl. Einsatz höherwertiger Werkstoffe prüfen
Verwertungs-kompatibilität	Kopf	kompatibel, gleiche Eigenschaften	Keine Optimierung erforderlich
	Stiel	kompatibel, mindere Eigenschaften	Evtl. Stoffvielfal des Produktes verringern
Identifizierbarkeit	Hammer	eindeutig und einfach lesbar	Keine Optimierung erforderlich
Recyclingkritische Stoffe	Hammer	Kaum vorhanden	Dauerhaft gute Lesbarkeit sichern
Schad- und Gefahrstoffe	Hammer	Nicht vorhanden	Keine Optimierung erforderlich
Erkennbarkeit	Hammer	eindeutig und sichtbar	Keine Optimierung erforderlich
Zugänglichkeit	Hammer	indirekt zugänglich	Direkt Demontagebarkeit bedarf keine Optimierung da dies die Funktionalität des Hammers einschränkt
Verbindungsarten	Hammer	teilerstörend, nur Verbindung und Stiel	Keine Optimierung erforderlich, da Holzstiel auch in mehreren Teilen verwertbar
Vielfalt der Verbindungen	Hammer	eine Verbindungsart	Keine Optimierung erforderlich
Demontagezeit	Hammer	akzeptabel	auf mögliche Reduzierung prüfen
Recycling-Prozesse	Hammer	guter Prozess vorhanden	Prozessschritte optimieren für höherer Recyclingquote

Abbildung 6.5: Checkliste

6.2.5 Optimierung durch Erhöhung der Ressourceneffizienz

Die Richtlinie VDI 4800 Teil 2: Ressourceneffizienz - Bewertung des Rohstoffaufwands bietet Methoden und Instrumente zur Bewertung der Ressourceneffizienz von Produkten. Im Sinne weitere Untersuchungen kann die Bewertung nach VDI 4800-2 durchgeführt werden, um Schwachstellen zu erkennen und das Produkt bezüglich dem Rohstoffaufwand hin zu verbessern.

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit der Analyse und Anwendung von Methoden und Instrumenten zu dem Thema Nachhaltigkeit und dessen Implementierung in den Produktentwicklungsprozess. Die erste Herausforderung hierbei war die korrekte Definition der Nachhaltigkeit und deren Standpunkt in der Produktentwicklung. Die Grundbedeutung entstand bereits vor vielen Jahren, wobei sich die Bedeutung und die Anwendung des Begriffes kontinuierlich weiterentwickelte.

Zunächst wurde ein Ablaufplan der Arbeit aufgestellt, anhand dessen die Untersuchung von ökologischen Aspekten eines Referenzproduktes schrittweise durchgeführt wurde. Hierzu mussten zunächst die Ziele und Rahmenbedingungen der Ausarbeitung in Kapitel 3 ausgearbeitet werden. Als Basis der ausgearbeiteten Untersuchungsrahmen konnten, die ersten sechs Produktkategorien ermittelt werden, um im Anschluss dessen, mittels der hierzu definierten Bewertungskriterien, eine zielführende Referenzproduktkategorie für die vorzunehmende Untersuchung auswählen zu können. Als Ergebnis des Bewertungsverfahrens nach der VDI-Richtlinie 2225 und der Nutzwertanalyse wurde sich für einen Hammer als Referenzproduktkategorie entschieden.

In Anlehnung an Produktdatenblätter, Telefoninterviews mit den Herstellern und Rechercheergebnissen wurden Annahmen für die ökologische Bewertung der vier, selektierten Hammertypen verschiedener Anwendungsbereiche getroffen. Hierbei handelte es sich um folgende Hammertypen: Schlosserhammer, Schonhammer, Zimmermannshammer und Axthammer. Die Ermittlung und Bewertung der Umweltverträglichkeit der vier Hämmer wurde zum einen mit der Methode *Ecolizer 2.0* und zum anderen mit dem softwarebasierenden Tool *SolidWork Sustainability* durchgeführt. Das Ergebnis der Untersuchung beider Methoden verdeutlichte die stärksten Einflussgrößen eines umweltverträglichen Produktes. Hierbei handelte es sich um Einflussgrößen wie der Materialeinsatz, die Lebensdauer, sowie die Recyclingfähigkeit verbunden mit der Kreislauffähigkeit. Bei allen vier Hämmern entstanden in den Produktionsphasen die größten Umweltbelastungen. Der Transport und Distribution lösten nur einen geringen Anteil an Umweltauswirkungen aus. Die Ergebnisse in der Entsorgungsphase der Produkte fallen mit den verschiedenen Materialien sehr unterschiedlich aus. Besonders Stahlorten eignen sich sehr gut für Wiederverwertungszwecke, da die aufbereiteten Altmetalle (Schrott) keine Qualitätsverluste vorzeigen. Wo hingegen Kunststoffe zum derzeitigen Stand der Technik zwar durchaus für Verwertungszwecke geeignet sind, jedoch weitere konstruktive Auslegungen und Überprüfungen bedürfen. Genau wie Altholz, dieser wird zumeist für neue Anwendungen genutzt, wie z.B. in der Papierindustrie.

Aufgrund der Einflussgröße des Materialeinsatzes werden die Umweltauswirkungen pro 100g Produkt als Referenzgröße definiert, anhand dessen sich in der Betrachtung des ersten Produktlebenszyklus die Reihenfolge: Zimmermannshammer, Schlosserhammer, Schonhammer und Axthammer ergibt. Ab dem zweiten Produktlebenszyklus entsteht, bedingt durch die hohe Recyclingquote des Edelstahl beim Axthammer, eine andere Reihenfolge, die folgendermaßen lautet: Zimmermannshammer, Axthammer, Schlosserhammer und Schonhammer. Zusammengefasst spielt der Materialeinsatz zwar eine

wichtige Rolle und sollte in der nachhaltigkeitsgerechten Produktentwicklung betrachtet werden, jedoch ist der Einfluss der Kreislauffähigkeit von Materialien entscheidend größer.

Auf Basisgrundlage bisheriger theoretischer Kenntnisse wird in Kapitel sechs eine Produktoptimierung durchgeführt. Dazu wird zunächst der Schlosserhammer aus der Betrachtung zuvor, mit einem klassischen Schlosserhammer (Stahl/Holz-Kombination) verglichen, um Optimierungspotentialen aufdecken zu können. Das umweltverträgliche Produkt wird als Referenzprodukt zur weiteren ökologischen Optimierung des Produktes gewählt. Wie erwartet, handelt es sich bei dem Schlosserhammer (Stahl/Holz) um das umweltschonendere Produkt, da mit dem Holz geringe, negative Umweltauswirkungen entstehen. Als ökologischer Nachteil erweist sich, dass hierbei eine zerstörungsfreie Demontage des Schlosserhammers nicht möglich ist. Dies würde die Funktionalität des Hammers einschränken. Allerdings kann der Holz-Stiel, falls dieser eine Reparatur bedürftig ist, ohne großen Aufwand durch einen Ersatzstiel ausgetauscht werden, infolge dessen trotzdem Ressourcen geschont werden.

Angesichts der zahlreichen Ökodesign-Prinzipien kann keine pauschale Aussage über einen „Idealhammer“ getroffen werden. Im Rahmen weiterführender Untersuchungen können weitere Produkte der Produktkategorie *Hammer* oder andere Produktkategorien mit ähnlichen Eigenschaften angesichts der definierten ökologischen Entwicklungsziele mittels einer Marktanalyse ermittelt und analysiert werden.

Jedes Unternehmen stellt eigene, interne Ansprüche und Ziele, die sich in Unternehmensleitbildern abbilden und in die Produktentwicklung mit einfließen. Demnach entscheidet das Unternehmen, welches Prinzip auf Basis des zu analysierenden Produktes und seiner Funktion der Vorrang gegeben wird.

Literaturverzeichnis

- [1] Reinhard Stockmann und Wolf Gaebe, Hilft die Entwicklungshilfe langfristig? - Bestandsaufnahme zur Nachhaltigkeit von Entwicklungsprojekten; Westdeutscher Verlag, Darmstadt
- [2] Günter, Mario: Kriterien und Indikatoren als Instrumentarium nachhaltiger Entwicklung. Eine Untersuchung zur Operationalisierung sozialer Nachhaltigkeit am Beispiel von Interessengruppen der Forstbewirtschaftung auf Trinidad. Dissertation an Geographischen Institut der Universität Heidelberg.
- [3] IGSG: Interessen Gemeinschaft für Soziale Gerechtigkeit e.V.; http://ig-soziale-gerechtigkeit.ag.vu/soziale_gerechtigkeit/, zuletzt geprüft am 19.05.2016.
- [4] Jung, Jacob: Ungerechtigkeit als gesellschaftliches Prinzip; <https://jacobjung.wordpress.com/2012/01/28/ungerechtigkeit-als-gesellschaftliches-prinzip/>, zuletzt geprüft am 19.05.2016.
- [5] Haug, Sonja und Gerlitz, Jean-Yves: „Messkonzepte sozialen Kapitals.“, Soziale Nachhaltigkeit. Marburg: Metropolis, S. 189-218.
- [6] Soziale Produktion: Wertschätzung, Nachhaltigkeit Verantwortung. https://www.sozialproduziert.at/index.php?article_id=82&clang=0 zuletzt geprüft am 19.05.2016
- [7] Industrie- und Handelskammer Nürnberg (IHK) für Mittelfranken; https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/konomische_ziele_808.htm, zuletzt geprüft am 20.05.2016.
- [8] Townsend, Colin R. und Begon, Michael und Harper, John L.: Ökologie; 2., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014.
- [9] Herrmann, Christoph: Ganzheitliches Life Cycle Management - Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
- [10] Verein Deutsche Ingenieure, VDI 2243 Recyclingorientierte Produktentwicklung, Juli 2002
- [11] Dr.-Ing. Christof Oberender, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH; <http://www.ressource-deutschland.de>; zuletzt geprüft am 30.08.2016.
- [12] Verein Deutsche Ingenieure, VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Mai 1996.
- [13] Verein Deutsche Ingenieure, VDI 2225 Blatt 1 Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Vereinfachte Kostenermittlung, November.1997.

- [14] Verein Deutsche Ingenieure, VDI 2225 Blatt 2 Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Tabellenwerk, Juli 1998.
- [15] Verein Deutsche Ingenieure, VDI 2225 Blatt 3 Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Technisch-wirtschaftliche Bewertung, November 1998.
- [16] Verein Deutsche Ingenieure, VDI 2225 Blatt 4 Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Bemessungslehre, November 1997.
- [17] Verein Deutsche Ingenieure, VDI 4800 Blatt 1 Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Februar 2016.
- [18] Verein Deutsche Ingenieure, VDI 68340, Stiele aus Holz für Schlagwerkzeuge - Technische Lieferbedingungen, Juli 2016.
- [19] Feldhusen, J., Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendungen erfolgreicher Produktentwicklung, 8. Auflage, Springer Verlag 2013.
- [20] Frei, Michael, Öko-effektive Produktentwicklung - Grundlagen Innovationsprozess und Umsetzung, Wiesbaden: Gabler Verlag 1999.
- [21] Birkhofer, H.; Abele, E.; Anderl, R, Environmentally Friendly Product Development; London, Großbritannien; Springer Verlag, 2005.
- [22] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOKSM Guide). 5. Auflage. PMI, Newtown Square PA (USA) 2013.
- [23] Forest Stewardship Council; FSC Deutschland; <http://www.fsc-deutschland.de/de-de>; zuletzt geprüft am 11.07.2016.
- [24] Europäische Union Richtlinie Online, EU-Richtlinie und „neue Konzeption“ ; <http://www.eu-richtlinien-online.de>; zuletzt geprüft am 11.07.2016.
- [25] Europaparlament: Nachhaltigkeit in Produktion und Verbrauch; http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/de/FTU_5.4.7.pdf; zuletzt geprüft am 11.07.2016.
- [26] Klemichen Antje; Masterarbeit - Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess anhand eines ausgewählten Praxisbeispiels; HAW Hamburg April.2016.
- [27] future: Integrierte Produktpolitik - Konzept+Strategien; https://www.akzente.de/fileadmin/Publikationen/PDF_Publikationen/futureeV_Integrierte_Produktpolitik_2001.pdf; zuletzt geprüft am 12.07.2016.
- [28] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Ökodesign-Richtlinie; <http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=212540.html>; zuletzt geprüft am 12.07.2016.
- [29] Ökopol - Institut für Ökologie und Politik GmbH, Hamburg im Auftrag des Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt; <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4122.pdf>; zuletzt geprüft am 12.07.2016.
- [30] Eco Management and Audit Schema; <http://www.emas.de/ueber-emas/was-ist-emas/>; zuletzt geprüft am 12.07.2016.

- [31] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Bundes-Immissionsschutzgesetz; <http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bundesimmissionsschutzgesetz.pdf>; zuletzt geprüft am 12.07.2016.
- [32] Kreislaufwirtschaftsgesetz; <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf>; zuletzt geprüft am 13.07.2016.
- [33] Energieverbrauchsrelevante-Produkt-Gesetz; <https://www.ebpg.bam.de/de/gesetz/index.htm>; zuletzt geprüft am 13.07.2016.
- [34] Der Grüne Punkt; https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/verpackv_1998/gesamt.pdf; zuletzt geprüft am 13.07.2016.
- [35] Brezet, van Hemel (Hrsg.); Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption; The Hague 1997.
- [36] EcodesignKit; Herausgegeben von BMUB, UBA in Kooperation mit Ökopol GmbH und IDZ Berlin; <https://www.ecodesignkit.de/home-willkommen/>; zuletzt geprüft am 21.09.2016.
- [37] Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt; Glossar zum Ressourcenschutz; <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf>. 2012; zuletzt geprüft am 21.08.2016.
- [38] Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt; Biologisch Abbaubare Kunststoffe; <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3834.pdf>. 2009; zuletzt geprüft am 21.08.2016.
- [39] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN ISO 14040: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen; 2009.
- [40] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 4600; Kumulierter Energieaufwand (KEA) - Begriffe, Berechnungsmethoden; 2012.
- [41] Ganzeinheitliche Bilanzierung *GaBi*[®]; <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-lcia-documentation/cml-2001/>, zuletzt geprüft am 13.08.2016.
- [42] SolidWorks; <http://www.solidworks.de/sw/products/simulation/gabi-environmental-database.htm>
- [43] Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland, Stahl Online 2014, <http://www.stahl-online.de>; zuletzt geprüft am 29.07.2016.
- [44] Vulkanisaton, 2016, <http://www.chemie.de/lexikon/Vulkanisation.html>; zuletzt geprüft am 29.07.2016.
- [45] INFA, Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH, Ahlen 2014; http://www.ggsc.de/fileadmin/user_upload/downloads/Veroeffentlichungen/INFA_Praesentation.pdf; zuletzt geprüft am 30.07.2016.
- [46] Prof. Dr.-Ing. Friedrich Ohlendorf, Werkstoffkunde und Chemie - Aufbau und Herstellung von Kunststoffe, HAW Hamburg.

- [47] Die Geschichte des Gummis, November 2012, <http://www.planetwissen.de/technik/werkstoffe/gummi/pwiediegeschichtedesgummis100.html>; zuletzt geprüft am 29.07.2016.
- [48] Energie-, Bau- und Brandschutzberatung; <http://www.meissen.energiecheck.de/index.php?id=plastik>; zuletzt geprüft am 20.07.2016.
- [49] Ehrenstein, Gottfried W.: Faserverbund-Kunststoff, Werkstoff - Verarbeitung - Eigenschaften, 2., vollständig überarbeitete Auflage 2006; Carl Hanser Verlag München Wien
- [50] PlasticsEurope; Quelle: www.plasticseurope.org; 2016; zuletzt geprüft am 29.07.2016.
- [51] Umwelt Bundesamt; <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/europaeischer-vergleich-der-treibhausgas-emissionen>; zuletzt geprüft am 11.08.2016.
- [52] Holzkunde; <http://www.tischlerei-lattermann.de/index-Dateien/Page658.htm>; zuletzt geprüft am 17.08.2016.
- [53] Wald Wissen.net: Information für die Forstwirtschaft http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/lwf_production_scheitholz/index_DE; zuletzt geprüft am 17.08.2016.

A Gesprächsprotokolle

A.1 Telefoninterview mit Heidi Götz (Halder Norm+Technik)

Gesprächsprotokoll:

Datum:	21.07.2016 um 15:30 Uhr	Art:	Telefongespräch
Teilnehmer:	Heidi Götz (Halder Norm + Technik), Bercan Tuna		
Zweck:	Klärung von Einzelheiten zu der Produktentwicklung		

Allgemeines:

- Kurze Vorstellung der Aufgabenstellung der Masterthesis
- Ermitteln der relevanten Größen zur Bestimmung der Umweltauswirkungen
- Festlegung von Rahmenbedingungen

Inhalt / Ergebnisse des Gespräches:

- Der Hammerkopf wird aus RCH 100 Natur gefertigt. Der Stiel besteht aus Esche-Holz.
- Die Fertigung des Produktes erfolgt durch den Vorlieferanten im Süden Deutschlands. Im Werk in Achstetten-Bronnen erfolgt letztlich nur die Montage und der Vertrieb der Produkte an die Händler.
- Die Belieferung des Produktes erfolgt zu ca. 60-70% innerhalb Deutschland. Der Restliche Anteil wird zur Verwendung weltweit verschickt.
- Reklamationen werden in seltensten Fällen aufgenommen. Hauptschwachpunkt des Produktes ist der Stiel.
- Es ist nicht bekannt, ob das Produkt recycling wird. Rücknahmesysteme für Kunden werden jedoch nicht angeboten.

A.2 Telefoninterview mit Frank Simon (Picard GmbH & Co.KG)

Gesprächsprotokoll:

Datum:	20.07.2016 um 15:30 Uhr	Art:	Telefongespräch
Teilnehmer:	Frank Simon (Geschäftsführer bei Joh. Hermann Picard GmbH & Co. KG), Bercan Tuna		
Zweck:	Klärung von Einzelheiten zu der Produktentwicklung		

Allgemeines

- Kurze Vorstellung der Aufgabenstellung der Masterthesis
- Ermitteln der relevanten Größen zur Bestimmung der Umweltauswirkungen
- Festlegung von Rahmenbedingungen

Inhalt / Ergebnisse des Gespräches:

- Der Hammerkopf wird aus Sonderstahl mit einem hohen Kohlenstoff-Gehalt und hoher Legierung hergestellt, ähnlich C 45 - Vergütungsstahl.
- Der Hammerstiel wird in der Regel durch Esche oder Hickory Holz gefertigt. In diesem Fall ist es ein Esche-Stiel
- Lebensdauer eines gewöhnlichen Picard-Hammers liegt bei 10-30 Jahren.
- Hammer werden recycelt jedoch nicht durch den Hersteller. Es gibt auch keine Rücknahmesysteme.
- Hämmer werden nicht zur Reparatur zurück geschickt.
- Die vollkommene Herstellung der Hämmer erfolgt in Deutschland, Wuppertal.
- Die Hämmer werden zum Größtenteil in Deutschland verkauft. Ein kleiner Anteil geht in andere europäische Länder.

A.3 Telefoninterview mit Dirk Jepsen (Ökopol GmbH)

Gesprächsprotokoll:

Datum:	05.09.2016 um 12:30 Uhr	Art:	Telefongespräch
Teilnehmer:	Dirk Jepsen (Geschäftsführer von Ökopol - Institut für Ökologie und Politik GmbH), Bercan Tuna		
Zweck:	Klärung von Fragestellungen zu Ecolizer 2.0		

Allgemeines:

- Kurze persönliche Vorstellung der Aufgabenstellung der Masterthesis
- Vorstellung der Aufgabenstellung der Masterthesis
- Fragestellungen zu der Methodik Ecolizer 2.0
- Fragestellungen zum Datensatz von Ecolizer 2.0





Inhalt / Ergebnisse des Gespräches:





- Daten zu europäische Abfallbehandlung; Für Stahlsorten sind ebenfalls Abfallbehandlungsdaten in Ecolizer aufgeführt. Dies wird dadurch begründet, dass Altmetalle durch den Endverbraucher auch in den Hausmüll gelangen können.
- Bei der europäischen Abfallbehandlung wird das Sekundärmaterial zu 80% deponiert und 20% verbrannt; Für Kunststoff, Holz und Papier plausibel.
- Verluste, die während der Herstellung des Rohmaterials entstehen sind in den Daten von Ecolizer mit berücksichtigt
- Späne, Verschnitte etc. fehlen.
- Ökobilanz eignet sich als Marketinginstrument
- Daten von Ecolizer werden regelmäßig mit Ökobilanz verglichen und korrigiert.
- Es gibt ein Trend die Designphase mehr und mehr in die Produktentwicklungsphase zu integrieren.
- Die Holzdaten müssen erweitert werden, da Holzarten wie Buche, Eiche, Ahorn usw. unterschiedliche Daten aufweisen.

B Punktebewertungsverfahren nach VDI 2225

Bewertungsverfahren		Produktkategorien																	
		1 Hammer			2 Schaufel			3 Zange			4 Schlüsselkasten			5 Fahrrad Schloss			6 Walze		
Pkt.	Rubrik	Bewertungskriterien	g _k	Pi	g _k	Pi	g _k	Pi	g _k	Pi	g _k	Pi	g _k	Pi	g _k	Pi	g _k	Pi	
1		Kraftaufwand	0,0482	3	0,145	3	0,145	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	2	0,096		
2		Reinigung	0,0120	4	0,048	4	0,048	4	0,048	4	0,048	3	0,036	3	0,036	3	0,036		
3	Funktion	Transportierbarkeit	0,0361	4	0,145	4	0,145	4	0,145	4	0,145	2	0,072	4	0,145	2	0,072		
4		Zusatznutzen	0,0241	3	0,072	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	2	0,048	1	0,024		
5		Universalsbarkeit	0,0241	2	0,048	0	0,000	1	0,024	0	0,000	2	0,048	2	0,048	0	0,000		
6	Technik	Vielfalt der Materialien	0,0482	4	0,193	4	0,193	2	0,096	4	0,193	1	0,048	4	0,193	4	0,193		
7		Vielfalt der Herstellungsverfahren	0,0482	3	0,145	3	0,145	2	0,096	3	0,145	1	0,048	1	0,048	2	0,096		
8		Vielfalt der Verbindungen	0,0482	2	0,096	2	0,096	1	0,048	1	0,048	3	0,145	1	0,048	3	0,145		
9		Sicherheit gegen Deformaton	0,0482	4	0,193	3	0,145	2	0,096	1	0,048	1	0,048	3	0,145	2	0,096		
10	Sicherheit	Sicherheit gegen Korrosion	0,0482	3	0,145	2	0,096	3	0,145	1	0,048	1	0,048	3	0,145	2	0,096		
11		Sicherheit gegen Abschlag	0,0482	0	0,000	1	0,048	2	0,096	1	0,048	1	0,048	3	0,145	1	0,048		
12		Festigkeitsberechnung	0,0000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000		
13	Dokumentation	Simulation der Fertigkeit	0,0000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000		
14	Qualität	Zuverlässigkeit	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193		
15		Verhinderung von Fehlbedienung	0,0482	4	0,193	2	0,096	2	0,096	4	0,193	4	0,193	4	0,193	3	0,145		
16		Ohne Spezialwerkzeuge	0,0120	4	0,048	4	0,048	0	0,000	4	0,048	4	0,048	4	0,048	4	0,048		
17	Montage	kein Schweißen	0,0120	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	4	0,048	0	0,000		
18		eindeutig - Visuelle Erkennbarkeit	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	3	0,145		
19		einfache Handhabung	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	2	0,096		
20	Ökologie	Recyclingbarkeit	0,0482	2	0,096	2	0,096	3	0,145	3	0,145	3	0,145	3	0,145	4	0,193		
21		Ressourceneffizienz	0,0482	2	0,096	2	0,096	3	0,145	2	0,096	2	0,096	3	0,145	3	0,145		
22		keine Umweltkritischen Inhaltsstoffe	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	3	0,145	3	0,145		
23		Demonitierbarkeit	0,0482	1	0,048	1	0,048	1	0,048	4	0,193	4	0,193	1	0,048	2	0,096		
24	Demontage	Reparatur	0,0241	1	0,024	1	0,024	0	0,000	1	0,024	1	0,024	1	0,024	2	0,048		
25		Austausch von Einzelteilen	0,0361	3	0,108	4	0,145	0	0,000	3	0,108	3	0,108	1	0,036	4	0,145		
26	Betrieb	Verfügbarkeit	0,0482	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193	4	0,193		
27		Wartung	0,0000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	2	0,000		
28	Wirtschaft	geringer Kaufpreis	0,0482	3	0,145	4	0,193	3	0,145	3	0,145	3	0,145	4	0,193	2	0,096		
		Punktzahlen - Summe		PZ = 2,952		PZ = 2,771		PZ = 2,530		PZ = 2,843		PZ = 2,843		PZ = 2,843		PZ = 2,590			
		Rangfolge		R = 1		R = 4		R = 6		R = 3		R = 2		R = 5		R =			
		Wertigkeit - Gesamt		W = 73,80%		W = 69,28%		W = 63,25%		W = 71,08%		W = 71,08%		W = 71,08%		W = 64,76%			

C Vor-/Nachteil-Vergleich

Vorteil / Nachteil-Vergleich		Variationen						Blatt: 1/2	
		1 Schlosserhammer		2 Schonhammer		3 Zimmermannshammer			4 Axtspalt
									
Kriterien		Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil
1 Kraftaufwand		wesentlich geringer Kraftaufwand (Vielfalt an Gewichtsklassen)	---	geringer Kraftaufwand, geringer Rückschlag [1]	---	---	beim Schlag weniger gedämpft	hoher Kraftaufwand (längerer Stiel und schwerer Kopf)	---
2 Transportierbarkeit		geringes Gewicht (Vielfalt an Gewichtsklassen)	---	geringes Gewicht	---	---	---	Kopf wesentlich schwerer als Griff	Schutzkappe erforderlich
3 Schlagfertigkeit		präzise Schläge	---	breite Schlagfläche	Einsatz in den Ecken bedingt möglich (runde Schlagfläche)	---	---	hohe Schärfe, präzise Schläge	---
4 Bedienung		geformter Griff, liegt gut in der Hand präzise Schläge gedämpfter Rückschlag	---	liegt gut in der Hand	nicht geformt	---	---	---	keine Gummierung
5 Zusatznutzen		---	---	---	---	---	herausziehen von Nägeln	zum Schneiden und Trennen	---
6 Beschädigungen des Hammers beim Bedienen		---	---	geringe Beschädigungen	kein Stielschutzhülse angebracht	---	Hülse mit Hammerkopf vereinbart, schützt Holzstiel vor Schäden	---	kein Stielschutzhülse angebracht

Vorteil / Nachteil- Vergleich		Variationen						Blatt: 2/2	
		1 Schlosserhammer		2 Schonhammer		3 Zimmermannshammer		4 Axtspalt	
									
Kriterien		Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil
7 Universalbarkeit		---	---	---	---	kann in Holz angeschlagen werden, um z.B. Pfetten und Sparren sicher zu transportieren	---	---	---
8 Aufschlag		---	---	schonend	---	---	---	---	---
9 Reinigung		---	feines Überschießen der abgenutzten Hammerbahn	---	gelegentliches fetten des Hammerkopfes	---	gelegentliches fetten des Hammerkopfes	---	regelmäßiges Nachschleifen
10 Oberfläche / Hammerkopf		---	Durch unzureichender Kantenbruch Abspringen von Stahlsplittern möglich	Schonend und splitterfrei, Kopf weiss (Verfärbungen werden verhindert)	---	gerippt Oberfläche (Schutz gegen Abrutschen)	Durch unzureichender Kantenbruch Abspringen von Stahlsplittern möglich	---	---
11 Sicherheit beim Arbeiten		---	Arbeits-einweisung betrachten	---	Arbeits-einweisung betrachten	Arbeiten mit einer Hand möglich	Arbeits-einweisung betrachten	---	Arbeits-einweisung betrachten
12 Material		Glasserstieler besondere Widerstandsfähigkeit	---	Holzstiele besitzen die besten Gebrauchseigenschaften	---	Stahlstiele besondere Festigkeit	---	Holzstiele besitzen die besten Gebrauchseigenschaften	---

D Berechnung mit Ecolizer für den Schlosserhammer (1/1.1)

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		1 (1.1)						Projektnummer: 16001.0	
Department Maschinenbau und Produktion		Schlosserhammer - 1. Zyklus						Erstellt am: 20.7.16	
								Erstellt von: B. Tuna	
								Seite: 1/4	
1 Transport der Rohstoffe									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Masse [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.01 Hammerkopf: C45		512	15.000	0,6	5	1	5	0,04	
Eisenz / Kokschohle	07.01 Transoceanic tanker (ocean)								
01.02 Hammerstiel: GFK		147	5.000	0,6	0,4	1	0,4	0,00	
Erdöl	07.01 Transoceanic tanker (ocean)								
01.03 Griff: Gummi		50	5.000	0,6	0,2	1	0,15	0,00	
Erdöl	07.01 Transoceanic tanker (ocean)								
		Zwischensumme:				5,2		0,0	
2 Herstellungsprozess der Rohmaterialien									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e} /FE]	
01.01 Hammerkopf: C45	01.03 Low-Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)*	512		231	118	1	118,3	1,1	
01.02 Hammerstiel: GFK	03.03 Glass-filled PA6	147		624	92	1	91,7	0,8	
01.03 Griff: Gummi	03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)	50		355	18	1	17,8	0,2	
		Zwischensumme:				227,8		2,0	
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.01 Hammerkopf: C45	07.01 Lorry>16t (Eur4)	512	400	15	3,1	1	3,1	0,0	
01.02 Hammerstiel: GFK	07.01 Lorry>16t (Eur4)	147	60	15	0,1	1	0,1	0,00	
01.03 Griff: Gummi	07.01 Lorry>16t (Eur4)	51	60	15	0,0	1	0,0	0,00	
		Zwischensumme:				3,2		0,0	
4 Herstellungsprozess des Hammers									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.01 Hammerkopf: C45	01.03 Forge (Schmieden)	512		dna**	dna**	1	dna**	dna**	
	01.03 Milling (Fräsen)	512		337	1,73	1	1,73	1,6	
01.02 Hammerstiel: GFK	03.03 Injection moulding (Spritzguss)	147		126(f)	19	1	19	0,2	
01.03 Griff: Gummi	03.16 Injection moulding (Spritzguss)	51		54 (f)	3	1	2,74	0,02	
		Zwischensumme:				193,8		1,7	
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schlosserhammer									
LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE	20		285	5,7	1	5,7	0,05	
	03.05 Extrusion, plastic film	20		49	0,98	1	0,98	0,01	
Wellpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall	140		95	13,3	1	13,3	0,12	
	05.03 Carton board boxes, offset printing	140		68	9,5	1	9,5	0,09	
		Zwischensumme:				29,5		0,3	

* Primary material + 1% Cr, 1% Mn, 1% Mo und 1% Ni
 ** Daten nicht verfügbar

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		1 (1.1)						Projektnummer: 16001.0	
Department Maschinenbau und Produktion		Schlosserhammer - 1. Zyklus						Erstellt am: 20.7.16	
								Erstellt von: B. Tuna	
								Seite: 2/4	
6 Distribution des Hammers mit Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schlosserhammer	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	657	550	15	5,4	1	5,4	0,0	
Zwischensumme:							5,4	0,0	
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schlosserhammer	07.01 Van<3,5t	657	125	186	15,3	1	15,3	0,1	
Zwischensumme:							15,3	0,1	
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.01 Hammerkopf: C45	01.03 Proce (Recycling)	300	100	76	22,8	1	23	0,2	
	01.03 Späne (Recycling)	212	100	76	16,1	1	16	0,1	
01.02 Hammerstiel: GKF	03.03 Plastics (packaging mix)** proces	147	100	25 (l)	3,7	1	4	0,0	
	03.03 Primary material saved	147	20	-756	-22,2	1	-22	-0,2	
01.03 Griff: Gummi	03.16 Waste treatment scenario in the EU	50	100	50 (l)***	2,5	1	3	0,0	
Zwischensumme:							22,9	0,2	
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
LDPE-Folie Wellpappe - Karton	03.05 Waste treatment scenario in the EU	20	100	39 (l)***	0,1	1	0,1	0,0	
	05.03 Proce	140	100	95 (l)***	0,5	1	0,5	0,0	
	05.03 Primary material saved	140	80	dna**	0,4	1	0,4	0,0	
Zwischensumme:							0,1	0,0	
Gesamtsumme:							503,1	4,5	

*** generierte Daten für die Gruppe von Materialien

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		1 (1.1)						Projektnummer: 16001.0	
Department Maschinenbau und Produktion		Schlosserhammer - 2. Zyklus						Erstellt am: 20.7.16	
								Erstellt von: B. Tuna	
								Seite: 3/4	
1 Beschaffung der Rohstoffe									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.01 Hammerkopf: C45	Transoceanic tanker (ocean)/tkm	266	15.000	0,6	2,4	1	2,4	0,0	
Eisenerz / Koks kohle									
01.02 Hammerstiel: GFK	Transoceanic tanker (ocean)/tkm	119	5.000	0,6	0,4	1	0,4	0,0	
Erdöl									
01.03 Griff: Gummi	Transoceanic tanker (ocean)/tkm	50	5.000	0,6	0,2	1	0,2	0,0	
Erdöl									
						Zwischensumme:	2,9	0,0	
2 Herstellung der Rohmaterialien									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: C45 Primäranteil 52%	01.03 Primary Low-Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)	266		231	62	1	61,5	0,6	
Hammerstiel: GFK Primäranteil 80%	03.03 Glass-filled PA 6	119		624	74	1	74,0	0,7	
Griff: Gummi Primäranteil 100%	03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)	50		355	18	1	17,8	0,2	
Hammerkopf C45 Sekundäranteil 48%	01.03 Sekundary Low-Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)	246		195	48	1	47,9	0,4	
Hammerstiel GFK Sekundäranteil 20%	03.03 Glass-filled PA 6	29		624	18	1	18,3	0,2	
Griff: Gummi Sekundäranteil 0%	03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)	0		355	0	1	0,0	0,0	
						Zwischensumme:	219,5	2,0	
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.01 Hammerkopf: C45	07.01 Lorry>16t (Eur4)	512	400	15	3,1	1	3,1	0,0	
01.02 Hammerstiel: GFK	07.01 Lorry>16t (Eur4)	148	60	15	0,1	1	0,1	0,00	
01.03 Griff: Gummi	07.01 Lorry>16t (Eur4)	50	60	15	0,0	1	0,0	0,00	
						Zwischensumme:	3,3	0,0	
4 Herstellungsprozess des Hammers									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.01 Hammerkopf: C45	01.03 Forge (Schmieden)	512		dna**	dna**	1	dna**	dna**	
01.02 Hammerstiel: GFK	03.03 Injection moulding (Spritzguss)	147		337	173	1	173	1,6	
01.03 Griff: Gummi	03.16 Injection moulding (Spritzguss)	50		126 (!)	19	1	19	0,2	
						Zwischensumme:	2,7	0,0	
						Zwischensumme:	193,8	1,7	

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		1 (1.1)						Projektnummer: 16001.0	
Department Maschinenbau und Produktion		Schlosserhammer - 2. Zyklus						Erstellt am: 20.7.16	
								Erstellt von: B. Tuna	
								Seite: 4/4	
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schlosserhammer									
LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE	20		285	5.7	1	5.7	0.05	
	03.05 Extrusion, plastic film	20		49	0.98	1	0.98	0.01	
Wellpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall	140		95	13.3	1	13.3	0.12	
	05.03 Carton board boxes, offset printing	140		68	9.52	1	9.52	0.09	
		Zwischensumme:				29,5		0,3	
6 Distribution des Hammers mit Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/km]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.00 Schlosser-hammer	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	657	550	15	5.4	1	5.4	0.0	
		Zwischensumme:				5,4		0,0	
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/km]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schlosserhammer	07.01 Van<3.5t	657	125	186	15.3	1	15.3	0.1	
		Zwischensumme:				15,3		0,1	
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
01.01 Hammerkopf: C45	01.03 Prozes (Recycling)	300	100	76 (I)	22.8	1	23	0.2	
	01.03 Primary material saved	300	48	-231	-33.3	1	-33	-0.3	
01.03 Späne (Recycling)		212	100	76 (I)	16.1	1	16	0.1	
	01.03 Primary material saved	212	48	-231	-23.5	1	-24	-0.2	
01.02 Hammerstiel: GFK	03.03 Plastics (packaging mix)**_proces	147	100	25 (I)	3.7	1	4	0.0	
	03.03 Primary material saved	147	20	-756	-22.2	1	-22	-0.2	
01.03 Griff: Gummi	03.16 Waste treatment scenario in the EU	50	100	50 (I)***	2.5	1	3	0.0	
		Zwischensumme:				-33,9		-0,3	
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schlosserhammer									
LDPE-Folie	03.05 Waste treatment scenario in the EU	20	100	39 (I)***	0.1	1	0.1	0.0	
Wellpappe - Karton	05.03 Process	140	100	95 (I)***	1.3	1	1.3	0.0	
	05.03 Primary material saved	140	80	dna**	0.4	1	0.4	0.0	
		Zwischensumme:				0,1		0,0	
		Gesamtsumme				435,8		3,9	

E Berechnung mit Ecolizer für den Schonhammer (2)

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg Department Maschinenbau und Produktion		2 Schonhammer - 1. Zyklus						Projektnummer: 16002.0 Erstellt am: 20.7.16 Erstellt von: B. Tuna Seite: 1/4	
1 Transport der Rohstoffe									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Masse [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/km]	U_Ind [mPtSt]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
02.01 Hammerkopf: Polyethylen Erdöl	07.01 Transoceanic tankler (ocean)	250	5.000	0,6	1	2	2	0,01	
02.02 Hammerstiel: Eschen-Holz									
Rohholz	07.01 Lorry>32t (Eur4)	158	50	12	0,1	2	0,2	0,00	
							Zwischensumme:	1,7	0,0
2 Herstellungsprozess der Rohmaterialien									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPtSt]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
02.01 Hammerkopf: RCH 1000 Natur	03.05 Low Density Polyethylene	250		285	71	2	143	1,3	
02.02 Hammerstiel: Esche- Holz	04.01 Hardwood, Sawm timber, raw, kiln dried (u=10%)*	158		239	38	2	75,5	0,7	
							Zwischensumme:	218,0	2,0
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPtSt]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
02.01 Hammerkopf: RCH 1000 Natur	07.01 Lorry>16t (Eur4)	250	60	15	0,2	2	0,5	0,0	
02.02 Hammerstiel: Esche- Holz	07.01 Lorry>16t (Eur4)	158	50	15	0,1	2	0,2	0,00	
							Zwischensumme:	0,7	0,0
4 Herstellungsprozess des Hammers									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPtSt]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: RCH 1000 Natur	03.05 Injection moulding (Spritzguss)	250		1261	31,5	2	63	0,57	
Hammerstiel: Esche-Holz	04.01 Sawing (Sägen)	158		dna*	dna*	2	dna*	dna*	
							Zwischensumme:	63,0	0,6
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPtSt]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schonhammer LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE	20		285	5,7	2	11,4	0,10	
	03.05 Extrusion, plastic film	20		49	0,98	2	1,96	0,02	
Wellpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall	140		95	13,3	2	26,6	0,24	
	05.03 Carton board boxes, offset printing	140		68	9,5	2	19,0	0,17	
							Zwischensumme:	59,0	0,5

* Density hardwood: 700 kg/m³

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg Department Maschinenbau und Produktion		2 Schonhammer - 1. Zyklus					Projektnummer: 16002.0 Erstellt am: 20.7.16 Erstellt von: B. Tuna Seite: 2/4	
6 Distribution des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecollizer 2.0	Eco_Ind [mPt/km]	Entfernung [km]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schonhammer	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	15	550	4,2	2	8,5	0,1	
Zwischensumme:							8,5	0,1
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecollizer 2.0	Eco_Ind [mPt/km]	Entfernung [km]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schonhammer	07.01 Van<3,5t	186	125	12,0	2	23,9	0,2	
Zwischensumme:							23,9	0,2
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials								
Bauteil	Datensatz Ecollizer 2.0	Eco_Ind [mPt/kg]	Anteil [%]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
02.01 Hammerkopf: RCH	03.05 Waste treatment scenario in the EU	39 (!)	100	9,8	2	20	0,2	
02.02 Hammerstiel: Esche-Holz	04.01 Waste treatment scenario in the EU	19 (!)	100	2,0	2	4	0,0	
Zwischensumme:							23,5	0,2
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecollizer 2.0	Eco_Ind [mPt/kg]	Anteil [%]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
LDPE-Folie	03.05 Waste treatment scenario in the EU	39 (!)***	100	0,1	2	0,2	0,0	
Wellpappe - Karton	05.03 Procees	95 (!)***	100	1,3	2	2,7	0,0	
	05.03 Primary material saved	dna**	80	0,0	2	0,0	0,0	
Zwischensumme:							0,2	0,0
Gesamtsumme:							398,5	3,6

** Daten nicht verfügbar

*** generierte Daten für die Gruppe von Materialien

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		2				Projektnummer: 16002.0		
Department Maschinenbau und Produktion		Schonhammer - 2. Zyklus				Erstellt am: 20.7.16		
						Erstellt von: B. Tuna		
						Seite: 3/4		
1 Beschaffung der Rohstoffe								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mP/tkm]	U_Ind [mP/Std]	RF	U_Ind,FE [mP/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
02.01 Hammerkopf: Polyethylen								
Erdöl	07.01 Transoceanic tanker (ocean)/tkm	250	5.000	0,6	0,8	2	1,5	0,0
Hammerstiel: Esche-Holz								
Rohholz	07.01 Lorry>32t (Eur4)	158	50	12	0,1	2	0,2	0,0
Zwischensumme:							1,7	0,0
2 Herstellung der Rohmaterialien								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mP/kg]	U_Ind [mP/Std]	RF	U_Ind,FE [mP/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf RCH 1000 Natur:Primäranteil 100%	03.05 Low Density Polyethylene	250		285	71	2	142,5	1,3
Hammerstiel Esche-Holz Primäranteil 100%	04.01 Hardwood, Sawm timber, raw, kiln dried (u=10%)*	158		239	38	2	75,5	0,7
Hammerkopf RCH 1000 Natur:Sekundäranteil 0%	03.05 Low Density Polyethylene	0		285	0	2	0,0	0,0
Hammerstiel Esche-Holz Sekundäranteil 0%	04.01 Hardwood, Sawm timber, raw, kiln dried (u=10%)*	0		239	0	2	0,0	0,0
Zwischensumme:							218,0	2,0
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mP/tkm]	U_Ind [mP/Std]	RF	U_Ind,FE [mP/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
02.01 Hammerkopf: RCH 1000 Natur	07.01 Lorry>16t (Eur4)	250	60	15	0,2	2	0,5	0,0
02.02 Hammerstiel: Esche-Holz	07.01 Lorry>16t (Eur4)	158	50	15	0,1	2	0,2	0,00
Zwischensumme:							0,7	0,0
4 Herstellungsprozess des Hammers								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mP/kg]	U_Ind [mP/Std]	RF	U_Ind,FE [mP/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: RCH 1000 Natur	03.05 Injection moulding (Spritzguss)	250		1261	31,5	2	63,0	0,57
Hammerstiel: Esche-Holz	04.01 Sawing (Sägen)	158		dna**	dna**	2	dna**	dna**
Zwischensumme:							63,0	0,6

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		2		Projektnummer: 16002.0				
Department Maschinenbau und Produktion		Schonhammer - 2. Zyklus		Erstellt am: 20.7.16				
				Erstellt von: B. Tuna				
				Seite: 4/4				
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Schonhammer LDPE Folie Wellpappe - Karton	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE		285	5,7	2	11,4	0,10	
	03.05 Extrusion, plastic film		49	0,98	2	1,96	0,02	
	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall		95	13,3	2	26,6	0,24	
	05.03 Carton board boxes, offset printing		68	9,52	2	19,04	0,17	
Zwischensumme:						59,0	0,5	
6 Distribution des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Schonhammer	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	515	550	15	4,2	2	8,5	0,1
Zwischensumme:						8,5	0,1	
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Schonhammer	07.01 Van<3.5t	515	125	186	12,0	2	23,9	0,2
Zwischensumme:						23,9	0,2	
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e} /FE]
02.01 Hammerkopf: RCH 02.02 Hammerstiel: Esche- Holz	03.05 Waste treatment scenario in the EU	250	100	39 (l)***	9,8	2	20	0,2
	04.01 Waste treatment scenario in the EU	105	100	19 (l)	2,0	2	4	0,0
Zwischensumme:						23,5	0,2	
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
LDPE-Folie Wellpappe - Karton	03.05 Waste treatment scenario in the EU	20	100	39 (l)***	0,1	1	0,1	0,0
	05.03 Procecs	140	100	95 (l)***	1,3	1	1,3	0,0
	05.03 Primary material saved	140	80	dna**	0,0	1	0,0	0,0
Zwischensumme:						0,1	0,0	
Gesamtsumme						398,4	3,6	

F Berechnung mit Ecolizer für den Zimmermannshammer (3)

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		3					Projektnummer: 16003.0	
Department Maschinenbau und Produktion		Zimmermannshammer - 1. Zyklus					Erstellt am: 20.7.16	
1 Transport der Rohstoffe							Erstellt von: B. Tuna	
							Seite: 1/4	
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Masse [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
03.01 Hammerkopf: C45G								
Eisenerz /Kokskohle	07.01 Transoceanic tanker (ocean)	900	15.000	0,6	8	1	8	0,07
03.02 Hammerstiel: C45								
Eisenerz / Kokskohle	07.01 Transoceanic tanker (ocean)	680	15.000	0,6	6,1	1	6,1	0,06
03.03 Griff: Gummi								
Erdöl	07.01 Transoceanic tanker (ocean)	66	5000	0,6	0,2	1	0,20	0,00
		Zwischensumme:				14,4		0,1
2 Herstellungsprozess der Rohmaterialien								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
03.01 Hammerkopf: C45G	01.03 Primary Low-Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)*	900		231	208	1	207,9	1,9
03.02 Hammerstiel: C45	01.03 Primary Low-Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)*	680		231	157	1	157,1	1,4
03.03 Griff: Gummi	03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer) / kg	66		355	23	1	23,4	0,2
		Zwischensumme:				388,4		3,5
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: C45G	07.01 Lorry>16t (Eur4)	900	400	15	5,4	1	5,4	0,0
Hammerstiel: C45	07.01 Lorry>16t (Eur4)	680	400	15	4,1	1	4,1	0,04
Griff: Gummi	07.01 Lorry>16t (Eur4)	66	60	15	0,1	1	0,1	0,00
		Zwischensumme:				9,5		0,1
4 Herstellungsprozess des Hammers								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: C45G	01.03 Forge (Schmieden)	900		dna**	dna**	1	dna**	dna**
Hammerstiel: C45	01.03 Milling (Fräsen) / kg	900		337	303	1	303	2,7
Griff: Gummi	03.16 Injection moulding (Spritzguss)	66		44	30	1	30	0,3
		Zwischensumme:				336,8		3,0
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
03.00 Zimmermannshammer								
LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE	20		285	5,7	1	5,7	0,05
Wellpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall	140		95	13,3	1	13,3	0,12
	05.03 Carton board boxes, offset printing	140		68	9,52	1	9,52	0,09
		Zwischensumme:				29,5		0,3

* Primary material + 1% Cr, 1% Mn, 1% Mo und 1% Ni

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		3		Projektnummer: 16003.0	
Department Maschinenbau und Produktion		Zimmermannshammer - 1. Zyklus		Erstellt am: 20.7.16	
				Erstellt von: B. Tuna	
				Seite: 2/4	
6 Distribution des Hammers mit Verpackung					
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Zimmermannshammer	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	15	10,6	10,6	0,1
Gewicht [g]				RF	
1.286				1	
Entfernung [km]				Zwischensumme:	
550				10,6	
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung					
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Zimmermannshammer	07.01 Van<3,5t	186	29,9	29,9	0,3
Gewicht [g]				RF	
1.286				1	
Entfernung [km]				Zwischensumme:	
125				29,9	
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials					
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: C45G	01.03 Proces (Recycling)	76	45,6	46	0,4
	01.03 Späne (Recycling)	76	22,8	23	0,2
Hammerstiel: C45	01.03 Proces (Recycling)	76	35,0	35	0,3
	01.03 Späne (Recycling)	76	16,7	17	0,2
Griff: Gummi	03.16 Waste treatment scenario in the EU	50 (!)***	3,3	3	0,0
Gewicht [g]				RF	
66				1	
Anteil [%]				Zwischensumme:	
100				123,4	
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung					
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
LDPE-Folie	03.05 Waste treatment scenario in the EU	39 (!)***	0,1	0,1	0,0
Wellpappe - Karton	05.03 Proces	95 (!)***	0,5	0,5	0,0
	05.03 Primary material saved	dna**	0,4	0,4	0,0
Gewicht [g]				RF	
20				1	
140				1	
140				1	
Anteil [%]				Zwischensumme:	
100				0,1	
100				942,6	
80				8,5	
Gesamtsumme:				Gesamtsumme:	
				0,1	
				942,6	
				8,5	

** Daten nicht verfügbar

*** generierte Daten für die Gruppe von Materialien

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		3 Zimmermannshammer - 2. Zyklus						Projektnummer: 16003.0	
Department Maschinenbau und Produktion								Erstellt am: 20.7.16	
								Erstellt von: B. Tuna	
								Seite: 3/4	
1 Beschaffung der Rohstoffe									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/Sj]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: C45G	Transoceanic tanker (ocean)/tkm	468,0	15.000	0,6	4,2	1	4,2	0,0	
Eisenerz / Kokschohle	Transoceanic tanker (ocean)/tkm	354	15.000	0,6	3,2	1	3,2	0,0	
Hammerstiel: C45	Transoceanic tanker (ocean)/tkm	66	5000	0,6	0,2	1	0,2	0,0	
Eisenerz / Kokschohle	Transoceanic tanker (ocean)/tkm	Zwischensumme:							
Griff: Gummi		7,6							
Erdöl		0,1							
2 Herstellung der Rohmaterialien									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/Sj]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: C45G	01.03 Primary Low-Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)	468,0		231	108	1	108,1	1,0	
Primäranteil 52%	01.03 Primary Low-Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)	354		231	82	1	81,7	0,7	
Hammerstiel: Primäranteil 52% C45	03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)	66		355	23	1	23,4	0,2	
Griff: Primäranteil 100% Gummi	01.03 Primary Low Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)	432,0		195	84	1	84,2	0,8	
Hammerkopf C45G	01.03 Sekundary Low Alloyed (converter 1% Cr, 1%Mn, 1%Mo, 1%Ni)	326		195	64	1	63,6	0,6	
Sekundäranteil 48%	03.16 Vulcanised EPDM (ethylene propylene diene Monomer)	0		355	0	1	0,0	0,0	
Hammerstiel C45		Zwischensumme:							
Sekundäranteil 48%		361,1							
Griff: Sekundäranteil 0% Gummi		3,2							
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/Sj]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: C45	07.01 Lorry>16t (Eur4)	900	400	15	5,4	1	5,4	0,0	
Hammerstiel: C45	07.01 Lorry>16t (Eur4)	680	400	15	4,1	1	4,1	0,04	
Griff: Gummi	07.01 Lorry>16t (Eur4)	66	60	15	0,1	1	0,1	0,00	
		Zwischensumme:							
		9,5							
		0,1							
4 Herstellungsprozess des Hammers									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/Sj]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: C45G	01.03 Forge (Schmieden)	900		dina**	dina**	1	dina**	dina**	
Hammerstiel: C45	01.03 Milling (Fräsen)	900		337	303	1	303	2,7	
Griff: Gummi	01.03 Drawing of pipes	680		44	30	1	30	0,3	
	03.16 Injection moulding	66		54 (!)	4	1	4	0,0	
		Zwischensumme:							
		336,8							
		3,0							
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/Sj]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Zimmermannshammer		Zwischensumme:							
LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE	20		285	5,7	1	5,7	0,05	
	03.05 Extrusion, plastic film	20		49	0,98	1	0,98	0,01	
Weilpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall	140		95	13,3	1	13,3	0,12	
	05.03 Carton board boxes, offset printing	140		68	9,52	1	9,52	0,09	
		Zwischensumme:							
		29,5							
		0,3							

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		3				Projektnummer: 16003.0	
Department Maschinenbau und Produktion		Zimmermannshammer - 2. Zyklus				Erstellt am: 20.7.16	
						Erstellt von: B. Tuna	
						Seite: 4/4	
6 Distribution des Hammers mit Verpackung							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	RF	
Zimmermannshammer	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	15	10,6	10,6	0,1	1	
						Zwischensumme: 10,6 0,1	
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	RF	
Zimmermannshammer	07.01 Van<3,5t	186	29,9	29,9	0,3	1	
						Zwischensumme: 29,9 0,3	
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	RF	
Hammerkopf: C45G	01.03 Prozes (Recycling)	76	45,6	46	0,4	1	
	01.03 Primary material saved	-231	-66,5	-67	-0,6	1	
	01.03 Späne (Recycling)	76	22,8	23	0,2	1	
	01.03 Primary material saved	-231	-33,3	-33	-0,3	1	
Hammerstiel: C45	01.03 Prozes (Recycling)	76	35,0	35	0,3	1	
	01.03 Primary material saved	-231	-51,0	-51	-0,5	1	
	01.03 Späne (Recycling)	76	16,7	17	0,2	1	
Griff: Gummi	01.03 Primary material saved	-231	-24,4	-24	-0,2	1	
	03.16 Waste treatment scenario in the EU	50 (!)***	3,3	3	0,0	1	
						Zwischensumme: -51,8 -0,5	
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	RF	
LDPE-Folie Wellpappe - Karton	03.05 Waste treatment scenario in the EU	39 (!)***	0,1	0,1	0,0	1	
	05.03 Prozes	95 (!)***	1,3	1,3	0,0	1	
	05.03 Primary material saved	dna**	0,4	0,4	0,0	1	
						Zwischensumme: 0,1 0,0	
Gesamtsumme						733,3	6,6

G Berechnung mit Ecolizer für den Axthammer (4)

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg Department Maschinenbau und Produktion		4 Axthammer - 1. Zyklus							Projektnummer: 16004.0
Erstellt am: 20.7.16									
Erstellt von: B. Tuna									
Seite: 1/4									
1 Transport der Rohstoffe									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Masse [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
04.01 Hammerkopf: Edelstahl									
Eisenerz / Koks Kohle	07.01 Transoceanic tanker (ocean)	1500	15.000	0,6	14	2	27	0,24	
04.02 Hammerstiel: Hickory-Holz									
Rohholz	07.01 Lorry>32t (Eur4)	300	50	12	0,2	2	0,4	0,00	
Zwischensumme:							27,4	0,2	
2 Herstellungsprozess der Rohmaterialien									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
04.01 Hammerkopf: Edelstahl									
	01.02 Stainless Steel 18/8 (converter, primary)	1.500		551	827	2	1653,0	14,9	
04.02 Hammerstiel: Hickory-Holz									
	04.01 Hardwood, Sawm timber, raw, kiln dried (u=10%)*	300		239	72	2	143,4	1,3	
Zwischensumme:							1796,4	16,2	
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
04.01 Hammerkopf: Edelstahl									
	07.01 Lorry>16t (Eur4)	1.500	60	15	1,4	2	2,7	0,0	
04.02 Hammerstiel: Hickory-Holz									
	07.01 Lorry>16t (Eur4)	300	50	15	0,2	2	0,5	0,00	
Zwischensumme:							3,2	0,0	
4 Herstellungsprozess des Hammers									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
04.01 Hammerkopf: Edelstahl									
	01.02 Deep drawing, 3500 kN press, single stroke operation	1.500		30 (!)	45	2	90	0,81	
04.02 Hammerstiel: Hickory-Holz									
	04.01 Sawing (Sägen)	300		dna**	dna**	2	dna**	dna**	
Zwischensumme:							90,0	0,8	

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		4 Axthammer - 1. Zyklus					Projektnummer: 16004.0 Erstellt am: 20.7.16 Erstellt von: B. Tuna Seite: 2/4	
Department Maschinenbau und Produktion								
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPv/kg]	U_Ind [mPvSt]	RF	U_Ind,FE [mPvFE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Axthammer								
LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE		285	11,4	2	22,8	0,21	
	03.05 Extrusion, plastic film		49	1,96	2	3,92	0,04	
Wellpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall		95	26,6	2	53,2	0,48	
	05.03 Carton board boxes, offset printing		68	19,04	2	38,08	0,34	
Zwischensumme:							118,0	1,1
6 Distribution des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Eco_Ind [mPv/(tkm)]	U_Ind [mPvSt]	RF	U_Ind,FE [mPvFE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Axthammer								
	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	1.480	15	12,2	2	24,4	0,2	
Zwischensumme:							24,4	0,2
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Eco_Ind [mPv/(tkm)]	U_Ind [mPvSt]	RF	U_Ind,FE [mPvFE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Axthammer								
	07.01 Van<3,5t	1.480	186	34,4	2	68,8	0,6	
Zwischensumme:							68,8	0,6
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Eco_Ind [mPv/kg]	U_Ind [mPvSt]	RF	U_Ind,FE [mPvFE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
04.01 Hammerkopf:								
Edelstahl	01.02 Proccs (Recycling)	1.000	76	76,0	2	152	1,4	
	01.02 Späne (Recycling)	500	76	38,0	2	76	0,7	
04.02 Hammerstiel: Hickory-								
	04.01 Waste treatment scenario in the EU	160	19 (I)	3,0	2	6	0,1	
Zwischensumme:							234,1	2,1
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Eco_Ind [mPv/kg]	U_Ind [mPvSt]	RF	U_Ind,FE [mPvFE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
LDPE-Folie								
	03.05 Waste treatment scenario in the EU	40	39 (I)***	0,2	2	0,3	0,0	
Wellpappe - Karton								
	05.03 Proccs	280	95 (I)***	1,1	2	2,2	0,0	
	05.03 Primary material saved	280	dna**	0,9	2	dna**	dna**	
Zwischensumme:							0,3	0,0
Gesamtsumme:							2362,5	21,3

* Density hardwood: 700 kg/m³
 ** Daten nicht verfügbar
 *** generierte Daten für die Gruppe von Materialien

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		4 Axthammer - 2. Zyklus						Projektnummer: 16004.0	
Department Maschinenbau und Produktion								Erstellt am: 20.7.16	
								Erstellt von: B. Tuna	
								Seite: 3/4	
1 Beschaffung der Rohstoffe									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/ktm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
04.01 Hammerkopf: Edelstahl									
Eisenerz / Koks Kohle	07.01 Transoceanic tanker (ocean)/ktm	300	15.000	0,6	2,7	2	5,4	0,0	
04.02 Hammerstiel: Hickory-Holz									
Rohholz	07.01 Lorry>32t (Eur4)	300	50	0,6	0,0	2	0,0	0,0	
Zwischensumme: 5,4 0,0									
2 Herstellung der Rohmaterialien									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf Edelstahl:									
Primäranteil 20%	01.02 Stainless Steel 18/8 (converter, primary) / kg	300		551	165	2	330,6	3,0	
Primäranteil 100%	04.01 Hardwood, Sawn timber, raw, kiln dried (u=10%)*	300		239	72	2	143,4	1,3	
Hammerkopf Edelstahl									
Sekundäranteil 80%	01.02 Stainless electric Steel 18/8 (secondary) / kg	1200		511	613	2	1226,4	11,0	
Sekundäranteil 0%	04.01 Hardwood, Sawn timber, raw, kiln dried (u=10%)*	0		239	0	2	0,0	0,0	
Zwischensumme: 1700,4 15,3									
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/ktm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
04.01 Hammerkopf: Edelstahl									
	07.01 Lorry>16t (Eur4)	1500	60	15	1,4	2	2,7	0,0	
04.02 Hammerstiel: Hickory-Holz									
	07.01 Lorry>16t (Eur4)	300	50	15	0,2	2	0,5	0,00	
Zwischensumme: 3,2 0,0									
4 Herstellungsprozess des Hammers									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
04.01 Hammerkopf: Edelstahl									
	01.02 Deep drawing, 3500 KN press, single stroke operation	1500		30 (!)	45,0	2	90,0	0,81	
04.02 Hammerstiel: Hickory-Holz									
	04.01 Sawing (Sägen)	300		dna**	dna**	2	dna**	dna**	
Zwischensumme: 90,0 0,8									

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		4				Projektnummer: 16004.0	
Department Maschinenbau und Produktion		Axthammer - 2. Zyklus				Erstellt am: 20.7.16	
						Erstellt von: B. Tuna	
						Seite: 4/4	
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Axthammer							
LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE	40	285	11,4	2	22,8	0,21
	03.05 Extrusion, plastic film	40	49	1,96	2	3,92	0,04
Wellpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall	280	95	26,6	2	53,2	0,48
	05.03 Carton board boxes, offset printing	280	68	19,04	2	38,08	0,34
Zwischensumme:						118,0	1,1
6 Distribution des Hammers mit Verpackung							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Axthammer							
	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	1.480	15	12,2	2	24,4	0,2
Zwischensumme:						24,4	0,2
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Axthammer							
	07.01 Van<3,5t	1.480	186	34,4	2	68,8	0,6
Zwischensumme:						68,8	0,6
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
04.01 Hammerkopf:							
Edelstahl	01.02 Proce (Recycling)	1000	100	76 (I)	2	152	1,4
	01.02 Primary material saved	1000	80	-440,8	2	-882	-7,9
	01.02 Späne (Recycling)	500	100	76 (I)	2	76	0,7
	01.02 Primary material saved	500	80	-220,4	2	-441	-4,0
04.02 Hammerstiel: Hickory-Holz							
	04.01 Waste treatment scenario in the EU	160	100	19 (I)	2	6,08	0,1
Zwischensumme:						-1088,3	-9,8
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung							
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
LDPE-Folie							
	03.05 Waste treatment scenario in the EU	40	100	39 (I)***	0,2	0,3	0,0
	05.03 Proce	280	100	95 (I)***	2	5,3	0,0
Wellpappe - Karton							
	05.03 Primary material saved	280	80	dna**	2	1,7	0,0
Zwischensumme:						0,3	0,0
Gesamtsumme						922,2	8,3

H Berechnung mit Ecolizer für den Schlosserhammer (1.2)

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		1.2 Schlosserhammer - 1. Zyklus					Projektnummer: 16001.2	
Department Maschinenbau und Produktion							Erstellt am: 20.8.16	
							Erstellt von: B. Tuna	
							Seite: 1/4	
1 Transport der Rohstoffe								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Masse [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: C45								
Eisenerz / Kokskohle	07.01 Transoceanic tanker (ocean)	512	15.000	0,6	5	1	5	0,04
Hammerstiel: Hickory-Holz								
Rohholz	07.01 Lorry>32t (Eur4)	255	50	12	0,2	1	0,2	0,00
Zwischensumme:							4,8	0,0
2 Herstellungsprozess der Rohmaterialien								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: C45	01.02 Stainless Steel 18/8 (converter, primary)	512		231	118	1	118,3	1,1
Hammerstiel: Hickory-Holz	04.01 Hardwood, Sawm timber, raw, Kiln dried (u=10%)*	255		239	61	1	60,9	0,5
Zwischensumme:							179,2	1,6
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: C45	07.01 Lorry>16t (Eur4)	512	60	15	0,5	1	0,5	0,0
Hammerstiel: Hickory-Holz	07.01 Lorry>16t (Eur4)	255	50	15	0,2	1	0,2	0,00
Zwischensumme:							0,7	0,0
4 Herstellungsprozess des Hammers								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: C45	01.03 Forge (Schmieden)	512		dna**	dna**	1	dna**	dna**
	01.03 Milling (Fräsen)	512		337	173	1	173	1,6
Hammerstiel: Hickory-Holz	04.01 Sawing (Sägen)	255		dna*	dna*	1	dna*	dna*
Zwischensumme:							172,5	1,6
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
1.2 Schlosserhammer								
LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE	20		285	5,7	1	5,7	0,05
	03.05 Extrusion, plastic film	20		49	0,98	1	0,98	0,01
Wellpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall	140		95	13,3	1	13,3	0,12
	05.03 Carton board boxes, offset printing	140		68	9,52	1	9,52	0,09
Zwischensumme:							29,5	0,3

* Density hardwood: 700 kg/m³

** Daten nicht verfügbar

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		1.2					Projektnummer: 16001.2	
Department Maschinenbau und Produktion		Schlosserhammer - 1. Zyklus					Erstellt am: 20.8.16	
							Erstellt von: B. Tuna	
							Seite: 2/4	
6 Distribution des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
1.2 Schlosserhammer	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	630	550	15	5,2	1	5,2	0,0
Zwischensumme:							5,2	0,0
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
1.2 Schlosserhammer	07.01 Van<3,5t	630	125	186	14,6	1	14,6	0,1
Zwischensumme:							14,6	0,1
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
Hammerkopf: C45	01.02 Proces (Recycling)	300	100	76	22,8	1	23	0,2
	01.02 Späne (Recycling)	212	100	76	16,1	1	16	0,1
Hammerstiel: Hickory-Holz	04.01 Waste treatment scenario in the EU	170	100	19 (!)	3,2	1	3	0,0
Zwischensumme:							42,1	0,4
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Anteil [%]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]
LDPE-Folie Wellpappe - Karton	03.05 Waste treatment scenario in the EU	20	100	39 (!)***	0,1	1	0,1	0,0
	05.03 Proces	140	100	95 (!)***	0,5	1	0,5	0,0
	05.03 Primary material saved	140	80	dna**	0,4	1	0,4	0,0
Zwischensumme:							0,1	0,0
Gesamtsumme:							448,7	4,0

*** generierte Daten für die Gruppe von Materialien

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg		1.2 Schlosserhammer - 2. Zyklus						Projektnummer: 16001.2	
Department Maschinenbau und Produktion								Erstellt am: 20.8.16	
								Erstellt von: B. Tuna	
								Seite: 3/4	
1 Beschaffung der Rohstoffe									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: C45									
Eisenerz / Koksrohle	07.01 Transoceanic tanker (ocean)/tkm	266	15.000	0,6	2,4	1	2,4	0,0	
Hammerstiel: Hickory-Holz									
Rohholz	07.01 Lorry>32t (Eur4)	255	50	0,6	0,0	1	0,0	0,0	
						Zwischensumme: 2,4 0,0			
2 Herstellung der Rohmaterialien									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf C45: Primäranteil 52%	01.02 Stainless Steel 18/8 (converter, primary) / kg	266		231	62	1	61,5	0,6	
Hammerstiel Hickory-Holz Primäranteil 100%	04.01 Hardwood, Sawn timber, raw, kiln dried (u=10%)*	255		239	61	1	60,9	0,5	
Hammerkopf C45 Sekundäranteil 48%	01.02 Stainless electric Steel 18/8 (secondary) / kg	246		195	48	1	47,9	0,4	
Hammerstiel Hickory-Holz Sekundäranteil 0%	04.01 Hardwood, Sawn timber, raw, kiln dried (u=10%)*	0		239	0	1	0,0	0,0	
						Zwischensumme: 170,4 1,5			
3 Transport der Rohmaterialien (ohne Verpackung)									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Entfernung [km]	Eco_Ind [mPt/tkm]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: C45	07.01 Lorry>16t (Eur4)	512	60	15	0,5	1	0,5	0,0	
Hammerstiel: Hickory-Holz	07.01 Lorry>16t (Eur4)	255	50	15	0,2	1	0,2	0,00	
						Zwischensumme: 0,7 0,0			
4 Herstellungsprozess des Hammers									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf: C45	01.03 Forge (Schmieden)	512		dna**	dna**	1	dna**	dna**	
	01.03 Milling (Fräsen)	512		337	173	1	173	1,6	
Hammerstiel: Hickory-Holz	04.01 Sawing (Sägen)	255		dna**	dna**	1	dna**	dna**	
						Zwischensumme: 172,5 1,6			
5 Rohstoff und Herstellungsprozess der Verpackung									
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Gewicht [g]	Energieeinsatz [kJ]	Eco_Ind [mPt/kg]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind,FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
1.2 Schlosserhammer									
LDPE Folie	03.05 Low Density Polyethylene, LDPE	20		285	5,7	1	5,7	0,05	
	03.05 Extrusion, plastic film	20		49	0,98	1	0,98	0,01	
Wellpappe - Karton	05.03 Cardboard Recycling fibre, single wall	140		95	13,3	1	13,3	0,12	
	05.03 Carton board boxes, offset printing	140		68	9,52	1	9,52	0,09	
						Zwischensumme: 29,5 0,3			

Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg Department Maschinenbau und Produktion		1.2 Schlosserhammer - 2. Zyklus					Projektnummer: 16001.2 Erstellt am: 20.8.16 Erstellt von: B. Tuna Seite: 4/4	
6 Distribution des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/tkm]	Entfernung [km]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
1.2 Schlosserhammer	07.01 Lorry>16t (Eur4), Deutschlandweit mit 100%	15	550	5,2	1	5,2	0,0	
Zwischensumme:							5,2	0,0
7 Transportwege für die Entsorgung des Hammers mit Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/tkm]	Entfernung [km]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
1.2 Schlosserhammer	07.01 Van<3,5t	186	125	14,6	1	14,6	0,1	
Zwischensumme:							14,6	0,1
8 Entsorgung/Recycling des Produktmaterials								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/kg]	Anteil [%]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
Hammerkopf C45	01.02 Proce (Recycling)	76 (!)	100	22,8	1	23	0,2	
	01.02 Primary material saved	-231	48	-33,3	1	-33	-0,3	
	01.02 Späne (Recycling)	76 (!)	100	16,1	1	16	0,1	
Hammerstiel: Hickory-Holz	01.02 Primary material saved	-231	48	-23,5	1	-24	-0,2	
	04.01 Waste treatment scenario in the EU	19 (!)	100	1,995	1	2	0,02	
Zwischensumme:							-15,9	-0,1
9 Entsorgung / Recycling der Verpackung								
Bauteil	Datensatz Ecolizer 2.0	Eco_Ind [mPt/kg]	Anteil [%]	U_Ind [mPt/St]	RF	U_Ind.FE [mPt/FE]	U_Bel [kgCO _{2e}]	
LDPE-Folie Wellpappe - Karton	03.05 Waste treatment scenario in the EU	39 (!)***	100	0,1	1	0,1	0,0	
	05.03 Proce	95 (!)***	100	1,3	1	1,3	0,0	
	05.03 Primary material saved	dna**	80	0,4	1	0,4	0,0	
Zwischensumme:							0,1	0,0
Gesamtsumme					379,5	0,1	3,4	



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Erklärung zur selbständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der die/der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „—bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs.1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)]— ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift (keine Ablichtungen !) als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Masterarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann — auch nachträglich — zur Ungültigkeit der Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Tuna

Vorname: Bercan

dass ich die vorliegende Masterarbeit — bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit — mit dem Thema

Nachhaltigkeitsgerechte Produktentwicklung anhand eines Praxisbeispiels

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

— die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten —

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Masterarbeit ist erfolgt durch . . .

Ort

Datum

Unterschrift im Original