

Forschungsergebnisse aus der Bauphysik

Quantifizierung und Integration von Verteilungsaspekten globaler Wertschöpfungsketten in die Ökobilanz

Nathanael Ko



Universität Stuttgart

Institut für Akustik
und Bauphysik



Technische Universität München
Lehrstuhl für Bauphysik

Fraunhofer Verlag

**Forschungsergebnisse aus der Bauphysik****Band 52**

Herausgeber: Prof. Dr. Philip Leistner
Prof. Dr. Schew-Ram Mehra
Prof. Dr. Gunnar Grün

Nathanael Ko

**Quantifizierung und Integration von
Verteilungsaspekten globaler
Wertschöpfungsketten in die Ökobilanz**

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-00
info@ibp.fraunhofer.de
www.ibp.fraunhofer.de

Titelbild: © Nathanael Ko

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.de> abrufbar.

ISBN (Printausgabe): 978-3-8396-1878-3

DOI (kostenlose PDF-Version): <https://doi.org/10.24406/h-430187>

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2022

Druck und Weiterverarbeitung:
Fraunhofer Verlag, Medienleistungen

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© Fraunhofer Verlag, 2022

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
verlag@fraunhofer.de
www.verlag.fraunhofer.de

als rechtlich nicht selbstständige Einheit der

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.

Hansastraße 27 c
80686 München
www.fraunhofer.de

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Quantifizierung und Integration von Verteilungsaspekten globaler Wertschöpfungsketten in die Ökobilanz

Vor der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Nathanael Lih-Wei Ko
aus Heidelberg

Hauptberichter: Herr Prof. Dr.-Ing. Philip Leistner
Mitberichter: Herr Prof. Dr. Magnus Fröhling

Tag der mündlichen Prüfung: 09. September 2022

Institut für Akustik und Bauphysik der
Universität Stuttgart

2022

Danksagung

Viel Dank ist auszusprechen, aber nicht alles ist auf dieser Seite möglich.

Diese Arbeit wurde hauptsächlich im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung an der Universität Stuttgart angefertigt. Ohne die Unterstützung der Kolleginnen und Kollegen wäre dies nicht möglich gewesen.

Ich danke Herr Prof. Dr.-Ing. Philip Leistner für die Begleitung dieser Arbeit und für die konstruktiven Anregungen in unseren regelmäßigen Treffen.

Dank geht auch an Herr Prof. Dr. Magnus Fröhling für die Übernahme der Rolle des Mitberichters und für die Möglichkeit mein Thema in seiner Vorlesung vorstellen zu dürfen.

Bedanken möchte ich mich bei den Kolleginnen und Kollegen Roberta Graf, Simon Pfeuffer und Matthias Fischer für das kritische Gegenlesen. Für weitere inhaltliche Beiträge möchte ich mich auch bei Nathalie Klein, Andreas Geß und Manuel Lorenz bedanken.

Der größte Dank geht an meine Frau 蓉蓉 die den gesamten Prozess der Promotion mit großer Geduld ertragen und mich stets unterstützt hat. Danke.

Nathanael Lih-Wei Ko

Im Januar 2022

„Earth provides enough to satisfy every man's need but not for every man's greed.“

(Mahatma Gandhi)

Erklärung zur Schreibweise von Personenbezeichnungen:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit grammatikalisch die weibliche Form verwendet. Personen des intersexuellen wie auch männlichen Geschlechts sind darin gleichermaßen eingeschlossen. Dies geschieht aus Gründen der Vereinfachung und nicht, um das intersexuelle oder männliche Geschlecht zu diskriminieren.

Kurzfassung

Die Umweltwirkungen und die Gewinne, die innerhalb globaler Wertschöpfungsketten von Produkten entstehen, sind häufig ungleich auf die beteiligten Länder der Wertschöpfungskette verteilt. Die Frage, wie diese ungleiche Verteilung sichtbar gemacht werden kann, bildet die Ausgangsfrage dieser Arbeit.

Basierend auf den drei Grundlagen – Ökobilanz, Wertschöpfung und Verteilungsgerechtigkeit – wird diese Ausgangsfrage diskutiert.

Mit Hilfe der Ökobilanz lassen sich die Umweltwirkungen über die Wertschöpfungsketten der Produkte berechnen. Mit Hilfe einer hierarchischen Gestaltung des Ökobilanzmodells können für ein Produkt, eine einzelne Lebenszyklusphase oder ein Einzelelement länderspezifische Umweltwirkung ausgegeben werden.

Aufbauend auf die Ökobilanz eines Produktes kann die entstandene Wertschöpfung in Euro auf den verschiedenen Hierarchieebenen länderspezifisch berechnet werden. Die Grundlage für diese Berechnungen ist dabei der LCWE-Methode entlehnt, die soziale Auswirkungen eines Produktlebenszyklus abbildet.

Die Verteilungsgerechtigkeit beinhaltet drei Teilaspekte: Fähigkeit, Verantwortung als Verursacher (direkte Verantwortung) und Verantwortung als Nutznießer (indirekte Verantwortung). Diesen Aspekten werden einzelne Kennzahlen zugeordnet. So wird die Fähigkeit jedes einzelnen Landes in der Wertschöpfungskette über den Index der menschlichen Entwicklung mit Einbeziehung der innerstaatlichen Ungleichheit (IHD) abgebildet. Die quantifizierte Umweltwirkung, als Ergebnis der Ökobilanz, beschreibt die Verantwortung als Verursacher innerhalb der Wertschöpfungskette. Die länderspezifische Wertschöpfung quantifiziert die Verantwortung als Nutznießer der Wertschöpfungskette.

Diese Kennzahlen werden in zwei Indikatoren zusammengeführt, um eine Aussage über die Ungleichverteilung treffen zu können. Die zwei Indikatoren werden als die gewichtete Umweltintensität (gUI) und die gewichtete Umweltwertschöpfung (gUW) definiert.

Die gewichtete Umweltintensität ist ein Quotient, der sichtbar macht welche Akteurin innerhalb einer Wertschöpfungskette entsprechend ihrer Fähigkeit und ihrer direkten und indirekten Verantwortung einen ungleichen Anteil hat.

Die gewichtete Umweltwertschöpfung ist das Produkt aus den drei Kennzahlen und drückt aus, welche Akteurin die größte Gesamtverantwortung innerhalb der Wertschöpfung trägt.

Anhand der länderspezifischen Abweichung dieser zwei Indikatoren vom jeweiligen Median innerhalb eines Produktes wird bewertet, wie die Umweltwirkungen und der Gewinn über die Wertschöpfungskette verteilt sind. Diese Bewertung zeigt auch den Verbesserungsbedarf der Wertschöpfungskette für das einzelne Land auf. Diese Indikatoren und deren Interpretation können die Ausgangsfrage zur Sichtbarmachung von Ungleichverteilungen innerhalb einer Wertschöpfungskette quantitativ beantworten.

Die entwickelte Methodik wird innerhalb dieser Arbeit anhand von zwei Beispielen, einem T-Shirt und einem solarthermischen Kraftwerk, angewendet und erprobt. Dabei zeigt sich, dass diese Methode gleichermaßen für Konsumgüter und Investitionsgüter geeignet ist. Dabei werden auch Unsicherheiten einzelner Verfahrensschritte und die Grenzen des Lösungsweges aufgezeigt, um sowohl den weiteren Forschungsbedarf zu präzisieren als auch die mögliche Nutzung der Methode darzustellen.

Beides zusammengekommen führt zur interdisziplinären Aufgabe, die Ergebnisse der quantifizierten Verteilung zu interpretieren, sei es aus technischer, juristischer, sozialer oder philosophischer Sicht.

Abstract

The environmental impact and financial gain resulting from the global value chain of a product are often distributed unequally amongst the participating countries of the value chain. The question „How to make this unequal distribution visible?“ serves as the guiding question of this thesis.

This question is discussed based on three major ingredients: life cycle assessment, added value and distributive justice.

The life cycle assessment (LCA) can calculate the environmental impacts over the value chain of products. With a hierarchic LCA-model it is possible to calculate country specific environmental impacts for an entire product, individual life cycle phases or even individual components.

The added value in Euro can be calculated based on the LCA of a product. The basis for this calculation can be found in the LCWE-method, which assesses social impacts of a product.

Distributive justice is split further into three aspects: ability, responsibility as emitting party (direct responsibility), responsibility of the beneficiary (indirect responsibility). Three indicators are assigned to the three aspects. The ability of each country is represented by the inequality-adjusted human development index (IHDI). The responsibility as emitting party is quantified through the results generated in the LCA. The added value represents the responsibility of the beneficiary.

These three indicators are combined to form two new indicators, which can indicate the unequal distribution within a value chain. The two indicators are defined as the weighted environmental intensity (gUI) and the weighted environmental added value (gUW).

The weighted environmental intensity is a ratio, which shows the player within the value chain, who, according to her abilities, her direct and indirect responsibilities has an unequal share.

The weighted environmental added value is a product of the three indicators and represents the player with the highest overall responsibility within the value chain.

The inequality of the distribution of environmental impacts and added value can be derived from the country specific difference of the gUI and gUW to the respective median. The characteristics of the difference to the median also show the need for improvement in the value chain for each individual country. The guiding question

concerning the unequal distribution within the value chain can therefore be answered quantitatively with the aforementioned indicators and the subsequent interpretation.

Two examples, one of a t-shirt, the other of a concentrating solar power plant, are used to test the developed methodology. These examples show that the method is applicable for both consumer products and industrial applications. Within those examples the uncertainties of the individual process steps are evaluated, and the boundaries of the method are tested in order to show the future need for research and to demonstrate the possible use of the approach.

Taken together, this leads to the interdisciplinary task, to interpret the results of this quantified distribution, whether it be from a technical, juridical, social or philosophical point of view.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	2
Kurzfassung	4
Abstract.....	6
Tabellenverzeichnis	11
Abbildungsverzeichnis	12
Nomenklatur	15
1 Einführung	18
1.1 Motivation und Ziel	18
1.2 Aufbau der Arbeit	19
2 Stand des Wissens	21
2.1 Grundlagen der Gerechtigkeit	21
2.1.1 Globale Verteilungsgerechtigkeit	25
2.1.2 Klimagerechtigkeit.....	27
2.1.3 Zahlenmäßige Abbildung von Ungleichverteilung	28
2.2 Ökologisch ungleicher Austausch (EUE).....	29
2.3 Grundlagen der Ökobilanz	31
2.4 Wertschöpfung auf Prozessebene	34
2.4.1 Grundlagen der LCWE-Methode	34
2.4.2 Berechnung der prozessspezifischen Wertschöpfung	35
2.5 Wertedebatte in der Ökobilanz	38
2.6 Umweltintensität	41
2.7 Index der menschlichen Entwicklung (HDI).....	42
2.8 Bewertung des Wissenstandes.....	43
3 Forschungsfrage und Lösungsweg	46
3.1 Forschungsfrage.....	46
3.2 Anforderungen an den Lösungsweg	48
3.3 Lösungsweg	50
4 Integration von Verteilungsaspekten	51

4.1	Schritt 1: Grundlagen der Integration.....	51
4.1.1	Eignung der Ökobilanz für die Integration von Verteilungsaspekten ..	51
4.1.2	Verteilungsaspekte für die Integration.....	55
4.1.3	Ausschluss des „Race to the Bottom“	58
4.1.4	Adressaten der Verteilungsfrage.....	58
4.2	Schritt 2: Mathematische Integration von Verteilungsaspekten	61
4.2.1	Mathematische Interpretation der Verteilungsaspekte.....	61
4.2.2	Charakteristiken der Integration.....	68
4.3	Schritt 3: Operationalisierung und Interpretation der Integration.....	69
4.3.1	Gestaltung des Ökobilanzmodells	70
4.3.2	Darstellung der Ergebnisse.....	71
4.3.3	Interpretation der Ergebnisse.....	73
5	Anwendung der Integration	79
5.1	Ziel der Anwendung.....	79
5.2	Anwendungsbeispiel: T-Shirt.....	81
5.2.1	Eingangsdaten: Ökobilanz, Wertschöpfung und IHDl	82
5.2.2	D-LCA Ergebnisse.....	83
5.2.3	Diskussion des Anwendungsbeispiels T-Shirt.....	88
5.3	Anwendungsbeispiel: Solarthermisches Kraftwerk	91
5.3.1	Technische Grundlagen.....	92
5.3.2	Modellstruktur aus der Ökobilanz.....	93
5.3.3	Eingangsdaten aus der Ökobilanz.....	96
5.3.4	Eingangsdaten aus der prozessbasierten Wertschöpfung	98
5.3.5	Eingangsdaten IHDl	99
5.3.6	D-LCA Ergebnisse für Ebene 1	100
5.3.7	D-LCA Ergebnisse für Ebene 2	103
5.3.8	Diskussion des Anwendungsbeispiels solarthermisches Kraftwerk ..	107
5.4	Zusammenfassung der Anwendung.....	112

6	Evaluation	113
6.1	Erfüllung der Anforderungen	113
6.2	Möglichkeiten und Grenzen.....	115
7	Zusammenfassung	117
8	Ausblick	119
8.1	Gerechtigkeitszentrierter top-down Ansatz	119
8.2	Verteilungsaspekt „Bedürfnis“	120
8.3	Weitere offene Fragen	120
	Literaturverzeichnis	122
A	Anhang: Weitere Ergebnisse für das solarthermische Turmkraftwerk	130

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	Zuordnung der Verteilungsaspekte zu Kennzahlen.	61
Tabelle 5-1:	Eingangsdaten für die Herstellung eines T-Shirts.	82
Tabelle 5-2:	gUI Ergebnisse für die Herstellung und den Verkauf eines T-Shirts (eigenen Berechnung).....	83
Tabelle 5-3:	gUW Ergebnisse für die Herstellung und den Verkauf eines T-Shirts (eigene Berechnung).	86
Tabelle 5-4:	Zuordnung der Länder zu den vier Fällen der Abstandsausprägung.	90
Tabelle 5-5:	Ökobilanzergebnisse der Ebene 1 nach Ländern sortiert.....	97
Tabelle 5-6:	Ökobilanzergebnisse der Ebene 2 nach Ländern sortiert.....	98
Tabelle 5-7:	Ergebnisse der prozessbasierten Wertschöpfungsberechnung	99
Tabelle 5-8:	IHDI der betrachteten Länder für 2017 basierend auf [106].	99
Tabelle 5-9:	Ergebnisse der UI und gUI der Umweltwirkung GWP für Ebene 1 (eigenen Berechnung).....	100
Tabelle 5-10:	Ergebnisse der UW und gUW der Umweltwirkung GWP für Ebene 1 (eigene Berechnung).....	102
Tabelle 5-11:	Ergebnisse der UI und gUI der Umweltwirkung GWP für Ebene 2 (eigenen Berechnung).....	104
Tabelle 5-12:	Ergebnisse der UW und gUW der Umweltwirkung GWP für Ebene 2 (eigene Berechnung).....	106
Tabelle 5-13:	Zuordnung der Länder zu den vier Fällen der Abstandsausprägung auf Ebene 1.....	108
Tabelle 5-14:	Zuordnung der Länder zu den vier Fällen der Abstandsausprägung auf Ebene 2.....	110
Tabelle 5-15:	Zuordnung der Länder zu den vier Fällen der Abstandsausprägung auf Ebene 1 und Ebene 2.....	111
Tabelle 6-1:	Erfüllung der Anforderungen.	115
Tabelle 8-1:	Zuordnung von Umweltwirkung oder Indikator zu Bedürfnis.	120

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Aufbau der Arbeit.	20
Abbildung 2-1:	Darstellung des Differenzprinzips nach Rawls (Darstellung basierend auf [85]).	23
Abbildung 2-2:	Globale Verteilung von Vermögen 2018 zur Unterscheidung des Kerns und der Peripherie aus [18].	29
Abbildung 2-3:	Einbettung der Ökobilanz in den gesellschaftlichen Kontext (Darstellung basierend auf [2]).	32
Abbildung 2-4:	Übersicht über die Methode der Ökobilanz und ihrer wichtigsten Elemente.	33
Abbildung 2-5:	Beispiel für die prozessspezifische Wertschöpfungsberechnung (Darstellung basierend auf [88]).	35
Abbildung 2-6:	Zuordnung der Flüsse zu ihren Kosten über die entsprechenden CN-Nummern (Darstellung basierend auf [63]).	36
Abbildung 2-7:	Berechnung und Aggregation der Wertschöpfung auf Prozess- und Planebene (Darstellung basierend auf [63]).	38
Abbildung 2-8:	Hierarchie der Werte (Darstellung frei übersetzt nach [91]).	40
Abbildung 2-9:	Elemente des Human Development Index (Darstellung basierend auf [104]).	43
Abbildung 2-10:	Grundlagen und Stand des Wissens als Fundament dieser Arbeit.	44
Abbildung 3-1:	Einbettung von Informationen zu verteilungsrelevanten Auswirkungen im ingenieurtechnischen Entscheidungsprozess.	47
Abbildung 3-2:	Anforderungen an den Lösungsweg.	49
Abbildung 3-3:	Der dreiteilige Lösungsweg zur Beantwortung der Forschungsfrage.	50
Abbildung 4-1:	Grundeigenschaften der Ökobilanz für die Integration von Verteilungsaspekten.	54
Abbildung 4-2:	Verteilungsaspekte für die Integration.	57

Abbildung 4-3:	Erste Perspektive auf die beteiligten Akteurinnen bei der Verteilungsfrage.	59
Abbildung 4-4:	Zweite Perspektive auf die beteiligten Akteure bei der Verteilungsfrage.	60
Abbildung 4-5:	Zuordnung der Verteilungsaspekte zu Kennzahlen.	63
Abbildung 4-6:	Beispiel für die Darstellung der gUI- bzw. gUW-Ergebnisse in Relation zur Umweltwirkung.	72
Abbildung 4-7:	Beispiel für die Darstellung des relativen Abstands zum Median.	73
Abbildung 4-8:	Zusammenfassung der gUI/gUW-Abweichung vom Median.	77
Abbildung 5-1:	System der T-Shirt Herstellung und des Verkaufs.	81
Abbildung 5-2:	Relative Verteilung von CO ₂ , UI und gUI.	84
Abbildung 5-3:	Relativer Abstand zum gUI-Median.	85
Abbildung 5-4:	Relative Verteilung von GWP, UW und gUW.	87
Abbildung 5-5:	Relativer Abstand zum gUW-Median.	88
Abbildung 5-6:	Komponenten des solarthermischen Turmkraftwerkes.	93
Abbildung 5-7:	Ökobilanzmodellstruktur des solarthermischen Turmkraftwerkes.	95
Abbildung 5-8:	Relative Abstand zum gUI-Median auf Ebene 1.	101
Abbildung 5-9:	Relativer Abstand zum gUW-Median auf Ebene 1.	103
Abbildung 5-10:	Relativer Abstand zum gUI-Median verschiedener Umweltwirkungen auf Ebene 2.	105
Abbildung 5-11:	Relativer Abstand zum gUW-Median verschiedener Umweltwirkungen auf Ebene 2.	107
Abbildung 7-1:	Graphische Zusammenfassung des Lösungsweges mit Graphiken von [7; 80; 93].	118
Abbildung 8-1:	Gerechtigkeitszentrierter top-down Ansatz.	119
Abbildung A-1:	Relative Verteilung von GWP, UI und gUI auf Ebene 1.	130
Abbildung A-2:	Relative Verteilung von GWP, UW und gUW auf Ebene 1.	131
Abbildung A-3:	Relative Verteilung von GWP, UI und gUI auf Ebene 2.	132
Abbildung A-4:	Relative Verteilung von GWP, UW und gUW auf Ebene 2.	133

Abbildung A-5: Relative Verteilung von EP, UI und gUI auf Ebene 2.....	134
Abbildung A-6: Relative Verteilung von EP, UW und gUW auf Ebene 2.....	135
Abbildung A-7: Relative Verteilung von HTP, UI und gUI auf Ebene 2.....	136
Abbildung A-8: Relative Verteilung von HTP, UW und gUW auf Ebene 2.	137

Nomenklatur

Abkürzungen

Äq.	Äquivalent(e)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
CEI	Cumulative Eco-Intensities
CN #	Combined-Nomenclature-Nummer
DCB	Dichlorbenzol
D-LCA	Distribution Extended Life Cycle Assessment
EP	Eutrophierungspotential
EU	Europäische Union
EUE	Environmentally Unequal Exchange
gUI	gewichtete Umweltintensität
gUW	gewichtete Umweltwertschöpfung
G&S	Goal and Scope
GaBi	Ganzheitliche Bilanzierung
GWP	Treibhauspotential
HANPP	Human Appropriation of Net Primary Production
HTP	Humantoxizitätspotential
HDI	Human Development Index
IHDI	Inequality-adjusted Human Development Index
ILCD	International Life Cycle Data
LCA	Life Cycle Assessment (Ökobilanz)
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
LCWE	Life Cycle Working Environment
MFA	Materialflussanalyse
MRIO	Multiregionale Input-/Outputanalyse
NACE	Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne
n/v	nicht verfügbar
ÖuA	Ökologisch ungleicher Austausch
RAMON	Reference And Management Of Nomenclatures
RCI	Responsibility and Capacity Index
S-LCA	Social Life Cycle Assessment
UI	Umweltintensität

UN	United Nations
U	Umweltwirkung
UW	Umweltwertschöpfung
WS	Wertschöpfung

Länderkürzel

BD	Bangladesch
CD	Demokratische Republik Kongo
CL	Chile
CN	China
DE	Deutschland
DK	Dänemark
ES	Spanien
IN	Indien
IT	Italien
RU	Russland
ZA	Südafrika

Chemische Formelzeichen

CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
PO ₄ ³⁻	Phosphat

Formelzeichen, Einheiten, Indices

a	Jahr
€	Euro
°C	Grad Celsius
i	Index für das Einzelelement
kg	Kilogramm
L	landesspezifisch
MW	Megawatt
P	produktspezifisch
%	Prozent
Σ	Summe

tot	Gesamtsumme (engl.: total)
US\$	US-Dollar

1 Einführung

„Die Welt ist ungerecht.“ Dieser häufig, auch subjektiv, formulierte Gedanke ist weit verbreitet [66]. Formuliert man diesen Gedanken positiv und stellt sich die Frage: „Wie kann ich die Welt gerechter machen?“, kann das ein Treiber positiver Entwicklungen sein. Diese Frage bildet auch die Grundmotivation der vorliegenden Arbeit, die sich mit der Operationalisierung von Verteilungsfragen im ingenieurwissenschaftlichen Bewertungskontext befasst.

Der einführende Abschnitt legt die Motivation für diese Arbeit dar und beschreibt in Kürze das angestrebte Ziel. Abschließend wird ein Überblick über die Struktur der Arbeit gegeben.

1.1 Motivation und Ziel

Die Ressourcen dieser Welt sind ungleich zwischen den Menschen verteilt. So besitzt zum Beispiel 1% der Erwachsenen 47% des global verfügbaren Haushaltsvermögens [18]. Dabei sind weltweit immer noch 821 Millionen Menschen vom Hunger betroffen [35]. Ungleichheit besteht aber nicht nur in der Verteilung der Ressourcen des Planeten. Auch die Verteilung der negativen Umweltwirkungen, denen die Menschen ausgesetzt sind, ist ungleich [3]. So wird beispielsweise prognostiziert, dass die Auswirkungen des Klimawandels Afrika und Asien stärker treffen werden als Europa und Nordamerika [76]. Diese und andere bestehende Ungerechtigkeiten der globalisierten Welt widersprechen dem Grundsatz der Gleichheit aller Menschen [102] und somit einem allgemein gängigen Verständnis von Gerechtigkeit. Es stellt sich daher die folgende Frage: Was kann getan werden, um diese Ungerechtigkeit zu verringern?

Übertragen in die Technosphäre, lautet die Formulierung: Wie kann eine Ingenieurin mit ihrer Arbeit einen Beitrag zu einer gerechteren Welt leisten? Ziel dieser Arbeit ist es, der Ingenieurin einen Zugang zu dieser Frage zu ermöglichen und ein Werkzeug zur Quantifizierung von Verteilungsaspekten bereitzustellen. Konkret beschäftigt sich die Arbeit mit der Identifikation von Ungleichverteilungen in der Wertschöpfungskette von Produkten. Dies wird durch das Verknüpfen der ingenieurwissenschaftlichen Bewertungsmethode Ökobilanz mit dem Themenkomplex der Verteilungsgerechtigkeit und deren unterschiedlichen Aspekten erreicht. Diese Verknüpfung wird in der vorliegenden Arbeit methodisch aufbereitet und operationalisiert. Als Ergebnis ermöglicht die Operationalisierung das Aufzeigen des un-

gleichen Austausches von Ressourcen und Umweltlasten zwischen Ländern über globale Prozessketten von Produkten. Diese Arbeit leistet damit eine Transferleistung zwischen den Grundlagen der Verteilungsgerechtigkeit und der ingenieurwissenschaftlichen Bewertungsmethode der Ökobilanz.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit strukturiert sich in drei Hauptteile Fundament, Kern der Arbeit und Anwendung, ergänzt durch eine Evaluation und Ausblick (s. Abbildung 1-1). Der erste Teil (Ziffer 1 und 2) beschreibt die Motivation für diese Arbeit, gibt einen Überblick über die wissenschaftlichen Grundlagen, die dieser Arbeit als Fundament dienen, fasst den Stand des Wissens zusammen und zeigt dabei die Forschungslücke auf, die in dieser Arbeit adressiert wird. Ziffer 3 greift die allgemeine Zielstellung auf, formuliert sie in einer Forschungsfrage und den daran angegliederten Teilfragen genauer aus und zeigt den gewählten Lösungsweg auf. Dieser wird in Ziffer 4 detailliert beschrieben. Die Forschungsfrage und der Lösungsweg bilden den Kern der Arbeit. Ziffer 4 gliedert sich in drei Schritte. Die Grundlagen der Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz werden geprüft, eine Integration vorgeschlagen und diese anschließend operationalisiert. Die Anwendung des Lösungsweges wird in Ziffer 5 anhand zweier unterschiedlicher Beispiele, der Produktion eines T-Shirts und der Errichtung eines solarthermischen Kraftwerks, demonstriert. Die drei Hauptteile der Arbeit werden durch eine Evaluation der Ergebnisse (Ziffer 6), der Zusammenfassung (Ziffer 7) und einem Ausblick auf weiterhin bestehende Forschungsfragen (Ziffer 8) abgerundet.

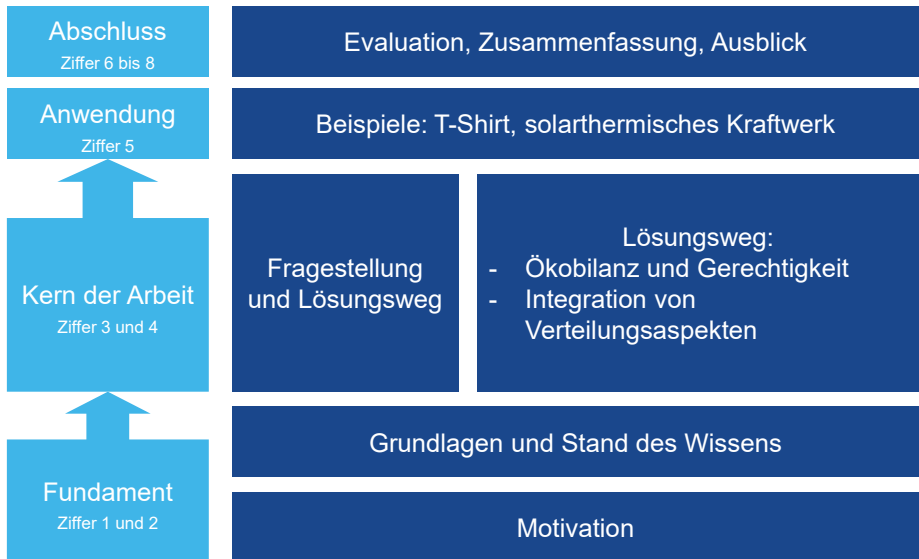


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit

2 Stand des Wissens

Alle notwendigen Definitionen, Methoden und Ansätze, die der vorliegenden Arbeit als Grundlage dienen, sind in diesem Abschnitt zusammengefasst. Die Grundlagen umfassen dabei eine kurze Einführung in das Thema der Verteilungsgerechtigkeit, die Methode der Ökobilanz und den Index der menschlichen Entwicklung, der Ungleichheit mit einbezieht.

Im weiteren Verlauf wird der Stand des Wissens zu folgenden Themen aufbereitet:

- Vertiefte Einzelaspekte der Verteilungsgerechtigkeit: die globale Verteilungsgerechtigkeit, Klimagerechtigkeit und die Methode des ökologisch ungleichen Austausches;
- Erweiterung der Ökobilanz um finanzielle Aspekte mittels der Wertschöpfung auf Prozessebene;
- Ein Ansatz zur Verknüpfung von Umwelt und Ökonomie durch die Umweltintensität.

Abschließend wird dieser Stand des Wissens bewertet und die Forschungslücke herausgearbeitet, die mit dieser Arbeit adressiert wird.

2.1 Grundlagen der Gerechtigkeit

Der Begriff Gerechtigkeit wird im Lexikon [47] zuallererst als eine Tugend beschrieben. Anschließend werden verschiedene, wissenschaftlich diskutierte Aspekte der Gerechtigkeit genannt, wie zum Beispiel die gesetzliche Gerechtigkeit oder die austeilende Gerechtigkeit. Laut Duden [9] ist die Gerechtigkeit als „Prinzip eines staatlichen oder gesellschaftlichen Verhaltens, das jedem gleichermaßen sein Recht gewährt“ oder als „etwas, was als gerecht angesehen wird“ definiert. Aus diesen Definitionen und Beschreibungen lässt sich eine erste Unterscheidung zwischen der Gerechtigkeit als eine persönliche Tugend oder einem persönlichen Gerechtigkeitsempfinden, einer staatlich oder gesellschaftlich institutionalisierten Gerechtigkeit und verschiedenen wissenschaftlich diskutierten Gerechtigkeitsaspekten ableiten. Im Anbetracht dieser verschiedenen Zugangsformen zum Begriff der Gerechtigkeit stellt Funke [38] fest, dass es „bis heute [...] kein umfassendes, allgemein anerkanntes Konzept“ der Gerechtigkeit gibt, obwohl darüber schon seit Jahrtausenden diskutiert wird. Für diese Arbeit ist der wissenschaftliche Zugang zur Gerechtigkeit relevant. Dafür wird in Kürze die geschichtsphilosophische Entwicklung des Begriffes dargestellt. Im weiteren Verlauf werden besonders relevan-

te Teilaspekte der Gerechtigkeit, die globale Verteilungsgerechtigkeit und die Klimagerechtigkeit, genauer erläutert. Persönliche Gerechtigkeitsempfinden oder die Gerechtigkeit als Tugend spielen im weiteren Verlauf keine Rolle.

Schon die Menschen in der Antike haben sich umfassende und grundlegende Gedanken zur Gerechtigkeit gemacht. So war für Platon Gerechtigkeit die Tugend, welche die drei verschiedenen Gesellschaftsteile (Denken, Bedürfnis, Ehre) zusammenfügt [38]. Ulpian, ein römischer Rechtsgelehrter, definiert die Gerechtigkeit als „der feste und dauernde Wille, jedem sein Recht zuzuteilen“ [94]. Dies entspricht dem im Volksmund geläufigen „jeder, was sie verdient“. In der Neuzeit formulierte unter anderem Kant den Gedanken der institutionellen Gerechtigkeit. Dabei wird der Anspruch an eine gerechte Handlungsweise vom Individuum auf staatliche Institutionen übertragen. [43]

Heute geht es in Diskussionen um die Gerechtigkeit vor allem um Verfahrensregeln ohne einen Appell an die persönliche Tugend. Dominiert wird diese Diskussion dabei vor allem durch das Grundlagenwerk „A Theory of Justice“ von Rawls [85], das 1971 das erste Mal erschien. Darin wird der Ansatz des Differenzprinzips postuliert welches den „Schleier des Nichtwissens“ als Voraussetzung hat. Dabei wird angenommen, dass keine von ihrem sozialen Status und von ihren Fähigkeiten und Ressourcen weiß, sie sich also unter dem Schleier des Nichtwissens befindet, und dass in diesem Zustand ein Konsens über institutionelle Regeln getroffen wird. Der Schleier des Nichtwissens ist somit Grundannahme für Rawls Gerechtigkeitstheorie. Das Ergebnis des Konsenses ist das Differenzprinzip. Ein Prinzip, das vorschreibt, dass das schwächste soziale Segment einer Gesellschaft den größtmöglichen Vorteil aus einer Verteilung von Vermögen haben sollte. Vereinfacht kann das Differenzprinzip in einem zweiachsigen Diagramm, wie in Abbildung 2-1, dargestellt werden.

x_2 (2. Gesellschaftssegment)

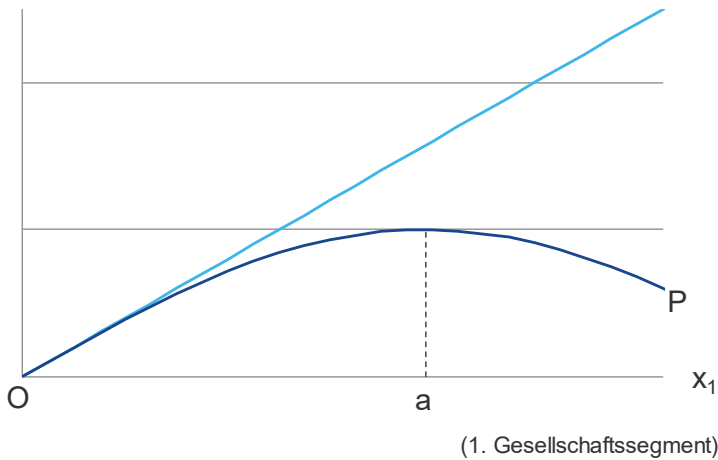


Abbildung 2-1: Darstellung des Differenzprinzips nach Rawls (Darstellung basierend auf [85])

Die zwei Achsen in Abbildung 2-1 bilden eine Gerechtigkeitsgesellschaft mit zwei Segmenten ab. Das vom Vermögen her besser gestellte Segment wird durch die x_1 -Achse und das schlechter gestellte Segment durch die x_2 -Achse dargestellt. Die diagonale hellblaue Gerade, die dem Ursprungspunkt O entspringt, entspricht einer theoretischen und absoluten Gleichverteilung des Vermögens zwischen den zwei Gesellschaftssegmenten über die Zeit hinweg. Steigt die Höhe des Vermögens eines Segments, so steigt für das andere Segment das Vermögen im gleichen Verhältnis. Die Parabel OP stellt den Beitrag zum Vermögen von x_2 dar, der durch die Vermögensverbesserung von x_1 entsteht. Auf dem Scheitelpunkt a dieser Parabel ist, entsprechend dem Differenzprinzip, ein absolut gerechter (englisch: perfectly just) Zustand erreicht. Dabei liegt der bestmögliche Verteilungszustand des Vermögens für das schwächste Gesellschaftssegment vor. Links vom Punkt a liegt auf der Kurve OP der relativ gerechte (engl.: just throughout) Bereich, bei dem jeder Vermögenszuwachs bei x_1 auch ein, etwas geringerer, Vermögenszuwachs für x_2 bedeutet. Jede Verteilung, die rechts vom Punkt a zu verorten ist, ist als ungerecht (engl.: unjust) zu bezeichnen, da eine Zunahme beim Vermögen von

x_1 eine Reduktion des Vermögens von x_2 zur Folge hat. Übertragen auf eine Gesellschaft mit mehr als zwei Segmenten lässt sich sagen, dass für Rawls eine gewisse Ungleichverteilung, die den besten Zustand für die Schwächsten darstellt, durchaus legitim und gerecht ist.

Ein weiterer Gerechtigkeitsansatz wird im Brundtlandbericht „Our Common Future“ formuliert. Der Bericht definiert den Begriff der Nachhaltigen Entwicklung dadurch, dass Entwicklung die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigen soll, „ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“ [12] Die zwei Perspektiven, die durch dieses Zitat beschrieben werden, sind auch als „intergenerative Gerechtigkeit“, für die Beziehung zwischen den Generationen, und „intragenerative“ Gerechtigkeit, für die Beziehung innerhalb einer Generation, bekannt.

Hahn formuliert in [45] einen weiteren Gedanken im Rahmen der Gerechtigkeitsdiskussion, der für diese Arbeit eine wichtige Rolle spielt. So ist grundsätzlich zu klären, was bezweckt werden soll, wenn ein Zustand als gerecht oder ungerecht bezeichnet wird. Sollen daraus „nur“ moralische Pflichten abgeleitet werden oder aber führt ein als ungerecht definierter Zustand zu Gerechtigkeitspflichten, die eine Sanktionierung durch Dritte rechtfertigen würde?

Die Gerechtigkeit ist nach Hahn [45] auf zwischenmenschliche, soziale Beziehungen bezogen und will unter anderem folgende Fragen: „Wie viel Gerechtigkeit ist man mir schuldig und wie viel schulde ich anderen?“, beantworten. Spezialfälle stellen die intergenerationelle Gerechtigkeit dar, in der es um die Gerechtigkeitsbeziehung zwischen jetzigen und zukünftigen, also noch nicht existierenden Menschen geht und die Gerechtigkeit zwischen Menschen und nicht-menschlichen Subjekten, wie der Natur bzw. Tieren. Dementsprechend unterteilt Hahn in [45] die soziale Gerechtigkeit, entsprechend unterschiedlicher menschlicher Beziehungsformen, in sechs Grundformen:

1. Verteilungsgerechtigkeit: Kooperationsverhältnisse
2. Tauschgerechtigkeit: Wirtschaftsbeziehungen
3. Politische Gerechtigkeit: Herrschaftsverhältnisse
4. Strafgerechtigkeit: Rechtsverhältnisse
5. Generationengerechtigkeit: intergenerative Abhängigkeiten
6. Internationale Gerechtigkeit: internationale Beziehungen

Aus diesen sechs Gerechtigkeitsgrundformen sind die Verteilungsgerechtigkeit und die internationale Gerechtigkeit hauptsächlich für diese Arbeit relevant. Die Tauschgerechtigkeit wird im weiteren Verlauf als Teil der Verteilungsgerechtigkeit verstanden. Das Thema der Generationengerechtigkeit hingegen wird in Ansätzen implizit in der Diskussion über die Klimagerechtigkeit mitgedacht, da der Klimawandel sich über Generationen erstreckt.

Die Verteilungsgerechtigkeit ist relevant, da die Herstellung eines Produktes in den meisten Fällen in einem Kooperationsverhältnis über eine Wertschöpfungskette hinweg geschieht [83]. Außerdem spielt die internationale Gerechtigkeit eine Rolle, da die Kooperationsverhältnisse über die Wertschöpfungskette des Produktes häufig einen internationalen Charakter haben. So machen aktuell internationale Wertschöpfungsketten, laut [77; 110], rund 70 % des Welthandels aus. Im Folgenden wird dementsprechend detaillierter auf die globale Verteilungsgerechtigkeit eingegangen. Außerdem wird das Thema der Klimagerechtigkeit näher betrachtet, da dieses Themenfeld ein aktuelles globales Umweltproblem anspricht und in den entsprechenden Diskussionen Ansätze zu finden sind, die sich auf die Ökobilanz übertragen lassen.

2.1.1 Globale Verteilungsgerechtigkeit

Die oben angesprochene internationale Gerechtigkeit bezieht sich auf Beziehungen zwischen einzelnen oder auch mehreren Staaten. Dieses Verständnis wird durch die Hinwendung zu einer globalen Gerechtigkeit erweitert, die alle Menschen in allen Territorien der Welt umfasst. Diese globale Gerechtigkeit wird wiederum im Kontext von Verteilungsfragen diskutiert.

Die Grundfrage der globalen Verteilungsgerechtigkeit beschäftigt sich damit, ob und wie die Menschen auf dieser Welt miteinander in einer Beziehung stehen und ob dadurch gegenseitige Gerechtigkeitspflichten in der Verteilung von Wohlstand entstehen [11]. Zur Klärung dieser Frage gibt es zwei grundsätzliche Denkrichtungen: die kosmopolitischen Theorien, basierend auf einer universellen Gerechtigkeitsintuition, die eine globale Gerechtigkeitsordnung anstreben und die partikularen Gerechtigkeitsauffassungen, basierend auf einer assoziativen Gerechtigkeitsintuition, die nur innerhalb von nationalen oder staatlichen Verbänden Gerechtigkeitsforderungen gelten lassen [45].

Rawls Ausführungen [85] lassen sich der partikularen Gerechtigkeitsauffassung zuordnen, da er diese für einen klassischen Nationalstaat entwickelt hat. Auf internationaler Ebene formuliert Rawls für die einzelnen Nationen den Anspruch, dass diese „well ordered peoples“, also ordentliche Völker [84], sein sollen, woraus sich aber keine Gerechtigkeitspflichten gegenüber anderen Nationen ableiten. Aus dem Differenzprinzip lassen sich jedoch Grenzen für diejenigen ableiten, die mit ihren Fähigkeiten und Ressourcen einen Gewinn erzielen. Denn jede Form der Verteilung muss dem schwächsten Gesellschaftssegment gegenüber begründbar sein und kann nicht allein aus Effizienzgründen geschehen. Weitere Vertreter der partikularen Gerechtigkeitsauffassung argumentieren, wie zum Beispiel Barry [4], dass ein Handel zwischen Ländern an sich nicht genügt, um daraus eine relevante Kooperationsgemeinschaft zu bilden. Für ihn gibt es einen Unterschied zwischen Handelspartnern und Bürgern eines Landes. Auch sei die Globale Gerechtigkeit laut Miller [72] zu abstrakt und zu weit entfernt von nationalen, kulturellen und gesellschaftlichen Kontexten, um relevant für die Verteilungsgerechtigkeit zu sein. Grundsätzlich gilt für die partikulare Gerechtigkeitsauffassung, dass globale Gerechtigkeit nur in einem institutionellen Kontext gefordert werden kann. Welcher das auf globaler Ebene ist und welchen Anforderungen er entsprechen sollte, ist weiterhin ein offener Streitpunkt.

Die kosmopolitische Gerechtigkeitsauffassung hingegen sieht die globale Gerechtigkeit als eine Notwendigkeit, da in der heutigen globalisierten Welt Grundstrukturen kooperativer Abhängigkeiten ersichtlich sind. Nach Moellendorf [73] entspricht das globale Wirtschaftssystem den vier Kriterien einer Gerechtigkeitsgesellschaft, wobei die Gerechtigkeit auf globaler Ebene weniger egalitär als auf nationaler Ebene ist, außerdem sind Pflichten auf globaler Ebene weniger robust. Pogge [82] spricht über die globale Armut nicht nur als ein Problem dieser Welt, das humanitäre Pflichten nach sich zieht, sondern vom vielleicht größten Übel der Menschheit. Die Armut ist für ihn keine unerfüllte Erwartung an die Reichen, sondern eine Verletzung der Rechte der Armen auf Unversehrtheit. Somit besteht für alle Wohlhabenden die negative Pflicht, nicht zur Armut beizutragen.

Blake [11] fasst abschließend zusammen, dass es zwei Trends in der Diskussion um die globale Verteilungsgerechtigkeit gibt. Einerseits werden vermehrt empirische Studien durchgeführt, um die Datengrundlage für die verschiedenen Theorien

zu erweitern, andererseits findet eine Hinwendung zu spezifischeren Verteilungsthemen, wie die globale Umweltgerechtigkeit, statt.

2.1.2 Klimagerechtigkeit

In der Umweltgerechtigkeit (engl.: environmental justice) geht es um die gerechte Zuordnung von Verantwortung für Umweltschäden, aber auch um die Frage wer wie vielen Umweltlasten ausgesetzt ist [20]. Für das Umweltbundesamt fällt unter den Begriff Umweltgerechtigkeit die „Verteilung von Umweltbelastungen und -ressourcen sowie der gesundheitlichen Folgen“ [100]. Es kann zwischen lokal, regional oder global wirkenden Umweltbelastungen differenziert werden. Diese Umweltbelastungen haben dabei einen unterschiedlichen Wirkungszeitraum und unterschiedliche Akkumulationsgrade in der Umwelt.

Ein aktuelles Thema der Umweltgerechtigkeit, das Verteilungsgerechtigkeitsfragen aufwirft, ist der Klimawandel, der global über einen langen Zeitraum wirkt. Wie in [44] formuliert, ist dieser nicht mehr aufzuhalten, sondern es geht jetzt um die Verteilungs- bzw. um die Anerkennungsverhältnisse. Mit anderen Worten geht es um Gerechtigkeit im Angesicht des Klimawandels. Die sogenannte „Klimagerechtigkeit“ [56] soll dabei vor allem Verteilungsfragen bezogen auf die verbliebenen CO₂-Emissionsrechte oder Kompensationszahlungen für Klimaschäden beantworten.

In der Klimagerechtigkeit gibt es verschiedene Prinzipien der Verteilung [23]. Das Verursacherprinzip schreibt vor, dass „die Verursacher von Klimaschäden diese reparieren oder ausgleichen“ [42]. Das Nutznießerprinzip fasst das Verursacherprinzip etwas weiter und gibt all denjenigen eine Verantwortung für die Reparatur oder den Ausgleich von Klimaschäden, die von klimaschädlichen Aktivitäten profitiert haben [42]. Des Weiteren wird häufig eine Verteilung der Lasten des Klimawandels anhand der Fähigkeiten oder des Leistungsvermögens eines Landes diskutiert [56], wie es auch in den Klimakonventionen der UN formuliert ist [103].

Auf diesen Prinzipien aufbauend gibt es bereits Berechnungsansätze [28; 37], die eine gerechte Aufteilung der verbleibenden Emission auf die Länder dieser Erde quantifizieren und angeben, wie viel finanzielle Hilfe die einzelnen Länder für ihre Anpassungsanstrengungen erhalten sollten bzw. wie viel sie in einen globalen Fonds beitragen sollten. Grundlage der Berechnung in [28] und dem damit verbundenen Onlinerechner [25] sind verschiedene Faktoren [14], die im Verantwortungs-

und Fähigkeitsindex (engl.: responsibility and capacity index; RCI) zusammengefasst sind:

- Globales Temperaturziel: definiert die verfügbaren und zu verteilenden CO₂-Emissionsmengen (verfügbare Ziele: 1,5°C Erwärmung, mittlere/große Eintrittswahrscheinlichkeit; 2°C Erwärmung)
- Historische Verantwortung: kumulative Treibhausgase pro Land seit einem Referenzjahr (verfügbare Referenzjahre: 1850, 1950 oder 1990)
- Fähigkeit: Summe aller individuellen Einkommen mit optionaler Grundsicherungsgrenze von 7.500 US\$ pro Person und Jahr
- Gewichtung zwischen Verantwortung und Fähigkeit: frei wählbar zwischen 0 und 100 %

In den Standardeinstellungen (1,5°C Erwärmung, große Eintrittswahrscheinlichkeit; Referenzjahr 1950; Grundsicherung von 7.500 US\$; Gewichtung 50/50) müsste Deutschland im Jahr 2030 bei einer gerechten Verteilung der Lasten -883 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente „emittieren“, also entsprechend einbinden und der Atmosphäre entziehen [26]. Für Kenia beispielsweise wäre 2030 noch ein Kontingent von 79 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente verfügbar [27].

2.1.3 Zahlenmäßige Abbildung von Ungleichverteilung

Für eine zahlenmäßige Abbildung der Ungleichverteilung wird im weiteren Verlauf der Arbeit auf die Erkenntnisse aus [40; 59] zurückgegriffen. Darin wird eine länderspezifische Toleranz für die Unterschiede zwischen Gehältern von Spitzenmanagern und normalen Angestellten untersucht. Die Spanne bei den 40 betrachteten Ländern reicht dabei von einem Verhältnis von 2:1 bis zu 20:1. Die realen Gehaltsunterschiede von 16 Ländern wurden ausgewertet, den Toleranzen gegenübergestellt und es ergab sich eine Spanne der Gehaltsunterschiede von 28:1 in Polen bis zu 354:1 in den Vereinigten Staaten von Amerika. Die Studie kommt zum Schluss, dass es im Durchschnitt ein ideales Verteilungsverhältnis von Gehältern gibt, das bei rund 7:1 liegt, in der Annahme, dass das höhere Management mehr Verantwortung trägt und mehr leisten muss. Außerdem stellt die Studie fest, dass die erfassten Gehaltsgefüge weit über dem als gerecht empfundenen Verhältnis liegen.

Dieses Verhältnis von 7:1 gibt in dieser Arbeit die Größenordnung vor, in deren Rahmen Unterschiede, in Abhängigkeit von Fähigkeit und Verantwortung, noch als akzeptabel betrachtet werden können.

2.2 Ökologisch ungleicher Austausch (EUE)

Eine Betrachtung von Gerechtigkeitsthemen im Zusammenhang mit globalen Handels- und Masseströmen, so wie es in der vorliegenden Arbeit vorgesehen ist, findet in der Theorie des „Ecologically Unequal Exchange“ (EUE), frei übersetzt als der ökologisch ungleiche Austausch, ihr Vorbild. Die Grundhypothese ist, dass ein ungleicher oder asymmetrischer Austausch von Energie und Masse zwischen den hochentwickelten Ländern (Kern) und dem Rest der Welt (Peripherie) stattfindet [79]. Die hoch entwickelten Länder, manchmal auch globaler Norden genannt, umfassen dabei üblicherweise die Regionen Nordamerika und Europa, sowie die Länder Japan, Südkorea, Australien und Neuseeland, wie die schwarzblau gekennzeichneten Bereiche in Abbildung 2-2 zeigen.

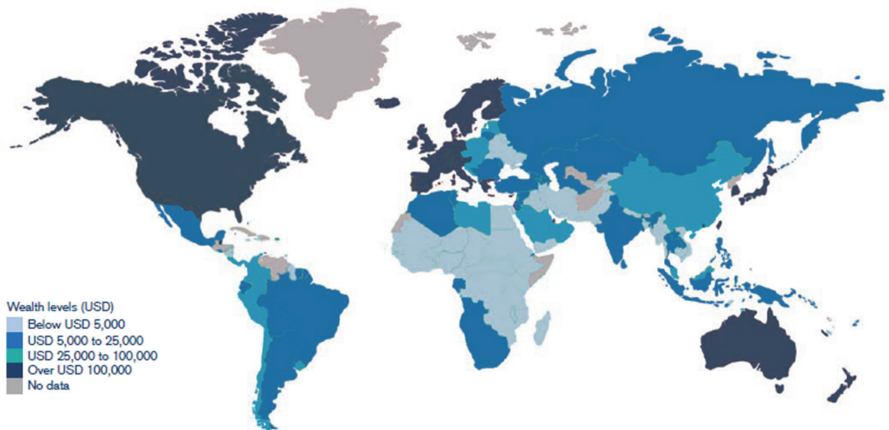


Abbildung 2-2: Globale Verteilung von Vermögen 2018 zur Unterscheidung des Kerns und der Peripherie aus [18]

Der ungleiche Austausch von Energie und Masse zwischen dem Kern und der Peripherie bedeutet, dass im weltweiten Handel netto gesehen mehr Energie und

Masse aus der Peripherie in die Kernländer fließt, was die Länder in der Peripherie in ihren Entwicklungsmöglichkeiten beeinträchtigt und im Gegenzug die Kernländer bevorzugt. Um dies zu betrachten, werden der Arbeitsaufwand zur Herstellung von Produkten und die damit verknüpfte Verwendung von Energie und Masse quantifiziert.

Basierend auf dieser Grundhypothese können verschiedene Methoden oder auch globale Handelsstatistiken für die Quantifizierung der Energie- und Massenflüsse zwischen dem Kern und der Peripherie verwendet werden [51]. So nutzt [81] die Materialflussanalyse (MFA) um eine Massenbilanz über Im- und Exporte aufzustellen. Auch können verschiedene Fußabdruckberechnungen für den Nachweis des EUE angewandt werden, wie zum Beispiel der ökologische Fußabdruck [61]. Für die Bewertung des EUE mehrerer Regionen hat [74] die multiregionale Input-/Outputanalyse (MRIO) eingesetzt. Außerdem kann der Indikator „Human appropriation of net primary production“ (HANPP) [34; 65], der ein Abbild des gesellschaftlichen Metabolismus ist, verwendet werden, um das Maß des ökologisch ungleichen Austausches zu quantifizieren.

Oulu [78] verwendet einen Ansatz, der auf der Methode der Ökobilanz (s. Ziffer 2.3) basiert, um den EUE empirisch nachzuweisen. Dafür wird der Handel zwischen Kenia, einem Land in der Peripherie, und den Niederlanden, das der ersten Welt zuzuordnen ist, anhand der Produkte Rosen, Kaffee und Käse betrachtet. Für die Einzelprodukte wird jeweils eine separate Ökobilanz durchgeführt oder bereits bestehende Ökobilanzen als Datengrundlage herangezogen. Die Normierung der Ökobilanzergebnisse geschieht über den gehandelten Warenwert, basierend auf Angaben aus der UN-Handelsdatenbank COMTRADE [101]. Ziel ist die Darstellung des Austausches zwischen kenianischen Ressourcen, die in den Rosen bzw. im Kaffee enthalten sind und den niederländischen Ressourcen, die im Käse enthalten sind.

Im Ergebnis lässt sich beim Austausch zwischen kenianischem Kaffee und niederländischen Käse erkennen, dass in allen Kategorien (Land, Wasser, Energie und Arbeit) mehr Ressourcen von Kenia in die Niederlande pro Dollar ausgetauschtem Produkt übergehen, was die Hypothese des ungleichen Austausches eindeutig bestätigt. Das Ergebnis für den Austausch zwischen kenianischen Rosen und niederländischem Käse ist nicht so eindeutig, da dort mehr Ressourcen in den Kategorien Land, Wasser und Energie aus den Niederlanden nach Kenia geht. Der große

Unterschied beim Tageslohn (Kenia: ~1\$, Niederlande: 93\$) erklärt diese Handelskonstellation, da mehr von der Ressource Arbeit aus Kenia in die Niederlande geht und dies vermutlich aus ökonomischen Gründen Sinn macht. Wird die Gesamtmassenbilanz betrachtet, so gehen bei beiden Produktpaarungen mehr Masse pro Dollar aus Kenia in die Niederlande und zeigt den ungleichen Austausch zwischen Peripherie und Kern.

Zusammenfassend stellt Oulu [78] fest, dass die Ökobilanz grundsätzlich geeignet ist, den EUE nachzuweisen. Als bestes Kriterium für die Darstellung des ungleichen Austausches identifiziert er dabei die Masse an enthaltenen biophysikalischen Ressourcen pro Dollar.

2.3 Grundlagen der Ökobilanz

Die Ökobilanz (engl.: life cycle assessment; LCA) ist eine in DIN EN ISO 14040 [21] und DIN EN ISO 14044 [22] genormte Methode, die die Umweltwirkungen eines Produktes über dessen gesamten Lebenszyklus bilanziert. Weitere Grundlagen zur Ökobilanz wurden durch das Joint Research Center der europäischen Kommission im ILCD-Handbuch zusammengefasst [52].

Ziel der Methode ist es, Entscheidungsträgerinnen eine erweiterte Informationsgrundlage zu liefern, indem die Umweltwirkungen aller Lebenszyklusabschnitte – Herstellung, Nutzung und Lebensende – erfasst und mögliche Verbesserungspotentiale oder auch Verlagerungen zwischen den Abschnitten (engl.: shift of burden) aufgezeigt werden. Die Methode der Ökobilanz bewegt sich dabei als Werkzeug zur Produktbewertung zwischen gesellschaftlichen und produktions- bzw. firmenspezifischen Anforderungen und Zielen, wie in Abbildung 2-3 dargestellt ist. Die Ökobilanz kann dabei unter anderem für die Zieldefinition im Rahmen einer Firmenstrategie oder für die Überprüfung des Zielerreichungsgrades bei der konkreten Umsetzung der Ziele eingesetzt werden. Dafür werden Daten aus den Produktionsabläufen verwendet. Ergebnisse, die sich aufgrund der gesetzten Ziele aus der Ökobilanz ableiten, können auch zu Änderungen in den Produktionsabläufen führen.

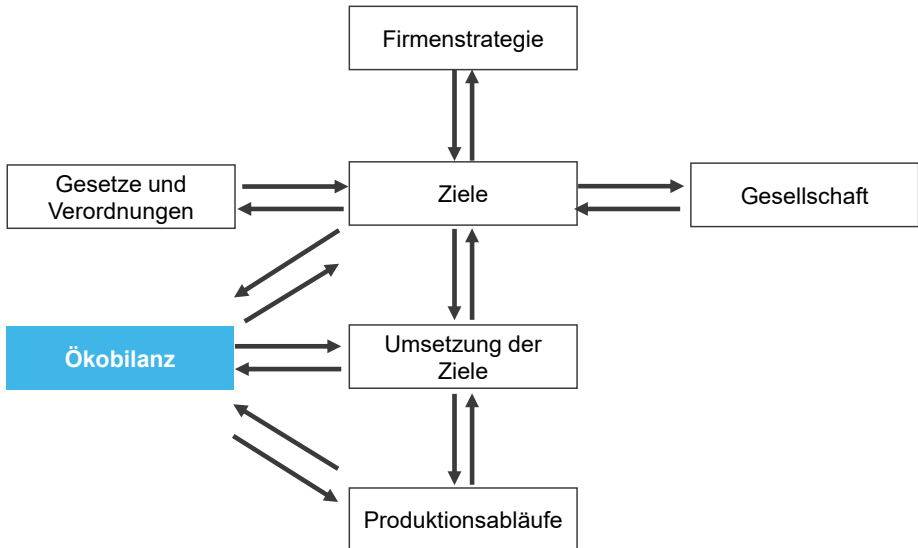


Abbildung 2-3: Einbettung der Ökobilanz in den gesellschaftlichen Kontext (Darstellung basierend auf [2])

Eine Ökobilanz besteht aus vier Abschnitten: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens (engl.: goal and scope; G&S), Sachbilanz (engl.: life cycle inventory; LCI), Wirkungsabschätzung (engl.: life cycle impact assessment; LCIA) und Auswertung. Um eine normengerechte Ökobilanz durchzuführen, müssen alle vier Abschnitte adressiert werden.

Über den Lebenszyklus hinweg werden die ein- und ausgehenden Massen- und Energieflüsse (engl.: Inputs und Outputs) in der Sachbilanz zusammengestellt. Elementarflüsse, die die Systemgrenze überschreiten und in der Umwelt landen, werden in der Wirkungsabschätzung klassifiziert und charakterisiert. Sie decken über verschiedene Wirkungsindikatoren unterschiedliche Umweltwirkungen ab. All das geschieht aus der Produktsicht, da alle Berechnungen auf den quantifizierten Nutzen des Produktes, die funktionelle Einheit, bezogen sind. Abbildung 2-4 fasst die verschiedenen Elemente einer Ökobilanz grafisch zusammen.

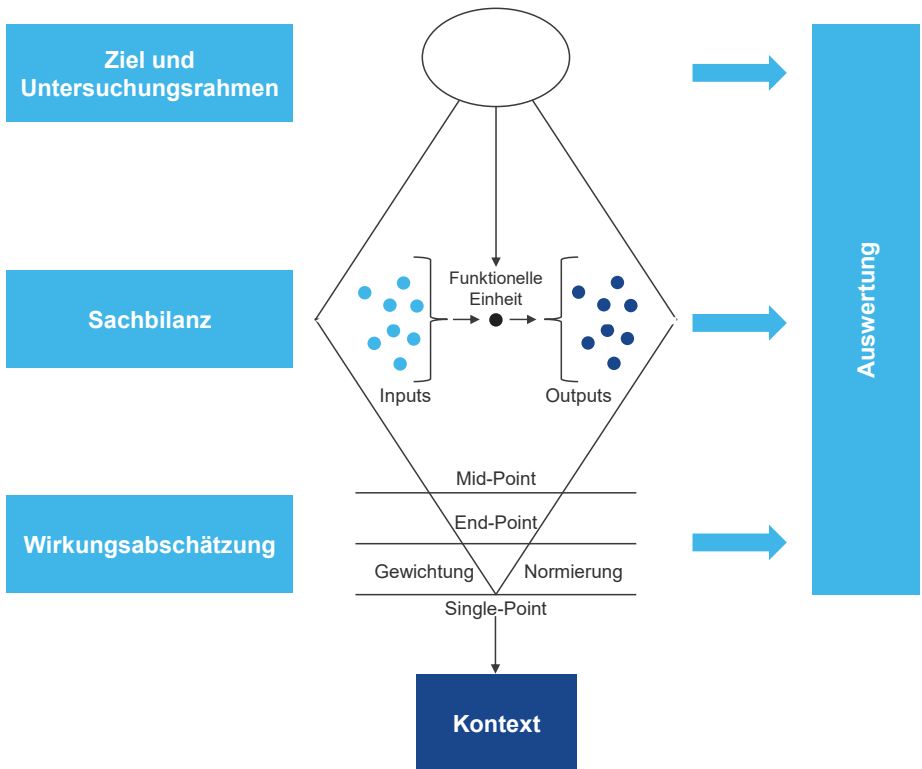


Abbildung 2-4: Übersicht über die Methode der Ökobilanz und ihrer wichtigsten Elemente

Ökobilanzierungen werden aktuell mit Hilfe von verschiedenen Software- und Datenbanksystemen durchgeführt. In dieser Arbeit wird auf das Software- und Datenbanksystem GaBi ts [39] zurückgegriffen. Die darin erstellten Berechnungsmodelle lassen sich gliedern in Pläne, die mehrere Prozesse oder Pläne beinhalten und Gesamtprodukte abbilden können, Prozesse, die auf einem Plan die Einzelschritte zur Herstellung, Nutzung oder Entsorgung eines Produktes beschreiben und Flüsse, die die Prozesse und Pläne verbinden. Die Ökobilanz quantifiziert Umweltwirkungen über den Lebenszyklus, die in Ausnahmefällen auch kleiner 0 sein können. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung werden als Wirkpotentiale in einer Wirkungskategorie (engl.: Mid-point) oder als Wirkpotentiale direkt am Schutzgut

(engl.: End-point) ausgedrückt werden. Der Unterschied liegt in der Tiefe, in der Wirkungszusammenhänge untersucht werden. Ergebnisse der Wirkungsabschätzung können anschließend durch eine Normierung in einen größeren Kontext, zum Beispiel in Bezug zu nationalen oder globalen Gesamtwirkungen, gesetzt werden. Die Berechnung der Größenordnung der Wirkungsindikatoren geschieht dabei in Bezug auf eine Referenzinformation. Des Weiteren kann die Wirkungsabschätzung auch in einem gewichteten (engl.: weighting), aggregierten Summenwert ausgegeben werden (engl.: Single-point), was die Ergebnisse einfacher zu fassen, aber auch die Hintergründe durch die starke Zusammenfassung unkenntlich macht [62].

2.4 Wertschöpfung auf Prozessebene

Die Wertschöpfung auf Prozessebene lässt sich, basierend auf der LCWE-Methode (engl.: Life Cycle Working Environment), aus der Ökobilanz ableiten. Im Folgenden wird auf die Grundlagen der LCWE-Methode und auf die Berechnung der Wertschöpfung pro Prozessschritt eingegangen.

2.4.1 Grundlagen der LCWE-Methode

Die Ökobilanz analysiert die Umweltwirkungen von Produkten. Für eine Bewertung von sozialen und sozio-ökonomischen Auswirkungen über den Lebenszyklus von Produkten wurden bereits verschiedene Ansätze unter dem Sammelbegriff der sozialen Ökobilanz (engl.: social life cycle assessment, S-LCA) entwickelt [8; 55; 71]. Die verschiedenen Methoden befassen sich dabei direkt mit den sozialen Auswirkungen von Produkten oder etwas übergeordneter, mit sozialen Problemfeldern (engl.: hotspots). Sie betrachten Auswirkungen von Änderungen im Lebenszyklus oder prüfen den Beteiligungsgrad relevanter Interessenvertreterinnen [53]. Bei der Bewertung der sozialen Auswirkungen von Produkten werden verschiedene qualitative oder quantitative Indikatoren verwendet, wie z.B. die Anzahl der tödlichen Unfälle pro funktionelle Einheit. Der Ansatz der lebenszyklusbezogenen Arbeitsplatzbewertung (engl.: Life Cycle Working Environment, LCWE) [5] ist ein quantitativer Ansatz innerhalb der S-LCA, der auf den Massen- und Energieflüssen aus den zugehörigen Ökobilanzmodellen basiert. Ergebnisse der LCWE sind soziale Profile von Produkten.

Um diese Profile zu berechnen, werden zwei Kernelemente benötigt: die Wertschöpfung, bezogen auf die jeweiligen Prozesse und das damit verknüpfte Sozialprofil. Statistische Daten für die Kosten und Kostenstrukturen der verschiedenen

Industriesektoren stammen von der europäischen Statistikbehörde EUROSTAT [31], die die statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft (NACE) verwendet. Auch können Primärdaten verwendet werden, die die Kostenstrukturen der jeweiligen Flüsse spezifisch beschreiben. Eine Kombination der Primärdaten mit den statistischen Grunddaten ist möglich. Aus der Kostenstruktur der Flüsse lässt sich anschließend die Wertschöpfung der Prozesse, die als Kostendifferenz zwischen Input- und Outputflüssen definiert ist, pro Einzelprozess berechnen. Die prozessspezifische Wertschöpfung dient dann als Allokationsschlüssel für die Zuweisung einer sozialen Wirkung pro Prozess basierend auf bestehenden Sozialprofilen.

2.4.2 Berechnung der prozessspezifischen Wertschöpfung

Abbildung 2-5 zeigt das grundsätzliche Vorgehen bei der Berechnung der prozessspezifischen Wertschöpfung anhand eines vereinfachten Modells der Stahlherstellung.



Abbildung 2-5: Beispiel für die prozessspezifische Wertschöpfungsberechnung (Darstellung basierend auf [88])

Der eingehende Massenfluss „Eisenerz“ trägt Kosten in Höhe von 0,08 €/kg und der ausgehende Massenfluss „Stahl“ Kosten in Höhe von 0,58 €/kg. Für den Prozess „Stahlherstellung“ ergibt sich entsprechend der gegebenen Definition eine prozessspezifische Wertschöpfung von 0,50 €/kg.

Für die Berechnung eines umfangreicheren Produktmodelles sind folgende Schritte notwendig:

1. Extraktion aller Flüsse aus dem Ökobilanzmodell
2. Zuweisung der Flüsse zu den entsprechenden Industriesektoren und ihren Kostenstrukturen bzw. Zuordnung zu spezifischen Kosten basierend auf Primärdaten
3. Prozess- und planspezifische Aggregation der Flüsse und Berechnung der Wertschöpfung

Die aus dem GaBi-Modell extrahierten Flüsse werden in einer Tabelle abgelegt. Anschließend wird jeder Fluss über eine Zuordnung zu dem passenden Industriesektor mit einer entsprechenden Industriekennnummer (CN-Nummer; engl.: combined nomenclature) klassifiziert. Mit dieser CN-Nummer ist über die europäische Nomenklaturdatenbank RAMON [32] auch eine Verbindung zum NACE-System der EU gegeben. Damit wird eine Verknüpfung zwischen dem Fluss mit seiner Masse und dem entsprechenden Preis pro Masse hergestellt, woraus sich die Kosten für den spezifischen Fluss ableiten lassen. Für Standardflüsse aus der GaBi-Software besteht bereits eine entsprechende Zuordnungsdatenbank [50]. Das Vorgehen ist in Abbildung 2-6 zusammengefasst.

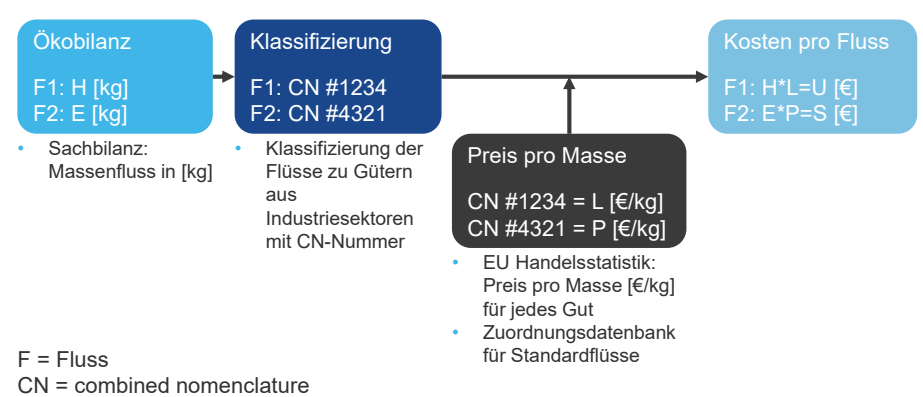


Abbildung 2-6: Zuordnung der Flüsse zu ihren Kosten über die entsprechenden CN-Nummern (Darstellung basierend auf [63])

Nachdem für jeden Fluss seine spezifischen Kosten berechnet wurden, kann eine Aggregation auf Prozess- und Planebene erfolgen und die Wertschöpfung pro Prozess und Plan berechnet werden. Für Prozesse geschieht dies über die Differenz zwischen der Summe aller Input- und aller Output-Kosten der Flüsse. Auf Planebene gilt das gleiche Prinzip basierend auf den Input- und Output-Kosten der im Plan zusammengefassten Prozesse. Die Prozesse und Pläne können im Ökobilanzmodell mit Länderzuordnung modelliert werden und ermöglichen so im weiteren Verlauf eine länderspezifische Zuordnung der Wertschöpfung. Ein entsprechender Algorithmus für die Berechnung steht bereits zur Verfügung [49]. Abbildung 2-7 fasst die Ableitung der Wertschöpfung und die Aggregation auf Prozess- und Planebene zusammen.

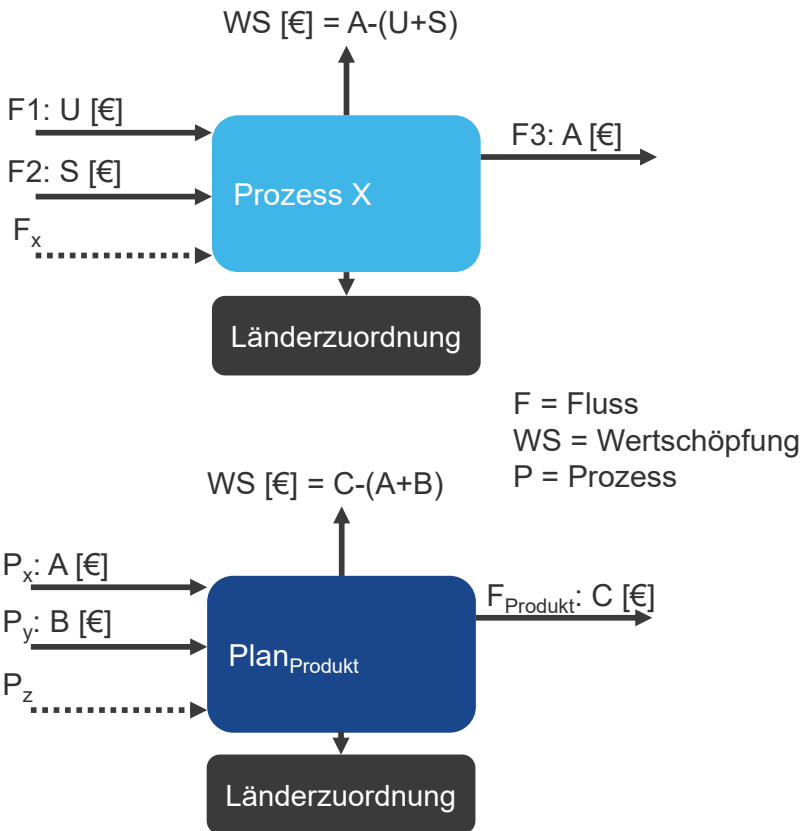


Abbildung 2-7: Berechnung und Aggregation der Wertschöpfung auf Prozess- und Planebene (Darstellung basierend auf [63])

2.5 Wertedebatte in der Ökobilanz

Bei der Definition der Ökobilanz in den entsprechenden Normen, wurde die Methode immer wieder kritisch hinsichtlich ihrer Anwendung, der Ergebnisinterpretation und den dahinter liegenden Wertevorstellungen diskutiert [36]. So schlugen Volkwein et al. [109] bereits 1996 vor, sich bei der Bewertung der Ökobilanzergebnisse an internationalen Abkommen, wie zum Beispiel den Menschenrechten, zu orientieren. Finnveden [33] hebt hervor, dass immer Wertevorstellungen hinter der Ge-

wichtung von Ökobilanzergebnissen liegen und eine Offenlegung dieser verborgenen Wertvorstellungen Diskussionen darüber ermöglichen und die Transparenz der Ökobilanz erhöhen würden. Die Einbettung der Ökobilanz als Methode in der Techno- und Ökosphäre, aber auch in einer Werte-Sphäre (engl.: value sphere) wird in [48] beschrieben. Die Integration von Werten des Entscheidungsträgers, also subjektiver Elemente, wird dabei anhand von drei Ausprägungen der Kulturtheorie – egalitär, individualistisch und hierarchisch – allgemein eingeführt. Auch [91] plädiert für die Offenlegung der Wertegrundlage für Entscheidungen in der Ökobilanz zur Erhöhung der Konsistenz und Transparenz. Des Weiteren wird festgestellt, dass die Ökobilanz, ähnlich wie die Friedensforschung, auch auf einen definierten, in diesem Fall umweltfreundlicheren, Zustand hinarbeitet und dementsprechende Werte die Grundlage dieser Methode bilden. Zwei Grundlagen werden in [91] dargelegt, die für den weiteren Verlauf dieser Arbeit interessant sind. So wird als erstes zwischen Daten, Theorien und Werten unterschieden. Daten unterteilen die Welt in messbare und nicht messbare Objekte, Theorien schaffen eine Unterscheidung zwischen vorhersehbaren und unvorhersehbaren Zuständen und Werte differenzieren zwischen akzeptablen und nicht akzeptablen Umständen. Als zweites wird eine Hierarchie der Werte basierend auf [90] vorgestellt, wie in Abbildung 2-8 abgebildet.

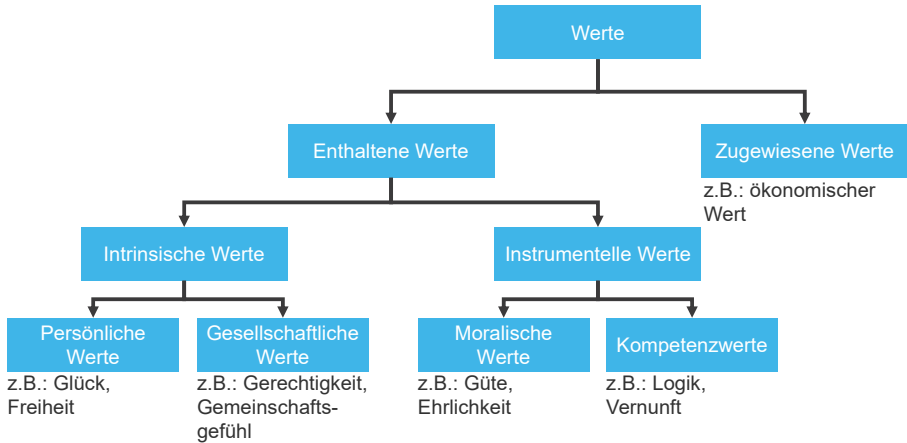


Abbildung 2-8: Hierarchie der Werte (Darstellung frei übersetzt nach [91])

Die „enthaltenen Werte“ sind Werte, die eine Person oder eine Gruppe für wertvoll erachten. „Zugewiesene Werte“ beziehen sich auf die Wichtigkeit eines Objektes, das ihm von außen zugeschrieben wird. „Intrinsische Werte“ sind aus sich selber heraus werthaltig, während „instrumentelle Werte“ der Erfüllung intrinsischer Werte dienen. Innerhalb intrinsischer Werte gibt es nochmals eine Unterscheidung zwischen persönlich und gesellschaftlich relevanten Werten. Die Gerechtigkeit ist entsprechend dieser Aufteilung ein gesellschaftlich intrinsischer Wert.

Diese Diskussionen kumulieren in Punkt 4.1.8 der Ökobilanznorm [21]. Durch die „Priorität des wissenschaftlichen Ansatzes“ wird definiert, dass in der Ökobilanz bei jeglichen Entscheidungen das Primat der „naturwissenschaftlichen Erkenntnisse“ gilt, diese aber durch andere wissenschaftliche Ansätze, Bezüge zu internationalen Übereinkommen und zuletzt Werthaltungen ersetzt werden können, wenn eine naturwissenschaftliche Begründung nicht möglich ist. Somit findet die Wertedebatte bereits in der Norm Beachtung.

Heute ist dieses Thema weiterhin aktuell. So fasst Freidberg [36] die Erkenntnisse aus 60 Interviews mit Anwenderinnen der Ökobilanz zu Wertefragen zusammen und kommt zu dem Schluss, dass es, basierend auf dem vorhandenen Wissen der Anwenderinnen, hilfreich sein kann, hinter dem Vorhang der vermeintlich objekti-

ven „naturwissenschaftlichen Erkenntnissen“ hervortreten und Entscheidungen in der Ökobilanz aufgrund persönlicher Werte zu begründen. Somit werden Ergebnisse mit unklaren Aussagen mit einer „Sichtweise aus einem bestimmten Blickwinkel“ (engl.: view from somewhere) betrachtet und bewertet, der ehrlicher ist, und nicht nur mit einer „Sichtweise aus dem Nichts“ (engl.: view from nowhere).

[16] ist der erste Teil einer zweiteiligen Arbeit. Darin wird festgestellt, dass Ungleichheit ein großes Problem ist, das auch in der S-LCA adressiert werden sollte. Der erste Teil evaluiert verschiedene Entwicklungsindizes und prüft deren Eignung als Referenz für die Zieldefinition eines gerechten Mindestlohnes. Es wird auch der Index der menschlichen Entwicklung (s. Ziffer 2.7) als Referenz für die Berechnung von Zielerreichungskriterien in Betracht gezogen, aber aufgrund fehlender Umweltinformationen wird der „Sustainable Society Index–Human Wellbeing“ [95] für die weitere Berechnung verwendet. Im zweiten Teil [17] wird ein gerechter Mindestlohn als Zielerreichungskriterium für die Implementierung in der S-LCA entwickelt.

Im Kontext der Ökobilanz werden die Differenztheorie von Rawls und der Brundtlandbericht (s. Ziffer 2.1) in [46] als normative Grundlagen diskutiert, die als ethische Werte der Makroebene auf die Ökobilanz wirken. An anderer Stelle wird von [112] hervorgehoben, dass das wichtigste normative Element der Ökobilanz die Gewichtung der Umweltwirkungen ist. Außerdem biete die Ökobilanz einen Raum, in dem normative Positionen klar und transparent eingebracht werden können, ohne dass diese selbst Teil der Ökobilanz wären.

2.6 Umweltintensität

Das Grundprinzip, ökologische und ökonomische Faktoren, also Umwelteinwirkungen mit einer monetären Einheit, in einen Zusammenhang zu stellen, um daraus Informationen für Entscheidungen abzuleiten, wurde in Form der Ökoeffizienz (engl.: eco-efficiency) in [19; 87; 108] entwickelt und schon vielfach diskutiert, weiterentwickelt und an Fallbeispielen und im Firmenkontext erprobt [6; 24; 29; 64; 98]. Die Ökoeffizienz setzt die Umweltwirkung und den Geldwert eines Produktes ins Verhältnis. Sie beschreibt die Effizienz, mit der Umweltressourcen eingesetzt werden, um menschliche Bedürfnisse zu befriedigen [75], und kann über den Quotienten in Formel 2.1 ausgedrückt werden [68]:

$$\text{Ökoeffizienz} = \frac{\text{Wert eines Produktes oder einer Dienstleistung}}{\text{Umweltwirkung}} \quad (2.1)$$

Hierbei ist die Umweltwirkung als Input in das System und der Wert eines Produktes oder einer Dienstleistung als Output des Systems zu sehen.

Die Umweltintensität ist der Kehrwert der Ökoeffizienz und beschreibt wie viel Umweltwirkung pro ökonomische Einheit entsteht. Ausführlich wird von Schmidt et al. in [89] ein Ansatz vorgestellt, der die Umweltintensität als Quotient vom kumulierten ökologischen Rucksack (LCIA Single-Point) zum Umsatz einer Firma definiert. Ziel des Ansatzes ist es, mittels der kumulierten Umweltintensitäten (engl.: cumulative eco-intensities; CEI) eine vertikale Vergleichbarkeit über die Wertschöpfungsketten von Produkten und eine horizontale Vergleichbarkeit zwischen Firmen herzustellen. Der CEI ordnet die Verantwortung für Umweltwirkungen basierend auf der ökonomischen Fähigkeit den Teilnehmerinnen der Lieferkette zu. Dem CEI liegt dabei das Kooperationsprinzip zugrunde.

In [111] wird die Umweltintensität hinsichtlich ihrer Eignung als Werkzeug für eine umweltökonomische Strukturanalyse einer Volkswirtschaft diskutiert. Hierfür wird ein Quotient aus dem kumulierten ökologischen Rucksack und dem Umsatz gebildet. Für die Betrachtung der Volkswirtschaft wird dabei auf die Sektorenunterteilung nach NACE zurückgegriffen.

2.7 Index der menschlichen Entwicklung (HDI)

Der Index der menschlichen Entwicklung (engl.: Human Development Index, HDI) der Vereinten Nationen (UN) bewertet Länder hinsichtlich ihres Entwicklungsstandes [86; 104; 107]. Dies geschieht über die Einbeziehung von drei verschiedenen Dimensionen: langes und gesundes Leben, Wissen und angemessener Lebensstandard. Die Verknüpfung dieser drei Dimensionen erweitert den Blick auf die Menschen und ihre Fähigkeiten und bewertet ein Land nicht allein basierend auf dessen wirtschaftlicher Leistungskraft. Der HDI ist dabei das geometrische Mittel der drei genormten Dimensionen, wie in Abbildung 2-9 dargestellt. Die UN berechnen den HDI jährlich für die Länder dieser Erde.

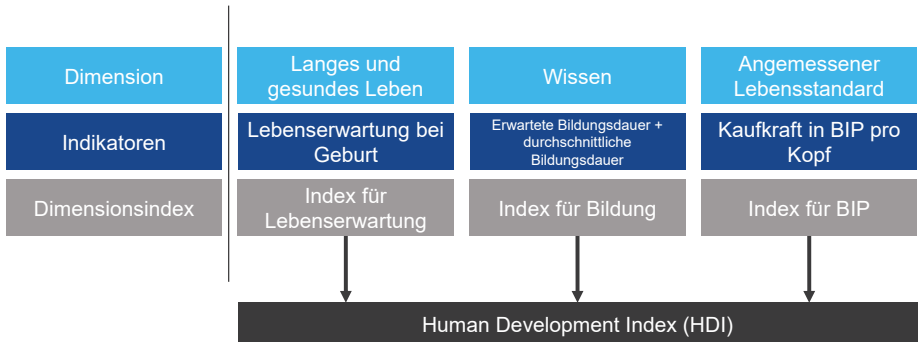


Abbildung 2-9: Elemente des Human Development Index (Darstellung basierend auf [104])

Mit der Wahl der drei Dimensionen fallen andere Aspekte wie zum Beispiel innerstaatliche Ungleichheit oder Armut aus dem Betrachtungsrahmen. Eine Erweiterung des HDIs um die innerstaatliche Ungleichheit führt zum Index „Inequality-adjusted Human Development Index“ (IHDI), der für 151 Länder dieser Erde berechnet wird [105]. Dabei wird für jede der drei Dimensionen ein Diskontierungsfaktor, basierend auf der für die jeweilige Dimension typischen Ungleichverteilung, eingeführt. Die Einbeziehung der innerstaatlichen Ungleichheit führt im Extremfall zu rund 45% Reduktion des HDI [106].

Entsprechend der UN Klassifizierung gelten alle Länder mit einem Wert $>0,8$ als sehr hoch entwickelte Länder, alle Länder zwischen $0,8$ und $0,7$ als hoch entwickelt und zwischen $0,7$ und $0,55$ als Länder mit mittlerer Entwicklung und alle Länder darunter haben eine geringe menschliche Entwicklung.

2.8 Bewertung des Wissenstandes

In den vorangegangenen Abschnitten wurde die Grundlage für die nun folgenden Ausführungen zur Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz gelegt. Dafür wurde herausgearbeitet, dass es global eine Ungleichverteilung (Ziffer 2.1.1) gibt und verschiedene Methoden, wie zum Beispiel der ökologisch ungleiche Austausch (Ziffer 2.2), diese quantifizieren. Bei Umweltproblemen, wie dem Klimawandel, wird eine Verteilung der Lasten vor allem anhand der Kriterien Verantwortung und Fähigkeit diskutiert (Ziffer 2.1.2). Die Ökobilanz wurde in ihren Grundla-

gen vorgestellt (Ziffer 2.3) und darüber hinaus Erweiterungen, wie die LCWE und die daraus abgeleitete prozessbasierte Wertschöpfung (Ziffer 2.4) beschrieben. Weiterführende Diskussionen innerhalb der Ökobilanzforschung bezüglich der Werte und auch erste Ansätze zur Integration von Verteilungsaspekten wurden dargestellt (Ziffer 2.5). Es wird immer wieder gefordert, die der Gewichtung von Ökobilanzergebnissen zugrundeliegenden Wertevorstellungen transparent zu machen. Bisher fehlt allerdings eine praktische Umsetzung normativer Werte in der Ökobilanz bezogen auf eine gerechte Verteilung der Umweltwirkungen, wie sie in den Wertedebatten gefordert wird. Auch wurden beispielsweise Rawls und der Brundtlandbericht als normative Grundlagen für die Gewichtung der Ökobilanz identifiziert. Des Weiteren wurde die Umweltintensität (Ziffer 2.6) als Quotient aus Umweltwirkung zu monetärer Einheit vorgestellt und der HDI bzw. IHDI als Indikator für den Entwicklungsstand einzelner Länder (Ziffer 2.7) eingeführt. Abbildung 2-10 fasst nochmals alle Elemente des Stand des Wissens zusammen.

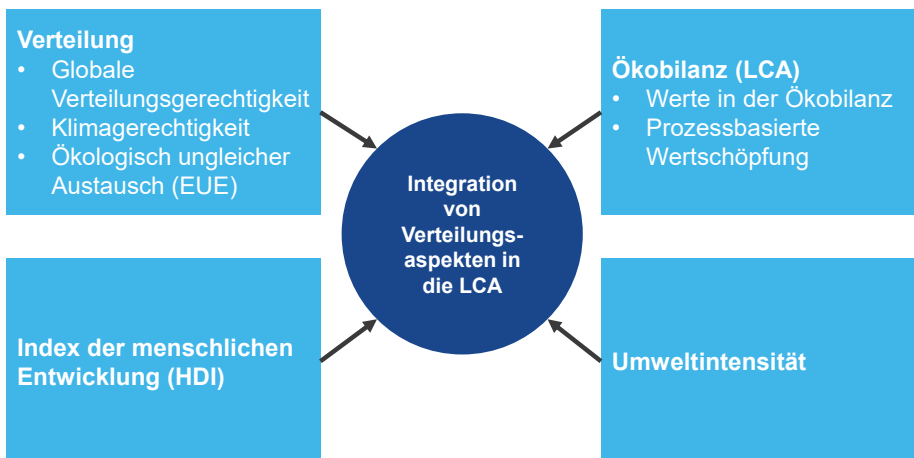


Abbildung 2-10: Grundlagen und Stand des Wissens als Fundament dieser Arbeit

Basierend auf dieser Zusammenfassung der Grundlagen lassen sich zwei Forschungslücken ableiten, die in dieser Arbeit adressiert werden sollen. Die erste ist die bisher fehlende praktische Umsetzung normativer Werte in der Ökobilanz bezogen auf eine gerechte Verteilung der Umweltwirkungen. Dabei steht vor allem

die Frage im Vordergrund, was eine gerechte Verteilung von Umweltwirkungen im Kontext der Ökobilanz ist und wie eine Verteilung quantifiziert werden kann. Die zweite Forschungslücke ist die fehlende empirische Grundlage für den Ansatz des ökologisch ungleichen Austausches (EUE). In dieser Arbeit soll durch die Verknüpfung von Verteilungsaspekten mit der Ökobilanz ein Weg bereitet werden, durch den die empirische Grundlage relativ einfach und effizient erweitert werden kann.

3 Forschungsfrage und Lösungsweg

Auf Basis der aufbereiteten Grundlagen und der bereits existierenden Ansätze in Ziffer 2, werden in diesem Abschnitt die eingangs (s. Ziffer 1.1) formulierten Fragen in die Forschungsfrage dieser Arbeit überführt. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wird ein Lösungsweg entwickelt. Die an den Lösungsweg gestellten Anforderungen werden im Folgenden ebenso weiter ausgeführt.

3.1 Forschungsfrage

Wie kann eine Ingenieurin mit ihrer Arbeit einen Beitrag zu einer gerechteren Welt leisten? Diese in Ziffer 1.1 gestellte Frage ist der Ausgangspunkt der nun folgenden Überlegungen. Die Arbeit einer Ingenieurin beinhaltet entsprechend der Definition in [10] die Bearbeitung technischer Probleme. Während der Bearbeitung müssen viele Entscheidungen getroffen werden, die weitreichende Folgen haben können. Um diese Entscheidungen im Sinne einer gerechteren Welt treffen zu können, werden relevante und belastbare Informationen, meist aber nicht-technischen Ursprungs, benötigt. Mit der Ökobilanz und deren Erweiterungen (s. Ziffer 2.3 und 2.4) existieren bereits etablierte Werkzeuge, die der Ingenieurin Informationen bereitstellen, die über die rein technischen Konsequenzen ihrer Entscheidungen hinausgehen.

Wenn eine Ingenieurin bereits zum Zeitpunkt der Entscheidungen, die sie für die Lösung technischer Probleme trifft, auf Informationen zu verteilungsrelevanten Auswirkungen dieser Entscheidungen zurückgreifen kann, so können diese Informationen in den Entscheidungsprozess mit einbezogen werden. Sind dabei diese Informationen bei der Entscheidungsfindung im Sinne einer gerechteren Verteilung berücksichtigt, so hat die Ingenieurin einen Beitrag zu einer gerechteren Welt geleistet. Diese Abfolge ist entsprechend in Abbildung 3-1 zusammengefasst.

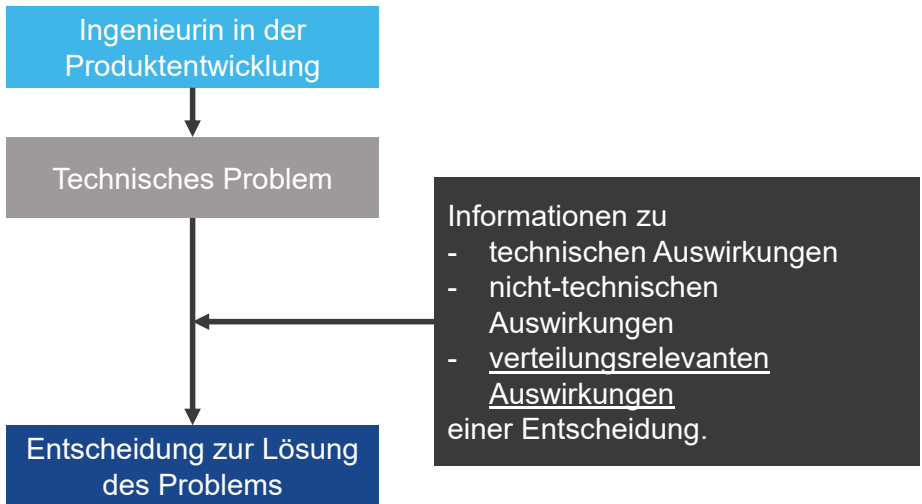


Abbildung 3-1: Einbettung von Informationen zu verteilungsrelevanten Auswirkungen im ingenieurtechnischen Entscheidungsprozess

Aus diesen Überlegungen heraus lässt sich folgende Forschungsfrage für diese Arbeit ableiten:

Wie können Aspekte zu Fragen der Verteilungsgerechtigkeit quantifiziert und in die ingenieurwissenschaftliche Bewertungsmethode der Ökobilanz integriert werden?

Diese Frage lässt sich in weitere Teilfragen gliedern:

- Wie eignet sich die Ökobilanz für eine Integration von Verteilungsaspekten? Welche Charakteristiken eignen sich, welche nicht und wie müssten diese angepasst werden?
- Was ist „gerecht“? Welche Verteilungsgerechtigkeitsaspekte werden für die Integration gewählt und warum?
- Wie lässt sich die Integration operationalisieren? Wie lassen sich die Ergebnisse interpretieren?

Die Beantwortung dieser Fragen ist das Ziel dieser Arbeit.

3.2 Anforderungen an den Lösungsweg

Bevor die Forschungsfrage beantwortet wird, muss definiert werden, was als Antwort gelten darf. Dafür werden einige Anforderungen an den Lösungsweg formuliert.

Kompatibilität zu bestehenden Methoden und Ansätzen

Der Lösungsweg muss methodisch und praktisch zu bestehenden Bewertungswerkzeugen passen, um eine durchgängige Anwendung zu ermöglichen. Die Kompatibilität kann über Schnittstellen oder parallele Grundstrukturen ermöglicht werden. Konkret sollte der Lösungsweg zur Methode der Ökobilanz und der prozessbasierten Wertschöpfung passen, die sich beide auf die funktionelle Einheit beziehen.

Außerdem soll der Lösungsweg gängigen Interpretationen der Verteilungsgerechtigkeitsdiskussion entsprechen, da das Ziel die Anwendung bestehender Gerechtigkeitstheorien und die Erweiterung deren empirischer Grundlagen ist und nicht die Entwicklung einer neuen Verteilungstheorie. Außerdem ermöglicht eine Anlehnung an bestehende Theorien eine solide Diskussionsgrundlage für die Interpretation der Ergebnisse.

Transparente und aktuelle Datengrundlage

Es bedarf einer transparenten und aktuellen Datenbasis, die adaptionsfähig ist, so dass berechnete Ergebnisse auf verlässlichen Daten basieren. Dafür bieten sich Daten an, die von öffentlichen Institutionen gepflegt und regelmäßig aktualisiert werden.

Überschaubare Berechnungsverfahren

Alle Berechnungen, die für den Lösungsweg erforderlich sind, müssen in einem begrenzten und mit üblichen Mitteln durchführbaren Rahmen gehalten werden, da die Interpretation und nicht die mathematische Berechnung im Vordergrund des Lösungsweges steht.

Klare Ergebnisdarstellung

Basierend auf den Berechnungen sollen die Ergebnisse in einer klaren und verständlichen Form dargestellt werden. Dies unterstützt die Interpretation der Ergeb-

nisse und hilft auch bei der Umsetzung von Anpassungen an dem betrachteten Produkt basierend auf der Ergebnisinterpretation.

Anpassungsfähigkeit

Der Lösungsweg muss offen für Anpassungen sein. Das heißt, dass kleinere Änderungen an der Herangehensweise nicht sofort die Gesamtstruktur des Vorgehens in Frage stellen. Auch neue Entwicklungen in der Datengrundlage oder der angewendeten Methoden sollten mit dem Lösungsweg vereinbar sein.

Fazit

Die verschiedenen Elemente der Anforderung sind in Abbildung 3-2 zusammengefasst.

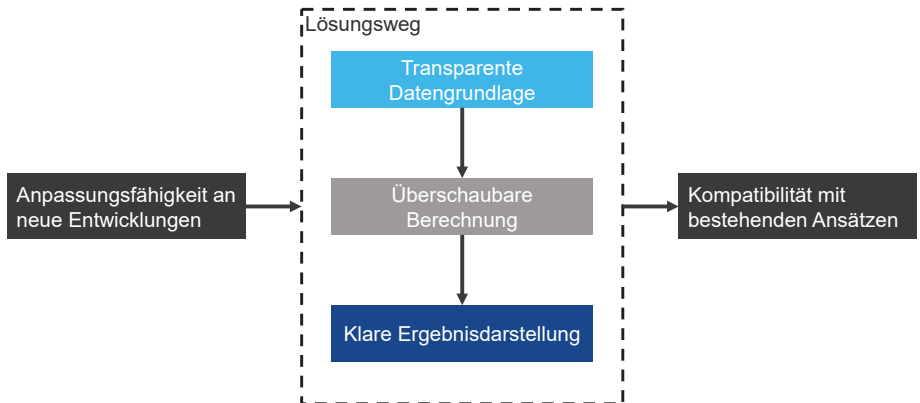


Abbildung 3-2: Anforderungen an den Lösungsweg

Zwei Aspekte werden dabei in Abbildung 3-2 sichtbar. Einerseits soll die innere Stabilität des Lösungsweges durch eine verlässliche Datenbasis, eine überschaubare Berechnung und eine klare Ergebnisdarstellung gewährleistet werden, andererseits muss auch eine Durchlässigkeit gegenüber bereits bestehenden Ansätzen und neuen Entwicklungen gegeben sein.

3.3 Lösungsweg

Folgender, dreiteiliger, Lösungsweg bietet die Antwort auf die zuvor gestellte Forschungsfrage und ihre Teilfragen. Zunächst wird die Eignung der Ökobilanz für die Integration von Verteilungsaspekten analysiert. Dafür werden die zwei Normen 14040 [21] und 14044 [22] als Grundlage für die Analyse herangezogen. Außerdem werden, basierend auf den Grundlagen in Ziffer 2.1 und 2.2, die für diese Arbeit grundlegenden Verteilungsaspekte festgelegt. In einem zweiten Schritt werden die Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz theoretisch durchdacht und entsprechende Annahmen und Einschränkungen beschrieben. Der dritte Teil umfasst die Operationalisierung der Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz. In diesem Teil wird das entsprechende Vorgehen, das im weiteren Verlauf als die verteilungserweiterte Ökobilanz (engl.: distribution extended LCA; D-LCA) bezeichnet wird, ausgearbeitet. In Ziffer 5 wird die D-LCA angewandt und der Lösungsweg anhand zweier Beispiele auf seine Anwendbarkeit hin geprüft. Die drei Schritte des Lösungsweges zur Beantwortung der Forschungsfrage sind in Abbildung 3-3 zusammengefasst.

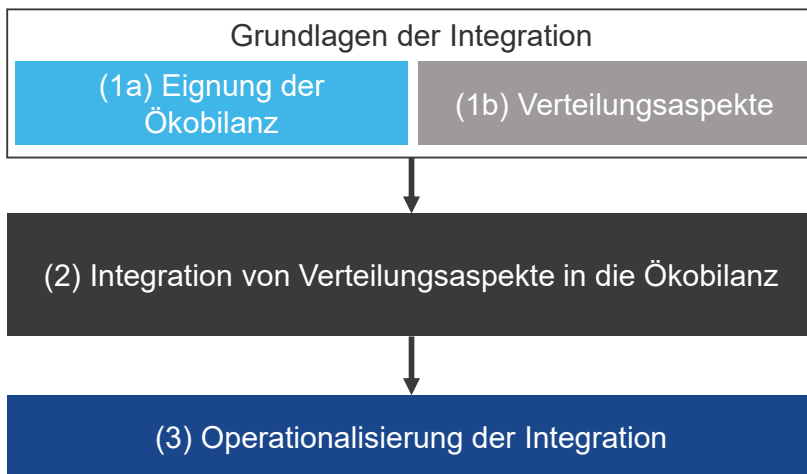


Abbildung 3-3: Der dreiteilige Lösungsweg zur Beantwortung der Forschungsfrage

4 Integration von Verteilungsaspekten

Dieser Abschnitt formuliert den in Ziffer 3 skizzierten Lösungsweg aus und bildet den Kern dieser Arbeit. Die zwei Elemente, die in dieser Arbeit zusammengeführt werden, sind die Ökobilanz und Verteilungsaspekte.

4.1 Schritt 1: Grundlagen der Integration

Die These, dass die Ökobilanz ein passendes Werkzeug für die Integration von Verteilungsaspekten ist, wird in diesem Abschnitt untersucht. Gilt diese These, so können Verteilungsaspekte integriert werden und damit, basierend auf der Ökobilanz, Aussagen über die gerechte Verteilung der Umweltwirkungen eines Produktes gemacht werden.

Des Weiteren werden in diesem Abschnitt die relevanten Verteilungsaspekte aus Ziffer 2.1 und 2.2 herausgearbeitet und die Hauptthesen daraus zusammengefasst. In Ziffer 4.1.3 werden Festlegungen bezüglich des „race-to-the-bottom“-Phänomens für diese Arbeit getroffen. Abschließend werden die Adressaten der Verteilungsfrage, die die Verteilungsgesellschaft bilden, genauer definiert.

4.1.1 Eignung der Ökobilanz für die Integration von Verteilungsaspekten

In drei Teilen wird die Eignung der Ökobilanz für eine Integration von Verteilungsaspekten diskutiert:

1. Grundsätzliche Erweiterungsmöglichkeit der Ökobilanz
2. Indirekte Verteilungslogik innerhalb der Ökobilanz
3. Relevante Grundeigenschaften der Ökobilanz

Zum Abschluss wird ein Fazit gezogen und die Integrationsfähigkeit der Ökobilanz für Verteilungsaspekte bewertet.

Grundsätzliche Erweiterungsmöglichkeit der Ökobilanz

Als erstes ist festzustellen, dass die Ökobilanznorm zwei grundsätzliche Erweiterungsmöglichkeiten vorsieht:

1. Die Ökobilanz kann auf andere Aspekte (ökonomisch, sozial) angewendet werden, auch wenn diese üblicherweise nicht berücksichtigt werden. ([21] Seite 6)
2. Die Ökobilanz ist offen für wissenschaftliche Erkenntnisse und Verbesserungen des Entwicklungsstandes. ([21] Seite 18)

Eine Erweiterung der Ökobilanz um gesellschaftliche und soziale Fragen, wie die Verteilungsfrage, ist entsprechend dem ersten Punkt möglich. Diese Arbeit will mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen die zweite Erweiterungsmöglichkeit, die in der Norm genannt wird, erfüllen. Auch in [112] wird die Erweiterungsfähigkeit der Ökobilanz um normative Aspekte festgestellt (s. auch Ziffer 2.5).

Indirekte Verteilungslogik innerhalb der Ökobilanz

In der Methodik der Ökobilanz ist bereits indirekt eine Verteilungslogik der Umweltwirkungen enthalten, welche unter Gerechtigkeitsaspekten diskutiert und um diese erweitert werden kann. Es ist aber hervorzuheben, dass in der Norm kein explizites Verteilungsgerechtigkeitsverständnis formuliert ist, sondern dieses indirekt aus der beschriebenen Vorgehensweise abgeleitet werden kann.

Die Vorgehensweise der Ökobilanz ist, dass alle Umweltwirkungen immer auf die funktionelle Einheit, die den quantifizierten Nutzen des betrachteten Produktes beschreibt, bezogen werden. Damit wird die gesamte Verantwortung für die entstehenden Umweltwirkungen dem Nutzen des Produktes zugeschrieben. Alle Umweltwirkungen, die über den Lebenszyklus entstehen, werden dabei räumlich und zeitlich aggregiert. Da das Produkt nicht um seiner selbst willen existiert und auch immer eine Nutzerin hat, die den quantifizierten Nutzen in Anspruch nimmt und davon profitiert, ist die implizite Aussage, dass die Nutzerin des Produktes die Verantwortung für alle entstehenden Umweltwirkungen trägt. Dies entspricht dem Nutznießerprinzip (s. Ziffer 2.1.2), da der Nutzer von den Umweltwirkungen profitiert.

Relevante Grundeigenschaften der Ökobilanz

Um die grundsätzliche Eignung der Ökobilanz für die Integration von Verteilungsaspekten darzustellen, werden im Folgenden einige Grundeigenschaften der Ökobilanz zusammengefasst und ihre Relevanz für die Integration von Verteilungsfragen diskutiert.

Die **Ganzheitlichkeit der Betrachtung** wie sie in der Norm beschrieben ist, ermöglicht die Identifizierung und Abschätzung globaler Wechselwirkungen, was einer Verschiebung der Lasten (engl.: shift-of-burdens) vorbeugt. Dabei werden verschiedene mögliche Auswirkungen auf die Umwelt mit einbezogen.

Die **Lebenszyklusbetrachtung** mit den Elementen Herstellung, Nutzung und Lebensende, bettet das betrachtete Produkt in eine, häufig globale, Wertschöpfungs-

kette ein und eröffnet den Blick auf alle beteiligten Akteurinnen und einen größeren Kontext.

Der Fokus auf ein einzelnes Produkt mit dem Bezug aller Umweltwirkungen auf die **funktionelle Einheit** stellt den Nutzen des Produktes in den Vordergrund. Damit wird auch die Frage beantwortet, wofür das Produkt hergestellt wird.

Die auf die funktionelle Einheit bezogenen **Massen- und Energieflüsse**, die die Grundlage der Ökobilanz bilden, stellen die physikalischen Beziehungen zwischen den beteiligten Akteurinnen eines Produktlebenszyklus her.

Die klare Definition einer **Systemgrenze** ergibt eine eindeutige Eingrenzung der zu betrachtenden Elemente und verhindert damit eine zu allgemeine und dadurch beliebige Betrachtung. Sie begrenzt auch die Anzahl der Akteurinnen, die Teil der Verteilung sind und formiert so die zu betrachtende Verteilungsgesellschaft.

Die Betrachtung von **Umweltwirkungen in Wirkungskategorien** und den entsprechenden Einheiten stellt den zu verteilenden Schaden dar, welcher in seinem Ausmaß endlich ist. Die Umweltwirkung kann somit innerhalb der betrachteten Systemgrenze zwischen den Beteiligten verteilt werden. Im Kontext der Ökobilanz geht es zuerst um die bestehende Verteilung von Umweltwirkungen über den Produktlebenszyklus. Anschließend ist zu bewerten, ob diese Verteilung gerecht ist oder nicht. Sind Umweltwirkungen die zu verteilenden Objekte, die pro Produkt endlich sind, so ist festzustellen, dass diese nicht beliebig zwischen den Beteiligten verteilt werden können, da die Emissionen, die den Umweltwirkungen zugrunde liegen, in den meisten Fällen ortsgebunden auftreten.

Alle Grundeigenschaften sind in Abbildung 4-1 zusammengefasst dargestellt.

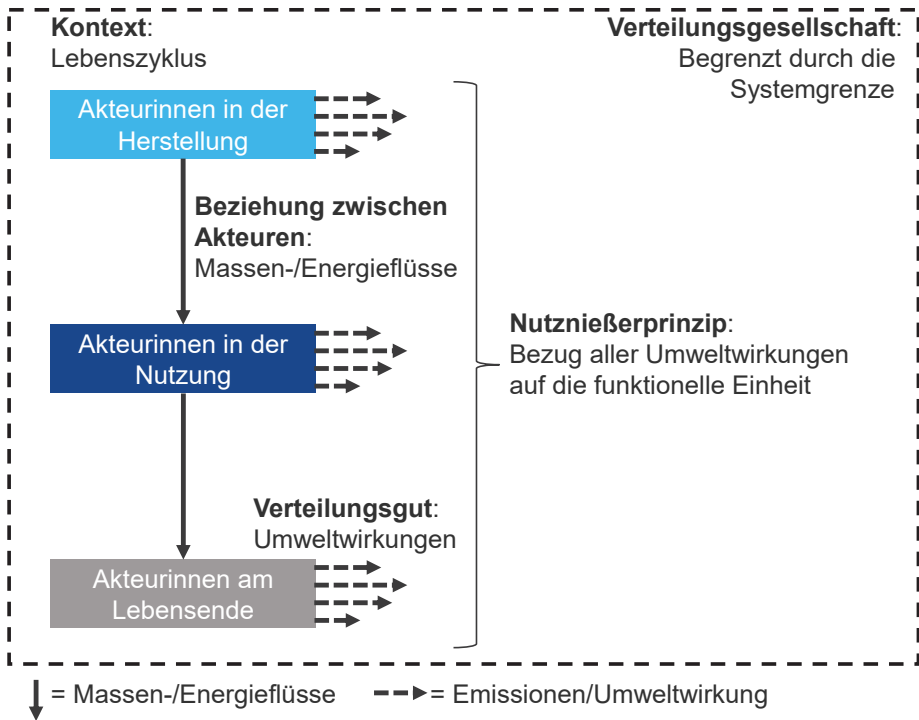


Abbildung 4-1: Grundeigenschaften der Ökobilanz für die Integration von Verteilungsaspekten

Einschränkende Aspekte

Die Verteilungsgerechtigkeit in die Ökobilanz zu integrieren, erfordert auch die Beschäftigung mit den sich daraus ergebenden Konsequenzen. Entsprechend [45] (s. auch Ziffer 2.1) ist zu klären, ob eine Integration von Verteilungsaspekten direkte Gerechtigkeitspflichten nach sich zieht, oder ob „nur“ moralische Pflichten daraus abzuleiten sind. Eine indirekte Antwort auf diese Frage gibt die Norm, die besagt, dass die Ökobilanz keine Erweiterungen oder Veränderungen gesetzlicher Verpflichtungen einer Organisation bewirken soll ([21] Seite 10). Gerechtigkeitspflichten können als solch eine Erweiterung oder Veränderung einer Organisation gesehen werden. Wenn außerdem die Ökobilanz als ein Werkzeug der Entscheidungs-

unterstützung gesehen wird, dann besteht die Gefahr dieses Werkzeug mit der Ableitung von Gerechtigkeitspflichten zu überlasten.

Fazit

In Anbetracht der vorausgegangenen Argumente, kann nun zusammenfassend gesagt werden, dass die Ökobilanz ein geeignetes Werkzeug für die Integration von Verteilungsaspekten ist. Die Integration wird aber insofern eingeschränkt, dass gewonnene Ergebnisse nicht zur Ableitung von Gerechtigkeitspflichten führen dürfen. Der Fokus sollte also auf dem Sichtbarmachen von Ungleichheiten gelegt werden und die daraus folgenden Konsequenzen in späteren, außerhalb dieser Arbeit liegenden, Schritten adressiert werden.

4.1.2 Verteilungsaspekte für die Integration

„Was ist gerecht?“ Dieser Frage soll im weiteren Verlauf nachgegangen werden. Ein Anspruch auf eine allgemeingültige Antwort wird nicht erhoben, dennoch werden in diesem Abschnitt Festlegungen für den Rahmen dieser Arbeit getroffen, die für die Integration und die weitere Anwendung von großer Bedeutung sind.

Das Gerechtigkeitsverständnis dieser Arbeit gründet auf den Vorarbeiten, die in Ziffer 2.1 und 2.2 zusammengefasst sind. Grundlegend für alle weiteren Überlegungen ist das Verständnis der Gerechtigkeit als eine Anforderung an Institutionen, wobei persönliche Tugenden oder Befindlichkeiten keine Rolle spielen. Das Differenzprinzip nach Rawls, worin dem schwächsten Segment die größtmöglichen Vorteile zuteilwerden, wird als Grundgedanke übernommen, wobei die weiteren Ansichten von Rawls zur globalen Verteilungsgerechtigkeit nicht übernommen werden, da in dieser Arbeit eine kosmopolitische Gerechtigkeitsauffassung vertreten wird. So wird basierend auf [73] davon ausgegangen, dass Handelsbeziehungen zwischen Ländern genügen, um eine Gerechtigkeitsgesellschaft zu bilden und entsprechende Diskussionen zur Gerechtigkeit valide sind. Diese Diskussionen beschäftigen sich vor allem mit der globalen Verteilungsgerechtigkeit und wie die Verantwortung für Umweltwirkungen in dieser Generation verteilt werden sollen. Da das behandelte Thema die langfristige Nachwirkung von Umweltwirkungen untersucht ist auch die im Brundtlandbericht formulierte intergenerationelle Gerechtigkeit adressiert. Diese Arbeit trägt außerdem dazu bei, spezifische Gerechtigkeitstheorien, in diesem Fall die globale Verteilungsgerechtigkeit in Kombination mit der Umweltgerechtigkeit, mit weiteren Daten zu untermauern. Die Grundthese

des ökologisch ungleichen Austausches, die besagt, dass aus der Peripherie mehr in die Kernregionen transferiert wird, wird hier übernommen (s. Ziffer 2.2).

Um sich der Verteilungsfrage von Umweltwirkungen im globalen Kontext zu nähern, helfen folgende Fragen:

- Was ist eine gerechte Verteilung?
- Wie kann eine gerechte Verteilung erreicht werden?

Als Antwort auf diese Fragen lässt sich folgender Leitsatz, basierend auf den Grundlagen in Ziffer 2, formulieren:

Eine Verteilung ist gerecht, wenn jeder das Ihre zukommt, je nach den individuellen Fähigkeiten, Bedürfnissen und entsprechend der eigenen Verantwortung.

Laut EUE (s. Ziffer 2.2) und Pogge (s. Ziffer 2.1.1), ist eine grundsätzliche Schiefelage in der Beziehung zwischen den Ländern dieser Welt vorhanden, die historisch durch den Kolonialismus und andere Entwicklungen begründet werden kann. Dadurch entstanden große Unterschiede in den **Fähigkeiten** der Länder dieser Welt. Hinzu kommt eine natürliche Ungleichverteilung der weltweiten Ressourcen. Gerecht ist eine Verteilung der Umweltwirkung also, wenn die Umweltwirkungen von denen getragen werden, die die Fähigkeiten dazu haben deren Effekte auszugleichen oder zu verringern.

Das **Bedürfnis** nach einer sauberen Umwelt wird für alle Menschen in allen Ländern als gleich angenommen. Jedoch gibt es einen Unterschied zwischen den Ländern bezüglich bereits bestehender Umweltschäden und ihrer Resilienz gegenüber neuen Umweltwirkungen. Auch sind die Länder entsprechend ihrer geographischen Lage unterschiedlichen Risiken ausgesetzt, die aus den Umweltwirkungen folgen. Ein Beispiel sind die Risiken, die durch den Klimawandel entstehen. Gerecht ist eine Verteilung der Umweltwirkung also, wenn die Umweltwirkungen von denen getragen werden, die die größte Resilienz bzw. das geringste Risiko haben. Die Bedürfnisse werden in einer ersten Annäherung zunächst als gleich angenommen und die eingangs formulierten Unterschiede für die weitere Diskussion vernachlässigt.

Eine Verteilung ist auch gerecht, wenn diejenige, die etwas getan hat, entsprechend ihrer **Verantwortung** für diese Handlung verhältnismäßig entlohnt oder be-

straft wird. Das heißt, diejenige, die eine Umweltwirkung verantwortet, haftet dafür. Das entspricht dem Verursacherprinzip. Gerecht ist auch, wenn diejenigen, die einen **Nutzen** aus der Umweltwirkung ziehen, entsprechend als Nutznießerinnen zur Verantwortung gezogen werden. Das entspricht dem Nutznießerprinzip, welches als ein Prinzip der indirekten Verantwortung interpretiert wird. Beide, die direkte Verantwortung und die indirekte, durch den Nutzen induzierte, Verantwortung für eine Umweltwirkung werden im Folgenden mit einbezogen.

Für die Integration in die Ökobilanz werden folgende drei Verteilungsaspekte, die auch in Abbildung 4-2 zusammengefasst sind, verwendet:

- Fähigkeit
- Verantwortung, entsprechend dem Verursacherprinzip
- Nutzen, entsprechend dem Nutznießerprinzip

In dieser Arbeit soll die Fähigkeit, abgeleitet aus den unterschiedlich starken Gesellschaftssegmenten bei Rawls (s. Ziffer 2.1) oder dem Fähigkeitsindex in der Klimagerechtigkeitsdiskussion (s. Ziffer 2.1.2), priorisiert werden.

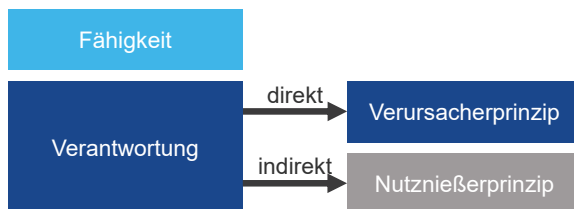


Abbildung 4-2: Verteilungsaspekte für die Integration

Eine gerechte Verteilung wird als Idealzustand dauerhaft angestrebt, ist aber nicht stabil, sondern ändert sich ständig entsprechend der veränderlichen Eingangsparameter und entsprechend dem allgemeinen Verständnis einer gerechten Verteilung. Eine gerechte Verteilung kann nur dann erreicht werden, wenn zuvor der Zustand der Ungleichverteilung sichtbar gemacht und somit der Anpassungsbedarf aufgezeigt wird. Aufbauend auf diesem Wissen können dann zukünftig die entsprechenden Parameter angepasst und eine gerechte Verteilung erzielt werden. Das hier formulierte Vorgehen beinhaltet nicht die dazu notwendigen wirtschaftli-

chen und politischen Entscheidungen. Diese gehen über den Rahmen dieser Arbeit hinaus, können jedoch auf den Ergebnissen dieser Arbeit aufbauen.

4.1.3 Ausschluss des „Race to the Bottom“

Für diese Arbeit gilt der Grundsatz und das übergeordnete Ziel, die Umweltwirkungen zu reduzieren. Somit sind Umweltwirkungen und Geld nicht direkt untereinander austauschbar. Das heißt die Verursachungsrechte von Umweltwirkungen können nicht an die Meistbietende verkauft werden. Ein sogenanntes „race to the bottom“ [97] soll somit verhindert werden. Dieses könnte schwächeren Ländern einen Anreiz bieten, mehr Umweltwirkungen für eine monetäre Entschädigung aufzunehmen und dadurch ein Unterbietungswettbewerb bedingen, in dem verglichen wird, wer mehr Umweltwirkungen für weniger Geld aufnehmen kann. Das wird hiermit ausgeschlossen und soll nicht durch diese Arbeit induziert werden.

4.1.4 Adressaten der Verteilungsfrage

Adressatinnen von Gerechtigkeitsfragen sind normalerweise Menschen in ihrer Rolle als eigenständige und freie Wesen. In dieser Arbeit besteht die Verteilungsgesellschaft aus anderen Akteurinnen, die am Lebenszyklus von Produkten und an der Verteilung der dadurch bedingten Umweltwirkungen beteiligt sind. Die an der Verteilung beteiligten Akteurinnen können dabei in drei Gruppen gegliedert werden. Zuerst gibt es den aktiven Part der Erstellerin der Ökobilanz, die die Ergebnisse der Ökobilanz generiert und nutzt (kurz: „Erstellerin“). Mit ihren Entscheidungen über Produktalternativen bestimmt sie auch über die theoretische Verteilung von Umweltwirkungen. Dann gibt es die Gruppe derer, die am Lebenszyklus des Produktes beteiligt sind (kurz: „Beteiligte“) und zwischen denen sich die Wertschöpfung, sowie die Verantwortung für die Umweltwirkung des Produktes, in Relation zu der Wertschöpfung, verteilen lässt. Dabei ist zu beachten, dass durch den aggregierenden Charakter von Ökobilanzdaten keine konkreten Akteurinnen im Hintergrundsystem identifiziert werden können und die Daten sich immer auf Länderdurchschnitte beziehen. Im Vordergrundsystem, das in der Regel auf spezifischeren Daten aufbaut, ist eine eindeutigere regionale Zuordnung möglich. Die dritte Gruppe sind die sogenannten „Unbeteiligten“, die weder die Ökobilanz erstellen noch Teil des Produktlebenszyklus sind. Diese Gruppe kann durch Umweltwirkungen beeinflusst werden, die auch die Erstellerin und die Beteiligten treffen. Die Unbeteiligten haben aber keinen Anteil an der Wertschöpfung und an der Ent-

scheidung, wie sich die Umweltwirkung über den Produktlebenszyklus verteilt. Zusammengefasst ist diese erste Perspektive („Perspektive Einfluss“) auf die zwei beteiligten Akteurinnen sowie die Unbeteiligten in Abbildung 4-3.

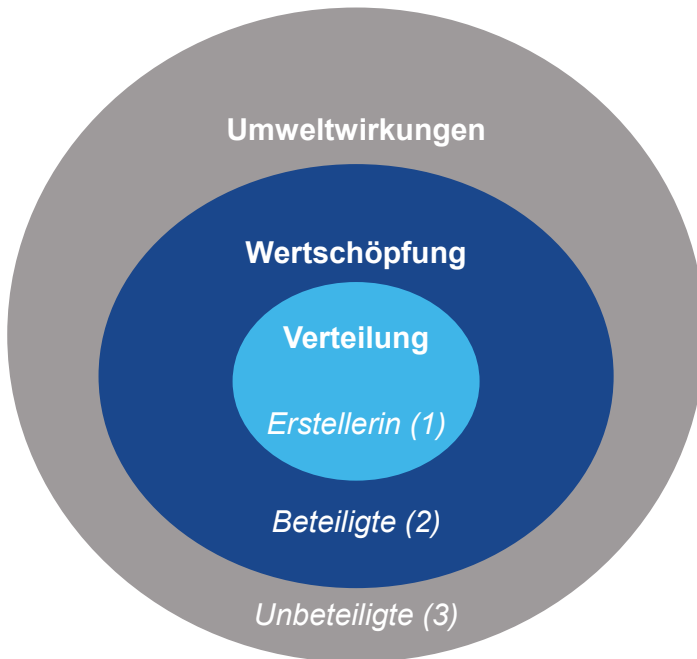


Abbildung 4-3: Erste Perspektive auf die beteiligten Akteurinnen bei der Verteilungsfrage

Eine zweite Perspektive („Perspektive Lebenszyklus“) auf die beteiligten Akteurinnen folgt durch den Blick auf den Lebenszyklus. Dort gibt es die Nutzerin, die vom quantifizierten Nutzen des Produktes profitiert und alle weiteren Beteiligten am Lebenszyklus, die freiwillig zum Produkt beitragen, weil sie von der Wertschöpfung profitieren. Die Außenstehenden, sind in dem Fall die Erstellerin der Ökobilanz, die als neutrale Entscheiderin von außen auf den Lebenszyklus blickt und die Unbeteiligten aus der ersten Perspektive. Die Umweltwirkungen betreffen dabei im Gegensatz zu der Wertschöpfung alle Akteurinnen.

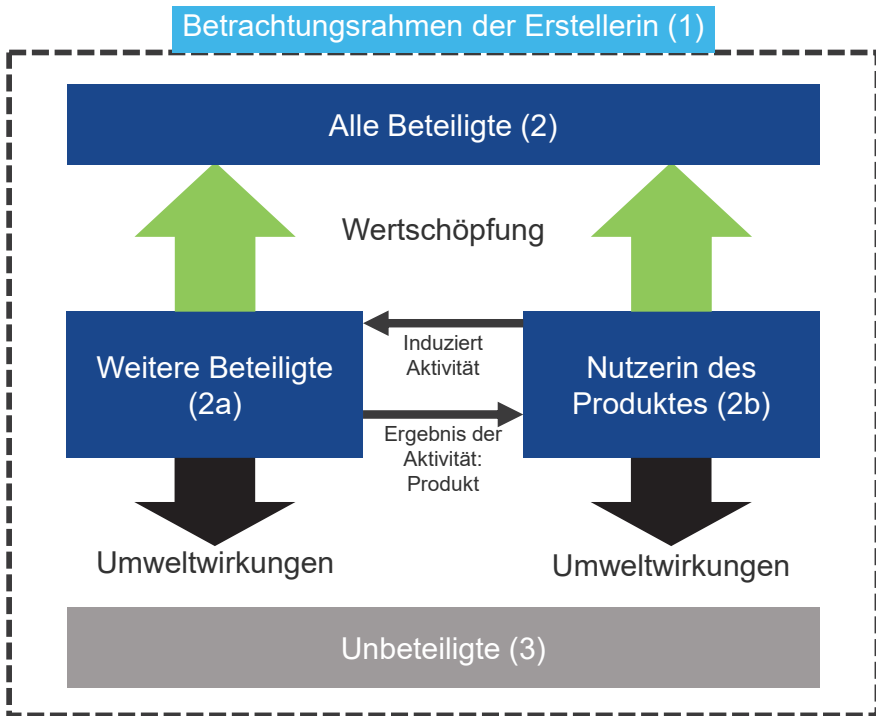


Abbildung 4-4: Zweite Perspektive auf die beteiligten Akteure bei der Verteilungsfrage

Bei beiden Perspektiven muss eine Auflösung der räumlichen Aggregation in der Ökobilanz stattfinden, um eine länderspezifische Zuweisung von Umweltwirkung und Wertschöpfung zu ermöglichen. Dabei bilden die Länder eine Kooperationsgemeinschaft für die Schaffung des Produktes, aus der die Verteilungsgesellschaft hervorgeht. Besitzverhältnisse werden bei den vorangegangenen Überlegungen und im Folgenden nicht weiter betrachtet, da diese im Kontext der Ökobilanz keine Rolle spielen. Die Wertschöpfungskette eines Produktes kann sich zwar im Besitz einer Einzelnen befinden, die Umweltwirkungen betreffen bei überregionalen Wertschöpfungsketten aber in der Regel mehrere Länder. Die Unbeteiligten werden,

wie der Verteilungsaspekt „Bedürfnis“, für den weiteren Verlauf der Arbeit vernachlässigt.

Die Perspektive „Lebenszyklus“ kann dabei als eine Weiterentwicklung der Perspektive „Einfluss“ gesehen werden und wird für die nächsten Abschnitte übernommen.

4.2 Schritt 2: Mathematische Integration von Verteilungsaspekten

Nachdem nun die Eignung der Ökobilanz für die Integration von Verteilungsaspekten festgestellt, die grundlegenden Verteilungsaspekte definiert und die Verteilungsgesellschaft entsprechend umschrieben wurden, geht es im Folgenden um die mathematische Integration. Hierfür wird auf die Umweltintensität (s. Ziffer 2.6) und den Index der menschlichen Entwicklung (s. Ziffer 2.7) zurückgegriffen und die Ergebnisse entsprechend erweitert und interpretiert.

Nach der mathematischen Integration und der Interpretation der Verteilungsaspekte werden die Methode und ihr Vorgehen charakterisiert und zum Abschluss kurz zusammengefasst.

4.2.1 Mathematische Interpretation der Verteilungsaspekte

Die in Ziffer 4.1.2 eingeführten Verteilungsaspekte können mathematisch interpretiert, mit entsprechenden Kennzahlen verknüpft und in die Ökobilanz integriert werden. Die Zuordnung der drei genannten Verteilungsaspekte zu den entsprechenden Kennzahlen ist in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Zuordnung der Verteilungsaspekte zu Kennzahlen

Verteilungsaspekt	Gewählte Kennzahl	Einheit	Quelle
Fähigkeit	IHDI	[-]	[106] (s. Ziffer 2.7)
Direkte Verantwortung - Verursacherin	Umweltwirkung (U)	[Einheit Umweltwirkungs-Äquivalente]	Ökobilanz (s. Ziffer 2.3)
Indirekte Verantwortung - Nutzen	Wertschöpfung (WS)	[€]	Prozessbasierte Wertschöpfung (s. Ziffer 2.4)

Die **Fähigkeit** wird mit dem um die innere Ungleichheit erweiterten Index der menschlichen Entwicklung IHDI abgebildet. In diesem Index wird für alle Länder der Welt ein Faktor zwischen 0 und 1 vergeben, der die Leistungsfähigkeit ausdrückt. Diese einheitenlose Kennzahl wird für die weitere Gewichtung direkt aus

[106] entnommen und kann basierend auf der gleichen Quelle aktualisiert werden. Der Vorteil den IHDl als Repräsentation der Fähigkeit zu nutzen, ist die Abdeckung einer großen Bandbreite an Faktoren und der bereits bestehende Konsens über die Berechnung des IHDl, wie auch in einer ausführlichen Gegenüberstellung verschiedener Indikatoren in [16] dargelegt wird. So fasst dieser nicht nur die ökonomischen Fähigkeiten eines Landes in Zahlen, sondern beinhaltet auch weitere Indikatoren wie den Stand der Bildung. Beim IHDl kommt hinzu, dass die Verteilung innerhalb eines Landes mit betrachtet wird.

Die Verantwortung nach dem **Verursacherprinzip** wird über die länderspezifische Wirkungsabschätzung der Ökobilanz abgebildet. Es können dabei sowohl Mid- als auch End-Point-Indikatoren verschiedenster Wirkungsabschätzungsmethoden verwendet werden. Die Auswahl ist dabei der Erstellerin, entsprechend der Vorgaben innerhalb einer Ökobilanz, überlassen oder es werden Ergebnisse aus bereits bestehenden Studien übernommen, in denen diese Entscheidung bereits vorweggenommen ist. Für die weitere Berechnung wird zu diesem Zeitpunkt vorerst keine spezifische Umweltwirkung definiert. Es wird aber darauf hingewiesen, dass Umweltwirkungen unterschiedliche Wirkungsräume haben. Sie können lokal oder regional begrenzt wirken oder globale Wirkungen abbilden. Dies kann zu einer veränderten Bewertung der Verantwortung führen, was im Folgenden jedoch nicht im Fokus steht.

Der Nutzen wird, entsprechend dem **Nutznieserprinzip**, mit der Wertschöpfung ausgedrückt. Für die Berechnung der Wertschöpfung bietet sich dabei die prozessbasierte Wertschöpfungsberechnung auf Basis der Ökobilanz an. Deren Berechnung wurde in Ziffer 2.4 bereits vorgestellt und basiert vor allem auf Vorarbeiten in [5]. Ein Bezug auf andere Quellen, die die Wertschöpfung auf gleicher Aggregationsebene wie die Umweltwirkungen ausdrücken, ist auch möglich. Die allgemein verwendete Geldeinheit wird als Euro [€] definiert. Der dahinter liegende Gedanke ist, dass das entsprechend erwirtschaftete Geld auch herangezogen werden sollte, um den Lasten der Umweltwirkung entgegenwirken. Bezogen auf den Produktlebenszyklus bedeutet das, dass diejenigen, die die Wertschöpfung von einem Produkt abschöpfen, entsprechend ihrem finanziellen Anteil, auch Anteil an der Minderung der Umweltwirkungen haben sollten.

Abbildung 4-2 lässt sich nun entsprechend der vorangegangenen Diskussion erweitern und stellt sich in Abbildung 4-5 so dar.

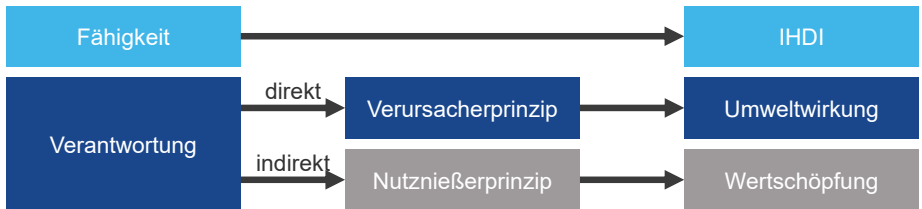


Abbildung 4-5: Zuordnung der Verteilungsaspekte zu Kennzahlen

Die drei Verteilungsaspekte und ihre Kennzahlen können nun mathematisch auf unterschiedliche Weise miteinander verknüpft werden. Zwei mögliche Arten der Verknüpfung werden im Folgenden vorgestellt. Das „Sichtbarmachen“ von ungleicher Verteilung und das „Verantwortlichmachen“ der Nutznießerinnen des Produktsystems.

Dafür werden zwei Bausteine für die Verknüpfung eingeführt. Der erste Baustein ist die Umweltintensität (s. Ziffer 2.6), die ein Verhältnis zwischen Umweltwirkung und monetärer Einheit ausdrückt und in Formel 4.1 beschrieben ist.

$$UI = \frac{U}{WS} \quad (4.1)$$

UI = Umweltintensität

U = Umweltwirkung

WS = Wertschöpfung

Der zweite Baustein ist die IHDl skalierte Wertschöpfung, die den Nutzen mit der Fähigkeit gewichtet, wie dies in Formel 4.2 ausgedrückt ist.

$$WS_{IHDl} = WS * IHDl \quad (4.2)$$

WS_{IHDl} = IHDl skalierte Wertschöpfung

WS = Wertschöpfung

IHDl = Ungleichheitserweiterter Index der menschlichen Entwicklung

Die Verknüpfung dieser Bausteine geschieht dabei in drei Stufen. Zuerst werden die Bausteine auf Prozessebene miteinander kombiniert. Diese prozessspezifischen Ergebnisse können innerhalb eines Produktes länderspezifisch aufsummiert werden. In einer dritten Stufe wird eine Summe über die gesamte Prozesskette gebildet.

Das „Sichtbarmachen“ mit dem Indikator: IHDI gewichtete Umweltintensität

Um sichtbar zu machen, welche Akteurin innerhalb einer Wertschöpfungskette entsprechend ihrer Fähigkeit und ihrer direkten und indirekten Verantwortung einen ungleichen Anteil hat, wird die produktspezifische Umweltwirkung mit der IHDI-skalierten Wertschöpfung ins Verhältnis gesetzt. Daraus wird ein Indikator gebildet, der eine Bewertung der Verteilungsgerechtigkeit über den Produktlebenszyklus ermöglicht. Die aus dieser Erweiterung abgeleitete, IHDI gewichtete, Umweltintensität (gUI) ist der Quotient aus Umweltwirkung (U) pro IHDI skalierten Wertschöpfungseinheit (WS).

Die Umweltintensität kann pro Prozessschritt (Element) oder auf Länderebene (L), für alle am Lebenszyklus des Produktes beteiligten Länder, angegeben werden. Entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit wird im Weiteren die Darstellung pro Land, das an der Wertschöpfungskette des Produktes beteiligt ist, diskutiert.

Für das einzelne Element i innerhalb der Ökobilanz, das in verschiedenen Detailstufen bis auf Prozessmodulebene spezifiziert werden kann, wird die Berechnung entsprechend Formel 4.3 durchgeführt.

$$gUI_i = \frac{U_i [kg \text{ Wirkungsäquivalente}]}{WS_i [\text{monetäre Einheit}] * IHDI(L)} = \frac{U_i}{WS_{IHDI}} = \frac{UI_i}{IHDI(L)} \quad (4.3)$$

gUI_i = gewichtete elementspezifische Umweltintensität

U_i = elementspezifische Umweltwirkung

WS_i = elementspezifische Wertschöpfung

$IHDI(L)$ = landesspezifischer ungleichheitserweiterter Index der menschlichen Entwicklung

WS_{IHDI} = IHDI skalierte Wertschöpfung

UI_i = elementspezifische Umweltintensität

i = Index für das Einzelelement (Prozess)

Die gesamte (engl.: total) landesspezifische Umweltintensität (tot) innerhalb eines Produktes errechnet sich als Quotient der Summe aller prozessspezifischen Umweltintensitäten eines Landes im Zähler und der Summe aller prozessspezifischen Wertschöpfungen eines Landes im Nenner, wie in Formel 4.4 beschrieben ist.

$$gUI(L)_{tot} = \frac{\sum_{i=1}^n U(L)_i [kg \text{ Wirkungsäquivalente}]}{\sum_{i=1}^n WS(L)_i [\text{monetäre Einheit}] * IHDI(L)} \quad (4.4)$$

$gUI(L)_{tot}$ = gesamte gewichtete landesspezifische Umweltintensität

$U(L)$ = landesspezifische Umweltwirkung

$WS(L)$ = landesspezifische Wertschöpfung

$IHDI(L)$ = landesspezifischer ungleichheitserweiterter Index der menschlichen Entwicklung

i = Index für das Einzelement (Prozess)

Für das jeweils betrachtete Produkt (Index P) lässt sich der gesamte gUI ohne eine spezifische Länderzuweisung als Summe aller länderspezifischen gUI entsprechend Formel 4.5 berechnen.

$$gUI_P = \sum_{L=1}^n gUI(L)_{tot} \quad (4.5)$$

gUI_P = gesamte gewichtete Umweltintensität

$gUI(L)_{tot}$ = gesamte gewichtete landesspezifische Umweltintensität

Die gesamte gewichtete Umweltintensität kann für einen Vergleich von Produkten herangezogen werden.

Die Umweltintensität ist zuerst ein Effizienzindikator (s. Ziffer 2.6), der ausdrückt, wie viel Umweltwirkung pro gewonnene Geldeinheit entsteht. Im Kontext dieser Arbeit drückt die Umweltintensität das Verhältnis zwischen der Verantwortung, die ein Land trägt, und der Wertschöpfung für den geleisteten Aufwand aus. Das Verhalten der $IHDI$ gewichteten Umweltintensität lässt sich entsprechend der Formeln 4.3 und Formel 4.4 wie folgt beschreiben:

- Die gUI hat einen hohen Wert bzw. steigt (+), wenn
 - o die Umweltwirkung hoch ist bzw. steigt (+), oder
 - o die skalierte Wertschöpfung klein ist bzw. sinkt (-).
- Die gUI hat einen kleinen Wert bzw. sinkt (-), wenn
 - o die Umweltwirkung klein ist bzw. sinkt (-), oder
 - o die skalierte Wertschöpfung hoch ist bzw. steigt (+).

Bezogen auf die Verteilungsaspekte bedeutet das, dass eine hohe Verantwortung bei kleinem Nutzen zu einer hohen gUI und eine kleine Verantwortung bei hohem Nutzen zu einer kleinen gUI führt.

Das „Verantwortlichmachen“ mit dem Indikator: IHDI gewichtete Umweltwertschöpfung

Wenn die Umweltwirkung mit der skalierten Wertschöpfung multipliziert wird, so entsteht ein Indikator der im weiteren Verlauf als IHID gewichtete Umweltwertschöpfung (gUW) definiert wird. Die gUW drückt dabei aus, welche Akteurin, bezogen auf Fähigkeit, Verantwortung und Nutzen die größte Gesamtverantwortung trägt. Mathematisch drückt sich das Produkt für ein bestimmtes Element so aus, wie in Formel 4.6 dargestellt.

$$gUW_i = U_i * WS_i * IHDI(L) \quad (4.6)$$

gUW_i = gewichtete elementspezifische Umweltwertschöpfung

U_i = elementspezifische Umweltwirkung

WS_i = elementspezifische Wertschöpfung

$IHDI(L)$ = landesspezifischer ungleichheitserweiterter Index der menschlichen Entwicklung

i = Index für das Einzelelement (Prozess)

Die länderspezifische Umweltwertschöpfung für das gesamte Produkt berechnet sich wie in Formel 4.7 dargestellt. Dabei werden alle Prozesse in einem Land in Summe betrachtet.

$$gUW(L)_{tot} = \sum_{i=1}^n U(L)_i * \sum_{i=1}^n WS(L)_i * IHDI(L) \quad (4.7)$$

$gUW(L)_{tot}$ = gesamte gewichtete landesspezifische Umweltwertschöpfung

$U(L)$ = landesspezifische Umweltwirkung

$WS(L)$ = landesspezifische Wertschöpfung

$IHDI(L)$ = landesspezifischer ungleichheitserweiterter Index der menschlichen Entwicklung

i = Index für das Einzelement (Prozess)

Für das betrachtete Produkt lässt sich die gesamte gUW ohne eine spezifische Länderzuweisung als Summe aller länderspezifischen gUW entsprechend Formel 4.8 berechnen.

$$gUW_P = \sum_{L=1}^n gUW(L)_{tot} \quad (4.8)$$

gUW_P = gesamte gewichtete Umweltwertschöpfung

$gUW(L)_{tot}$ = gesamte gewichtete landesspezifische Umweltwertschöpfung

Die gesamte gewichtete Umweltwertschöpfung kann für einen Vergleich von Produkten herangezogen werden.

Die gewichtete Umweltwertschöpfung ist ein Verantwortungsindikator der sich wie folgt verhält:

- Die gUW hat einen hohen Wert bzw. steigt (+), wenn
 - o die Umweltwirkung hoch ist bzw. steigt (+), oder
 - o die skalierte Wertschöpfung hoch ist bzw. steigt (+).
- Die gUW hat einen kleinen Wert bzw. sinkt (-), wenn
 - o die Umweltwirkung klein ist bzw. sinkt (-), oder
 - o die skalierte Wertschöpfung klein ist bzw. sinkt (-).

Bezogen auf die Verteilungsaspekte bedeutet dies, dass die Verantwortung mit einem erhöhten Nutzen weiter steigt und in einer höheren gUW resultiert. Ein geringerer Nutzen hingegen führt zu einer insgesamt niedrigeren gUW .

Grenz- und Sonderfälle

Grenzfälle ergeben sich, wenn einer der Parameter gleich 0 ist. Das kann auftreten, wenn eine Akteurin an der Wertschöpfungskette beteiligt ist, ohne Umweltwirkungen zu produzieren (1. Grenzfall), oder aber sie ist Teil des Produktlebenszyklus, hat aber keinen Anteil an der Wertschöpfungskette (2. Grenzfall).

Der 1. Grenzfall ($U_i = 0$) generiert folgende Ergebnisse:

- $gUI_i = \frac{0}{WS_i [\text{monetäre Einheit}] * IHDI(L)} = 0$
- $gUW_i = 0 * WS_i * IHDI(L) = 0$

Die Akteurinnen innerhalb des Lebenszyklus, die mit diesem Grenzfall beschrieben sind, haben Teil an der Wertschöpfung des Produktes, bleiben in der Gesamtbeurteilung aber „unsichtbar“ und ohne Verantwortung.

Die Ergebnisse des 2. Grenzfalls ($WS_i = 0$) stellen sich wie folgt dar:

- $gUI_i = \frac{U_i [\text{kg Wirkungsäquivalente}]}{0 * IHDI(L)} \rightarrow \infty$
- $gUW_i = U_i * 0 * IHDI(L) = 0$

Dieser Grenzfall beschreibt Akteurinnen innerhalb des Lebenszyklus, die sehr sichtbar Umweltlasten und gleichzeitig keine Verantwortung tragen.

Außerdem gilt es auch den Sonderfall zu beachten, wenn der Parameter der Verantwortung negativ ist, was bei negativen Umweltwirkungen der Fall sein kann, wenn Emissionen, bezogen auf die Systemgrenze, in ein Produkt eingebunden werden. Eine kurze Diskussion dieser Grenz- und Sonderfälle findet sich in der Evaluation unter Ziffer 6.2.

4.2.2 Charakteristiken der Integration

Zwei Charakteristiken der Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz werden im weiteren Verlauf dieses Abschnittes besprochen: die veränderte Sicht auf den „Nutzen“ eines Produktes und die Methode der Integration als einen „bottom-up“ Ansatz.

Sichtweise der D-LCA auf Nutzen und Verantwortung

Aus der Auflösung der räumlichen Aggregation und der Betrachtung einzelner Länder entsprechend Ziffer 4.1.4 folgt eine andere Sichtweise auf Nutzen und Verantwortung, als diejenige, die in der Ökobilanz (s. Ziffer 4.1.1) formuliert wird. So wird in Ziffer 4.2.1 für jede einzelne Akteurin im Lebenszyklus der Nutzen als

Wertschöpfung interpretiert und die Verantwortung als Umweltwirkung. Das bedeutet eine Verschiebung des Nutzens und der Verantwortung auf die Akteurinnen des Lebenszyklus, denn die Ökobilanz betrachtet den quantifizierten Nutzen des Produktes und die damit zusammenhängende Verantwortung in Form der funktionellen Einheit. Auf diese funktionelle Einheit hin werden alle Umweltwirkungen zeitlich und räumlich aggregiert.

Die Auflösung der räumlichen Aggregation führt somit zu einer Binnensicht des Produktes und seiner Wertschöpfung. Diese Sicht wird umso detaillierter, je mehr Ebenen der Wertschöpfungskette offengelegt werden.

D-LCA als bottom-up Ansatz

Die Methode lässt sich auf zwei Ebenen als technologiezentrierter bottom-up Ansatz charakterisieren, also einem Ansatz, der induktiv vorangeht und aus einzelnen Elementen das große Ganze erreicht [67]. Die erste Ebene bezieht sich auf die Bewertung von Produktvarianten. So können Produktvarianten basierend auf technischen Parametern berechnet und anschließend die gerechteste dieser technisch möglichen Varianten ausgewählt werden. Das ermöglicht, dass bei verschiedenen bereits technisch optimierten Varianten die gerechteste Variante ausgewählt wird. Dabei ist zu beachten, dass es immer um die Verbesserung einzelner Produkte geht und nicht um gesellschaftliche Systeme.

Die Hoffnung besteht, dass durch die Einzeloptimierung von Produkten das Gesamtsystem, in diesem Fall das globale Handelssystem, hinsichtlich seiner gerechten Verteilung von Umweltwirkungen optimiert wird. Das bildet die zweite Ebene der Charakterisierung als bottom-up Ansatz.

4.3 Schritt 3: Operationalisierung und Interpretation der Integration

Für die Anwendung der in Ziffer 4.2 beschriebenen Integration wird im dritten Schritt des Lösungsweges die Operationalisierung diskutiert. Dafür wird in diesem Abschnitt die Gestaltung des Ökobilanzmodells angesprochen, Vorschläge für die Darstellung der Ergebnisse gemacht und ein Rahmen für die Interpretation der Ergebnisse gesetzt.

4.3.1 Gestaltung des Ökobilanzmodells

Das Ökobilanzmodell eines Produktes bildet die Grundlage für die Berechnung der Umweltintensität und Umweltwertschöpfung einzelner Prozessschritte und des Gesamtproduktes. Dementsprechend wichtig ist es, das Ökobilanzmodell passend für die Berechnung zu gestalten. Wichtigster Aspekt ist die passende Struktur des Modells für die anschließende detaillierte räumliche Zuordnung der Umweltwirkung und der aus dem Modell abgeleiteten Wertschöpfung.

So sollen alle Prozesse, die eine Aktivität an einem bestimmten Ort abbilden, zusammengefasst werden. Außerdem ist eine Gliederung des Modells entsprechend der Lebenszyklusphasen und, in der Herstellungsphase, entsprechend der Bauteile, Komponenten und eventuell vorhandenen Subkomponenten sinnvoll.

Neu erstellte Prozesse und Pläne müssen jeweils eine geographische Zuordnung erhalten. Die Länder sollten entsprechend der internationalen Norm [54] benannt werden, um eine anschließende Auswertung pro Land zu ermöglichen. In der für diese Arbeit herangezogenen Datenbank und Software GaBi ts [39] sind bereits existierende Prozesse standardmäßig einem Land bzw. einer Region zugeordnet. Bei der Auswahl von Prozessen aus der Datenbank ist daher die richtige Region zu wählen.

Einen Sonderfall stellen Prozesse dar, die einen „globalen Charakter“ haben und die standardmäßig keinem spezifischen Land zugeordnet werden. Sie werden mit dem entsprechenden Kürzel „GLO“ gekennzeichnet, beispielsweise Transportprozesse. Für diese Arbeit wird festgelegt, dass im Falle eines grenzüberschreitenden Transportes die damit verbundenen Umweltwirkungen dem Land zuzuordnen sind, aus dem das zu transportierende Gut kommt, wenn keine anderen detaillierteren Angaben vorhanden sind. Ist der Transportprozess spezifischer charakterisiert, so ist auch eine andere Zuordnung zulässig. Andere Produktionsprozesse, die in der Datenbank mit GLO gekennzeichnet sind, werden dem Land mit den größten globalen Produktionsmengen zugeordnet. Alternativ kann auch eine, dem Produktionsmix entsprechende, prozentuale Aufteilung auf die Produktionsländer verwendet werden, soweit diese Informationen verfügbar sind. Aus diesen Festlegungen folgt, dass alle Umweltwirkungen einem Land zugeordnet werden können.

4.3.2 Darstellung der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse ist wichtig für die daran anschließende Interpretation. Gegenüber einer reinen Darstellung in absoluten Zahlen, werden zwei Arten der Veranschaulichung bevorzugt. Diese sind einerseits die Darstellung der relativen Anteile der Länder an der gewichteten Umweltintensität bzw. Umweltwertschöpfung und andererseits der relative Abstand zum Median der gewichteten Indikatoren.

Der Median teilt eine Liste von Werten in zwei Hälften [58] und ist dabei gegenüber dem arithmetischen Mittel relativ robust gegenüber Ausreißern. Er zeigt die mittlere Lage aller Werte an und drückt damit eine „typische“ Umweltintensität bzw. Umweltwertschöpfung für das betrachtete Produkt aus. Der relative Abstand zum Median dient dazu Unterschiede in der Wertschöpfungskette zu identifizieren.

Zuerst sollten jedoch alle absoluten und relativen Ergebnisse in **Tabellenform** dargestellt werden, um eine transparente Grundlage für alle weiteren Berechnungen zu schaffen. Darin sollten alle länderspezifischen Eingangsparameter, wie die Umweltwirkung, Wertschöpfung, der IHDI, sowie die daraus berechnete länderspezifische Umweltintensität bzw. Umweltwertschöpfung, die anschließend IHDI gewichtete Umweltintensität bzw. Umweltwertschöpfung, der Median und der relative Abstand zum Median angegeben werden.

In Vorbereitung der Interpretation werden zwei graphische Umsetzungen der zuvor tabellarisch erfassten Daten vorgeschlagen. In einem ersten **Säulendiagramm** kann die Entwicklung der relativen Anteile der Länder beginnend bei der Umweltwirkung über die Indikatoren UI bzw. UW hin zu den gewichteten Indikatoren gUI bzw. gUW dargestellt werden. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 4-6 dargestellt.

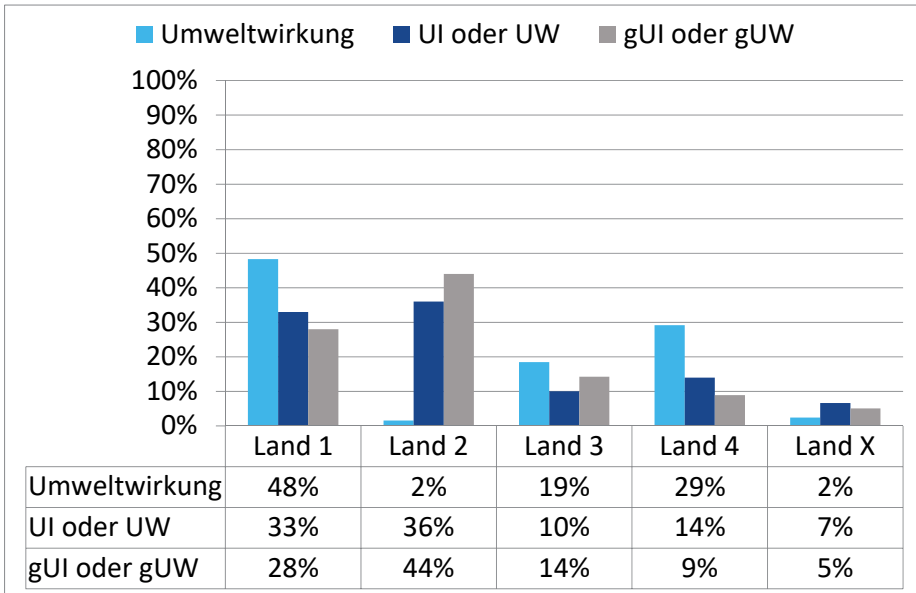


Abbildung 4-6: Beispiel für die Darstellung der gUI- bzw. gUW-Ergebnisse in Relation zur Umweltwirkung

In einem zweiten Säulendiagramm wird pro Land der relative Abstand zum gUI bzw. gUW-Median abgebildet. Dafür wird die Differenz zwischen dem länderspezifischen gUI- bzw. gUW-Ergebnis und dem Median in Relation zum Median gesetzt. Für die Ergebnisse bedeutet das, dass der positive Abstand unbegrenzt ist und der negative Abstand maximal 100% betragen kann. Ein Beispiel dafür, mit eingezeichnetem Grenzwert bei 200% entsprechend der Interpretation in Ziffer 4.3.3, ist in Abbildung 4-7 gegeben.

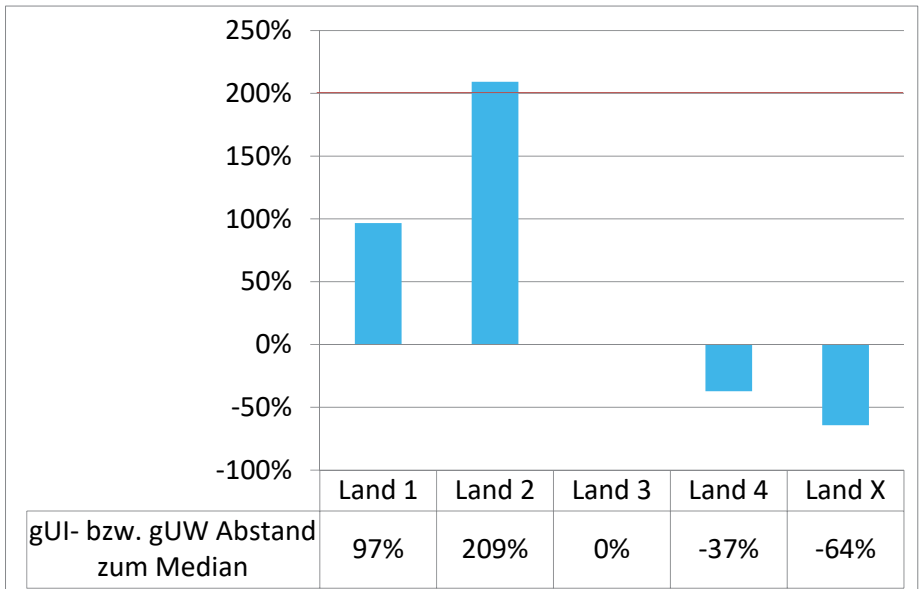


Abbildung 4-7: Beispiel für die Darstellung des relativen Abstands zum Median

4.3.3 Interpretation der Ergebnisse

Anhand der folgenden vier Fragen wird die Interpretation der Ergebnisse diskutiert:

1. Welches Land hat den niedrigsten IHDI?
2. Was lässt sich anhand der relativen Anteile pro Land am gUI aussagen?
3. Was lässt sich anhand der relativen Anteile pro Land am gUW aussagen?
4. Wie groß ist der jeweilige relative Abstand zum Median?
5. Was lässt sich aus der Ausprägung der Abstände zum Median (gUI und gUW) bezogen auf ein Land ableiten?

Die Interpretation bezieht sich dabei immer auf die in Ziffer 4.2.2 formulierte Binnensicht und zielt nicht auf einen Vergleich zwischen Produkten ab.

Welches Land hat den niedrigsten IHDI? (siehe Ergebnistabelle)

Die erste Frage bezieht sich auf die Fähigkeit der beteiligten Länder. Die Priorität der Fähigkeit in Form des IHDI wurde bereits in Ziffer 4.1.2 formuliert und stellt

auch den ersten Schritt der Interpretation dar. So ist zuerst zu prüfen, welches Land den kleinsten IHDI hat. Mit dieser Festlegung ist auch eindeutig definiert welches Land das schwächste Segment in der Verteilungsgesellschaft dieses Produktes ist und woraufhin alle Verbesserungen, entsprechend dem Differenzprinzip, ausgerichtet sein sollten.

Was lässt sich anhand der relativen Anteile pro Land am gUI aussagen? (siehe Abb. 4-7)

Die zweite Frage beschäftigt sich mit der relativen Verteilung des gUI über die Länder. Die Darstellung dient der Identifikation der Länder, die viel Verantwortung bei gleichzeitig wenig Nutzen tragen, also einen, im Vergleich, hohen Anteil am gUI haben. Die Annahme dahinter ist, dass diese Länder bei der alleinigen Auswertung der Umweltwirkung nicht prominent hervortreten und diese Gewichtung benötigen, so dass die getragene Last klarer wird.

Was lässt sich anhand der relativen Anteile pro Land am gUW aussagen? (aus Abb. 4-7)

In der dritten Frage zur Interpretation der Ergebnisse wird über die relative Verteilung des gUW nachgedacht, die die Verantwortlichkeit proportional zum generierten Nutzen hervorhebt oder entsprechend reduziert. Je größer der Nutzen ist, den ein Land aus der Wertschöpfungskette des Produktes zieht, desto mehr Verantwortung für die Reduzierung der Umweltwirkungen kann ihm anteilig zugeschrieben werden. Eine hohe gUW kann auch auf eine hohe Umweltwirkung zurückzuführen sein. So wird über diesen Indikator auch der Akteurin die Verantwortung zugeschrieben, die die Umweltwirkung verursacht.

Wie groß ist der jeweilige relative Abstand zum Median? (siehe Abb. 4-8)

Die vierte Frage beschäftigt sich mit dem Abstand zum Median der beiden Indikatoren. Der Abstand beschreibt dabei immer den relativen Unterschied innerhalb der Wertschöpfungskette zwischen den Ländern. Für beide Indikatoren wird folgende Bewertung des relativen positiven Abstands zum Median definiert, der sich größenordnungsmäßig an den in Ziffer 2.1.3 vorgestellten Verhältnissen orientiert.

Die Verteilung der Umweltintensität bzw. Umweltwertschöpfung ist:

- (1) extrem unterschiedlich, wenn mindestens ein Land einen relativen Abstand zum Median größer als 500% aufweist.

- (2) sehr unterschiedlich, wenn mindestens ein Land einen relativen Abstand zum Median größer als 200% aufweist.
- (3) unterschiedlich, wenn mindestens ein Land einen relativen Abstand zum Median zwischen 100% und 200% aufweist.
- (4) relativ ausgeglichen, wenn der relative Abstand der meisten Länder zum Median zwischen 50% und 100% liegt.
- (5) nahezu gleich, wenn der relative Abstand aller Länder zum Median unter 50% liegt.

Bezogen auf die gewichtete Umweltintensität bedeutet eine positiver hoher Abstand vom Median, dass das entsprechende Land im Vergleich zu den anderen Ländern sehr viel mehr Umweltwirkung pro Wertschöpfung „erdulden“ muss als die anderen Länder der Verteilungsgesellschaft. Je höher also der Abstand, desto schlechter steht das betroffene Land im Vergleich da. Liegt die gUI unterhalb des Medians, so profitiert das Land im Vergleich. Ist zusätzlich das, entsprechend der ersten Frage, als schwächstes Segment identifizierte Land von dem großen Abstand betroffen, so kann dies im Sinne der EUE als eine Ausbeutung der Peripherie zum Vorteil der Kernregionen gedeutet werden.

Bezogen auf die gewichtete Umweltwertschöpfung bedeutet ein positiver hoher Abstand vom Median, dass das entsprechende Land einen großen Nutzen aus der Teilnahme an der Wertschöpfungskette des Produktes zieht. Je größer der Abstand, desto größer der Nutzen im Vergleich zu den anderen Ländern. Entsprechend kann argumentiert werden, dass diesem Land eine größere Verantwortung in der Reduzierung der Umweltwirkung zuzuweisen ist. Mit der Zuweisung der Verantwortung kann in zukünftigen Schritten über entsprechende daraus resultierende Konsequenzen diskutiert werden.

Für beide Indikatoren werden nur die positiven Ausreiser betrachtet, weil dabei die besonders Sichtbaren und die besonders Verantwortlichen zu Tage treten. Damit bei eher ausgeglichenen Wertschöpfungsketten kein Akteur übersehen wird, muss in jedem Fall eine gemeinsame Auswertung beider Indikatoren erfolgen.

Was lässt sich aus der Ausprägung der Abstände zum Median (gUI und gUW) bezogen auf ein Land ableiten? (siehe Abb. 4-8)

Die Abstände zum Median sind meist positiv oder negativ ausgeprägt. Das kann für ein Land in unterschiedlichen Kombinationen auftreten:

- Im plus/plus Fall (+/+) weichen beide Indikatoren, gUI und gUW, positiv vom Median ab.
- Im minus/minus Fall (-/-) weichen beide Indikatoren, gUI und gUW, negativ vom Median ab.
- Im plus/minus Fall (+/-) weicht die gUI positiv und die gUW negativ vom Median ab.
- Im minus/plus Fall (-/+) weicht die gUI negativ und die gUW positiv vom Median ab.

Diese vier Fälle lassen sich wie folgt interpretieren.

Der plus/plus Fall (+/+) charakterisiert ein Land, das im Verhältnis zum Nutzen durch die Wertschöpfung viel Verantwortung trägt. Gleichzeitig ist die Umweltwirkung auch entsprechend groß, so dass das gUW positiv vom Median abweicht. Dies ist also ein Land, das große Umweltlasten und eine große Verantwortung trägt, ohne dafür den entsprechenden Nutzen zu erhalten. Verbesserungs- oder Ausgleichsmaßnahmen sollen primär zu einer entsprechenden Reduktion der Umweltlasten dieses Landes beitragen.

Das Land, das durch den minus/minus Fall (-/-) charakterisiert wird, hat einen größeren Nutzen von der Teilnahme an der Wertschöpfungskette vom Produkt. Der Anteil des Landes an der Wertschöpfung und Umweltwirkung ist jedoch insgesamt gesehen unterdurchschnittlich, woraus die negative Abweichung vom gUW-Median folgt. Verbesserungs- und Ausgleichsmaßnahmen müssen in erster Linie keine Rücksicht auf ein so charakterisiertes Land nehmen.

Der plus/minus Fall (+/-) beschreibt die Situation in einem Land, das relativ zum Nutzen viel Verantwortung trägt. Die negative Abweichung vom gUW jedoch deutet an, dass dieses Land einen geringen Anteil an der Gesamtverantwortung trägt. Verbesserungs- und Ausgleichsmaßnahmen sollten einem solchen Land mit einer niedrigeren Priorität zukommen, als solchen, die im plus/plus Fall charakterisiert werden.

Ein Land, das der minus/plus Fall (-/+) beschreibt, profitiert von der Wertschöpfungskette des Produktes. Es hat eine kleine gUI, dementsprechend einen großen Nutzen im Vergleich zur Verantwortung. Dieser große Nutzen spiegelt sich in einer positiven Abweichung zum gUW-Median wider. Für solche Länder sind keine Verbesserungsmaßnahmen notwendig, aber es kann darüber nachgedacht werden, ob sie nicht an Ausgleichsmaßnahmen beteiligt werden sollen.

Die vier beschriebenen Fälle sind in Abbildung 4-8 zusammengefasst.

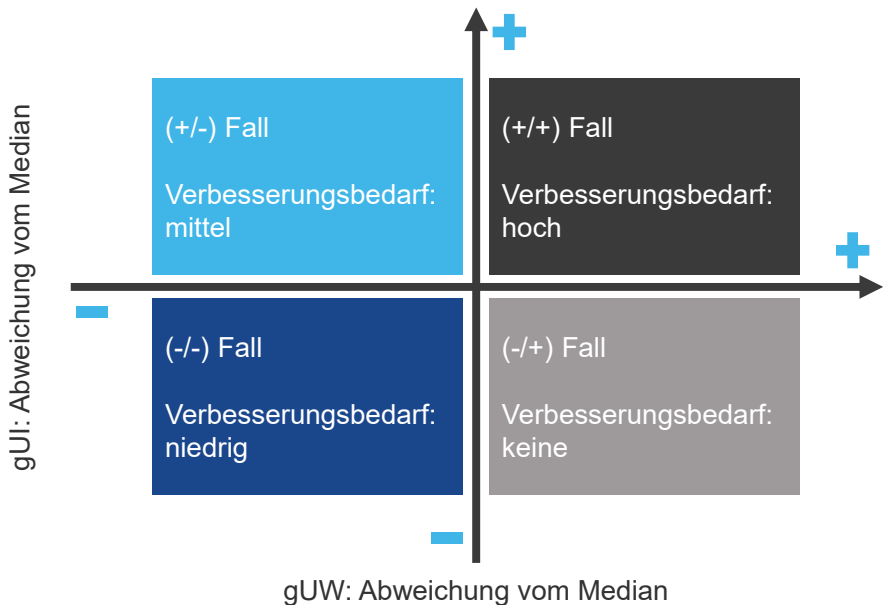


Abbildung 4-8: Zusammenfassung der gUI/gUW-Abweichung vom Median

Außer den vier beschriebenen Fällen sind noch Kombinationen möglich, in denen die gUI bzw. gUW eines Landes den Median bildet und der Abstand dazu entsprechend null ist. In diesem Fall ist zu prüfen, ob eine Zuordnung zu den oben genannt Fällen basierend auf den anderen Ergebnissen trotzdem möglich ist.

Durch die Beantwortung der vorangegangenen fünf Fragen kann eine Charakterisierung der Wertschöpfung hinsichtlich ihrer Verteilungseigenschaften vorgenommen und eine Entscheidung getroffen werden, ob und wie Verbesserungen der Wertschöpfungskette notwendig sind.

5 Anwendung der Integration

Die in Ziffer 4 entwickelte Quantifizierung und Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz wird auf zwei Beispiele angewendet. Die gewählten Beispiele sind die Herstellung und der Verkauf eines Baumwoll-T-Shirts und die Errichtung eines solarthermischen Turmkraftwerks. Das Ziel der Anwendung, die Unterschiede der verschiedenen Wertschöpfungsketten und weitere allgemeine Festlegungen werden zu Beginn beschrieben, bevor anschließend die Beispiele im Einzelnen ausgeführt werden.

5.1 Ziel der Anwendung

Das übergeordnete Ziel der Anwendung ist sicherzustellen, dass das in Ziffer 4 beschriebene Vorgehen auch praktisch umsetzbar ist. Dieses Ziel wird erreicht, indem folgende fünf Aspekte durch die gewählten Beispiele näher betrachtet werden:

- Prüfung der allgemeinen Anwendbarkeit
- Anwendung auf unterschiedliche Wertschöpfungsketten
- Verwendung von Daten aus unterschiedlichen Quellen
- Betrachtung unterschiedlicher Modellierungsebenen
- Auswertung verschiedener Umweltwirkungen

Prüfung der allgemeinen Anwendbarkeit

Anhand des Baumwoll-T-Shirts wird das Vorgehen Schritt für Schritt umgesetzt. Das dient der Prüfung der allgemeinen Anwendbarkeit. Das Beispiel ist dabei bewusst einfach gehalten und behandelt eine Wertschöpfungskette, die nur vier Länder umfasst. Dafür werden alle in dieser Arbeit entwickelten Indikatoren ausgewertet und alle vorgeschlagenen Darstellungsformen ausgewertet und diskutiert.

Anwendung der Integration auf unterschiedliche Wertschöpfungsketten

Die Methode hat den Anspruch auf verschiedenste Produktgruppen anwendbar zu sein. Dementsprechend werden zwei unterschiedlichen Wertschöpfungsketten ausgewählt. Das T-Shirt dient als Beispiel für ein Konsumgut [13], das direkt an die Endverbraucherin verkauft und von dieser genutzt wird. Die Einflussmöglichkeit der Konsumentin auf die Wertschöpfungskette ist begrenzt. Dafür ist das Empörungspotential für soziale Missstände bei Käuferinnen umso größer. Das solar-

thermische Turmkraftwerk steht beispielhaft für ein Investitionsgut [60], das weitere Güter, in diesem Fall Strom, produziert. Die Bauherrin hat einen unweit größeren Einfluss auf die Wertschöpfungskette. Der Planungsprozess ist länger und offener für Anpassungen in der Vorkette.

Verwendung unterschiedlicher Datenquellen

Beide Beispiele verwenden unterschiedliche Datenquellen als Eingangsparameter. So basiert das T-Shirt-Beispiel auf Literaturquellen, während für das solarthermische Kraftwerk eigene Ökobilanzmodelle erstellt und berechnet wurden. Beim T-Shirt werden die direkten CO₂-Emissionen aus der Herstellung betrachtet, beim solarthermischen Kraftwerk hingegen wird eine Auswertung von Wirkungskategorien aus der Ökobilanz durchgeführt. Auch die Information über die Wertschöpfung entspringt unterschiedlichen Quellen. So basieren die Angaben für die Wertschöpfung des T-Shirts auf Sekundärliteratur. Die prozessbasierte Wertschöpfung für das solarthermische Kraftwerk wird dagegen aus dem Ökobilanzmodell entsprechend dem Vorgehen in Ziffer 2.4 abgeleitet.

Betrachtung unterschiedlicher Modellierungsebenen

Im Beispiel vom solarthermischen Kraftwerk werden zwei Ebenen des Ökobilanzmodells, mit ansteigendem Detaillierungsgrad, betrachtet. Durch die Auswertung dieser Modellierungsebenen können Unterschiede in der Auswertung auf unterschiedlichem Detaillierungsgrad herausgearbeitete und Erfahrungswerte über die Art der Modellierung gewonnen werden.

Auswertung verschiedener Umweltwirkungen

Anhand des Ökobilanzmodells für das solarthermische Kraftwerk werden verschiedene Umweltwirkungen ausgewertet und in der D-LCA ausgewertet. Betrachtet werden dabei drei Umweltwirkungen auf verschiedenen Ebenen, eine mit globaler Wirkung, eine mit lokaler Wirkung und eine, die die Wirkung auf die menschliche Gesundheit beschreibt.

Allgemeine Festlegungen

Alle Länderabkürzungen werden mit zwei Buchstaben entsprechend der ISO-Norm 3166 dargestellt [54].

Bei der Darstellung der Anteile in Prozent [%] kann die Summe der angegebenen Einzelanteile, aufgrund von Rundungsungenauigkeiten, größer oder kleiner als 100% sein. In solchen Fällen wird die Summe der Einzelanteile trotzdem als 100% angegeben, da die Berechnung im Hintergrund mit den nicht-gerundeten Werten durchgeführt wurde.

5.2 Anwendungsbeispiel: T-Shirt

Das erste Beispiel ist die Herstellung und der Verkauf eines Baumwoll-T-Shirts. Das betrachtete System besteht aus dem Baumwollanbau, der T-Shirt Produktion, die vereinfacht in einem Schritt dargestellt ist, dem Transport von Asien nach Europa und dem Verkauf in Europa. Die funktionelle Einheit ist hierbei die Herstellung eines Baumwoll-T-Shirts mit einem Gewicht von 250 Gramm. Die betrachteten Elemente der T-Shirt Herstellung sind in Abbildung 5-1 dargestellt.

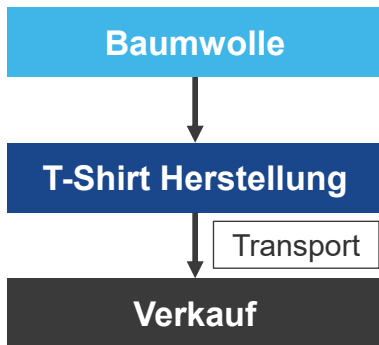


Abbildung 5-1: System der T-Shirt Herstellung und des Verkaufs

Es wird eine retrospektive Sichtweise eingenommen, das heißt es wird rückblickend ein bereits bestehendes Produkt betrachtet, was den Gestaltungsspielraum für Änderungen einschränkt. Der Erkenntnisgewinn ist jedoch erhöht, da auf gesicherten Daten aufgebaut werden kann. Durch die wenigen Elemente im System und die Nutzung von bestehenden Arbeiten dient dieses Beispiel der vereinfachten Skizzierung der Methode für Konsumartikel. Das Ziel dieses Beispiels ist die Prüfung der allgemeinen Anwendbarkeit und die Verwendung unterschiedlicher Datenquellen für das Vorgehen.

5.2.1 Eingangsdaten: Ökobilanz, Wertschöpfung und IHDl

Die Daten für das Beispiel werden aus zwei Quellen entnommen, die Umweltwirkungen aus [92] und die Wertschöpfung aus [99]. Beide Quellen geben ihre Ergebnisse länderspezifisch an. Für das Beispiel wird angenommen, dass die Baumwolle entsprechend [92] aus Indien (IN) kommt und die Herstellung des T-Shirts, wie in [99] angegeben, in Bangladesch (BD) geschieht. Der Transport wird Dänemark (DK) zugeordnet, da die Wertschöpfung explizit für die Reederei Maersk ausgewiesen ist, die ihren Hauptsitz in Kopenhagen hat [1]. Der Verkauf findet in Deutschland (DE) statt. Die Werte für die Kohlendioxidemissionen werden in kg CO₂ und die Wertschöpfung wird in Euros € ausgedrückt. Der IHDl wird [106] entnommen. Die Eingangsdaten sind in Tabelle 5-1 zusammengefasst.

Tabelle 5-1: Eingangsdaten für die Herstellung eines T-Shirts

Land	Kohlendioxid [kg CO ₂] [92]	Wertschöpfung [€] [99]	IHDl [-] [106]	Entwicklungs- stand nach IHDl
Indien (IN) - Baumwolle	1,82	0,40	0,468	gering
Bangladesch (BD) - Produktion	2,20	0,95	0,462	gering
Dänemark (DK) - Transport	0,05	0,06	0,860	sehr hoch
Deutschland (DE) - Verkauf	0,91	2,00	0,861	sehr hoch
Summe	4,98	3,41	n/v	n/v

*n/v: nicht verfügbar

Insgesamt werden 4,98 kg CO₂ für die Herstellung und den Verkauf eines T-Shirts emittiert. Dabei entsteht eine Wertschöpfung von 3,41€, die sich auf die vier betrachteten Länder verteilt. Dabei entstehen die meisten Emissionen in Bangladesch während der Produktion. Die größte Wertschöpfung findet in Deutschland beim Verkauf des T-Shirts statt.

Bangladesch hat in diesem Beispiel den kleinsten IHDl mit 0,462, während Deutschland mit 0,861 den größten IHDl hat. Insgesamt erstreckt sich die betrachtete Wertschöpfungskette über zwei sehr hoch entwickelte und zwei gering entwickelte Länder.

5.2.2 D-LCA Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in zwei Teilen dargestellt. Zuerst werden die Ergebnisse für die gUI, anschließend für die gUW zusammenfassend dargestellt.

„Sichtbarmachen“ mit der gUI

Die Ergebnisse werden in absoluten und relativen Werten für die Umweltintensität (UI), die IHDI gewichtete Umweltintensität (gUI) und der Abstand zum gUI-Median in Tabelle 5-2 angegeben.

Tabelle 5-2: gUI Ergebnisse für die Herstellung und den Verkauf eines T-Shirts (eigenen Berechnung)

Land	Umweltintensität (UI)		IHDI gewichtete Umweltintensität (gUI)		Abstand zum gUI-Median	
	[kg CO ₂ /€]	[%]	[kg CO ₂ /€]	[%]	[kg CO ₂ /€]	[%]
Indien (IN): Baumwolle	4,55	56%	9,72	60%	6,73	225%
Bangladesch (BD): Produktion	2,32	28%	5,01	31%	2,02	68%
Dänemark (DK): Transport	0,83	10%	0,97	6%	-2,02	-68%
Deutschland (DE): Verkauf	0,46	6%	0,53	3%	-2,46	-82%
Summe	8,15	100%	16,23	100%	n/v	n/v
Median	1,57	n/v	2,99	n/v	n/v	n/v

*n/v: nicht verfügbar

Die Summe der Umweltintensität für ein T-Shirt liegt bei 8,15 kg CO₂/€, wird diese jeweils mit dem entsprechenden IHDI gewichtet so verdoppelt sich dieser Wert nahezu auf 16,23 kg CO₂/€. Die höchste UI und gUI hat Indien mit 4,55 kg CO₂/€ beziehungsweise 9,72 kg CO₂/€. Das Minimum liegt mit 0,46 kg CO₂/€ für die UI und 0,53 kg CO₂/€ bei Deutschland. Beim gUI liegt der Median mit 2,99 CO₂/€ zwischen Dänemark und Bangladesch. Die relative Verteilung von CO₂, UI und gUI pro Land ist in Abbildung 5-2 dargestellt.

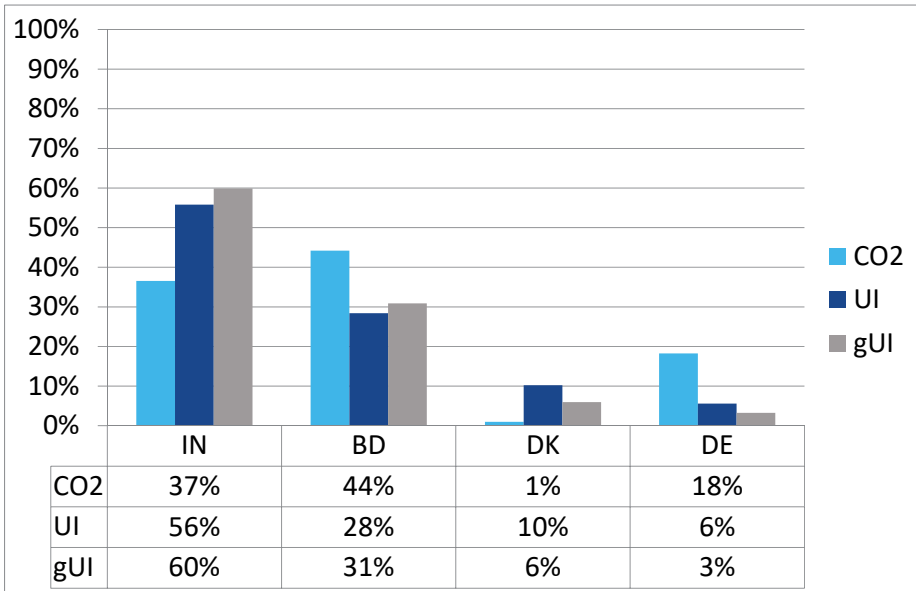


Abbildung 5-2: Relative Verteilung von CO₂, UI und gUI

Über den abgebildeten Verlauf von den Kohlendioxidemissionen über die Umweltintensität bis hin zur gewichteten Umweltintensität hinweg ist zu erkennen, wie sich die Anteile verschieben. Beim Übergang von den Emissionen hin zur UI verschieben sich die Anteile aus der Herstellung in Bangladesch (-16%) und dem Verkauf in Deutschland (-13%) hin zur indischen Baumwollproduktion (+19%) und zum Transport (+9%), der Dänemark zugeordnet ist. Bei der anschließenden Gewichtung mit dem IHDl, tritt der erwartete Effekt ein, dass die Anteile der schwächer entwickelten Länder sich erhöhen (Indien +4% und Bangladesch +3%) und sich die Anteile von Dänemark (-4%) und Deutschland (-2%) reduzieren. Insgesamt erhöhen sich die Anteile von Indien und Dänemark, während die Anteile Bangladeschs und Deutschlands entsprechend sinken.

Bei der Auswertung der Kohlendioxidemissionen lässt sich erkennen, dass 81% der Anteile an den Emissionen in Indien und Bangladesch entstehen. Nimmt man die D-LCA Erweiterung hinzu so tragen die beiden Länder in Summe 91% der ge-

wichteten Lasten. Das Verhältnis zwischen den beiden Länder hat sich von einem 1:1,18 (IN/BD) hin zu einem 1:0,52 (IN/BD) entwickelt.

Der relative Abstand zum gUI-Median ist in Abbildung 5-3 dargestellt.

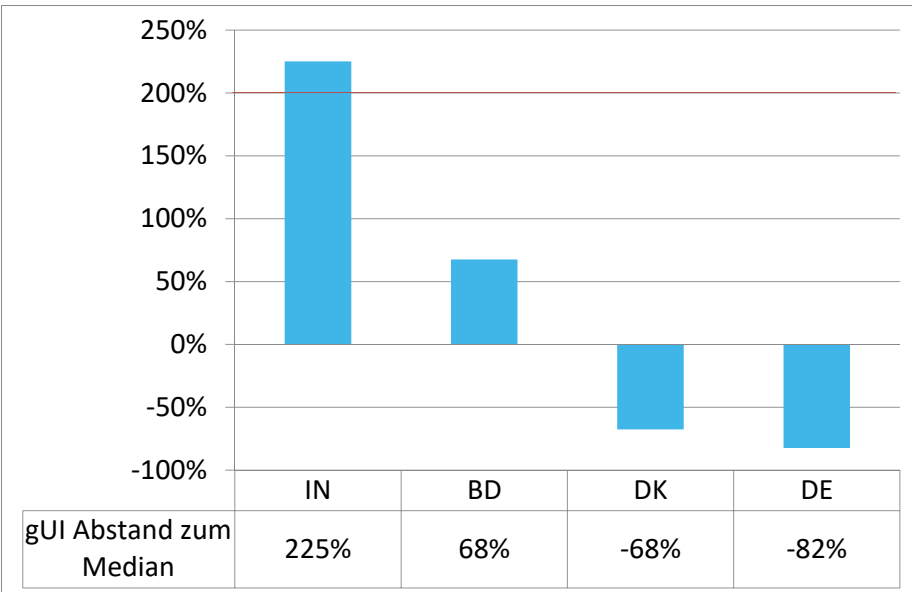


Abbildung 5-3: Relativer Abstand zum gUI-Median

Der relative Abstand zum gUI-Median überschreitet bei Indien mit 225% den 200%-Grenzwert zu einer sehr unterschiedlichen Verteilung, wie er in Ziffer 4.3.3 definiert ist. Bangladesch hat eine relative Abweichung von rund 68% zum Median. Dänemark, das den Transport verantwortet und Deutschland zeigen jeweils eine negative Abweichung vom Median von 68% beziehungsweise 82%.

„Verantwortlichmachen“ mit der gUW

Im zweiten Teil der Auswertung wird der Indikator der Umweltwertschöpfung betrachtet. Die Ergebnisse werden in absoluten und relativen Werten für die Umweltwertschöpfung (UW), die IHDI gewichtete Umweltwertschöpfung (gUW) und den Abstand zum gUW-Median in Tabelle 5-3 angegeben.

Tabelle 5-3: gUW Ergebnisse für die Herstellung und den Verkauf eines T-Shirts (eigene Berechnung)

Land	Umweltwertschöpfung (UW)		IHDl gewichtete Umweltwertschöpfung (gUW)		Abstand zum gUW-Median	
	[kg CO ₂ *€]	[%]	[kg CO ₂ *€]	[%]	[kg CO ₂ *€]	[%]
Indien (IN): Baumwolle	0,728	16%	0,341	12%	-0,31	-48%
Bangladesch (BD): Produktion	2,090	45%	0,966	34%	0,31	48%
Dänemark (DK): Transport	0,003	0%	0,003	0%	-0,65	-100%
Deutschland (DE): Verkauf	1,820	39%	1,567	54%	0,91	140%
Summe	4,641	100%	2,876	100%	n/v	n/v
Median	1,274	n/v	0,653	n/v	n/v	n/v

*n/v: nicht verfügbar

Die Umweltwertschöpfung beträgt in Summe für ein T-Shirt 4,641 kg CO₂*€ und sinkt nach der Gewichtung mit dem IHDl auf 2,876 kg CO₂*€. Betrachtet man die nicht gewichtete Umweltwertschöpfung, so hat Bangladesch mit 2,09 kg CO₂*€ den höchsten Wert und Dänemark den niedrigsten Wert, der bei 0,003 kg CO₂*€ liegt. Nach der Gewichtung mit dem IHDl hat Deutschland die höchste gUW mit 1,567 kg CO₂*€. Dänemarks Wert verändert sich nicht durch die Gewichtung. Den Median der gUW-Zahlenreihe liegt mit 0,653 kg CO₂*€ zwischen Indien und Bangladesch. Die relative Verteilung der Kohlendioxidemissionen, UW und gUW pro Land ist in Abbildung 5-4 dargestellt.

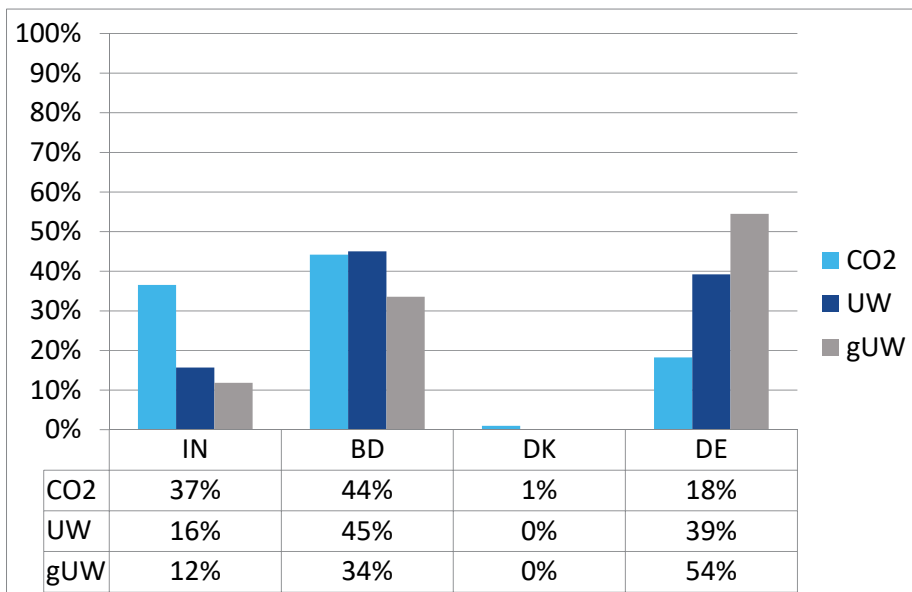


Abbildung 5-4: Relative Verteilung von GWP, UW und gUW

Über den abgebildeten Verlauf von den Kohlendioxidemissionen über die Umweltwertschöpfung bis hin zur gewichteten Umweltwertschöpfung sind zwei große Trends zu sehen. So reduzieren sich die Anteile Indiens von 37% auf 12%, also um rund ein Drittel, während sich die Anteile Deutschlands von 18% auf 54% verdreifachen und schließlich mehr als die Hälfte der Umweltwertschöpfung des T-Shirts in Deutschland liegt. Die Anteile Bangladeschs an der Umweltwertschöpfung reduzieren sich mit der Gewichtung mit dem IHDI von 44% auf 34% um 10%. Die Anteile Dänemarks an der Umweltwertschöpfung sind mit gerundeten 0% vernachlässigbar.

Der relative Abstand zum gUW-Median ist in Abbildung 5-5 dargestellt.

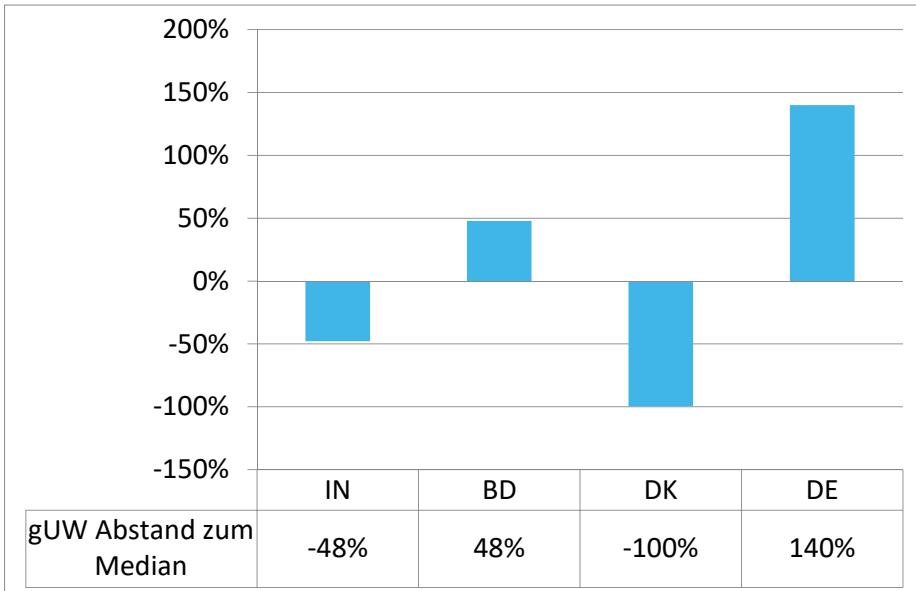


Abbildung 5-5: Relativer Abstand zum gUW-Median

Deutschland weist einen relativen Abstand von 140% zum Median auf und bewegt sich im definierten Rahmen zwischen 100% und 200%, der eine unterschiedliche Verteilung charakterisiert. Die Umweltwertschöpfung von Bangladesch liegt mit rund 48% auch über dem Median, während Indien 48% und Dänemark 100% unter dem Median liegt.

5.2.3 Diskussion des Anwendungsbeispiels T-Shirt

Die in Ziffer 5.2.2 vorgestellten Ergebnisse werden entsprechend der in Ziffer 4.3.3 entwickelten Fragen diskutiert.

Welches Land hat den niedrigsten IHDI?

In diesem Beispiel sind zwei Länder, Bangladesch und Indien, entsprechend dem IHDI als gering entwickelte Länder eingestuft, wobei die Differenz der beiden Länder 0,006 beträgt. Bangladesch ist das geringer entwickelte Land der beiden. Bei diesem geringen Abstand können beide Länder als das schwächste Segment der Verteilungsgesellschaft gesehen werden. Das andere Segment bilden Deutschland

und Dänemark, zwei nach dem IHDI hoch entwickelte Länder, deren Differenz 0,001 beträgt. Somit ähnelt dieses Beispiel dem in Abbildung 2-1 vereinfacht dargestellten Differenzprinzip mit zwei Gesellschaftsschichten. Alle zukünftigen Veränderungen an der Wertschöpfungskette sollen dem schwächsten Segment zum Vorteil sein.

Was lässt sich anhand der relativen Anteile pro Land am gUI aussagen? (vgl. Abb. 5-2)

Es kann durch die Anteile der gUI hervorgehoben werden, dass die Verteilung in diesem Beispiel zu Lasten der gering entwickelten Länder ausgeprägt ist. Nimmt man die zwei Gesellschaftssegmente als Grundlage, so sieht man eine Verschiebung der Lasten von 10% Punkten vom stärkeren Segment ins schwächere Segment im Vergleich zur ursprünglichen Verteilung der Kohlendioxidemissionen. Innerhalb der Segmente gibt es auch Verschiebungen. So wird die Last für den Transport sichtbarer, während der Verkauf in Deutschland an Anteil verliert. Auch verschieben sich die Anteile von der Produktion in Bangladesch hin zum Rohstofflieferanten Indien.

Was lässt sich anhand der relativen Anteile pro Land am gUW aussagen? (vgl. Abb. 5-4)

Die Verantwortung ausgedrückt durch die gUW liegt zu über 50% bei Deutschland, das davon profitiert, dass nur die Dienstleistung des Verkaufs in Deutschland stattfindet und die arbeitsintensive Rohstoffproduktion und Produktherstellung ausgelagert wurden. Somit spiegelt die gUW die Ergebnisse der gUI wider und weist Deutschland, das die geringste Umweltintensität hatte, die größte Verantwortung zu. Bangladesch trägt mit einem Anteil von 34% die zweitgrößte Verantwortung und profitiert mehr als der reine Rohstofflieferant Indien mit einem Anteil von 12%. Das vom IHDI her gesehen schwächste Segment der Verteilungsgesellschaft Bangladesch schneidet somit beim gUW etwas besser ab, was darauf hindeutet, dass die Wertschöpfung in Bangladesch, bezogen auf diese Wertschöpfungskette, in einem akzeptablen Verhältnis zu den Kohlendioxidemissionen steht. Der Transport spielt für die Verteilung der Verantwortung über die gUW mit einem Anteil von 0% keine Rolle.

Wie groß ist der jeweilige relative Abstand zum Median? (vgl. Abb. 5-3 und 5-5)

Die Verteilung der Umweltintensität kann als sehr ungleich charakterisiert werden, da Indien einen Abstand von mehr als 200% zum Median hat. Damit trägt das schwache Segment die größte Last. Dies kann als ungerechte Verteilung interpretiert werden. Die Spanne beim relativen Abstand zum gUW-Median ist nicht so groß wie beim Abstand zum gUI. Trotzdem ist entsprechend der gegebenen Definition ist eine ungleiche Verteilung zu beobachten, da Deutschlands relativer Abstand zum Median zwischen 100% und 200% liegt.

Was lässt sich aus der Ausprägung der Abstände zum Median (gUI und gUW) bezogen auf ein Land ableiten?

Die Ausprägung der relativen Abstände zum Median ist für jedes Land einem Fall, wie in Ziffer 4.3.3 definiert, über ein „X“ zugeordnet und in Tabelle 5-4 zusammengefasst. Falls eine Zuordnung nicht eindeutig sein sollte, wird das durch eine Klammer „(X)“ ausgedrückt.

Tabelle 5-4: Zuordnung der Länder zu den vier Fällen der Abstandsausprägung

Land	(+/-)-Fall	(-/-)-Fall	(+/-)-Fall	(-/+)-Fall
Indien (IN): Baumwolle			X	
Bangladesch (BD): Produktion	X			
Dänemark (DK): Transport		X		
Deutschland (DE): Verkauf				X

Indien wird dem (+/-)-Fall zugeordnet. Mit dieser Zuordnung wird ausgedrückt, dass es aufgrund der hohen gUI die zweithöchste Priorität bei Verbesserungsmaßnahmen an der Wertschöpfungskette verdient.

Bangladesch ist eindeutig dem (+/+)-Fall zuzuordnen und ist somit das primäre Ziel von Verbesserungen in der Wertschöpfungskette. Es trägt große Lasten und

auch große Verantwortung, wobei es gleichzeitig das schwächste Glied im schwachen Segment ist.

Dänemark wird dem (-/-)-Fall zugeordnet. Damit wird festgelegt, dass die Lasten und auch die Verantwortung in Relation zu den anderen Beteiligten der Wertschöpfungskette vernachlässigbar sind, auch wenn im gUI eine größere Sichtbarkeit erzielt wurde.

Deutschland ist eindeutig dem (-/+)-Fall zuzuordnen und der Profiteur dieser Wertschöpfungskette. Sollten Ausgleichsmaßnahmen als Konsequenz aus dieser Arbeit beschlossen werden, kann eine Beteiligung Deutschlands mit in Betracht gezogen werden.

Zusammenfassend lässt sich zum T-Shirt Beispiel sagen, dass die in Ziffer 4 eingeführte Vorgehensweise anwendbar ist. Nicht betrachtet wurden in diesem Beispiel die Nutzungsphase und das Lebensende des Produktes. Außerdem wurden nur die Kohlendioxidemissionen als Umweltwirkung in Betracht gezogen.

5.3 Anwendungsbeispiel: Solarthermisches Kraftwerk

Die in Ziffer 4 entwickelte Methode der D-LCA wird in diesem Abschnitt an einem in Südafrika geplanten, solarthermischen Kraftwerk beispielhaft angewendet. Dieses Beispiel wurde ausgewählt, weil die Wertschöpfungskette genügend lang und global verteilt ist, genügend Daten vorliegen, es ein technisch anspruchsvolles Bauwerk ist und weil relevante Konstruktionsvarianten ausprobiert werden können. Somit wird eine prospektive Sichtweise eingenommen, die einen größeren Gestaltungsspielraum für Veränderungen impliziert. Ziel dieses Beispiels ist es verschiedene Ebenen eines Ökobilanzmodells auszuwerten und mehrere Umweltwirkungen in die Berechnung mit einzubeziehen.

Die Grundlagen für dieses Beispiel stammen aus dem EU-Projekt PreFlexMS [30], in dem solarthermische Kraftwerke flexibler gestaltet werden sollten. Parallel zu den technischen Entwicklungsarbeiten wurde auch eine Ökobilanz durchgeführt, woraus sich die prozessbasierte Wertschöpfung wie in Ziffer 2.4 ableiten lässt.

Im Folgenden werden die technischen Grundlagen eines solarthermischen Kraftwerks erläutert, die Eingangsdaten in den drei Hauptelementen Ökobilanz, prozessbasierte Wertschöpfung und IHDI separat angegeben und die jeweiligen Hintergründe beschrieben. Die Berechnung wird anhand der D-LCA Methode durchgeführt und anschließend die Ergebnisse diskutiert.

5.3.1 Technische Grundlagen

Solarthermische Kraftwerke mit Strahlungsbündelung (engl.: Concentrated Solar Power, CSP) konzentrieren Sonnenstrahlen, um mit der enthaltenen thermischen Energie einen klassischen Dampfkraftwerksprozess zu betreiben [57]. Grundsätzlich gibt es verschiedene, punktförmige oder linienförmige, Ansätze Sonnenstrahlen zu konzentrieren. In diesem Beispiel wird die punktförmige Konzentration der Sonnenstrahlen in einem solarthermischen Turmkraftwerk betrachtet, das aus Reflektoren, hier Heliostatenfeld genannt, einem Turm mit Absorber (engl.: solar receiver) und dem Kraftwerksblock mit einer Nennleistung von 101 MW besteht. Der Kraftwerksblock wiederum beinhaltet den Dampferzeuger, die Turbine und den Generator. Die überschüssige Wärme wird über einen Kühlturm abgeführt. Für die Wärmeübertragung wird geschmolzenes Salz verwendet, das gleichzeitig auch als Wärmespeicher für sonnenarme Stunden dient. Abbildung 5-6 fasst die einzelnen Komponenten des Kraftwerks mit ihren Subkomponenten zusammen.

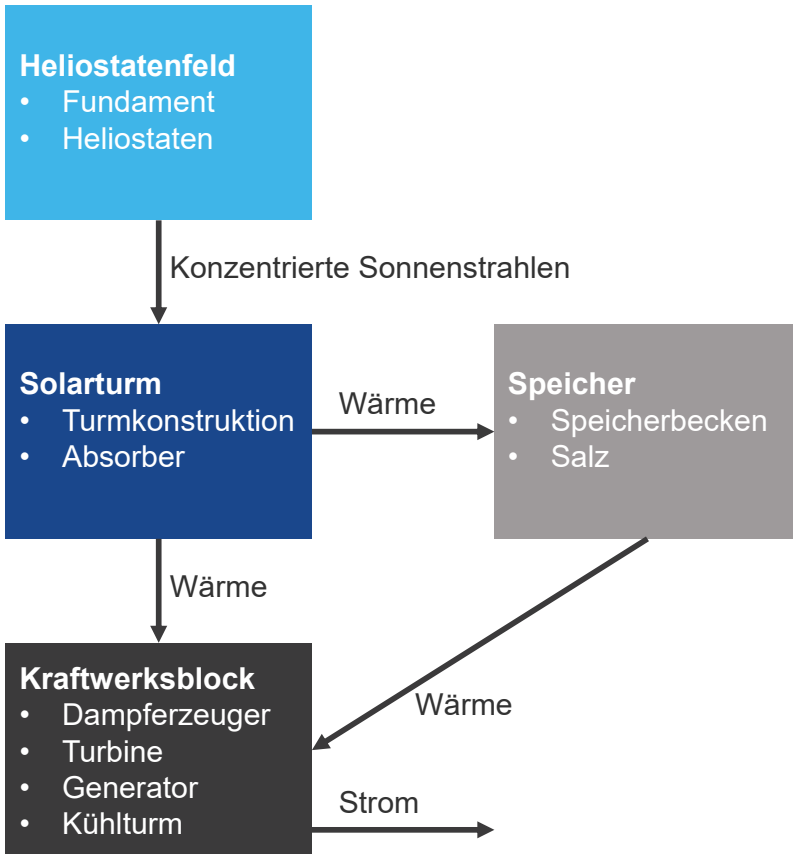


Abbildung 5-6: Komponenten des solarthermischen Turmkraftwerkes

Weitere Informationen zu der Kraftwerksauslegung und der Datengrundlage für die Ökobilanz können aus [70; 96] entnommen werden.

5.3.2 Modellstruktur aus der Ökobilanz

Die Ökobilanz betrachtet die Herstellung eines solarthermischen Turmkraftwerkes vom Rohstoffabbau bis zum schlüsselfertigen Kraftwerk (engl.: „cradle to gate“). Die funktionelle Einheit ist die „Bereitstellung eines solarthermischen Turmkraftwerkes mit einer Nennleistung von 101 MW“. Alle Umweltwirkungen beziehen sich

auf diese funktionelle Einheit. Das Ökobilanzmodell wurde in dem Datenbank- und Softwaresystem GaBi ts, Version 8.7 Servicepack 37 [39], realisiert. Das Modell ist hierarchisch aufgebaut und hat mehrere Planebenen. Die erste Ebene beinhaltet die Kraftwerkskomponenten, deren Transport auf dem Land- bzw. Seeweg und die Aufwendungen für die Errichtung des Kraftwerkes. Diese Ebene wird im weiteren Verlauf als „Komponentenebene“ oder auch „Ebene 1“ bezeichnet. Auf der Ebene darunter wird die Herstellung der Einzelkomponenten über aggregierte Produktprozesse oder weitere Pläne für die Herstellung von Subkomponenten abgebildet und wird als „Subkomponentenebene“ oder „Ebene 2“ gekennzeichnet. Für die Anwendung in dieser Arbeit werden diese ersten zwei Ebenen des Modells ausgewertet. Jeder Plan und Prozess erhält dabei eine spezifische Länderzuordnung. Der Transport der einzelnen Komponenten wurde den jeweiligen Ländern zugeordnet, in denen die Komponenten hergestellt werden. Eine Übersicht über die Planebenen im Ökobilanzmodell und die entsprechende Länderzuordnung auf der Komponentenebene ist in Abbildung 5-7 dargestellt.

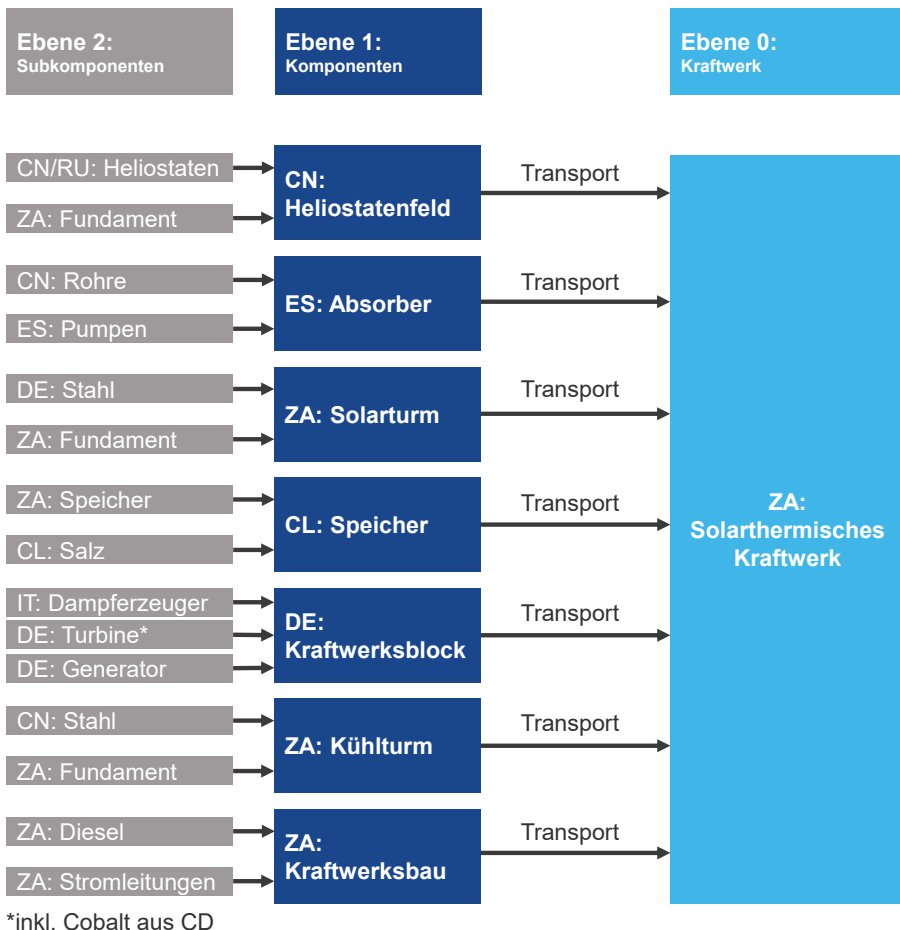


Abbildung 5-7: Ökobilanzmodellstruktur des solarthermischen Turmkraftwerks

Für die Komponenten werden folgende Annahmen bezüglich ihrer Herkunft getroffen. Die Heliostaten für das Heliostatenfeld, hauptsächlich bestehend aus einem Stahlrahmen und einer spiegelnden Fläche, werden in China (CN) produziert. Die technisch aufwendigeren Komponenten werden in Europa hergestellt. Konkret bedeutet das, dass der Absorber in Spanien (ES) und der gesamte Kraftwerksblock in Deutschland (DE) gefertigt werden. Alle mit dem Kraftwerk zusammenhängen-

den Bauarbeiten und die Massivbauten, der Solarturm und der Kühlturm, finden am Standort in Südafrika (ZA) statt. Das Wärmespeichersalz wird aufgrund bestehender natürlicher Vorkommen aus Chile (CL) importiert.

Ebene 2 ist immer noch eine Vereinfachung der Wertschöpfungskette, aber es sind drei weitere Länder beteiligt. So kommen Rohstoffe, wie Nickel oder Aluminium aus Russland (RU). Der demokratischen Republik Kongo (CD) wird das Cobalt [41] in der Turbinenfertigung zugeordnet. In Italien (IT) wird der Dampferzeuger hergestellt.

5.3.3 Eingangsdaten aus der Ökobilanz

Für die Ökobilanz werden, basierend auf der Wirkungsabschätzungsmethode CML 2001 Version 4.7 von 2016 [15], verschiedene Wirkungskategorien in den entsprechenden Einheiten ausgewertet:

- Treibhauspotential (GWP): kg CO₂-Äquivalente (Äq.)
- Eutrophierungspotential (EP): kg PO₄³⁻-Äq.
- Humantoxizitätspotential (HTP): kg Dichlorbenzol (DCB)-Äq.

Diese Kategorien wurden ausgewählt, weil sie eine große Bandbreite an Umweltwirkungen abbilden und lokale wie globale Wirkungshorizonte abdecken. Das Treibhauspotential wird als Indikator für die Wirkung auf den Klimawandel ausgewertet, da dieser das aktuell drängendste globale Problem ist und die Menschheit in ihrer Gesamtheit betrifft. Das Eutrophierungspotential adressiert die Umweltwirkung, die durch einen überhöhten Nährstoffeintrag in die Umwelt entsteht. Dieser Nährstoffeintrag führt zu einer Überdüngung auf lokaler Ebene und bringt terrestrische und aquatische Ökosysteme aus dem Gleichgewicht. Das Humantoxizitätspotential beschreibt das Potential von Emissionen, die einen negativen Effekt auf die menschliche Gesundheit haben und somit eine Wirkung, die direkt auf den Menschen wirkt.

Die Ergebnisse der Ökobilanz werden separat für Ebene 1 und Ebene 2, jeweils absolut und relativ angegeben.

Ergebnisse auf Ebene 1: Komponentenebene

Auf Komponentenebene, der Ebene 1, wurden die Ökobilanzergebnisse bezogen auf die funktionelle Einheit ausgewertet und den jeweiligen Ländern zugeordnet.

Tabelle 5-5 fasst die absoluten und relativen Ergebnisse für alle Wirkungskategorien und Länder zusammen.

Tabelle 5-5: Ökobilanzergebnisse der Ebene 1 nach Ländern sortiert

Land	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	GWP [%]	EP [kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	EP [%]	HTP [kg DCB-Äq.]	HTP [%]
Spanien (ES)	4.377.699	2%	3.785	2%	19.706.968	8%
Chile (CL)	81.460.940	29%	66.276	27%	20.038.667	8%
Deutschland (DE)	6.833.620	2%	6.451	3%	22.766.644	10%
Südafrika (ZA)	51.668.566	19%	29.323	12%	76.410.566	32%
China (CN)	134.876.396	48%	141.457	57%	100.075.287	42%
Summe	279.217.221	100%	247.291	100%	238.998.131	100%

Insgesamt entstehen bei der Errichtung eines solarthermischen Kraftwerkes 279.217.221 kg CO₂-Äq. in der Wirkungskategorie GWP, 247.291 kg PO₄³⁻-Äq. in der Wirkungskategorie EP und 238.998.131 kg DCB-Äq. in der Wirkungskategorie HTP. Diese verteilen sich unterschiedlich auf die Länder, wobei China bei allen drei Wirkungskategorien mit jeweils über 40% den größten Anteil hat. Südafrika und Chile haben jeweils den zweit- bzw. drittgrößten Anteil an den Wirkungskategorien außer beim HTP, wo Deutschland den drittgrößten Anteil hat.

Ergebnisse auf Ebene 2: Subkomponentenebene

Auf der zweiten Ebene, die aus Prozessen und Plänen besteht, werden wie auf Ebene 1 die entsprechenden Wirkungskategorien ausgewertet und den Ländern zugeordnet. Die absoluten und relativen Ergebnisse finden sich in Tabelle 5-6.

Tabelle 5-6: Ökobilanzergebnisse der Ebene 2 nach Ländern sortiert

Land	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	GWP [%]	EP [kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	EP [%]	HTP [kg DCB-Äq.]	HTP [%]
Spanien (ES)	17.584.264	6%	17.087	7%	77.380.440	32%
Chile (CL)	77.615.563	28%	64.628	26%	1.117.880	0%
Deutschland (DE)	85.333.756	31%	24.919	10%	32.567.741	14%
Südafrika (ZA)	29.686.946	11%	22.761	9%	6.196.248	3%
China (CN)	63.392.677	23%	116.391	47%	97.606.264	41%
Russland (RU)	5.579.682	2%	1.496	1%	23.909.242	10%
Dem. Rep. Kongo (CD)	2.516	0%	1	0%	3.568	0%
Italien (IT)	21.816	0%	8	0%	216.748	0%
Summe	279.217.221	100%	247.291	100%	238.998.131	100%

Die Summen der verschiedenen Wirkungskategorien auf Ebene 2 sind die gleichen wie auf Ebene 1. Was sich verändert, sind die jeweiligen Anteile der Länder durch eine detailliertere Zuordnung der Umweltwirkungen. So hat China weiterhin den größten Anteil beim EP und HTP, aber beim GWP hat nun Deutschland den größten Anteil.

5.3.4 Eingangsdaten aus der prozessbasierten Wertschöpfung

Basierend auf dem in Ziffer 5.3.2 beschriebenen Ökobilanzmodell und der entsprechenden Modellhierarchie wurde die prozessbasierte Wertschöpfung berechnet. Die Wertschöpfung für das solarthermische Kraftwerk wird auf Komponentenebene und Prozessebene den jeweiligen Ländern zugeordnet und in Tabelle 5-7 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5-7: Ergebnisse der prozessbasierten Wertschöpfungsberechnung

Land	Wertschöpfung Ebene 1 [€]	[%]	Wertschöpfung Ebene 1+2 [€]	[%]
Spanien (ES)	40.822.029	4%	46.306.933	5%
Chile (CL)	391.300.668	42%	390.275.484	42%
Deutschland (DE)	59.702.175	6%	98.470.663	11%
Südafrika (ZA)	253.178.508	27%	262.657.606	28%
China (CN)	189.996.621	20%	135.707.209	15%
Russland (RU)	n/v	n/v	1.297.799	0%
Dem. Rep. Kongo (CD)	n/v	n/v	231	0%
Italien (IT)	n/v	n/v	284.075	0%
Summe	935.000.000	100%	935.000.000	100%

*n/v: nicht verfügbar

Es wird eine Wertschöpfung von 935.000.000 € für die Errichtung eines solarthermischen Kraftwerks generiert.

5.3.5 Eingangsdaten IHDI

Der IHDI (s. Ziffer 2.7) aus dem Jahr 2017 für die beteiligten Länder ist in Tabelle 5-8 zusammengefasst.

Tabelle 5-8: IHDI der betrachteten Länder für 2017 basierend auf [106]

Land	IHDI [-]	Entwicklungsstand nach IHDI
Chile (CL)	0,710	hoch
China (CN)	0,643	mittel
Dem. Rep. Kongo (CD)	0,319	gering
Deutschland (DE)	0,861	sehr hoch
Italien (IT)	0,771	hoch
Russland (RU)	0,738	hoch
Spanien (ES)	0,754	hoch
Südafrika (ZA)	0,467	gering

Durch den IHDI kann man die Länder in ihrem Stand der Entwicklung bewerten. Aus dieser Übersicht ist ersichtlich, dass unter dem Gesichtspunkt der Fähigkeiten die demokratische Republik Kongo das schwächste Land und Deutschland das stärkste Land in diesem Beispiel sind. Dementsprechend hat der Kongo die höch-

te Priorität bei möglichen Verbesserungen in der Wertschöpfungskette. Insgesamt erstreckt sich die betrachtete Wertschöpfungskette über ein sehr hoch entwickeltes, vier hoch entwickelte, einem mittel und zwei gering entwickelten Länder.

5.3.6 D-LCA Ergebnisse für Ebene 1

Die Ergebnisse der D-LCA für Ebene 1 sind in den zwei vorher vorgestellten Herangehensweisen „Sichtbarmachen“ mit dem Indikator der Umweltintensität und „Verantwortlichmachen“ mit dem Indikator der Umweltwertschöpfung gegliedert. Ausführlich wird dabei die Berechnung mit der Umweltwirkung GWP dargestellt. Die Graphiken für die Abstände zum gUI- bzw. gUW-Median werden in diesem Abschnitt dargestellt, während die zweite Art der graphischen Darstellung, die Entwicklung von der Umweltwirkung GWP über die UI bzw. UW hin zur gUI bzw. gUW, sich in Anhang A befindet.

„Sichtbarmachen“ mit der gUI

Die Eingangsdaten werden entsprechend der Formeln in Ziffer 4.3.2 zusammengeführt und das Ergebnis berechnet. Die Übersicht der absoluten und relativen Werte der Umweltintensität und der Abstand zum gUI-Median ist in Tabelle 5-9 gegeben.

Tabelle 5-9: Ergebnisse der UI und gUI der Umweltwirkung GWP für Ebene 1 (eigenen Berechnung)

Land	Umweltintensität (UI) Ebene 1		IHDl gewichtete Um- weltintensität (gUI) Ebene 1		Abstand zum gUI-Median Ebene 1	
	[kg CO ₂ - Äq./€]	[%]	[kg CO ₂ - Äq./€]	[%]	[kg CO ₂ - Äq./€]	[%]
Spanien (ES)	0,11	8%	0,14	7%	-0,15	-51%
Chile (CL)	0,21	15%	0,29	14%	0,00	0%
Deutschland (DE)	0,11	9%	0,13	6%	-0,16	-55%
Südafrika (ZA)	0,20	15%	0,44	21%	0,14	49%
China (CN)	0,71	53%	1,10	52%	0,81	277%
Summe	1,34	100%	2,11	100%	n/v	n/v
Median	0,20	n/v	0,29	n/v	n/v	n/v

*n/v: nicht verfügbar

Die Summe der gUI für ein solarthermisches Kraftwerk auf Ebene 1 beträgt 2,11 kg CO₂-Äq./€, wobei China einen Anteil von 52% daran hat, gefolgt von Südafrika mit 21%. Der Median entspricht der gUI von Chile mit 0,29 kg CO₂-Äq./€. Abbildung 5-8 zeigt den relativen Abstand zum gUI-Median auf Ebene 1.

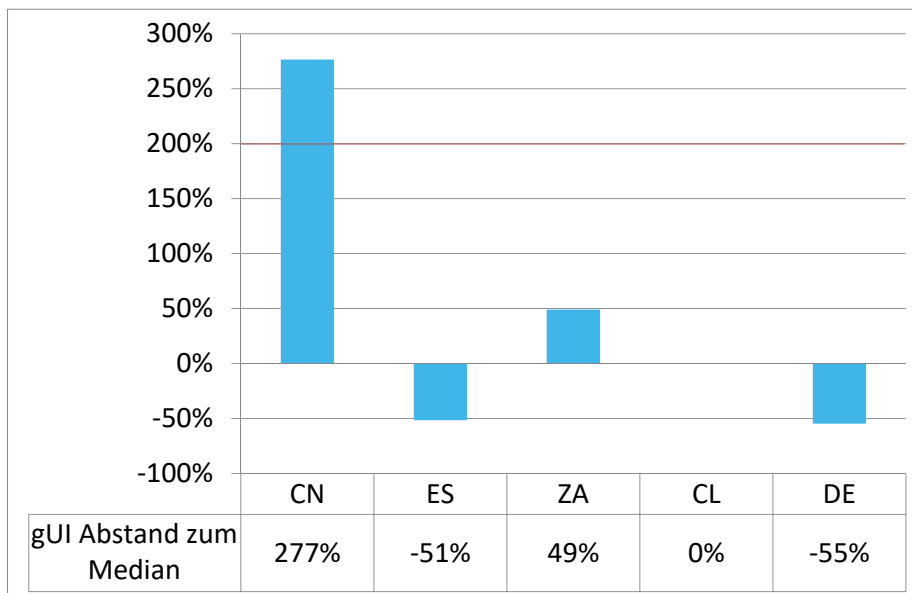


Abbildung 5-8: Relative Abstand zum gUI-Median auf Ebene 1

China weicht rund 277% vom Median ab und überschreitet damit die in Ziffer 4.3.3 definierte Grenze von 200%. Alle weiteren Abweichungen vom Median rangieren zwischen +/- 100%, wobei Südafrika eine positive Abweichung von 49% und Spanien und Deutschland jeweils eine negative Abweichung von -51% bzw. -55% haben.

„Verantwortlichmachen“ mit der gUW

Die Ergebnisse für den Indikator gUW sind im Folgenden als absolute und relative Zahlen für die Umweltwirkung GWP angegeben. Tabelle 5-10 fasst die Ergebnisse für Ebene 1 zusammen.

Tabelle 5-10: Ergebnisse der UW und gUW der Umweltwirkung GWP für Ebene 1 (eigene Berechnung)

Land	Umweltwertschöpfung (UW) Ebene 1		IHD gewichtete Umweltwertschöpfung (gUW) Ebene 1		Abstand zum gUW-Median Ebene 1	
	[kg CO ₂ -Äq. *€]	[%]	[kg CO ₂ -Äq. *€]	[%]	[kg CO ₂ -Äq. *€]	[%]
Spanien (ES)	1,79E+14	0%	1,35E+14	0%	-5,97E+15	-98%
Chile (CL)	3,19E+16	45%	2,26E+16	50%	1,65E+16	270%
Deutschland (DE)	4,08E+14	1%	3,51E+14	1%	-5,76E+15	-94%
Südafrika (ZA)	1,31E+16	18%	6,11E+15	13%	0,00E+00	0%
China (CN)	2,56E+16	36%	1,65E+16	36%	1,04E+16	170%
Summe	7,12E+16	100%	4,57E+16	100%	n/v	n/v
Median	1,31E+16	n/v	6,11E+15	n/v	n/v	n/v

*n/v: nicht verfügbar

Die gesamte gUW für ein solarthermisches Kraftwerk auf Ebene 1 beträgt $4,57 \cdot 10^{16}$ kg CO₂-Äq.*€. Den größten Anteil daran hat Chile mit 50%. Es folgen China mit 36% und Südafrika mit 13%. Der Median liegt bei $6,11 \cdot 10^{15}$ kg CO₂-Äq.*€ und entspricht dem gUW von Südafrika. Der relative Abstand zum gUW-Median ist in Abbildung 5-9 dargestellt.

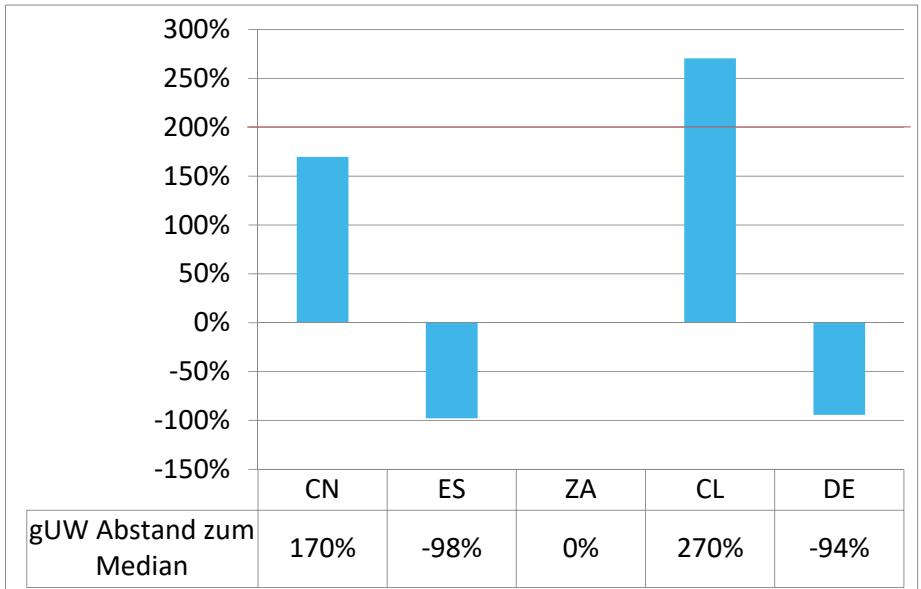


Abbildung 5-9: Relativer Abstand zum gUW-Median auf Ebene 1

Vom Median weichen die Werte von China um rund 170%, die Werte von Chile um rund 270% positiv ab und überqueren damit den definierten Grenzwert von 200%. Die negativen Abweichungen Deutschlands und Spaniens um 94% und 98% zeigen, dass der gUW beider Länder im Vergleich zu den Ergebnissen der anderen Länder vernachlässigbar klein ist.

5.3.7 D-LCA Ergebnisse für Ebene 2

Die Ergebnisse für die Ebene 2 sind entsprechend der vorgegebenen Struktur in die zwei Abschnitte „Sichtbarmachen“ mit der gUI und „Verantwortlichmachen“ mit der gUW untergliedert. Berechnet wurden die Ergebnisse für die Umweltwirkungen GWP, EP und HTP. Graphisch werden die relativen Abstände zum gUI- bzw. gUW-Median abgebildet. Die zweite graphische Darstellung, die Entwicklung von der Umweltwirkung GWP (bzw. EP und HTP) über die UI bzw. UW hin zur gUI bzw. gUW, befindet sich in Anhang A.

„Sichtbarmachen“ mit der gUI

Die gUI Ergebnisse für die Umweltwirkung GWP auf Ebene 2 sind in Tabelle 5-11 zusammengefasst.

Tabelle 5-11: Ergebnisse der UI und gUI der Umweltwirkung GWP für Ebene 2 (eigenen Berechnung)

Land	Umweltintensität (UI) Ebene 2		IHDl gewichtete Um- weltintensität (gUI) Ebene 2		Abstand zum gUI- Median Ebene 2	
	[kg CO ₂ - Äq./€]	[%]	[kg CO ₂ - Äq./€]	[%]	[kg CO ₂ - Äq./€]	[%]
Spanien (ES)	0,38	2%	0,50	1%	-0,11	-18%
Chile (CL)	0,20	1%	0,28	1%	-0,33	-54%
Deutschland (DE)	0,87	5%	1,01	2%	0,39	64%
Südafrika (ZA)	0,11	1%	0,24	1%	-0,37	-61%
China (CN)	0,47	3%	0,73	2%	0,11	18%
Russland (RU)	4,30	25%	5,83	14%	5,21	847%
Dem. Rep. Kongo (CD)	10,92	63%	34,22	80%	33,60	5464%
Italien (IT)	0,08	0%	0,10	0%	-0,52	-84%
Summe	17,32	100%	42,90	100%	n/v	n/v
Median	0,42	n/v	0,62	n/v	n/v	n/v

*n/v: nicht verfügbar

Die Summe der gUI für die Umweltwirkung GWP auf Ebene 2 beträgt 42,90 kg CO₂-Äq./€. Davon fallen 80% auf die Demokratische Republik Kongo. Russland trägt einen weiteren Anteil von 14%, während der Rest sich auf die anderen Länder verteilt. Der Median von 0,62 kg CO₂-Äq./€ fällt zwischen die gUI-Ergebnisse von Spanien und China. Der relative Abstand zum gUI-Median für alle drei Umweltwirkungen auf Ebene 2 ist in Abbildung 5-10 dargestellt.

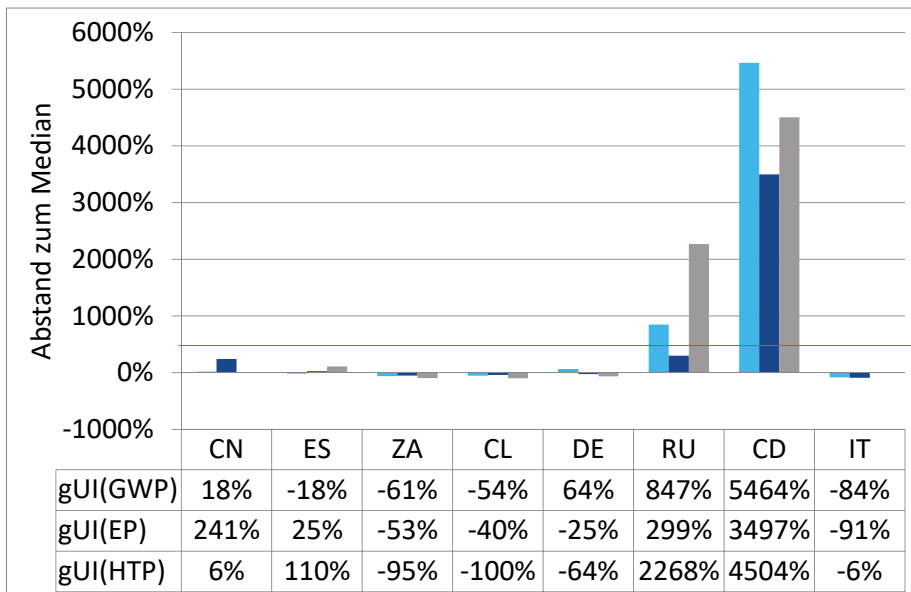


Abbildung 5-10: Relativer Abstand zum gUI-Median verschiedener Umweltwirkungen auf Ebene 2

Die Abstände zu den Medianen bewegen sich zwischen über 5400% und -100%. Die größten Abstände lassen sich dabei bei der Demokratischen Republik Kongo und Russland finden, die maximale Abstände von 5464% (CD beim GWP) und 2268% (RU beim HTP) aufweisen und die definierte Grenze von 500% bei weitem überschreiten. Die relativen Abstände bei den anderen Ländern bewegen sich in einem Bereich zwischen 241% Abweichung von China gegenüber dem gUI(GWP)-Median und den -100% von Chile gegenüber dem gUI(HTP)-Median. Die Richtung der Abweichung ist für die meisten Länder ist konsistent über die drei Umweltwirkungen. Außer Spanien und Deutschland, die beim gUI(GWP) eine andere Ausprägung des Abstands haben als bei der gUI(EP) und gUI(HTP).

„Verantwortlichmachen“ mit der gUW

Die Ergebnisse für den Indikator gUW sind im Folgenden als absolute und relative Zahlen für die Umweltwirkung GWP angegeben. Tabelle 5-12 fasst die Ergebnisse für Ebene 2 zusammen.

Tabelle 5-12: Ergebnisse der UW und gUW der Umweltwirkung GWP für Ebene 2 (eigene Berechnung)

Land	Umweltwertschöpfung (UW) Ebene 2		IHDl gewichtete Umweltwertschöpfung (gUW) Ebene 2		Abstand zum gUW-Median Ebene 2	
	[kg CO ₂ -Äq.*€]	[%]	[kg CO ₂ -Äq.*€]	[%]	[kg CO ₂ -Äq.*€]	[%]
Spanien (ES)	8,14E+14	1%	6,14E+14	2%	-1,51E+15	-71%
Chile (CL)	3,03E+16	54%	2,15E+16	56%	1,94E+16	911%
Deutschland (DE)	8,40E+15	15%	7,23E+15	19%	5,11E+15	240%
Südafrika (ZA)	7,80E+15	14%	3,64E+15	9%	1,51E+15	71%
China (CN)	8,60E+15	15%	5,53E+15	14%	3,40E+15	160%
Russland (RU)	7,24E+12	0%	5,34E+12	0%	-2,12E+15	-100%
Dem. Rep. Kongo (CD)	5,80E+05	0%	1,85E+05	0%	-2,13E+15	-100%
Italien (IT)	6,20E+09	0%	4,78E+09	0%	-2,13E+15	-100%
Summe	5,59E+16	100%	3,85E+16	100%	n/v	n/v
Median	4,31E+15	n/v	2,13E+15	n/v	n/v	n/v

*n/v: nicht verfügbar

Auf Ebene 2 ist die Summe der gUW der Umweltwirkung GWP für die Errichtung eines solarthermischen Kraftwerks $3,85 \cdot 10^{16}$ kg CO₂-Äq.*€, wobei die drei Länder mit den größten Anteilen Chile mit 56%, Deutschland mit einem Anteil von 19% und China mit 14% sind. Der Median liegt mit $2,13 \cdot 10^{15}$ kg CO₂-Äq.*€ zwischen den gUW-Werten von Spanien und Südafrika. Die relativen Abstände zu den Medianen der drei Wirkungskategorien sind in Abbildung 5-11 dargestellt.

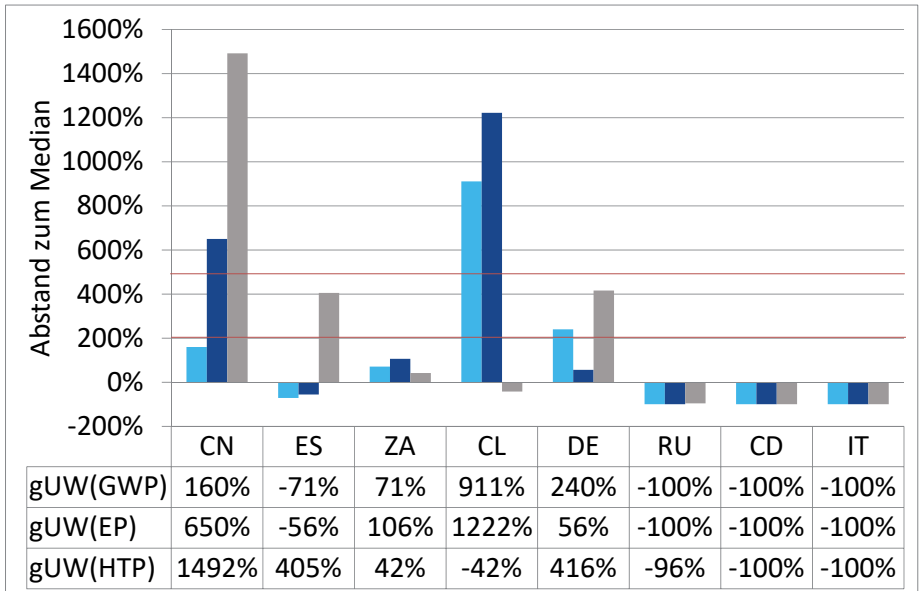


Abbildung 5-11: Relativer Abstand zum gUW-Median verschiedener Umweltwirkungen auf Ebene 2

Die Spanne der relativen Abstände zu den drei Medianen erstreckt sich von 1492% bis -100%. Die größten Abstände sind bei Chile zur gUW(EP) mit 1222% und bei China zur gUW(HTP) mit 1492% zu beobachten. Die definierten Grenzwerte werden für all drei Wirkungskategorien überschritten. Bei der gUW(GWP) von Chile und Deutschland, bei der gUW(EP) von China und Chile sowie bei der gUW(HTP) von China, Spanien und Deutschland.

5.3.8 Diskussion des Anwendungsbeispiels solarthermisches Kraftwerk

Die in Ziffer 5.3.6 und Ziffer 5.3.7 präsentierten Ergebnisse werden im Folgenden unter verschiedenen Blickwinkeln diskutiert. Es werden dabei nicht alle Aspekte angesprochen, die in Ziffer 4.3.3 formuliert sind, da der Fokus dieser Auswertung auf der Betrachtung verschiedener Ebenen eines Ökobilanzmodelles und die Nutzung mehrerer Umweltwirkungen liegt. Zuerst werden die Ergebnisse für die Ebene 1 besprochen, darauf folgt die Diskussion der Ergebnisse der Ebene 2 und die Ge-

genüberstellung der Indikatoren gUI und gUW verschiedener Wirkungskategorien. Am Schluss steht der Vergleich der beiden Ebenen 1 und 2 im Blickpunkt.

Diskussion der Ergebnisse für Ebene 1

Südafrika ist in der betrachteten Wertschöpfungskette eines solarthermischen Kraftwerkes auf Ebene 1 entsprechend dem IHDI das Land mit dem geringsten Entwicklungsstand. Somit genießt es in der nachfolgenden Betrachtung einen Vorrang, sollte es zur Verteilung von Lasten oder Vorteilen kommen.

Das gUI-Ergebnis auf Ebene 1 entspricht einer sehr ungleichen Verteilung, da China die 200%-Grenze überschreitet. Zusammen mit Südafrika, das 49% über dem Median liegt, trägt China eine größere Last als die anderen Länder. Die Profiteure der Wertschöpfungskette sind Deutschland, das etwa im gleichen Maße profitiert wie Spanien. Beide tragen weniger Lasten im Verhältnis zu dem Nutzen, den sie aus der Wertschöpfungskette ziehen. Bei der gUW überschreitet Chile die 200%-Grenze, womit das Kriterium einer sehr ungleichen Verteilung erfüllt ist. Es trägt mit seinem großen Nutzen eine entsprechende Verantwortung für die Wertschöpfungskette.

Stellt man die Ausprägung der relativen Abstände zum Median beider Indikatoren der einzeln Länder gegenüber, so lassen sich die Länder in Tabelle 5-13 mit einem „X“ den folgenden vier Fällen zuordnen. Nicht eindeutige Fälle sind mit einer Klammer um das „(X)“ gekennzeichnet.

Tabelle 5-13: Zuordnung der Länder zu den vier Fällen der Abstandsausprägung auf Ebene 1

Land	(+/-)-Fall	(-/-)-Fall	(+/-)-Fall	(-/+)-Fall
Spanien (ES)		X		
Chile (CL)				(X)
Deutschland (DE)		X		
Südafrika (ZA)			(X)	
China (CN)	X			

Chile bildet für die gUI und Südafrika für die gUW den Median, weshalb beide als nicht eindeutige Fälle gekennzeichnet werden. In beiden Fällen wurde jedoch die

konservativere Auslegung der Zuordnung gewählt. So ergibt sich für Südafrika einen mittlere Verbesserungsbedarf.

Wird jedoch das Verhältnis zwischen den Ländern der Peripherie, in diesem Fall Südafrika, China und Chile, und dem Kern, hier Deutschland und Spanien, entsprechend der EUE-Theorie betrachtet, so stellt sich auf Ebene 1 ein gemischtes Bild dar. China, als zweitschwächstes Land, lässt sich dem (+/+)-Fall zuordnen und wäre primäres Ziel für Verbesserungsmaßnahmen, da es große Verantwortung und gleichzeitig eine große Last trägt. Chile hingegen, das dem (-/+)-Fall zuzuordnen ist, profitiert am meisten von dieser Wertschöpfungskette und könnte für Ausgleichsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Die Länder im Kernbereich sind beide dem (-/-)-Fall zuzuordnen und in ihrem Anteil am Nutzen und der Verantwortung zu gering beteiligt, als dass es einer primären Betrachtung bedarf. Somit ist kein klarer ungleicher Austausch zwischen der Peripherie und dem Kern entsprechend der EUE-Theorie erkennbar.

Diskussion der Ergebnisse für Ebene 2 mit mehreren Umweltwirkungen

Die Demokratische Republik (DR) Kongo ist in der betrachteten Wertschöpfungskette eines solarthermischen Kraftwerkes auf Ebene 2 entsprechend dem IHDI das Land mit dem geringsten Entwicklungsstand. Somit genießt es in der nachfolgenden Betrachtung einen Vorrang, sollte es zur Verteilung von Lasten oder Vorteilen kommen.

Die Betrachtung des relativen Abstandes zum gUI-Median zeigt bei allen drei Wirkungskategorien eine extrem unterschiedliche Verteilung, wobei die Hauptlast beim schwächsten Segment, der DR Kongo, liegt. Die Abstände der DR Kongo sind dabei alle größer 3400% und übersteigen die 500%-Grenze um ein Vielfaches. Eine extrem unterschiedliche Verteilung liegt auch für Russland beim gUI(GWP) und gUI(HTP) vor. Diese Auswertung zeigt sehr gut die Ungleichheit der Lastenverteilung in der Wertschöpfungskette, die eine große Verantwortung bei den Rohstofflieferanten belässt, ohne diesen einen entsprechenden Nutzen zukommen zu lassen. Die Abstände bei der gUW sind nicht ganz so groß, dennoch ist für jede Wirkungskategorie eine extrem unterschiedliche Verteilung der Verantwortung zu sehen. Bei der gUW(GWP) und gUW(EP) hat Chile mit Abstand die größten Anteile, während bei der gUW(HTP) die größten Anteile bei China liegen. Der große Abstand Chiles bei Umweltwirkungen GWP und EP hat seine Ursache in der großen Wertschöpfung, die Chile zugeordnet wird, während beim HTP China

einen ungleich höheren Beitrag zu den Umweltwirkungen aufweist und in diesem Fall Chile übertrifft. Chile hat entsprechend dieser Auswertung als Rohstofflieferant ein Produkt, das eine geringe Umweltwirkung hat und gleichzeitig eine hohe Wertschöpfung generiert.

Betrachtet man für die verschiedenen Umweltwirkungen die unterschiedlichen Ausprägungen der Abstände zum gUI- und gUW-Median kann eine folgende Zuordnung der Länder entsprechend Tabelle 5-14 vorgenommen werden. Die Abkürzungen stehen dabei für die verschiedenen Umweltwirkungen: „G“ für GWP, „E“ für EP und „H“ für HTP.

Tabelle 5-14: Zuordnung der Länder zu den vier Fällen der Abstandsausprägung auf Ebene 2

Land	(+/-)-Fall	(-/-)-Fall	(+/-)-Fall	(-/+)-Fall
Spanien (ES)	H	G	E	
Chile (CL)		H		G/E
Deutschland (DE)	G			E/H
Südafrika (ZA)				G/E/H
China (CN)	G/E/H			
Russland (RU)			G/E/H	
Dem. Rep. Kongo (CD)			G/E/H	
Italien (IT)		G/E/H		

Fünf Länder lassen sich einem bestimmten Fall zuordnen, da alle Abstände unabhängig von der Umweltwirkung gleich ausgeprägt sind. Bei drei Ländern, Spanien, Chile und Deutschland ist eine eindeutige Zuordnung über alle drei Umweltwirkungen nicht möglich. Eindeutige Verlierer sind DR Kongo, Russland, die dem (+/-)-Fall zuzuordnen sind und China, das dem (+/+)-Fall entspricht. Betrachtet man das GWP so wird Deutschland zu einem (+/+)-Fall und beim EP und HTP rückt Spanien in den Fokus. Die größten Profiteure dieser Wertschöpfungskette sind Südafrika, das eindeutig dem (-/+)-Fall zuzuordnen ist, Chile und auch Deutschland, das beim EP und HTP profitiert. Nicht relevant, da die Zahlen im Verhältnis zu klein sind, ist Italien, das eindeutig dem (-/-)-Fall zuzuordnen ist.

Diskussion der Ergebnisse für Ebene 2 in Relation zu Ebene 1

Die Ergebnisse der Ebene 2 bezogen auf die Umweltwirkung GWP zeigen, entsprechend dem Ökobilanzmodell, im Vergleich zur Ebene 1 ein differenzierteres Bild bezogen auf die Verteilung der Verantwortung und des Nutzes der einzelnen Länder, die an der Wertschöpfungskette des solarthermischen Kraftwerks teilnehmen. Die Differenzierung lässt sich an den fünf Ländern der Ebene 1 zeigen, die sich in Tabelle 5-15 auf unterschiedlicher Ebene teilweise verschiedenen Fällen zuordnen lassen. Zusätzlich sind auch die auf Ebene 2 hinzugekommenen Länder mit abgebildet.

Tabelle 5-15: Zuordnung der Länder zu den vier Fällen der Abstandsausprägung auf Ebene 1 und Ebene 2

Land	(+/-)-Fall	(-/-)-Fall	(+/-)-Fall	(-/+)-Fall
Spanien (ES)		E1/E2		
Chile (CL)				E1/E2
Deutschland (DE)	E2	E1		
Südafrika (ZA)			E1	E2
China (CN)	E1/E2			
Russland (RU)			E2	
Dem. Rep. Kongo (CD)			E2	
Italien (IT)		E2		

China ist eindeutig auf beiden Ebenen dem (+/-)-Fall zuzuordnen und somit primärer Träger der Verantwortung dieser Wertschöpfungskette. Chile profitiert am meisten von der Wertschöpfungskette, was auf beiden Ebenen gleichermaßen zu erkennen ist, da es jeweils dem (-/+)-Fall zugeordnet werden kann. Spanien verbleibt bei einem (-/-)-Fall, dessen Bedeutung in der Gesamtschau niedrig ist. Bei den anderen Ländern ist eine Verschiebung zwischen den Ebenen ersichtlich. Deutschlands Rolle gewinnt an Bedeutung und wird zu einem (+/-)-Fall, der größere Aufmerksamkeit bedarf, während Südafrika mit einer Verschiebung hin zum (-/+)-Fall zum Profiteur der Wertschöpfungskette wird.

5.4 Zusammenfassung der Anwendung

Entsprechend der in Ziffer 5.1 formulierten Ziele wird die Anwendung der Integration im Folgenden zusammengefasst.

Im T-Shirt Beispiel wurden alle entwickelten Rechenschritte und Darstellungsformen erfolgreich angewendet und es konnte eine ungleiche Verteilung der Kohlendioxidemissionen über die Wertschöpfungskette hinweg identifiziert werden. Dabei sind die Emissionen, entsprechend der EUE-Theorie, zu Lasten des Rohstofflieferanten Indiens und zum Vorteil Deutschlands verteilt. Die dreiteilige Betrachtung von Umweltwirkung, Umweltintensität und gewichteten Umweltintensität hat sich bewährt, da eine Verschiebung der Verantwortung klar beobachtet werden kann.

Im zweiten Beispiel wurden große Teile der Methode auf eine andere Wertschöpfungskette angewandt und es kann festgestellt werden, dass es keinen Unterschied in der Anwendung der Methode macht, ob das betrachtete Produkt ein Konsum- oder ein Investitionsgut ist. Die Ergebnisse für die $gUI(CO_2)$ und die $gUI(GWP)$ haben beim T-Shirt, wie auch beim solarthermischen Kraftwerk, eine ähnliche Größenordnung, was ein Hinweis für eine stabile Methode und eine gewisse Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist. Auch die Verwendung von unterschiedlichen Datenquellen stellte kein Hindernis in der nachfolgenden Auswertung dar. Größere Unterschiede gab es weder bei den verschiedenen Wertschöpfungsketten noch innerhalb einer Wertschöpfungskette auf unterschiedlichen Ebenen des Ökobilanzmodells. Die Betrachtung unterschiedlicher Modellierungsebenen zeigt, dass ein detaillierteres Ergebnis mit höher aufgelösten Daten möglich ist. Die Auswertung unterschiedlicher Wirkungskategorien war erfolgreich und in dem betrachteten Beispiel konnte ein allgemeiner Trend für die Bewertung der Wertschöpfungskette abgeleitet werden. Im Detail gab es dennoch teilweise Unterschiede, die je nach Fragestellung genauer diskutiert werden können.

6 Evaluation

Dieser Abschnitt evaluiert den entwickelten Lösungsweg zur Quantifizierung und Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz. Dafür wird auch auf die darauf basierenden Anwendungsbeispiele in Ziffer 5 zurückgegriffen. Die Anforderungen an den Lösungsweg werden hinsichtlich ihrer Erfüllung hin überprüft und in einem zweiten Teil weitere Möglichkeiten und Grenzen des Lösungsweges aufgezeigt.

6.1 Erfüllung der Anforderungen

Die Anforderungen, wie sie in Ziffer 3.2 formuliert sind, werden basierend auf dem in Ziffer 4 dargelegten Lösungsweg und den in Ziffer 5 betrachteten Beispielen, diskutiert.

Kompatibilität zu bestehenden Methoden und Ansätzen

Der Lösungsweg passt methodisch und praktisch zur Ökobilanz, da er ihre Anpassungsfähigkeit bezüglich neuer Entwicklungen in Anspruch nimmt und sich mit der Verteilung der Umweltwirkungen auseinandersetzt. Dabei wird die in der Ökobilanz vorgesehene Möglichkeit zur Gewichtung der Wirkungsabschätzung genutzt. Außerdem passt der Lösungsweg auch zur prozessbasierten Wertschöpfung, da er den Lebenszyklusgedanke und die prozessbasierte Betrachtung von Produkten beibehält.

Hinsichtlich der Grundlagen der Verteilungsaspekte verwendet der Lösungsweg die drei Hauptelemente Fähigkeit, Verantwortung und Nutzen, die vor allem der Diskussion um die Klimagerechtigkeit entnommen sind und bleibt somit bei einer bekannten Auslegung der Verteilungsgerechtigkeit.

Transparente und aktuelle Datengrundlage

Die Anforderung einer transparenten und aktuellen Datengrundlage ist durch die Beschreibung der Auswahl der Quellen erfüllt und wurde in den Anwendungsbeispielen exemplarisch durchgeführt. So basieren die Umweltwirkungen entweder auf wissenschaftlich geprüften Ergebnissen bereits bestehender Studien oder auf der GaBi-Datenbank [39], die regelmäßig in sogenannten Servicepacks aktualisiert wird. Die Wertschöpfung wurde in den Beispielen auch aus der Literatur entnommen oder aber basiert auf der prozessbasierten Wertschöpfung entsprechend der

LCWE Methode, die an sich auf Daten von Eurostat [31] beruht. Die Daten für den IHDl werden von der UN erhoben [106] und aktualisiert und bilden somit auch für diesen Parameter eine transparente und aktuelle Datengrundlage.

Überschaubare Berechnungsverfahren

Alle Berechnungen, die für den Lösungsweg eingesetzt werden, sind Teil der vier Grundrechenarten. So werden die verwendeten Werte aufsummiert, miteinander multipliziert oder über Quotienten in ein Verhältnis gesetzt. Für die Anwendung genügte dementsprechend ein Tabellenkalkulationstool, das die Berechnungen in einem begrenzten und mit üblichen Mitteln durchführbaren Rahmen hält.

Klare Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse werden in einer dreiteiligen Form innerhalb eines Graphen dargestellt, was die Veränderung der Lastenverteilung deutlich macht und eine klare und verständliche Form der Ergebnisdarstellung ist. Außerdem gibt die Darstellung der Abstände zu den Medianen eine Einordnung, inwieweit die Werte von einem Mittel abweichen. Die Interpretation der Ergebnisse wird dadurch unterstützt.

Anpassungsfähigkeit

Die Anpassungsfähigkeit des Lösungsweges wurde insofern bestätigt, als dass verschiedenste Datenquellen in den Beispielen verwendet wurden. Auch wurden grundverschiedene Produkte betrachtet und die daraus generierten Ergebnisse ließen sich plausibel interpretieren. Die Grenze der Anpassungsfähigkeit wurde dabei noch nicht erreicht und es muss sich anhand von weiteren Anwendungsbeispielen zeigen, ob der vorgeschlagene Lösungsweg bei größeren Änderungen angepasst werden kann.

Fazit

Alle Anforderungen an den Lösungsweg wurden somit erfüllt und sind in Tabelle 6-1 zusammengefasst.

Tabelle 6-1: Erfüllung der Anforderungen

Anforderung	Erfüllung
Kompatibilität	- Ökobilanz: Lebenszyklus - Verteilung: Aspekte aus der Klimagerechtigkeit
Datengrundlage	- Ökobilanz: GaBi-Datenbank, wissenschaftliche Studien - Wertschöpfung: LCWE - IHDI: UN gepflegte Datenbank
Berechnung	- Grundrechenarten - Tabellenkalkulationstool
Ergebnisse	- Dreiteilige Darstellung der Verteilung der Lasten - Abstände zu den Medianen
Anpassungsfähigkeit	- Unterschiedliche Eingangsdaten möglich - Langzeittest zur Auslotung der Grenzen der Anpassung notwendig

Somit bildet der formulierte Lösungsweg einen validen Beitrag zur ganzheitlichen Bilanzierung von Produkten.

6.2 Möglichkeiten und Grenzen

Über die zuvor definierten Anforderungen hinaus werden im Folgenden weitere Möglichkeiten der Methode und gleichzeitig auch ihre Grenzen diskutiert.

Möglichkeiten

Mit dem präsentierten Lösungsweg ist es nun möglich eine Verteilung von Lasten zu berechnen und entsprechend den verteilungsgerechtigkeitstheoretischen Grundlagen zu interpretieren. Damit ist die Möglichkeit geschaffen Verteilungsaspekte im Verlauf einer Ökobilanz mitzubetrachten.

Darüber hinaus kann die Methode für Zertifizierungszwecke eingesetzt werden, die Wert auf „Fairness“ in der Wertschöpfungskette legen.

Grenzen

Die Grenzen der Methode liegen da, wo die Daten an ihr Ende kommen. Die Beurteilung von Steuern und Abgaben sind mit der Wertschöpfungsanalyse nach LCWE-Methodik zum Beispiel nicht möglich, da diese darin nicht explizit abgebildet werden. Auch die Beurteilung von 0-Werten ist eine bestehende Herausforderung, wenn eine Akteurin beispielsweise nur Anteile an der Wertschöpfung, aber

keine Umweltwirkungen hat oder wenn sie nur Umweltwirkungen aber keine Anteile an der Wertschöpfung hat. Beim gUI ergeben 0-Werte entweder eine gesamt-0 oder der Bruch ist mathematisch nicht lösbar. Beim gUW erzeugt ein 0-Wert auf jeden Fall eine gesamt-0. Dieses mathematische Problem deutet jedoch auf eine größere Herausforderung im Hintergrund, und zwar auf die globale Verteilung finanzieller Mittel und die Möglichkeit diese einzusetzen. Diese Verteilung lässt sich in dieser Methode nicht lösen, weil sie auf Massen- und Energieflüssen der Ökobilanz aufbaut.

Eine weitere Grenze der Methode ist die Quantifizierung der Verteilungsaspekte. Somit ergibt sich ein zahlenmäßiger Zugang zur Verteilungsthematik, der gleichzeitig durch dieselben Zahlen begrenzt ist. So können Verbesserungen zwar entlang der Berechnung gemacht werden, Aspekte, die jedoch zahlenmäßig nicht erfasst sind, fallen aus dem Blickfeld. Denn mit Zahlen allein lässt sich die Welt nicht verstehen, aber ohne Zahlen lässt sie sich überhaupt nicht verstehen. [69]

7 Zusammenfassung

Diese Arbeit zeigt einen Lösungsweg auf, wie Verteilungsaspekte quantifiziert und in die Wirkungsabschätzung der Ökobilanz eingebettet werden können. Dafür wurden zuerst die Grundlagen der Verteilungsgerechtigkeit und der Ökobilanz dargelegt, sowie die aktuelle Forschungslandschaft abgebildet. Darin finden sich spezifische Themen, wie die globale Verteilungsgerechtigkeit oder auch die Klimagerechtigkeit, aus der die Verteilungsaspekte Fähigkeit, Verantwortung und Nutzen abgeleitet wurden. Die Motivation für eine Betrachtung der gerechten bzw. ungerechten Verteilung wurde aus der Theorie des ökologisch ungleichen Austausches (EUE) herausgearbeitet, die einen ungleichen Austausch zwischen den Peripherieregionen und den Kernregionen dieser Welt annimmt. Aus der aktuellen Diskussion um die Ökobilanz wurde die prozessbasierte Wertschöpfungsberechnung verwendet, die ein Teil der LCWE-Methode ist. Auch wird dem in der Wertedebatte der Ökobilanz formulierten Ruf gefolgt, implizite Wertvorstellungen in der Ökobilanz explizit zu machen. Außerdem wurden der Ansatz der Umweltintensität und der Index der menschlichen Entwicklung in Vorbereitung für die anschließende Quantifizierung und Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz vorgestellt.

Die Forschungsfrage lautete: Wie können Aspekte zu Fragen der Verteilungsgerechtigkeit quantifiziert und in die ingenieurwissenschaftliche Bewertungsmethode der Ökobilanz integriert werden? Diese Frage wurde in einem dreiteiligen Lösungsweg angegangen, der die Eignung der Ökobilanz für die Integration sicherstellte, die Integration theoretisch formulierte und anschließend die Operationalisierung der Integration darlegte. Der Lösungsweg ist in Abbildung 7-1 als graphischer Abstrakt dargestellt.

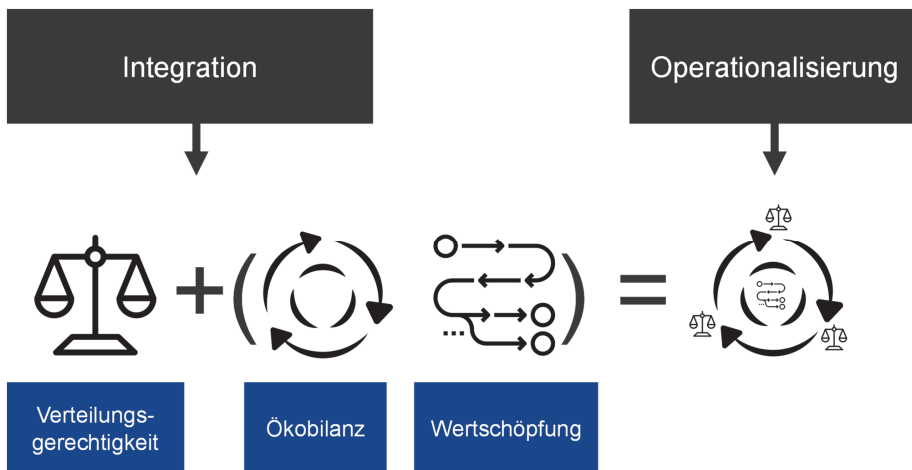


Abbildung 7-1: Graphische Zusammenfassung des Lösungsweges mit Graphiken von [7; 80; 93]

Dieser Lösungsweg wurde anschließend in zwei Anwendungsbeispielen umgesetzt. Dafür wurden ein Konsumprodukt, ein Baumwoll-T-Shirt, und ein Investitionsprodukt, ein solarthermisches Turmkraftwerk, betrachtet. Verschiedenste Aspekte des Lösungsweges wurden in den Anwendungsbeispielen erprobt und es wurde festgestellt, dass der Lösungsweg ein robustes Vorgehen beschreibt, das verlässliche Ergebnisse liefert. So können unterschiedliche Datenquellen verwendet, verschiedene Umweltwirkungen betrachtet und mehrere Ebenen eines Ökobilanzmodells analysiert werden. Die Erfüllung der Anforderungen an den Lösungsweg wurde in der Evaluation überprüft und bestätigt. Des Weiteren wurden die Möglichkeiten und Grenzen des Lösungsweges aufgezeigt.

So lässt sich zusammenfassend sagen, dass es umweltspezifische Ansätze der Verteilungsgerechtigkeit gibt und erste Ansätze diese in der Ökobilanz abbilden. Die vorliegende Arbeit geht diesen Weg weiter und verknüpft in einer Übersetzungsleistung Verteilungsaspekte mit der Interpretation von Umweltwirkungen aus der Ökobilanz und leistet somit einen Beitrag zur ganzheitlichen Bilanzierung.

8 Ausblick

Wenn die Welt sich in einem absolut gerechten Zustand befände, so bräuhete es möglicherweise noch Produkte, aber sicherlich nicht mehr diesen Ansatz zur Quantifizierung und Integration von Verteilungsaspekten in die Ökobilanz. Somit wird hier die Hoffnung zum Ausdruck gebracht, dass dieser Arbeit nur eine kurze Halbwertszeit zuteilwird und sie bald nicht mehr relevant ist.

Sollte sich diese Hoffnung nicht erfüllen, so gibt es noch einige offene Punkte, die in zukünftigen Arbeiten weiter vertieft werden können.

8.1 Gerechtigkeitszentrierter top-down Ansatz

Die Arbeit beschreibt entsprechend Ziffer 4.2.2 einen bottom-up Ansatz, der schrittweise und unter Berücksichtigung der technischen Machbarkeit, die gerechte Verteilung von Umweltwirkungen unterstützt. Zukünftig kann aber auch über einen gerechtigkeitszentrierten top-down Ansatz nachgedacht werden, der vom Ist-Zustand ausgehend eine Zielvariante definiert, die eine maximalgerechte Verteilung der Umweltintensität hat. Die technischen Parameter werden anschließend entsprechend dieser Variante angepasst. Abbildung 8-1 stellt den top-down Ansatz dar.



Abbildung 8-1: Gerechtigkeitszentrierter top-down Ansatz

In diesem top-down Ansatz wird das Gerechtigkeitsziel zunächst unabhängig von der technischen Machbarkeit definiert und anschließend die technischen Parameter so weit wie möglich diesem Ziel angepasst. Somit haben gerechtigkeitsrelevante Überlegungen Vorrang vor technischen Aspekten.

8.2 Verteilungsaspekt „Bedürfnis“

In 4.1.2 wurde der Verteilungsaspekt des Bedürfnisses angesprochen, aber für den weiteren Verlauf der Arbeit nicht weiter in Betracht gezogen. Diese bewusste Auslassung kann in zukünftigen Arbeiten nachgeholt und die Lücke gefüllt werden. Dafür ist das Bedürfnis von Ländern differenzierter zu betrachten und hängt dabei stark von der betrachteten Umweltwirkung ab. Wird beispielsweise das Treibhauspotential (GWP) betrachtet, so ist das Bedürfnis eines Landes abhängig von dessen Vulnerabilität gegenüber den Folgen des Klimawandels. In Tabelle 8-1 werden Bedürfnisse, bezogen auf verschiedenen Umweltwirkungen oder Indikatoren, in Abhängigkeit zu den jeweils bereits bestehenden Schäden eines Landes gestellt.

Tabelle 8-1: Zuordnung von Umweltwirkung oder Indikator zu Bedürfnis

Umweltwirkung oder Indikator	Bedürfnis in Abhängigkeit von...
Treibhauspotential	...Vulnerabilität gegenüber Klimawandel
Ozonabbaupotential	...geographische Nähe zum Ozonloch der südlichen Hemisphäre
Landnutzung	...bereits versiegelter Fläche
Wasserverbrauch	...Wasserstressindex
Versauerungspotential	...Anteil an zerstörtem Wald

Basierend auf dieser Überlegung ist zukünftig die Quantifizierung des Bedürfnisses in Abhängigkeit zur Vulnerabilität eines Landes notwendig, um diesen Verteilungsaspekt in die bestehende Arbeit integrieren zu können.

8.3 Weitere offene Fragen

Die Arbeit lässt auch noch weitere Punkte offen und es stellen sich Fragen, die bisher noch nicht beantwortet werden konnten. Diese werden im Folgenden stichpunktartig aufgeführt und können in weiterführenden Arbeiten aufgegriffen und detailliert diskutiert werden.

Bezogen auf die Anwendung des Ansatzes stellen sich diese Fragen:

- Wie lässt sich der in Ziffer 4.1.3 ausgeschlossene „race to the bottom“ in der Praxis verhindern?
- Wie verhält sich der präsentierte Lösungsweg bei anderen Produkten?
- Was wären die volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer konsequenten Anwendung des postulierten Prinzips?

Diese methodischen Fragen bedürfen einer detaillierteren Betrachtung:

- Die Anwendungsbeispiele fokussierten auf die Herstellungsphase. Wie würde die Bewertung der Nutzungsphase oder der EoL-Phase aussehen?
- Die Zuordnung der Umweltwirkungen zu den Ländern hat einen großen Einfluss auf das Ergebnis und erfolgte bisher manuell. Wie kann diese Zuordnung zuverlässig und automatisiert durchgeführt werden?
- Wie kann die regionale Zuordnung noch feiner und Verteilungen innerhalb von einzelnen Ländern betrachtet werden?
- Der Fokus der Bewertung liegt momentan auf der Betrachtung einer Produktwertschöpfungskette. Wie lassen sich Produkte sinnvoll hinsichtlich ihrer Gerechtigkeitswirkung miteinander vergleichen?
- Wie lassen sich die Umweltauswirkungen auf die Unbeteiligten der Wertschöpfungskette abbilden?
- Es könnten auch andere Kennzahlen für die Abbildung der Verteilungsaspekte verwendet werden. Welche können das sein, was können diese abbilden und wie würde sich das auf die Ergebnisse auswirken?
- Ist die Änderung der Sichtweise eine übermäßige Entlastung der Nutzerin des Produktes von ihrer Verantwortung?

Wie so häufig erzeugt eine Antwort mehr Fragen als sie beantwortet. Dies schafft Raum für weitere Forschung.

Literaturverzeichnis

- [1] A.P. Møller-Mærsk A/S: Privacy and Cookie Policy, <https://terms.maersk.com/privacy> (Stand 18.04.2021)
- [2] Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi): Vorlesung: "Einführung in die ganzheitliche Bilanzierung", Stuttgart, Deutschland (2018)
- [3] Agrawala, S.; Dellink, R.: Understanding and Managing the Unequal Consequences of Environment Pressures and Policies, <http://oecdinsights.org/2016/03/04/understanding-and-managing-the-unequal-consequences-of-environment-pressures-and-policies/> (Stand 15.05.2021)
- [4] Barry, B.: Humanity and justice in global perspective, New York, N.Y. (1982)
- [5] Barthel, L.-P.: Methode zur Abschätzung sozialer Aspekte in Lebenszyklusuntersuchungen auf Basis statistischer Daten, Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2014 (2015)
- [6] BASF SE: Eco-Efficiency Analysis, <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/management-and-instruments/quantifying-sustainability/eco-efficiency-analysis.html> (Stand 26.03.2021)
- [7] Becris: flow by Becris from the Noun Project, <https://thenounproject.com/search/?q=flow&i=1469609> (Stand 10.06.2021)
- [8] Benoît, C.; Mazijn, B.: Guidelines for social life cycle assessment of products, United Nations Environment Programme, Paris, France (2009)
- [9] Bibliographisches Institut GmbH: Duden.de, Eintrag: Gerechtigkeit, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Gerechtigkeit> (Stand 15.03.2021)
- [10] Bibliographisches Institut GmbH: Duden.de, Eintrag: In-ge-ni-eur-wis-sen-schaft, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Ingenieurwissenschaft> (Stand 24.04.2021)
- [11] Blake, M.; Smith, P. T.: International Distributive Justice, <https://plato.stanford.edu/archives/spr2015/entries/international-justice/> (Stand 21.03.2021)
- [12] Brundtland, G. H.: Report of the World Commission on environment and development, [United Nations], [New York] (1987)
- [13] Bundeszentrale für politische Bildung: Konsumgüter, <http://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/lexikon-der-wirtschaft/19840/konsumgueter> (Stand 18.04.2021)
- [14] Climate Action Network (CAN): The Core Convention-Based Equity Indicators (2013)

- [15] CML, Department of Industrial Ecology: CML-IA Characterisation Factors, <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors> (Stand 10.04.2021)
- [16] Croes, P. R.; Vermeulen, W. J. V.: In search of income reference points for SLCA using a country level sustainability benchmark (part 1), *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 21 (2016),3 S. 349–362
- [17] Croes, P. R.; Vermeulen, W. J. V.: In search of income reference points for SLCA using a country level sustainability benchmark (part 2), *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 21 (2016),3 S. 363–377
- [18] Davies, J.; Lluberas, R., et al.: *Global Wealth Report 2018* (2018)
- [19] DeSimone, L. D.; Popoff, F.: *Eco-efficiency*, 2. printing, MIT Press, Cambridge, Mass. (1998)
- [20] Deutsche Umwelthilfe e.V.: *Umweltgerechtigkeit*, <https://www.duh.de/umweltgerechtigkeit/> (Stand 25.03.2021)
- [21] DIN EN ISO 14040:2006. *Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen*, Beuth, Berlin (November 2009)
- [22] DIN EN ISO 14044:2006 + A1:2018. *Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen*, Beuth, Berlin (Mai 2018)
- [23] Duscha, V.; Schleich, J., et al.: *Verteilungsgerechtigkeit und Vorreiterverhalten in internationaler Klimapolitik* (2015)
- [24] Dyckhoff, H.; Quandel, A., et al.: Rationality of eco-efficiency methods, *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 20 (2015),11 S. 1557–1567
- [25] EcoEquity; Stockholm Environment Institute: *Climate Equity Reference Calculator*, <https://calculator.climateequityreference.org/> (Stand 25.03.2021)
- [26] EcoEquity; Stockholm Environment Institute: *Climate Equity Reference Calculator - Country/region report in 2030 for Germany*, https://calculator.climateequityreference.org/?cum_since_yr=1950&use_lulucf=0&use_netexports=0&use_nonco2=1&emergency_path=12&emergency_program_start=2012&baseline=default_gdrs&percent_gwp=&percent_gwp_MITIG-TION=1&percent_gwp_ADAPTATION=1&use_sequencing=0&percent_a1_rdxn=40&base_levels_yr=1990&end_commitment_period=2020&a1_smoothing=2&mit_gap_borne=2&use_mit_lag=1&em_elast=1&dev_thresh=7500&lux_thresh=50000&interp_btwn_thresh=0&r_wt=0.5&do_luxcap=0&luxcap_mult=1&use_kab=0&kab_only_ratified=0&dataversion=7.2.0&iso3=DEU (Stand 25.03.2021)

- [27] EcoEquity; Stockholm Environment Institute: Climate Equity Reference Calculator - Country/region report in 2030 for Kenya, https://calculator.climateequityreference.org/?cum_since_yr=1950&use_lulucf=0&use_netexports=0&use_nonco2=1&emergency_path=12&emergency_program_start=2012&baseline=default_gdrs&percent_gwp=&percent_gwp_MIT_IGA-TION=1&percent_gwp_ADAPTATION=1&use_sequencing=0&percent_a1_rdxn=40&base_levels_yr=1990&end_commitment_period=2020&a1_smoothing=2&mit_gap_borne=2&use_mit_lag=1&em_elast=1&dev_thresh=7500&lux_thresh=50000&interp_btwn_thresh=0&r_wt=0.5&do_luxcap=0&luxcap_mult=1&use_kab=0&kab_only_ratified=0&dataversion=7.2.0&iso3=KEN (Stand 25.03.2021)
- [28] EcoEquity; Stockholm Environment Institute: Climate Equity Reference Project, <https://climateequityreference.org/> (Stand 25.03.2021)
- [29] Ehrenfeld, J. R.: Eco-efficiency: Philosophy, Theory, and Tools, *Journal of Industrial Ecology*. 9 (2005),4 S. 6–8
- [30] EU Publications Office: Predictable Flexible Molten Salts Solar Power Plant, <https://cordis.europa.eu/project/rcn/195027/factsheet/en> (Stand 04.04.2021)
- [31] Europäische Kommission: eurostat - Datenbank, <https://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database> (Stand 15.05.2021)
- [32] Europäische Kommission: RAMON - Reference And Management Of Nomenclatures, <https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/> (Stand 15.05.2021)
- [33] Finnveden, G.: Valuation Methods Within LCA- Where are the Values?, *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2 (1997),3 S. 163–169
- [34] Fischer-Kowalski, M.; Haberl, H.: Tons, joules, and money, *Society & Natural Resources*. 10 (1997),1 S. 61–85
- [35] Food and Agriculture Organization of the United Nations: Building climate resilience for food security and nutrition, FAO, Rome (2018)
- [36] Freidberg, S.: From behind the curtain - Talking about values in LCA, *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 23 (2018),7 S. 1410–1414
- [37] Friends of the Earth Limited; Asia Pacific Movement on Debt & Development: Climate Fairshares, <http://www.climatefairshares.org/> (Stand 25.03.2021)
- [38] Funke, C.: *Gerechtigkeit*, Springer VS, Wiesbaden (2017)
- [39] GaBi ts, thinkstep AG, Leinfelden-Echterdingen, Deutschland (1992 - 2019)
- [40] Gavett, G.: CEOs Get Paid Too Much, According to Pretty Much Everyone in the World, <https://hbr.org/2014/09/ceos-get-paid-too-much-according-to-pretty-much-everyone-in-the-world> (Stand 20.05.2021)

- [41] Gerding, J.: Ein Rohstoff und sein Preis (25.07.2021)
- [42] Gesang, B.: Klimaethik,
<http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/bioethik/257690/klimaethik> (Stand 25.03.2021)
- [43] Goppel, A.; Mieth, C., et al.: Handbuch Gerechtigkeit, J.B. Metzler, Stuttgart (2016)
- [44] Haberkorn, T.: ZEIT Online. Klimawandel: Die Sintflut kommt (18.03.2021)
- [45] Hahn, H.: Globale Gerechtigkeit, Campus-Verl., Frankfurt am Main (2009)
- [46] Heijungs, R.; Huppes, G., et al.: A scientific framework for LCA - Deliverable (D15) of work package 2 (WP2) CALCAS project (2009)
- [47] Herders Volkslexikon, Herder, Freiburg (im Breisgau) (1950)
- [48] Hofstetter, P.; Baumgartner, T., et al.: Modelling the Valuesphere and the Ecosphere, The International Journal of Life Cycle Assessment. 5 (2000),3 S. 161–175
- [49] Horn, R.: LCWE matching tool (Excel-Makro), Stuttgart, Deutschland (2015 - 2018)
- [50] Horn, R.; Knüpfper, E.: LCWE matching database, Stuttgart, Deutschland (2018)
- [51] Hornborg, A.; Martinez-Alier, J.: Ecologically unequal exchange and ecological debt, Journal of Political Ecology. 23 (2016) S. 329–333
- [52] ILCD: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance, Luxembourg (2010)
- [53] Iofrida, N.; Luca, A. I. de, et al.: Can social research paradigms justify the diversity of approaches to social life cycle assessment?, The International Journal of Life Cycle Assessment. 23 (2018),3 S. 464–480
- [54] ISO 3166. Country Codes, Geneva (2013)
- [55] Jørgensen, A.: Social LCA—a way ahead?, The International Journal of Life Cycle Assessment. 18 (2013),2 S. 296–299
- [56] Kallhoff, A.: Klimagerechtigkeit und Klimaethik, De Gruyter, Berlin/Boston (2015)
- [57] Kaltschmitt, M.: Erneuerbare Energien, 5., erw. Aufl., Springer Vieweg, Berlin (2013)
- [58] Kamps, U.: Median, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/median-37049/version-260492> (Stand 13.05.2021)

- [59] Kiatpongsan, S.; Norton, M. I.: How Much (More) Should CEOs Make? A Universal Desire for More Equal Pay, Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science. 9 (2014),6 S. 587–593
- [60] Kirchgeorg, M.: Investitionsgüter, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/investitionsgueter-38359/version-261783> (Stand 18.04.2021)
- [61] Kitzes, J.; Wackernagel, M., et al.: Shrink and share, Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences. 363 (2008),1491 S. 467–475
- [62] Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA), WILEY-VCH, Weinheim (2009)
- [63] Ko, N.: LCA based calculation of the value added of products, Metz, Frankreich (Mai 2018)
- [64] Ko, N.; Gantner, J.: Local added value and environmental impacts of ship scrapping in the context of a ship's life cycle, Ocean Engineering. 122 (2016) S. 317–321
- [65] Krausmann, F.; Erb, K.-H., et al.: Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 110 (2013),25 S. 10324–10329
- [66] Kubitz, M.: ARD-Umfrage Gerechtigkeit, <https://www.br.de/nachrichten/deutschland-welt/ard-umfrage-gerechtigkeit,R89Kipl> (Stand 10.06.2019)
- [67] Lackes, R.; Siepermann, M.: Bottom-up-Prinzip, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/bottom-prinzip-27383/version-251039> (Stand 08.05.2021)
- [68] Lehni, M.: Eco-Efficiency: creating more value with less impact, World Business Council for Sustainable Development, Geneva (2000)
- [69] Link, O.: Brand Eins. Die Welt lässt sich nicht berechnen - Claus Peter Ortlieb im Interview (07.06.2021)
- [70] Lorenz, M.; Ko, N., et al.: Life cycle assessment (LCA) of solar thermal tower power plants, Matériaux & Techniques. 105 (2017),514
- [71] Macombe, C.; Feschet, P., et al.: 2nd International Seminar in Social Life Cycle Assessment—recent developments in assessing the social impacts of product life cycles, The International Journal of Life Cycle Assessment. 16 (2011),9 S. 940–943

- [72] Miller, D.: National responsibility and global justice, Oxford University Press, Oxford (2012)
- [73] Moellendorf, D.: Cosmopolitan Justice, Routledge, Boulder (2018)
- [74] Moran, D. D.; Lenzen, M., et al.: Does ecologically unequal exchange occur?, *Ecological Economics*. 89 (2013) S. 177–186
- [75] OECD: Eco-Efficiency, Paris, Frankreich (2008)
- [76] OECD: The Economic Consequences of Climate Change, OECD, Paris, Frankreich (2015)
- [77] OECD: Global value chains and trade,
<http://www.oecd.org/trade/topics/global-value-chains-and-trade/> (Stand 02.04.2021)
- [78] Oulu, M.: The unequal exchange of Dutch cheese and Kenyan roses, *Ecological Economics*. 119 (2015) S. 372–383
- [79] Oulu, M.: Core tenets of the theory of ecologically unequal exchange, *Journal of Political Ecology*. 23 (2016) S. 446–466
- [80] Patel, S.: cycle by Shital Patel from the Noun Project,
<https://thenounproject.com/search/?q=lifecycle&i=316946> (Stand 10.06.2021)
- [81] Pérez-Rincón, M. A.: Colombian international trade from a physical perspective, *Ecological Economics*. 59 (2006),4 S. 519–529
- [82] Pogge, T.: World poverty and human rights, 2nd ed.; repr, Polity Press, Cambridge (2010)
- [83] Porter, M. E.: Competitive advantage, 2nd ed., Free Press; Collier Macmillan, New York (1985)
- [84] Rawls, J.: The law of peoples, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. (1999)
- [85] Rawls, J.: A theory of justice, Rev. ed., 5.- 6. printing, Belknap Press of Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. (2003)
- [86] Ribbeck, E.: Human Development Index (HDI),
<http://www.bpb.de/internationales/weltweit/megastaedte/64733/hdi> (Stand 19.03.2021)
- [87] Schaltegger, S.; Sturm, A.: Ökologische Rationalität, *Die Unternehmung* (1990),4 S. 273–290
- [88] Schlegl, F.: Anwendung der Methode LCWE für Automatisierungskomponenten und Konzept zum Transfer in den Unternehmenskontext, Braunschweig (2017)

- [89] Schmidt, M.; Schwegler, R.: A recursive ecological indicator system for the supply chain of a company, *Journal of Cleaner Production*. 16 (2008), 15 S. 1658–1664
- [90] Shields, D.; Solar, S. V., et al.: The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability, *Ecological Indicators*. 2 (2002), 1 S. 149–160
- [91] Steen, B.: Describing Values in Relation to Choices in LCA (7 pp), *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 11 (2006), 4 S. 277–283
- [92] Steinberger, J. K.; Friot, D., et al.: A spatially explicit life cycle inventory of the global textile chain, *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 14 (2009), 5 S. 443–455
- [93] Stock Image Folio: Justice by Stock Image Folio from the Noun Project, <https://thenounproject.com/search/?q=justice&i=577808> (Stand 10.06.2020)
- [94] Suchanek, A.; Lin-Hi, N.: Gerechtigkeit, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/gerechtigkeit-34985/version-258476> (Stand 15.03.2021)
- [95] Sustainable Society Foundation: Sustainable Society Index - your compass to sustainability, <http://www.ssfindex.com/> (Stand 01.04.2021)
- [96] Telsnig, T.: Standortabhängige Analyse und Bewertung solarthermischer Kraftwerke am Beispiel Südafrikas, IER, Stuttgart (2015)
- [97] The Economist Newspaper Limited: Racing to the bottom, <https://www.economist.com/free-exchange/2013/11/27/racing-to-the-bottom> (Stand 08.05.2019)
- [98] Tukker, A.; Charter, M., et al.: Quantified Eco-Efficiency, Springer Netherlands, Dordrecht (2007)
- [99] Uchatius, W.: Die Zeit. Das Welthemd, 2010 (17.04.2021), 51
- [100] Umweltbundesamt: Umweltgerechtigkeit – Umwelt, Gesundheit und soziale Lage, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/umweltgerechtigkeit-umwelt-gesundheit-soziale-lage> (Stand 25.03.2021)
- [101] United Nations: UN Comtrade Database, <https://comtrade.un.org/> (Stand 15.05.2021)
- [102] United Nations: Allgemeine Erklärung der Menschenrechte (1948)
- [103] United Nations: United Nations Framework Convention on Climate Change (1992)

- [104] United Nations Development Programme: Human Development Index (HDI), <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi> (Stand 19.03.2021)
- [105] United Nations Development Programme: Inequality-adjusted Human Development Index (IHDI), <http://hdr.undp.org/en/content/inequality-adjusted-human-development-index-ihdi> (Stand 19.03.2021)
- [106] United Nations Development Programme: Table 3: Inequality-adjusted Human Development Index, <http://hdr.undp.org/en/composite/IHDI> (Stand 19.03.2021)
- [107] United Nations Development Programme: Arbeit und menschliche Entwicklung, Deutsche Ausgabe, Berliner Wissenschafts-Verlag GmbH, Berlin (2015)
- [108] Verfaillie, H. A.; Bidwell, R.: Measuring eco-efficiency, World Business Council for Sustainable Development, Geneva (2000)
- [109] Volkwein, S.; Klöpffer, W.: The Valuation Step within LCA, The International Journal of Life Cycle Assessment. 1 (1996), 1 S. 36–39
- [110] Washington International Trade Association: Global Value Chain Development Report 2019, <https://www.wita.org/atp-research/global-value-chain/> (Stand 02.04.2021)
- [111] Wursthorn, S.: Umweltintensität: ein Indikator für Ökoeffizienz, Bad Urach (2006)
- [112] Zamagni, A.; Buttol, P., et al.: D20 Blue Paper on Life Cycle Sustainability Analysis - Deliverable 20 of Work Package 7 of the CALCAS project (2009)

A Anhang: Weitere Ergebnisse für das solarthermische Turmkraftwerk

Die drei relativen Verteilungen vom Treibhauspotential, der Umweltintensität und der IHDI gewichteten Umweltintensität für Ebene 1 sind in Abbildung A-1 zusammengefasst.

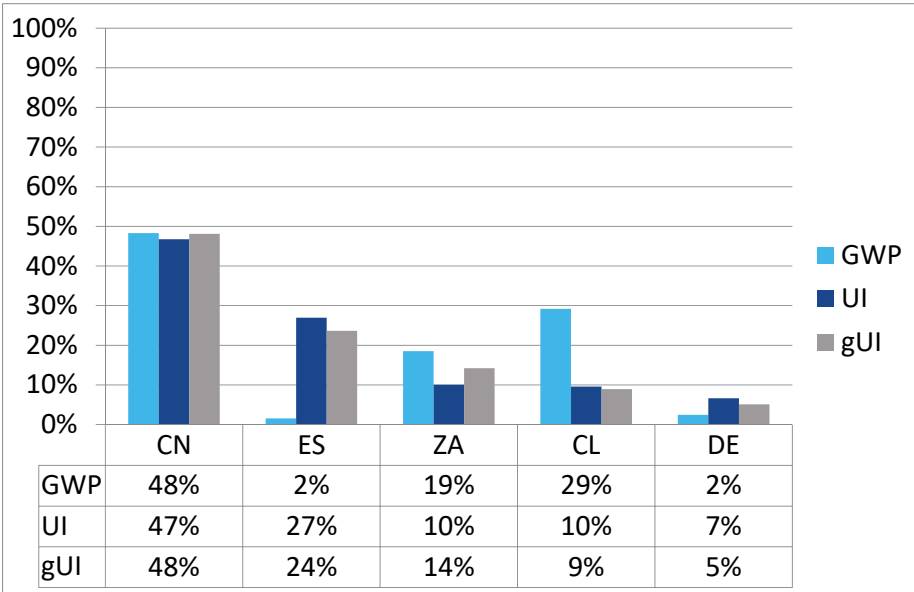


Abbildung A-1: Relative Verteilung von GWP, UI und gUI auf Ebene 1

Die drei relativen Verteilungen vom Treibhauspotential, der Umweltwertschöpfung und der IHDI gewichteten Umweltwertschöpfung für Ebene 1 sind in Abbildung A-2 zusammengefasst.

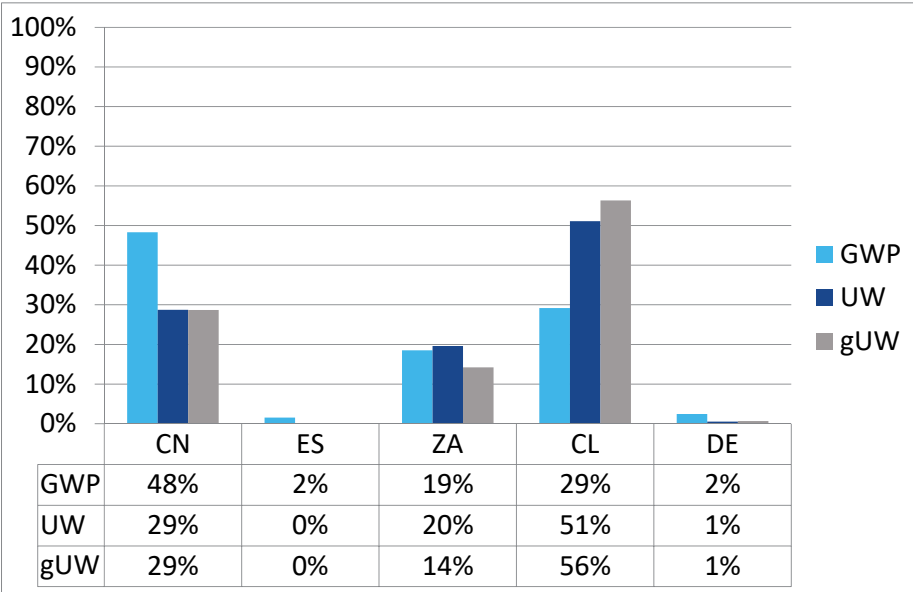


Abbildung A-2: Relative Verteilung von GWP, UW und gUW auf Ebene 1

Die drei relativen Verteilungen vom Treibhauspotential, der Umweltintensität und der IHDI gewichteten Umweltintensität für Ebene 2 sind in Abbildung A-3 zusammengefasst.

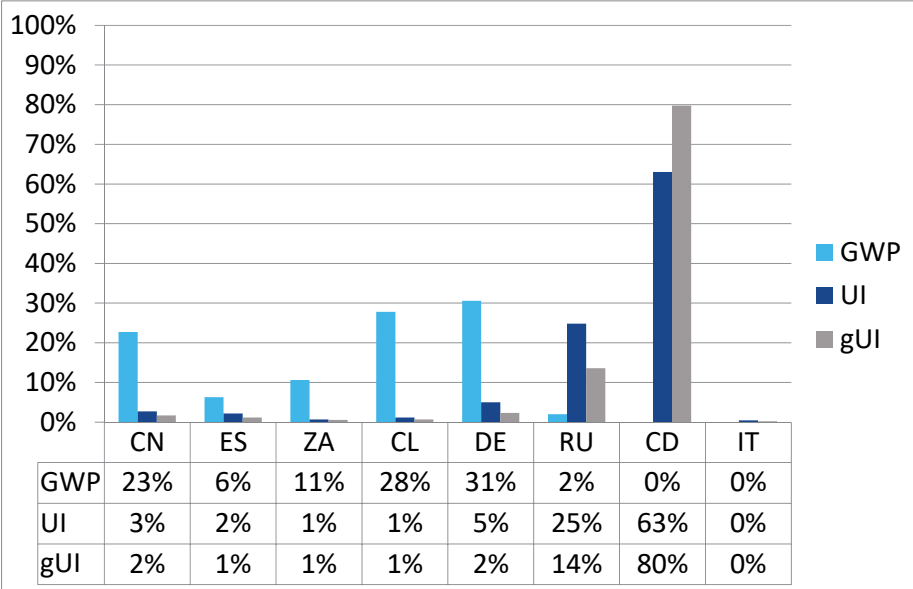


Abbildung A-3: Relative Verteilung von GWP, UI und gUI auf Ebene 2

Die drei relativen Verteilungen vom Treibhauspotential, der Umweltwertschöpfung und der IHDI gewichteten Umweltwertschöpfung für Ebene 2 sind in Abbildung A-4 zusammengefasst.

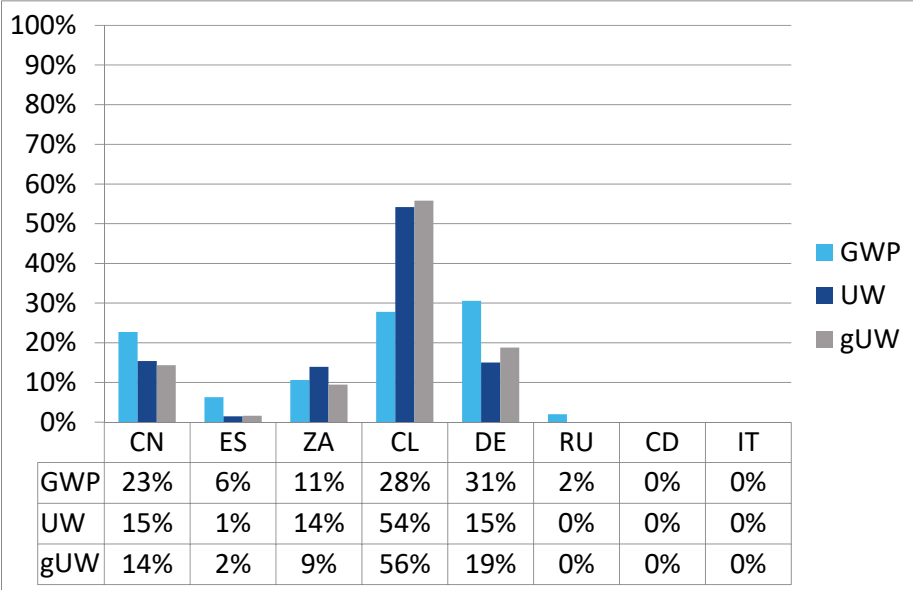


Abbildung A-4: Relative Verteilung von GWP, UW und gUW auf Ebene 2

Die drei relativen Verteilungen vom Eutrophierungspotential, der Umweltintensität und der IHDI gewichteten Umweltintensität für Ebene 2 sind in Abbildung A-5 zusammengefasst.

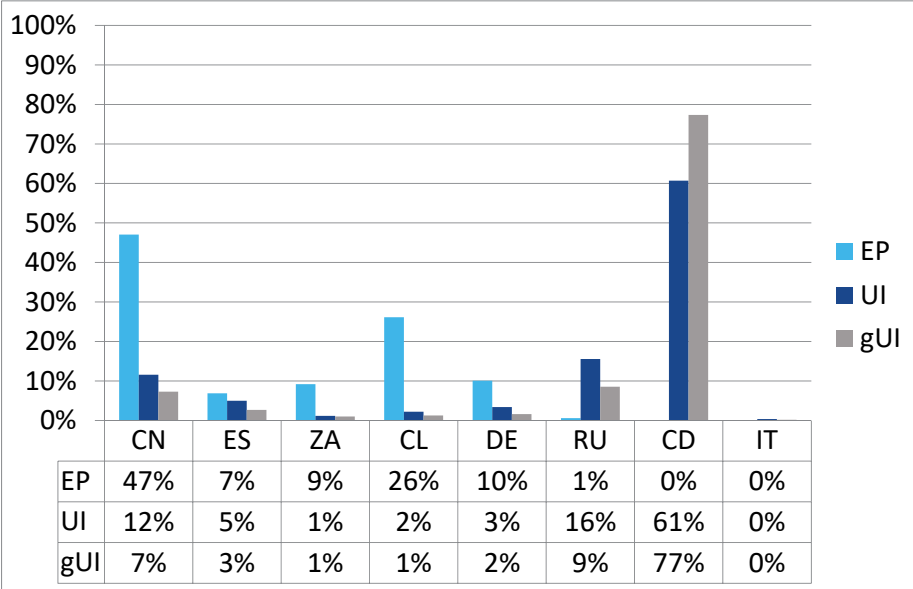


Abbildung A-5: Relative Verteilung von EP, UI und gUI auf Ebene 2

Die drei relativen Verteilungen vom Eutrophierungspotential, der Umweltwertschöpfung und der IHDI gewichteten Umweltwertschöpfung für Ebene 2 sind in Abbildung A-6 zusammengefasst.

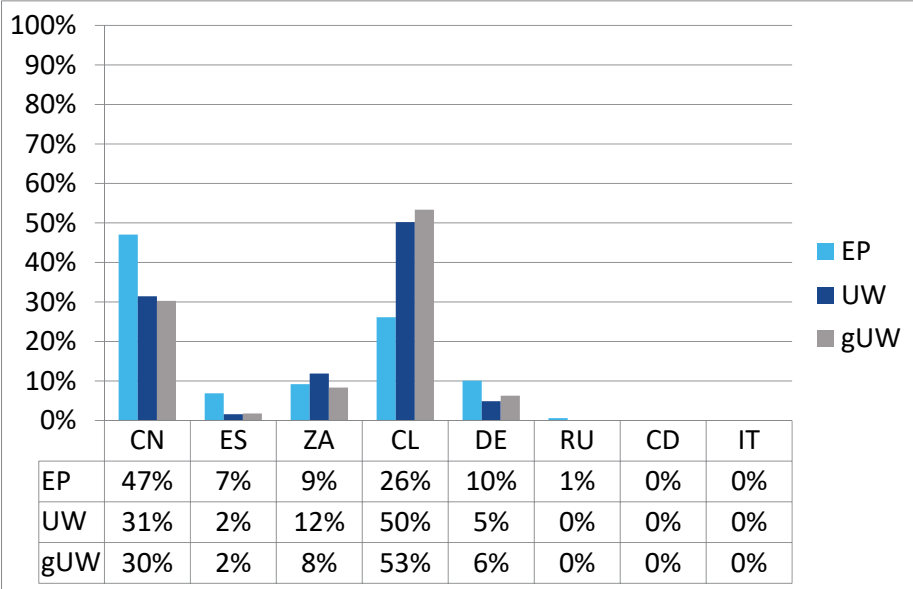


Abbildung A-6: Relative Verteilung von EP, UW und gUW auf Ebene 2

Die drei relativen Verteilungen vom Humantoxizitätspotential, der Umweltintensität und der IHDI gewichteten Umweltintensität für Ebene 2 sind in Abbildung A-7 zusammengefasst.

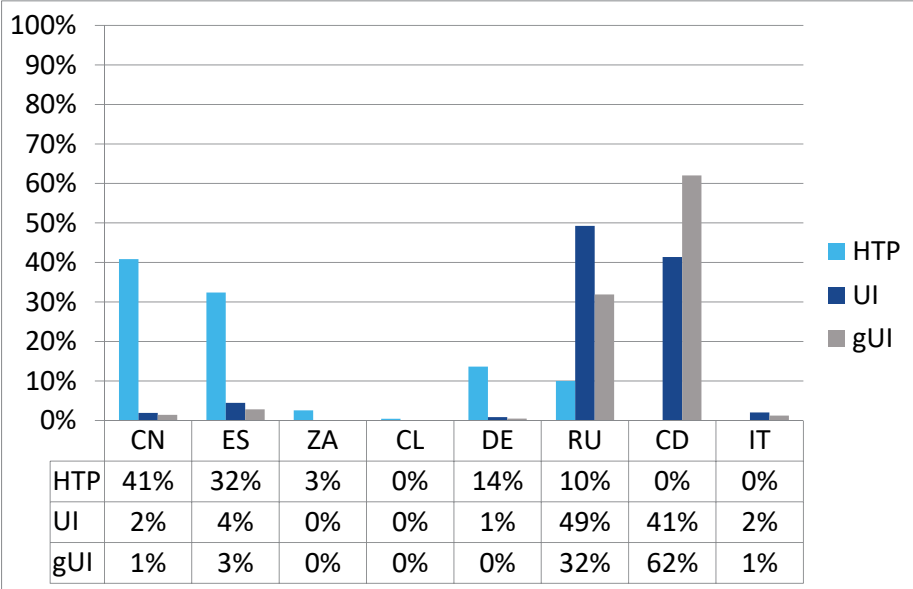


Abbildung A-7: Relative Verteilung von HTP, UI und gUI auf Ebene 2

Die drei relativen Verteilungen vom Humantoxizitätspotential, der Umweltwertschöpfung und der IHDI gewichteten Umweltwertschöpfung für Ebene 2 sind in Abbildung A-8 zusammengefasst.

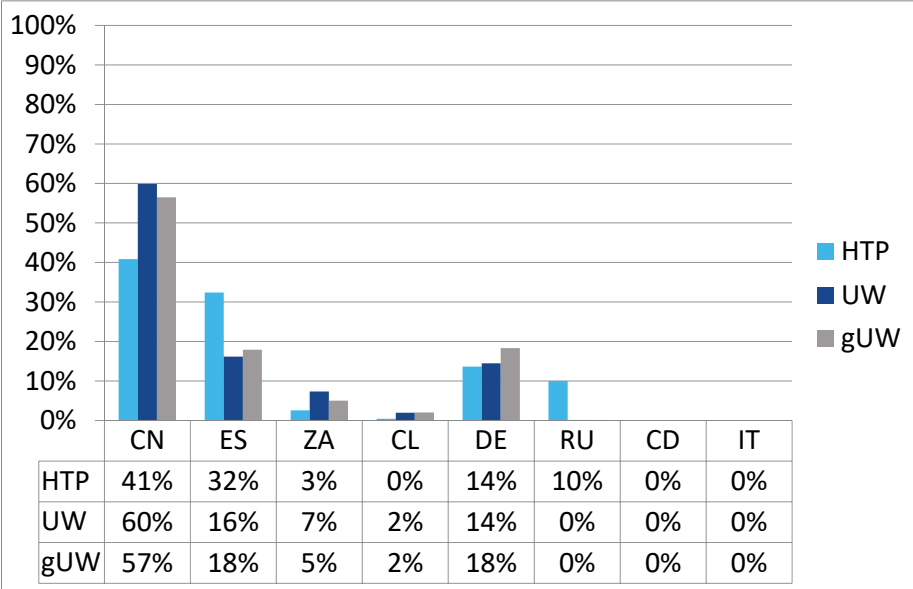


Abbildung A-8: Relative Verteilung von HTP, UW und gUW auf Ebene 2

Lebenslauf

Name: Nathanael Lih-Wei Ko
Geburtsdatum: 27.02.1988
Geburtsort: Heidelberg

Berufliche Tätigkeiten

Seit Juli 2019 Projektingenieur für die Dokumentation radioaktiver Abfälle aus dem Kernkraftwerkrückbau bei der Safetec Entsorgungs- und Sicherheitstechnik GmbH in Heidelberg

2013 - 2019 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung am Institut für Akustik und Bauphysik der Universität Stuttgart

Schule und Studium

2012 Diplom (Dipl.-Ing.) an der Universität Stuttgart

2007 bis 2012 Diplomstudium „Umweltschutztechnik“ an der Universität Stuttgart

2007 Abitur, Helmholtz-Gymnasium Heidelberg

Erklärung über die Eigenständigkeit der Dissertation

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Dissertation selbstständig angefertigt habe, wobei ich ausschließlich die in der Arbeit aufgeführten Quellen und Hilfsmittel genutzt habe und Ratschläge der in der Danksagung aufgeführten Personen berücksichtigt habe; aus fremden Quellen entnommene Passagen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Heidelberg, den 10. Januar 2022

Nathanael Lih-Wei Ko

Die Umweltwirkungen und die Gewinne, die innerhalb globaler Wertschöpfungsketten von Produkten entstehen, sind häufig ungleich auf die beteiligten Länder der Wertschöpfungskette verteilt. Die Frage, wie diese ungleiche Verteilung sichtbar gemacht werden kann, bildet die Ausgangsfrage dieser Arbeit. Basierend auf den drei Grundlagen – Ökobilanz, Wertschöpfung und Verteilungsgerechtigkeit – wird diese Ausgangsfrage diskutiert.

Mit Hilfe der Ökobilanz lassen sich die Umweltwirkungen über die Wertschöpfungsketten der Produkte berechnen. Aufbauend auf die Ökobilanz eines Produktes kann die entstandene Wertschöpfung in Euro auf den verschiedenen Hierarchieebenen länderspezifisch berechnet werden. Die Verteilungsgerechtigkeit beinhaltet drei Teilaspekte: Fähigkeit, Verantwortung als Verursacher (direkte Verantwortung) und Verantwortung als Nutznießer (indirekte Verantwortung). Diesen Aspekten werden einzelne Kennzahlen zugeordnet. Diese werden in zwei Indikatoren zusammengeführt, um eine quantitative Aussage über die Ungleichverteilung treffen zu können.