



Entwicklung einer standardisierten Vorgehensweise zur Ermittlung der eingesparten Treibhausgasemissionen aus Maßnahmen zur Materialeffizienz (ESTEM)

Abschlussbericht



© VDI ZRE



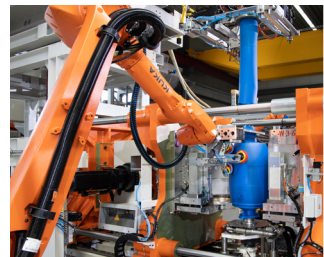
© VDI ZRE



© AdobeStock / MIND AND I



© Panther Media / cooke Imar



© VDI ZRE



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



Hamburg

Behörde für Umwelt,
 Klima, Energie und
 Agrarwirtschaft



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
 KLIMASCHUTZ, UMWELT,
 ENERGIE UND MOBILITÄT



Bayerisches Staatsministerium für
 Umwelt und Verbraucherschutz



HESSEN



Hessisches Ministerium
 für Wirtschaft, Energie,
 Verkehr und Wohnen

VDI ZRE Studie: Entwicklung einer standardisierten Vorgehensweise zur Ermittlung der eingesparten Treibhausgasemissionen aus Maßnahmen zur Materialeffizienz (ESTEM)

Autorinnen und Autoren:

Prof. Dr. Mario Schmidt (Projektleitung), Dr. Christian Haubach, Dr. Philipp R. Schäfer
Steinbeis-Transfer-Zentrum für Marketing, Logistik und Unternehmensführung an der Hochschule
Pforzheim

Prof. Dr. Liselotte Schebek, Dr. Vanessa Zeller, Laura Goellner, Dipl.-Wirt.-Ing.,
Tabea Hagedorn, M.Sc.
Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Stoffstrommanagement und
Ressourcenwirtschaft

Sofia Haas, M.Sc., Dr. Anika Neitz-Regett
Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e. V. München

Dr. Moritz Nill, Hubertus Drinkuth, Yi Ding
Systain Consulting GmbH Hamburg

Fachlicher Ansprechpartner:

Jakob Rothmeier, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Wir danken Herrn Prof. Dr. Christoph Helbig, Lehrstuhlinhaber für Ökologische Ressourcen-
technologie, Universität Bayreuth, für die Begutachtung der vorgelegten Studie.

Die Studie wurde durch das VDI Zentrum Ressourceneffizienz, das im Auftrag des Bundesmini-
steriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz arbeitet, in Zusam-
menarbeit mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg,
dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, der Hamburger Behörde
für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, dem Hessischen Ministerium für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Landesentwicklung sowie dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz, beauftragt.

Finanziert wurde die Studie aus Mitteln der beteiligten Landesministerien.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bülowstraße 78 | 10783 Berlin | Tel. +49 30-2759506-0
zre-info@vdi.de | www.ressource-deutschland.de

Titelbilder (v.l.o.n.r.u.):

© VDI ZRE, PantherMedia/cookelmar, VDI ZRE, AdobeStock/MIND AND I, VDI ZRE
Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen: Studien

Entwicklung einer standardisierten
Vorgehensweise zur Ermittlung der
eingesparten Treibhausgasemissionen
aus Maßnahmen zur Materialeffizienz
(ESTEM)

Abschlussbericht

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7
TABELLENVERZEICHNIS	11
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	12
KURZFASSUNG	15
VORWORT	17
1 DIE RELEVANZ DER MATERIALIEN FÜR DEN KLIMASCHUTZ	19
1.1 Einleitung	19
1.2 THG-Bilanzierung mit erweiterten Input-Output- Modellen	22
1.3 THG-Import- und -Exportbilanz Deutschlands	24
1.4 Struktur der THG-Emissionen ausgewählter Wirtschaftsbereiche	26
1.4.1 Metallerzeugung	27
1.4.2 Automobilindustrie	28
1.4.3 Chemische Industrie	29
1.4.4 Maschinenbau	30
1.5 THG-Emissionen des deutschen Metallinputs	31
1.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	32
2 BEWERTUNGSMETHODEN UND -TOOLS, DATENBANKEN UND ANDERE PROJEKTE	33
2.1 Bewertungsmethoden	33
2.1.1 Überblick	33
2.1.2 Definition der wichtigsten Begriffe	35
2.1.3 Kurzbeschreibung ausgewählter Bewertungsmethoden	37
2.1.4 Methodensynopse	46
2.1.5 Schlussfolgerungen	58
2.2 Datenbanken	60
2.2.1 Überblick und Anforderungen	60
2.2.2 Vergleich der Datenbanken	61

2.2.3	Materialtaxonomie	66
2.2.4	Schlussfolgerungen	75
2.3	Bewertungstools	80
2.3.1	Überblick und Anforderungen	80
2.3.2	Kurzbeschreibung und Bewertung der wichtigsten Bewertungstools	83
2.3.3	Schlussfolgerungen	91
2.4	Andere Projekte	91
3	ANALYSE UND EVALUIERUNG VON MATERIALEFFIZIENZ- PROJEKTEN	94
3.1	Zielsetzungen und Auswahl der Fallbeispiele	94
3.1.1	Zielsetzungen	94
3.1.2	Auswahl der Fallbeispiele (Materialeffizienz- Projekte)	95
3.2	Methodische Vorbereitung der Auswertung der Fallbeispiele	95
3.3	Ergebnisse der Fallbeispiel-Auswertung	99
3.3.1	Überblick zur Ergebnisdarstellung	99
3.3.2	Unternehmensbezogene Informationen	100
3.3.3	Bewertungsmethoden	101
3.3.4	Praxisanwendungen und Maßnahmen	103
3.3.5	Sonstiges	111
4	ESTEM-BERECHNUNGSVERFAHREN	113
4.1	Ausgangssituation	113
4.1.1	Wahl der Systemgrenzen	113
4.1.2	THG-Bezugsszenario	116
4.1.3	Behandlung der End-of-Life-Phase	118
4.1.4	Einfluss der Nutzungsphase von Produkten	127
4.1.5	Biogene und fossile CO ₂ -Emissionen	128
4.2	Grundsätze des ESTEM-Berechnungsverfahrens	129
4.2.1	Wahl der Systemgrenzen	130
4.2.2	Delta-Analyse statt Bezugsszenario	132
4.2.3	Behandlung der End-of-Life-Phase	135
4.2.4	Einfluss der Nutzungsphase von Produkten	138

4.2.5	Biogene und fossile CO ₂ -Emissionen	139
4.2.6	Sonstige wichtige Annahmen	140
4.3	Die ESTEM-Leitfragen	140
4.4	Datenherkunft	141
5	STAKEHOLDER-EINBINDUNG IN DIE METHODEN- ENTWICKLUNG	144
5.1	Workshop zur Evaluation von vorhandenen Methoden und Tools	144
5.2	Stakeholder-Dialog-Workshop zur Diskussion des vorgeschlagenen methodischen Vorgehens	146
6	ERPROBUNG DER ESTEM-METHODIK: TOOL- ENTWICKLUNG UND PRAXISBEISPIELE	152
6.1	Fallbeispiel 1: Leichtbau	152
6.2	Fallbeispiel 2: Einsatz von Recyclingmaterial	155
6.3	Fallbeispiel 3: Effekt auf Nutzungsphase	157
6.4	Fallbeispiel 4: Verminderter Materialeinsatz im Prozess	159
6.5	Fallbeispiel 5: Investitionsmaßnahme	163
6.6	Fallbeispiel 6: Kreislaufwirtschaftliche Maßnahme	166
6.7	Schlussfolgerungen aus den Fallbeispielen	167
7	AUSBLICK	169
	LITERATURVERZEICHNIS	171

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Verhältnis der Scope-1-, 2- und 3-Emissionen (ohne Downstream) von CO ₂ -Äquivalenten in verschiedenen Wirtschaftsbereichen Deutschlands	19
Abbildung 2:	Schematische Darstellung zur Ermittlung der THG-Emissionen durch die Endnachfrage	22
Abbildung 3:	THG-Bilanz (Mt CO _{2e}) für den deutschen Endkonsum für 2016, Emissionsgehalt der Güter ohne deren Verwendung und damit ohne die direkten Emissionen der privaten Haushalte sowie des privaten Individualverkehrs	24
Abbildung 4:	THG-Emissionen der Endnachfrage nach Gütergruppen in kt CO _{2e}	25
Abbildung 5:	Analyse der Metallerzeugung bezüglich anfallender Emissionen	27
Abbildung 6:	Analyse des Automobilbaus bezüglich der anfallenden Emissionen	28
Abbildung 7:	Analyse der Chemieindustrie bezüglich der anfallenden Emissionen	29
Abbildung 8:	Analyse des Maschinenbaus bezüglich der anfallenden Emissionen	30
Abbildung 9:	Detailanalyse der Metallerzeugung in Deutschland	31
Abbildung 10:	Zusammenhänge von Normen und Standards nach Anwendungsbereichen (eigene Darstellung)	34
Abbildung 11:	Vergleich ausgewählter ProBas-Daten mit den Datenbanken ecoinvent (blau) und GaBi (grün) (eigene Darstellung)	65
Abbildung 12:	Streubreite der globalen Durchschnittswerte der THG-Emissionen in kg CO _{2eq} pro kg für einzelne Materialien aus den gängigsten Materialgruppen (ecoinvent V 3.7) (eigene Darstellung)	67

Abbildung 13: Streubreite der globalen Durchschnittswerte der THG-Emissionen in kg CO _{2eq} pro kg für einzelne Materialien der gängigsten Materialgruppen und zusätzlich fünf Spezialmaterialgruppen (ecoinvent V 3.7; GaBi Datenbank) (eigene Darstellung)	69
Abbildung 14: Streubreite der durchschnittlichen THG-Emissionen in kg CO _{2eq} pro kg von Metallen	70
Abbildung 15: Streubreite der deutschen Durchschnittswerte der THG-Emissionen in kg CO _{2eq} pro kg unterschiedlicher Stahllegierungen (GaBi Datenbank) (eigene Darstellung)	71
Abbildung 16: Streubreite der durchschnittlichen THG-Emissionen unterschiedlicher Kupferproduktionsrouten und der globale Marktdurchschnitt (ecoinvent V 3.7) (eigene Darstellung)	72
Abbildung 17: Streubreite der globalen THG-Emissionen in kg CO _{2eq} pro kg von Stahl-produkten mit unterschiedlicher Verarbeitungstiefe (ecoinvent V 3.7; worldsteel) (eigene Darstellung)	74
Abbildung 18: Streubreite von THG-Emissionen in kg CO _{2eq} pro kg von Primäraluminium unterschiedlicher Produktionsländer/-regionen und der globale Marktdurchschnitt (ecoinvent V 3.7) (eigene Darstellung)	75
Abbildung 19: Durchführung der Metastudie	91
Abbildung 20: Maßnahmenkatalog VDI 4800	97
Abbildung 21: Darstellung der Clusterung zu den Themen Unternehmen, Bewertungsmethoden und Praxisanwendungen/Maßnahmen (eigene Darstellung)	99
Abbildung 22: Branchenzusammensetzung der ausgewerteten Fallbeispiele (eigene Darstellung)	100

Abbildung 23: Unternehmensgröße und regionale Zuordnung der untersuchten Fallbeispiele (eigene Darstellung)	101
Abbildung 24: Überblick eingesetzte Bewertungsmethoden (eigene Darstellung)	101
Abbildung 25: Spezifische Emissionsfaktoren Strom und Erdgas (eigene Darstellung)	102
Abbildung 26: Untersuchte Falleispiele, Praxisanwendungen und Maßnahmen (eigene Darstellung)	103
Abbildung 27: Fokus der Praxisanwendungen (eigene Darstellung)	104
Abbildung 28: Produktbezogene Maßnahmen (eigene Darstellung)	105
Abbildung 29: Prozessbezogene und organisatorische Maßnahmen (eigene Darstellung)	106
Abbildung 30: Anteil der Maßnahmen in kleinen Unternehmen (eigene Darstellung)	108
Abbildung 31: Produktbezogene Maßnahmen mittlere Unternehmen (eigene Darstellung)	109
Abbildung 32: Prozessbezogene Maßnahmen mittlerer Unternehmen (eigene Darstellung)	109
Abbildung 33: Produktbezogene Maßnahmen große Unternehmen (eigene Darstellung)	110
Abbildung 34: Prozessbezogene Maßnahmen große Unternehmen (eigene Darstellung)	111
Abbildung 35: Bilanzsubjekte und mögliche Bilanzgrenzen (eigene Darstellung)	114
Abbildung 36: Lebensweggedanke anhand des Produktsystems aus der VDI 4800 Blatt 1	115
Abbildung 37: Mögliche Verläufe der Emissionen von Bezugsszenario und Maßnahmen-Szenario (eigene Darstellung)	118

Abbildung 38: Maßnahmen im Lebenszyklus eines Produkts (eigene Darstellung)	119
Abbildung 39: Materialkreisläufe in der Wirtschaft (eigene Darstellung)	121
Abbildung 40: Vereinfachter Lebensweg für die ESTEM-Systembetrachtung (eigene Darstellung)	131
Abbildung 41: Zeitlich konstante (oben) und veränderliche (unten) Emissions-minderung durch eine Maßnahme (eigene Darstellung)	134
Abbildung 42: Berücksichtigung von einmaligen Einsparungen durch Verteilung auf 3 Jahre (eigene Darstellung)	135
Abbildung 43: Berücksichtigung von Einsparungen bei Nutzung langlebiger Produkte (eigene Darstellung)	139
Abbildung 44: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Leichtbau“ (in Blau)	153
Abbildung 45: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Einsatz von Recyclingmaterial“ (in Blau)	156
Abbildung 46: Betroffene Lebenszyklusphasen beim Fallbeispiel „Nutzungsphase“ (in Blau)	158
Abbildung 47: Betroffene Lebenszyklusphasen beim Fallbeispiel „Verminderter Materialeinsatz im Prozess“ (in Blau)	160
Abbildung 48: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Investitionsmaßnahme“ (in Blau)	164

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Methodensynopse Bewertungsmethoden Produktebene	47
Tabelle 2:	Methodensynopse Bewertungsmethoden Projektebene	53
Tabelle 3:	Methodensynopse Bewertungsmethoden Organisationsebene	55
Tabelle 4:	Die wichtigsten Umwelt-Datenbanken und deren Eckdaten	62
Tabelle 5:	Auswahl der von IFEU 2011 erstellten Umweltprofile	79
Tabelle 6:	Verfügbare Bewertungstools und deren Eckdaten	81
Tabelle 7:	Bewertungsergebnisse der Tools	84
Tabelle 8:	Beteiligte Agierende	104
Tabelle 9:	Ergebnisse für das Fallbeispiel „Leichtbau“	154
Tabelle 10:	Ergebnisse für das Fallbeispiel „Nutzungsphase“	159
Tabelle 11:	Ergebnisse des Fallbeispiels „Verminderter Materialeinsatz im Prozess“	162
Tabelle 12:	Ergebnisse für die Berechnung des Fallbeispiels „Investitionsmaßnahme“ für eine Abschreibungsdauer von drei Jahren	165
Tabelle 13:	Überblick über die fünf Fallbeispiele, die von der Methode abgedeckt werden	167

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

APOS	Allocation at the point of substitution
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
BSI	British Standards Institution
CF	Carbon Footprint
CFF	Circular Footprint Formula
CFP	Carbon Footprint of Products
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO_{2e}/CO_{2eq}	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
EF	Emissionsfaktor
EoL	End-of-Life
EPD	Environmental Product Declaration
ERP	Enterprise Resource Planning
EU	Europäische Union
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
GHG	Greenhouse Gas
GWP	Global Warming Potential
HFKW	teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
IEA	International Energy Agency

ILCD	International Reference Life Cycle Data System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
KMU	Kleinere und mittlere Unternehmen
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSS	Kühlschmierstoffe
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OEF	Organisation Environmental Footprint
OEFSR	Organisation Environmental Footprint Sector Rules
PAS	Publicly Available Specification
PCF	Product Carbon Footprint
PE	Polyethylen
PEF	Product Environmental Footprint
PEFCR	Product Environmental Footprint Category Rules
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
REZ	Ressourceneffizienzzenrum Bayern
RFID	Radio-Frequency Identification

SBTI	Science Based Targets Initiative
SF₆	Schwefelhexafluorid
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
UNEP	United Nations Environment Programme
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute

Excel® ist eine Trademark von Microsoft®.

KURZFASSUNG

Ziel des Projekts war es, durch die Entwicklung eines Berechnungsverfahrens und des ESTEM-Tools, die Klimawirksamkeit von Maßnahmen aus dem Bereich der betrieblichen Materialeffizienz einheitlich abzuschätzen. Es richtet sich an Antragsstellerinnen und Antragssteller sowie Beratungsunternehmen für die Förderung von Projekten und die Bilanzierung von Maßnahmen im Rahmen von Beratungsprojekten zu Materialeffizienz in produzierenden Unternehmen. Darüber hinaus kann das Tool innerbetrieblich für die vergleichende Bewertung von Maßnahmen eingesetzt werden. Die durch den Einsatz von Material und Energie und die direkte Freisetzung von Treibhausgasen (THG) insgesamt verursachten THG-Emissionen werden dabei mittels eines standardisierten Berechnungsverfahrens beziffert. Damit können Projekte und Maßnahmen zur Materialeffizienz im betrieblichen Umfeld hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit und ihres Minderungspotenzials verglichen werden.

Das ESTEM-Berechnungsverfahren ist einfach anzuwenden und setzt geringe methodische Kenntnisse voraus, sodass es insbesondere von kleinen und mittleren Unternehmen, z. B. für Anträge für staatliche Fördermaßnahmen, eingesetzt werden kann. Dafür wird ein Excel®-basiertes Tool sowie ein Leitfaden bereitgestellt, mit denen die Emissionsminderung von Materialeffizienz-Maßnahmen ausgerechnet werden kann.

Bei dem Verfahren werden hauptsächlich Daten zur Änderung im Energie- und Materialeinsatz abgefragt, die sich aus der umgesetzten Materialeffizienz-Maßnahme ergeben, und mit standardisierten Emissionsfaktoren kombiniert. Anwenderinnen und Anwender müssen dazu zehn Leitfragen beantworten und für ihre geplante Materialeffizienz-Maßnahme entsprechende Mengenangaben vornehmen.

Im Abschlussbericht sind Ergebnisse aus der Umfeldanalyse, den Diskussionen in Workshops mit der Fachöffentlichkeit, der eigentlichen Methodenentwicklung und den Fallbeispielen enthalten. Ergänzt wird der Abschlussbericht durch das Excel®-basierte ESTEM-Tool und den dazugehörigen Leitfaden.

VORWORT

Im Frühjahr 2020, inmitten der Anfänge der Corona-Pandemie, schrieb die VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE) eine Studie aus, finanziert durch die fünf Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Hamburg, Hessen und Rheinland-Pfalz. Das VDI ZRE fungierte hier als Projektträger im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Das Ziel der Ausschreibung war die Entwicklung einer standardisierten Vorgehensweise zur Ermittlung der eingesparten Treibhausgasemissionen aus Maßnahmen zur Materialeffizienz in der industriellen Produktion. Durch die definierte Vorgehensweise soll ein hohes Maß an Vergleichbarkeit der eingesparten Treibhausgasemissionen je Materialeffizienz-Maßnahme geschaffen werden. Dadurch soll es ermöglicht werden, den globalen Beitrag zur Emissionsminderung von durchgeführten Materialeffizienz-Maßnahmen in der deutschen industriellen Produktion zu ermitteln. Die Hauptzielgruppe der Studie sind insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, die Ressourceneffizienzmaßnahmen durchführen und die eingesparten Treibhausgasemissionen ermitteln wollen (KMU). Die beteiligten Ministerien versprachen sich von einer solchen standardisierten Vorgehensweise insbesondere Erleichterungen bei der Bewertung von Anträgen zu Materialeffizienz-Maßnahmen im Rahmen von Förderprogrammen.

Den Zuschlag bekam Ende August 2020 ein Konsortium unter der Federführung des Steinbeis-Transferzentrums Marketing, Logistik und Unternehmensführung an der Hochschule Pforzheim. Zu dem Konsortium gehörten das Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft am Institut IWAR der Technischen Universität, die Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. in München und die Sustain Consulting GmbH in Hamburg.

In den folgenden zwei Jahren wurde in zahlreichen Diskussionen und Fachbesprechungen innerhalb des Konsortiums, gemeinsam mit den Auftraggeberinnen und Auftraggebern sowie in der Fachöffentlichkeit, eine Vorgehensweise entwickelt, mit der das gewünschte Ziel einfach, transparent, richtungssicher, mit geringem Aufwand und zielgruppengerecht erreicht werden kann. So wurde das ESTEM-Berechnungsverfahren nicht nur

abstrakt als Methoden-Leitfaden beschrieben, wie es ursprünglich geplant war, sondern in ein Excel[®]-basiertes Tool implementiert, das mit Ende des Projekts ganz praktisch zur Verfügung steht. Dies wurde nur möglich, weil parallel auch Emissionsfaktoren aktualisiert und über die sogenannte BAFA-Liste kostenlos zugänglich gemacht wurden. Bei der Datenfrage gibt es für die Zukunft noch einen deutlichen Nachholbedarf, damit das Ziel - dass kleine und mittlere Unternehmen Materialeffizienz-Maßnahmen anstoßen, beantragen und durchführen und dabei Kenntnis über ihre eingesparten Treibhausgasemissionen erhalten - umfänglich erfüllt werden kann. Nur so kann das Thema der Ressourceneffizienz in der Produktion ein integraler Bestandteil in der nationalen Klimaschutzstrategie werden und seinen - nicht unerheblichen - Beitrag leisten.

Ich möchte an dieser Stelle allen beteiligten Kolleginnen und Kollegen für ihr Engagement und ihre Beiträge danken, den beteiligten Ministerien aus den Bundesländern für das entgegengebrachte Vertrauen und die spannenden Diskussionen, dem VDI ZRE für die professionelle Organisation im Projektumfeld und den beteiligten interessierten Kreisen für Anregungen und Kritik.

Prof. Dr. Mario Schmidt

Pforzheim, 31. Juli 2022

1 DIE RELEVANZ DER MATERIALIEN FÜR DEN KLIMASCHUTZ

1.1 Einleitung

Der Materialeinsatz in Unternehmen spielt bei deren Klimabilanz eine wesentliche Rolle. Die Treibhausgas-(THG-)Emissionen, die mit der Gewinnung und Verarbeitung von Materialien – sowohl von Rohstoffen als auch von Halbzeugen und anderen Vorprodukten – verbunden sind, tragen bei den meisten Branchen den größten Anteil an der Klimabilanz. Hierbei handelt es sich um sogenannte Upstream-Scope-3-Emissionen (Abbildung 1). Viele Unternehmen sehen ihre Verantwortung für den Klimaschutz inzwischen auch in diesem Scope-3-Bereich. Das ist wesentlich durch die Anforderungen von Stakeholdern getrieben, insbesondere über die Anforderungen der Kundschaft gegenüber liefernden Unternehmen, z. B. der Automobilbranche.

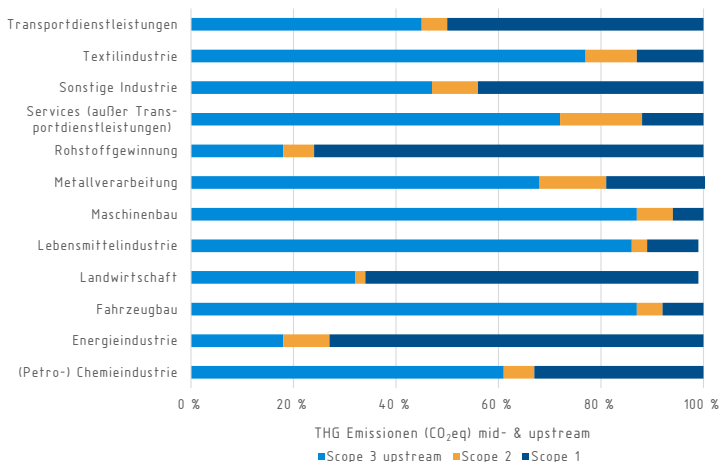


Abbildung 1: Verhältnis der Scope-1-, 2- und 3-Emissionen (ohne Downstream) von CO₂-Äquivalenten in verschiedenen Wirtschaftsbereichen Deutschlands^{1 2}

¹ In Anlehnung an Schmidt et al. (2021), S. 1694.

² Abweichung von 100 % aufgrund von Rundungen.

Die meisten Unternehmen wollen derzeit eine umfassende Klimabilanz erstellen, um zu prüfen, wie sie „Klimaneutralität“ erreichen können. Dazu werden zahlreiche Handlungsbereiche geprüft. Insbesondere bei den Klimarucksäcken ihrer Vorprodukte besteht bei Unternehmen derzeit eine große Unsicherheit. Verlässliche öffentliche Daten liegen kaum vor. Es fehlt auch an Methodenwissen.

Folgende Fragen tauchen immer wieder auf:

- Welche Materialien werden eingesetzt und welche THG-Emissionen sind daran gebunden?
- Bringt Materialsubstitution eine Entlastung?
- Woher kommen die Materialien und wäre z. B. der Bezug aus Europa klimaseitig günstiger als der Bezug aus Asien?
- Was bringt der Einsatz von mehr Sekundärmaterialien?

Die Frage nach der Wirkung von Klimaschutzmaßnahmen im Unternehmensbereich gewinnt auch durch verschiedene Initiativen an Bedeutung. Die Science-Based-Targets-Initiative verlangt eine jährliche absolute Minderung der Scope-3-Emissionen von mindestens 2,5 %³. Diese Änderungen im Rahmen von Unternehmensgesamtbilanzen korrekt abzubilden, ist angesichts der Genauigkeit der Emissionsbilanzen eine große Herausforderung. Sinnvoller werden hier Methoden sein, die sich auf einzelne Maßnahmen konzentrieren und deren Änderung im Hinblick auf Emissionen abbilden. Das Ziel muss sein, eine möglichst große Menge an THG-Emissionen tatsächlich (und nicht nur fiktiv) einzusparen.

Trotzdem sind Gesamtbilanzen von großer Bedeutung, um Einflussfaktoren und langfristige Trends zu analysieren. Auch auf nationaler Ebene sind die materialgebundenen Emissionen nicht zu vernachlässigen. Sie werden allerdings in den üblichen territorialen Bilanzen nicht mit ausgewiesen. Zur Verdeutlichung der Relevanz dieser Emissionen, die zwar durch die Wirtschaftstätigkeit in Deutschland verursacht werden, aber global auftre-

³ Vgl. Science Based Targets Initiative (2021).

ten können, wurden Berechnungen mit Input-Output-Modellen durchgeführt, die hier zur Motivation des Themas vorgestellt werden. Die Berechnungen wurden vom Projektpartner Systain Consulting vorgenommen. Diese Modelle werden in der vorliegenden Arbeit für die Maßnahmenbewertung nicht weiterverfolgt, sind aber eine wichtige Ergänzung zur Einschätzung der Relevanz der Materialeffizienz.

Die traditionellen THG-Bilanzen einzelner Länder betrachten nur die direkten, territorialen THG-Emissionen, die im Land freigesetzt werden. Die deutsche Wirtschaft ist jedoch tief in die globale Wirtschaftsstruktur über Importe und Exporte von Rohstoffen sowie Vor- und Endprodukten integriert. Für ein umfassendes Verständnis der Ursachen und für bessere Strategien zum Kampf gegen den Klimawandel ist damit eine Lebenszyklusbetrachtung („von der Wiege bis zur Bahre“) der in Deutschland konsumierten Güter und Dienstleistungen notwendig. Eine Analyse der THG-Emissionen der deutschen Wirtschaft, die die Lieferkette umfasst, ist mithilfe der erweiterten Input-Output-Analyse möglich. Diese ist insbesondere für ein verbessertes Verständnis von der Bedeutung des Materialeinsatzes in der deutschen Wirtschaft hinsichtlich des Carbon Footprints (CF) hilfreich. Im Folgenden wird diese Methodik kurz vorgestellt. Anschließend können mithilfe eines solchen Modells für die deutsche Wirtschaft die folgenden zentralen Fragen beantwortet werden:

- Wie hoch sind die THG-Emissionen der Endnachfrage im Vergleich zu den direkten?
- Wie viele Emissionen sind importiert?
- Welche Emissionen sind durch Exporte verursacht?
- Welcher Anteil der Emissionen entfällt auf den Materialeinsatz?
- Welche Metalle sind dabei besonders wichtig?

Die Ergebnisse wurden mithilfe des Input-Output-Analyseansatzes erzeugt, der im Folgenden vorgestellt wird.

1.2 THG-Bilanzierung mit erweiterten Input-Output-Modellen

Die Erfassung der deutschen territorialen THG-Emissionen bezieht sich auf die in Deutschland innerhalb eines Jahres freigesetzten THG-Emissionen. Eine THG-Bilanz, die auch die Lieferkette umfasst, schließt hingegen die kumulierten THG-Emissionen („THG-Rucksack“) aller in Deutschland in einem Jahr verwendeten Güter und Dienstleistungen mit ein. Diese letzte Verwendung der Güter umfasst dabei den Konsum der Haushalte und des Staates, die Investitionen der Wirtschaft sowie die Ausfuhren (vgl. Abbildung 2).

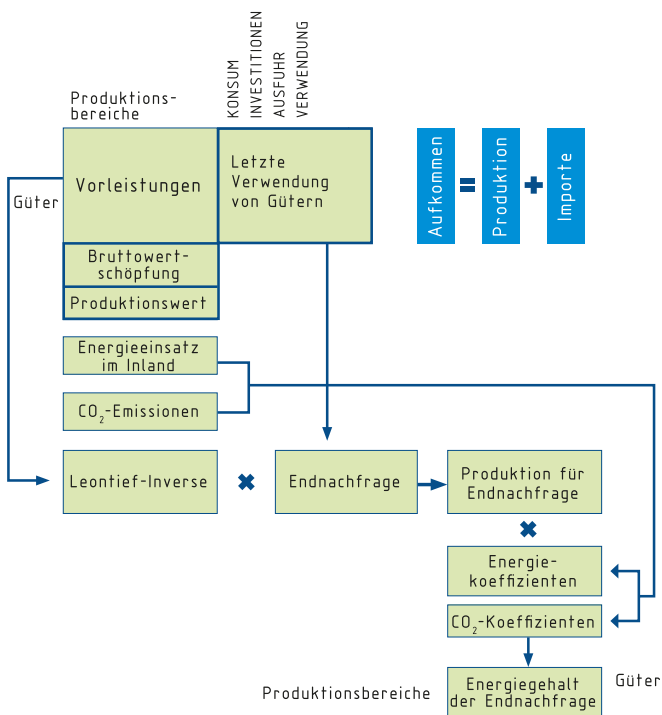


Abbildung 2: Schematische Darstellung zur Ermittlung der THG-Emissionen durch die Endnachfrage⁴

⁴ In Anlehnung an Statistisches Bundesamt (2020).

Erweiterte Input-Output-Modelle ermöglichen es, für die verwendeten Güter - gemessen in Euro - Emissionsfaktoren in kg CO_{2e} pro Euro bereitzustellen, die die gesamte Lieferkette und damit die kumulierten Lebensweitemissionen umfassen. Dazu wird in einem ersten Schritt mithilfe der sogenannten Leontief-Inverse auf der Grundlage von statistischen Informationen zur Wirtschaft (Input-Output-Rechnungen, Importstatistiken) die durch die Nachfrage ausgelöste Wertschöpfung in Deutschland, aber auch in den Zulieferländern, ermittelt. In einem zweiten Schritt werden über Sektor- und ggf. landesspezifische Emissionswerte die ausgelösten THG-Emissionen quantifiziert⁵.

Für die Analyse wurde das multiregionale Input-Output-Modell der OECD⁶ genutzt, mit Erweiterungen um THG-Emissionen aus dem EU-Forschungsprojekt Exiobase⁷ - jeweils für das Jahr 2016. Der Vorteil eines multiregionalen Input-Output-Modells besteht darin, dass die Vorkette der Güter über die gesamte Wertschöpfungsstruktur nach einzelnen Ländern aufgelöst erfolgt und damit spezifische Unterschiede von einzelnen Herstellungsländern, z. B. im Strommix, explizit berücksichtigt werden. Ein weiterer Vorteil des multiregionalen Modells, zumindest in der hier verwendeten Struktur, resultiert aus dem einheitlichen Modellaufbau mit 150 Sektoren und 49 Ländern und der daraus folgenden Möglichkeit, die Struktur der THG-Emissionen für alle Waren im Detail aufzudecken.

Das Statistische Bundesamt nutzt demgegenüber ein anderes Modell zur Bestimmung der CO₂-Emissionen, allerdings ohne Einbezug anderer Treibhausgase. Ein Abgleich unserer Ergebnisse, wenn nur CO₂ einbezogen wird, zeigte eine große Übereinstimmung mit den Ergebnissen des hybriden Input-Output-Modells von Destatis⁸.

⁵ Vgl. Eurostat (2008).

⁶ Vgl. OECD (2015).

⁷ Vgl. Stadler et al. (2018), S. 502.

⁸ Vgl. Statistisches Bundesamt (2020), S. 18.

1.3 THG-Import- und -Exportbilanz Deutschlands

Die Ergebnisse der Input-Output-Analyse sind in Abbildung 3 sowohl nach importierten und inländischen Emissionen als auch nach dem Emissionsgehalt der Güter der Endnachfrage und dem der Exporte aufgeschlüsselt. Es ist zu sehen, dass die THG-Emissionen (Mt CO_{2e}), die mit Importen und Exporten in Verbindung stehen, eine zentrale Rolle spielen.

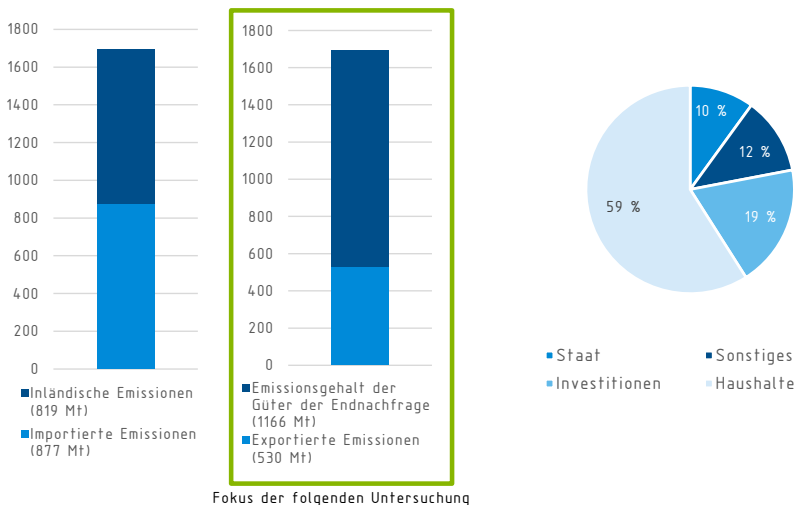


Abbildung 3: THG-Bilanz (Mt CO_{2e}) für den deutschen Endkonsum für 2016, Emissionsgehalt der Güter ohne deren Verwendung und damit ohne die direkten Emissionen der privaten Haushalte sowie des privaten Individualverkehrs^{9 10}

Die mit den Importen verknüpften Emissionen („importierte Emissionen“) sind dabei um ein Drittel größer als die Emissionen der Exporte („exportierte Emissionen“). Eine genauere Betrachtung nur jener Emissionen, die durch die Endnachfrage erzeugt wurden, zeigt, dass die Emissionen der inländischen Endnachfrage überwiegend aus dem Konsum der Haushalte resultieren, gefolgt von den Investitionen.

⁹ Eigene Berechnungen auf der Basis des estell-Modells von Sustain, künftig nur als „estell (2021)“ zitiert.

¹⁰ Abweichung von 100 % aufgrund von Rundungen.

Abbildung 4 verdeutlicht unterdessen, welche Güter und Dienstleistungen den THG-Footprint des Endkonsums dominieren. Dabei wurden zur besseren Übersichtlichkeit die einzelnen Wirtschaftssektoren, die im OECD-Modell aufgeführt sind, übergeordneten Gütergruppen zugeordnet.

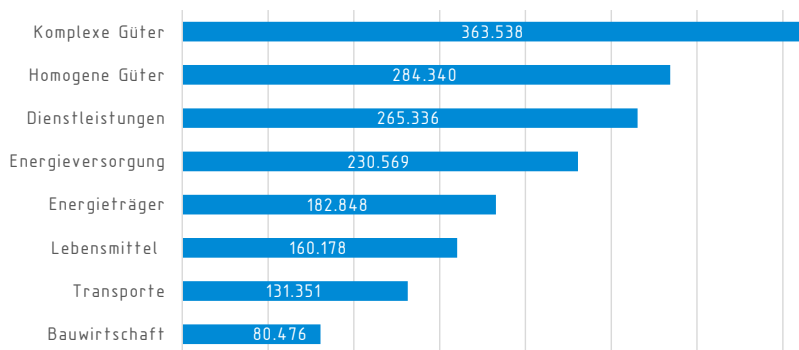


Abbildung 4: THG-Emissionen der Endnachfrage nach Gütergruppen in kt CO_{2e} ¹¹

Bei den komplexen Gütern tragen insbesondere die Automobilherstellung und der Maschinenbau zum THG-Footprint bei, im Fall der homogenen Güter sind es hauptsächlich Chemikalien und die Metallherzeugung. Auch Dienstleistungen steuern in einem wesentlichen Umfang zu den THG-Emissionen bei. Der Beitrag insgesamt liegt hier über dem der Energieversorgung. Besonders relevant sind im Rahmen der Dienstleistungen die Gesundheitsversorgung, Gebäude und Hotels sowie Restaurants.

Im Folgenden soll sich insbesondere auf die zwei ersten Gütergruppen konzentriert und dabei sollen Chemikalien, Metallherzeugung, Automobilbau und Maschinenbau näher beleuchtet werden.

¹¹ Vgl. *estell* (2021).

1.4 Struktur der THG-Emissionen ausgewählter Wirtschaftsbereiche

Die THG-Emissionen der ausgewählten Wirtschaftsbereiche wurden nach drei Sichtweisen ausgewertet. Zum einen wurde untersucht, welche Inputs die THG-Emissionen verursachen. Diese Sicht hilft zu verstehen, ob Scope 1 („own site emissions“), Scope 2 („utilities“) oder die Lieferkette von bestimmten Vorprodukten den Carbon Footprint bestimmt.

Auf diese Weise erhält man einen Einblick, ob Verbesserungen über Energieeffizienzmaßnahmen erfolgen können oder über Maßnahmen, die die Ressourceneffizienz erhöhen. Dies stellt die zweite Sichtweise dar, die die o. g. Emissionsverursacher nach drei Gruppen zusammenfasst:

- Emissionen, die durch Energieeffizienzmaßnahmen adressierbar sind – „adressable by energy efficiency“. Hierbei handelt es sich um Scope-1- und Scope-2-Emissionen.
- Emissionen, die durch Ressourceneffizienzmaßnahmen adressierbar sind – „adressable by resource efficiency“. Dazu zählen die Emissionen, die bei der Herstellung von Materialien (Plastik, Glas, Metalle, Textilien usw.) entstehen.
- Alle weiteren Emissionsquellen

Eine dritte Sichtweise beleuchtet unterdessen, ob die THG-Emissionen im Inland – also Deutschland („domestic emissions“) – oder im Ausland („foreign emissions“) stattfinden.

Diese Analyse hilft, die Rolle der internationalen Lieferketten in den jeweiligen Wirtschaftsbereichen besser einzuschätzen.

1.4.1 Metallerzeugung

Bei der Metallerzeugung ist der Carbon Footprint überwiegend durch die Scope-1-Emissionen (27 %) sowie den Bezug von Metallen (22 %) dominiert. Wichtige Beiträge stammen zudem aus der Bereitstellung von Energieträgern (16 %) und Strom (14 %) sowie der Metallrohstoffe (7 %). Daher ergibt sich auch das Bild, dass die THG-Emissionen insbesondere durch Energie- und Ressourceneffizienz adressierbar sind. Die Lebenswegemissionen werden zu etwa einem Drittel im Ausland freigesetzt.

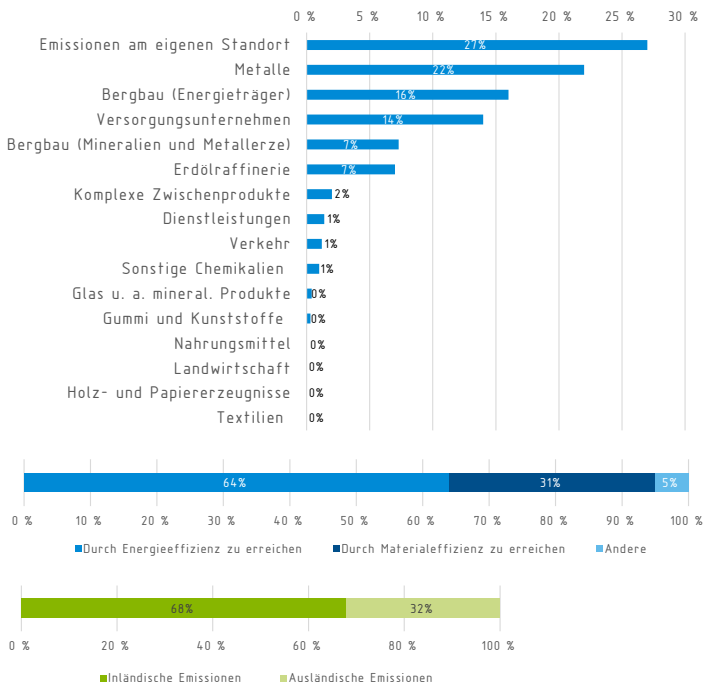


Abbildung 5: Analyse der Metallerzeugung bezüglich anfallender Emissionen^{12 13}

¹² Vgl. estell (2021).

¹³ Darstellung basierend auf gerundeten Werten.

1.4.2 Automobilindustrie

Die Struktur der kumulierten THG-Emissionen des Automobilbaus sieht demgegenüber deutlich anders aus. Hier dominiert der Bezug von komplexen Vorprodukten (44 %) – also Teilkomponenten wie Getriebe, Räder, Kabel etc. Eine weitere wichtige Emissionsquelle sind Metallinputs (19 %) – hier insbesondere der Stahl- und Aluminiuminput für die Karosserie. Damit können die THG-Emissionen nur zu einem geringeren Anteil durch Maßnahmen der Material- oder Energieeffizienz verringert werden. Für komplexe Vorprodukte sind andere Konzepte notwendig. Bezüglich der internationalen Struktur der THG-Emissionen ergibt sich allerdings ein mit den Analyseergebnissen der Metallerzeugung vergleichbares Bild: Auch hier werden die THG-Emissionen zu etwa einem Drittel im Ausland freigesetzt.

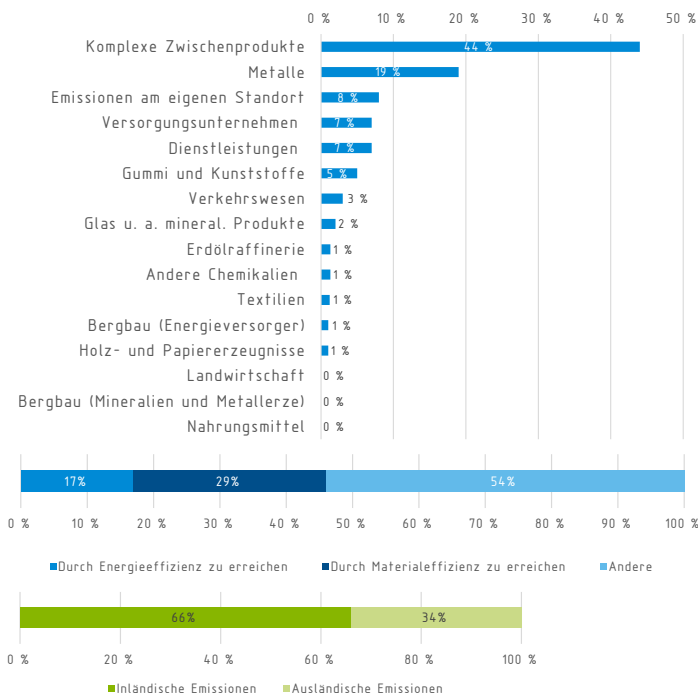


Abbildung 6: Analyse des Automobilbaus bezüglich der anfallenden Emissionen^{14 15}

¹⁴ Vgl. estell (2021).

¹⁵ Darstellung basierend auf gerundeten Werten.

1.4.3 Chemische Industrie

Die größten Emissionstreiber der Chemieindustrie sind der Chemikalieninput (26 %) und die THG-Emissionen am eigenen Standort (26 %), gefolgt von Emissionen der Energieinputs Strom (11 %), Energieträger (9 %) und Feedstock (5 %). Damit besitzt die Chemieindustrie gute Möglichkeiten, die THG-Emissionen durch Energie- oder Materialeffizienzmaßnahmen zu reduzieren. Die Emissionen werden über den Lebensweg zu etwa einem Drittel im Ausland freigesetzt.

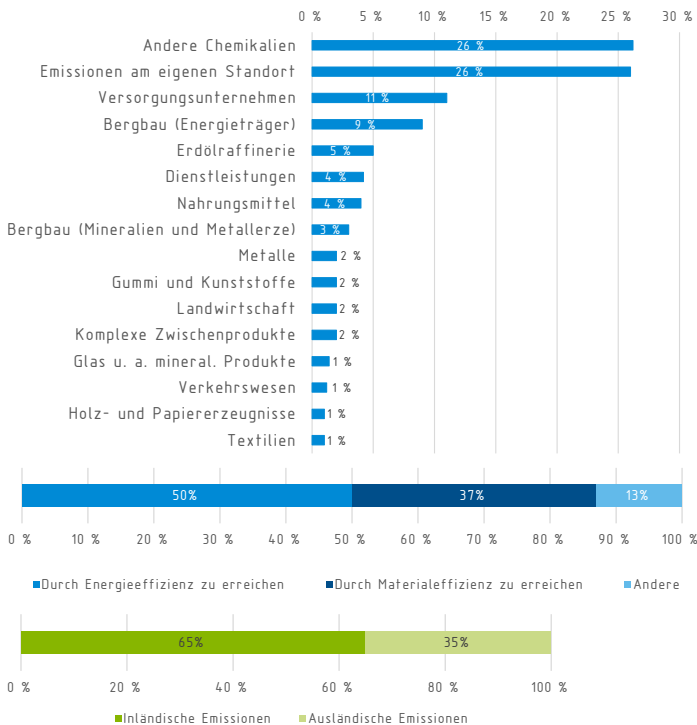


Abbildung 7: Analyse der Chemieindustrie bezüglich der anfallenden Emissionen^{16 17}

¹⁶ Vgl. estell (2021).

¹⁷ Darstellung basierend auf gerundeten Werten.

1.4.4 Maschinenbau

Beim Maschinenbau resultiert der Hauptbeitrag zu den THG-Emissionen aus dem Bezug von Metallrohstoffen (38 %) und komplexen Vorprodukten (27 %). Der Strombedarf verursacht derweil etwa ein Zehntel (11 %) der THG-Emissionen. Daher sind hier insbesondere Maßnahmen der Material-effizienz das Mittel der Wahl zur Reduktion der THG-Emissionen. Auch beim Maschinenbau erfolgen die THG-Emissionen zu einem Drittel im Ausland.

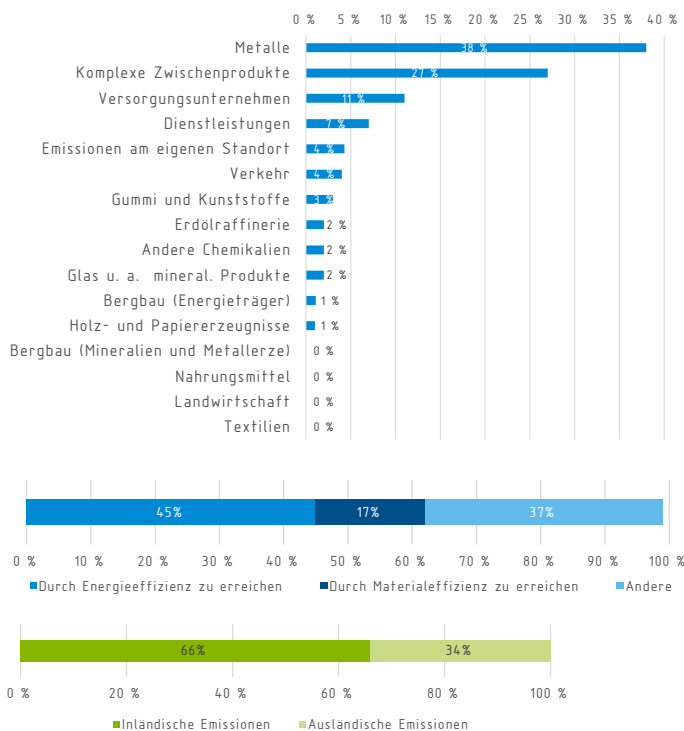


Abbildung 8: Analyse des Maschinenbaus bezüglich der anfallenden Emissionen^{18 19}

¹⁸ Vgl. estell (2021).

¹⁹ Darstellung basierend auf gerundeten Werten.

1.5 THG-Emissionen des deutschen Metallinputs

Wie ersichtlich wurde, spielt der Input von Metallen für den THG-Footprint des deutschen Endkonsums eine entscheidende Rolle. Im Folgenden wird geklärt, um welche Metalle es sich hierbei überwiegend handelt. Zu diesem Zweck wurde das Modell für den deutschen THG-Footprint dahingehend ausgewertet, welche Metallinputs mit ihrem kumulierten THG-Footprint in welcher Intensität zum Footprint insgesamt beitragen. Dabei ist die Berechnung bei der Auflösung der einzelnen Metalle auf die Granularität des Modells beschränkt: Es kann zwischen diversen Metallen (Stahl, Aluminium, Kupfer, Metallguss) sowie anderen Metallen (Blei, Zink, Zinn) unterschieden werden.

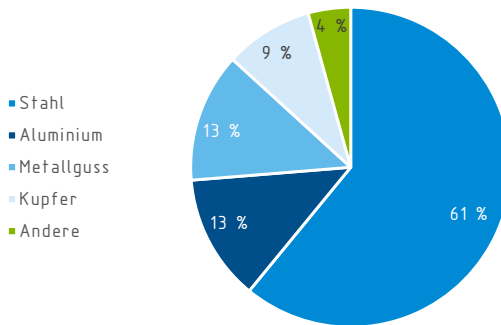


Abbildung 9: Detailanalyse der Metallerzeugung in Deutschland²⁰

Es zeigt sich in Abbildung 9, dass die THG-Emissionen, die aufgrund von Metallinputs entstehen, überwiegend auf Stahl (61 %), Metallguss (13 %), Aluminium (13 %) und Kupfer (9 %) zurückzuführen sind. Weitere Metalle spielen nur eine untergeordnete Rolle (4 %). So verdeutlicht diese Analyse außerdem, dass es sinnvoll ist, Maßnahmen zu THG-Einsparungen auf die Massenmetalle Stahl, Aluminium und Kupfer zu fokussieren.

²⁰ Vgl. estell (2021)

1.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Analyse mithilfe eines multiregionalen Input-Output-Modells für Deutschland erlaubt interessante und wichtige Einblicke in die THG-Emissionsstruktur des deutschen Endkonsums. So spielen Importe und Exporte von Emissionen eine große Rolle beim Verständnis der THG-Emissionen. Die importierten Emissionen sind dabei ähnlich groß wie die territorialen (ohne die direkten Emissionen der Haushalte) und um ca. ein Drittel höher als die exportierten THG-Ausstöße. Die Diskussion zum Klimaschutz darf damit die THG-Emissionen, die mit Importen und Exporten zusammenhängen, nicht weiter ausklammern, denn auch die Lebenszyklusemissionen sind in einem globalen Maßstab von zentraler Bedeutung für den Klimaschutz.

Eine weitere wichtige Erkenntnis, die sich aus der Lebenszyklusperspektive ergibt, ist die große Bedeutung von Vorprodukten, die Unternehmen für ihre Tätigkeiten beschaffen. Beschaffte - homogene und komplexe - Güter sind bei weitem die wichtigste Emissionsquelle für den deutschen Endkonsum - deutlich relevanter noch als die Stromwirtschaft oder der Transport. Das unterstreicht wiederum die Bedeutung der Aufgabenstellung des vorliegenden Forschungsprojekts: den Klimaschutz durch eine bessere Ressourceneffizienz voranzubringen. Neben Gütern tragen auch Dienstleistungen in nicht unerheblichem Umfang zum THG-Footprint bei. Die Wirtschaftszweige Gesundheits- und Sozialwesen, aber auch das Gastgewerbe dürfen bei Klimaschutzmaßnahmen nicht ausgeklammert werden.

Die zentralen deutschen Wirtschaftssektoren - Automobil, Maschinenbau, Chemie, Metallherzeugung - zeigen mit Blick auf ihre jeweilige THG-Emissionsstruktur ein einheitliches Merkmal: Sie verursachen etwa ein Drittel ihrer THG-Emissionen im Ausland. Ansonsten sind die Ursachen für die THG-Emissionen stark unterschiedlich und damit auch die zur Bekämpfung des Klimawandels relevanten Maßnahmen: Während bei der Metallherzeugung das größte Potenzial in der Energieeffizienz liegt, kann bei dem Maschinenbau und der Chemieindustrie über Materialeffizienz der größte Reduktionshebel bedient werden. Bei der Automobilindustrie hingegen, deren Footprint überwiegend aus komplexen Vorprodukten sowie der Nutzungsphase der Produkte resultiert, sind darüber hinaus weitergehende Maßnahmen notwendig.

2 BEWERTUNGSMETHODEN UND -TOOLS, DATENBANKEN UND ANDERE PROJEKTE

2.1 Bewertungsmethoden

2.1.1 Überblick

Unter „Bewertungsmethoden“ werden fachlich korrekte Sachbilanzen bzw. Inventory Analysis verstanden, die die Emissionen und auf Mid-point-Ebene die Umweltwirkungen beschreiben. Im Falle des Klimaschutzes sind das die Emissionen der Treibhausgase in kg Kohlenstoffdioxid-Äquivalente (CO_{2e}).

Für die ökobilanzielle bzw. Treibhausgasbewertung von Produkten, Prozessen und Unternehmen/Organisationen gibt es eine Reihe an Standards, Normen, Richtlinien und Empfehlungen (siehe Abbildung 10). Von zentraler Bedeutung sind hier insbesondere die Normen der International Organization for Standardization (ISO). Auf ihnen bauen die meisten der weiteren Standards auf. Die nachfolgende Abbildung zeigt die existierenden Dokumente sowie ihr Untersuchungsobjekt und die Beziehungen der Methodendokumente untereinander. Die Methodendokumente sowie die wichtigsten Fachbegriffe sind in den nachfolgenden Kapiteln kurz beschrieben.

Neben diesen konkreten Methodenvorschlägen besteht noch die ISO 14080:2018. Sie gibt Grundsätze und Prinzipien für die Entwicklung, Identifikation oder Erweiterung von Methoden hinsichtlich klimarelevanter Maßnahmen vor. Dazu gehören Relevanz, Konsistenz, Vergleichbarkeit, Kompatibilität, Vollständigkeit, Konservativität, Genauigkeit, Praktikabilität, Flexibilität, Glaubwürdigkeit und Transparenz. Diese Grundsätze und Prinzipien sind sehr allgemeiner Natur und liefern einen groben Rahmen für die Methodenentwicklung. So schreibt die ISO z. B. vor, dass die Anwendbarkeit einer neu entwickelten Methode vor deren Einsatz entsprechend geprüft werden muss.

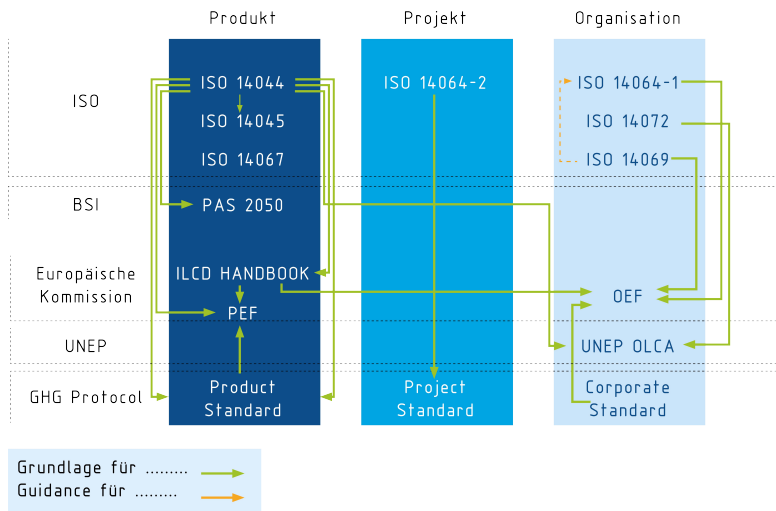


Abbildung 10: Zusammenhänge von Normen und Standards nach Anwendungsbereichen (eigene Darstellung)

Ebenso schreibt die ISO vor, welche Aspekte bei der Definition des Ziel- und Untersuchungsrahmens betrachtet bzw. erfasst werden müssen. Das betrifft u. a. die Baseline-Definition, für die die ISO 14064-2:2020 eine verhältnismäßig ausführliche Vorgabe macht. So gibt die Baseline den Zustand an, der ohne die Maßnahme eingetroffen wäre. Existierende und geplante Änderungen (strategisch oder politisch) müssen dabei mitberücksichtigt werden. Ebenso muss die Baseline an unvorhergesehene Änderungen im volkswirtschaftlichen System anpassbar sein, sodass diese Änderungen nicht der Maßnahme zugeschrieben werden.²¹

Die im Rahmen des Projekts vorgesehene Entwicklung der Methode zur Quantifizierung der THG-Ersparnisse von Materialeffizienz-Maßnahmen wird die Empfehlungen der ISO 14080 berücksichtigen.

²¹ Vgl. ISO 14064-2:2020, S. 20.

2.1.2 Definition der wichtigsten Begriffe

Carbon Footprint/Treibhausgas-Fußabdruck

Summe an Treibhausgasen, die durch ein definiertes Objekt (Produkt, Tätigkeit, Person, Unternehmen etc.) direkt und indirekt emittiert bzw. entzogen werden.

Corporate Carbon Footprint/Organisational Carbon Footprint

Summe an Treibhausgasen, die durch eine Organisation in einem definierten Zeitraum direkt und indirekt emittiert bzw. entzogen werden.

Direkte Treibhausgasemissionen

Treibhausgasemissionen, die aus Treibhausgasquellen stammen, die im direkten Besitz oder unter Kontrolle eines Unternehmens sind.

Indirekte Treibhausgasemissionen

Treibhausgasemissionen infolge des Betriebs und der Tätigkeiten einer Organisation, die aus Treibhausgasquellen stammen, die sich nicht im Besitz oder unter der Kontrolle der Organisation befinden.

Organisational Life Cycle Assessment (OLCA)/Unternehmensökobilanz

Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse sowie der potenziellen Umweltauswirkungen der Tätigkeiten, die ganz oder zu Teilen auf die Organisation zurückzuführen sind. Es wird eine Lebenszyklusperspektive eingenommen.

Product Carbon Footprint

Summe an Treibhausgasen, die durch ein Produkt über dessen gesamten Lebenszyklus direkt und indirekt emittiert werden.

Ökobilanz

Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse sowie der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges.

Umweltfußabdruck/ökologischer Fußabdruck/Environmental Footprint

Der Umweltfußabdruck kann als das Ergebnis einer Ökobilanz verstanden werden. Im Gegensatz zum Carbon Footprint beruht der Umweltfußabdruck auf mehreren Indikatoren, die die potenziellen Umweltwirkungen abbilden.

Systemgrenzen

Grenzen, die, basierend auf definierten Kriterien, festlegen, welche Prozesse Teil des zu untersuchenden Systems (z. B. Produktsystems) sind.

Allokation

Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produkt oder Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produkten oder Produktsystemen.

Baseline/Bezugsszenario

Das hypothetische Szenario, das die Bedingungen am besten wiedergibt, die beim Fehlen des Klimaschutzprojekts am wahrscheinlichsten auftreten würden. Es soll bestmöglich den Zustand ohne das Klimaschutzprojekt beschreiben. Es dient als Referenz, um die Qualität des Klimaschutzprojekts zu quantifizieren.

Lebenswegbetrachtung/-perspektive

Die vollständige Betrachtung der aufeinanderfolgenden und miteinander verbundenen Stufen von der Rohstoffgewinnung oder Rohstoffherzeugung über deren Nutzung hin bis zu deren endgültigen Beseitigung.

Funktionelle Einheit

Quantifizierter Nutzen eines Produkt- oder Dienstleistungssystems für die Verwendung als Vergleichseinheit von Ökobilanzen.

Treibhausgasprojekte/Klimaschutzprojekt

Tätigkeit oder Tätigkeiten, die vom Bezugsszenario abweichen und zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen oder zu einer Steigerung des Entzugs von Treibhausgasen führen.

Cradle-to-Gate

Der Cradle-to-Gate-Ansatz (von der Wiege bis zum Werkstor) ist ein Teil des gesamten Lebenszyklus. Er umfasst den Abbau der benötigten Rohstoffe bis hin zur Bereitstellung des fertigen Produktes. Die Nutzungs- und End-of-Life-Phase sind damit keine Bestandteile des Untersuchungsrahmens.

Cradle-to-Grave

Der Cradle-to-Grave-Ansatz (von der Wiege bis zum Grab) umfasst den gesamten Lebenszyklus.

2.1.3 Kurzbeschreibung ausgewählter Bewertungsmethoden

Produktebene

European Commission – Product Environmental Footprint (2013) (PEF)

Der Leitfaden der Europäischen Kommission für die Berechnung des Umweltfußabdrucks von Produkten wurde mit dem primären Ziel entwickelt, eine einheitliche europäische Methodik bereitzustellen, die es ermöglicht, die Einflüsse von Produkten auf die Umwelt zu quantifizieren. Die Methode verfolgt das Prinzip „comparability over flexibility“, d. h., die Vergleichbarkeit der Studien hat oberste Priorität.

Die Europäische Kommission definiert den Umweltfußabdruck von Produkten (bzw. Product Environmental Footprint, PEF) als „[...] ein auf mehreren Kriterien basierendes Maß für die Umweltleistung eines Produktes oder einer Dienstleistung entlang seines bzw. ihres Lebenswegs. PEF-Informationen werden erhoben mit dem übergeordneten Ziel, die Umweltauswirkungen von Waren und Dienstleistungen unter Berücksichtigung aller Tätigkeiten entlang der Lieferkette (von der Gewinnung der Rohstoffe über Produktion und Nutzung bis hin zur abschließenden Abfallbewirtschaftung) zu verringern. Dieser PEF-Leitfaden gibt eine Methode für die Modellierung der Umweltauswirkungen von Stoff/Energieströmen sowie Emissionen

und Abfallströmen vor, die entlang des gesamten Lebenswegs eines Produktes auftreten.“²²

Neben den konkreten Anleitungen für die Berechnung des Umweltfußabdrucks von Produkten (PEF-Methode) beinhaltet der Leitfaden Anleitungen für die Entwicklung von Berechnungsmethoden für bestimmte Produktkategorien. Diese Produktkategorien sollen wiederum in sogenannte Produktkategorieeregeln eingebettet werden (Product Environmental Footprint Category Rules, PEFCR). Sie sind als spezifische Ergänzungen zu der allgemeinen PEF-Methode zu verstehen, die die Reproduzierbarkeit, Konsistenz, Relevanz und insbesondere die Vergleichbarkeit der PEF Studien erhöhen sollen.

Die PEF-Methode stützt sich auf die gängigen Methodik-Leitlinien zur Öko- und Treibhausgasbilanzierung wie u. a. die ISO 14040/44, die ISO 14067, das ILCD-Handbuch und den produktspezifischen Standard des GHG Protocol. Inzwischen liegt eine aktualisierte Beschreibung vor.²³

GHG Protocol – Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard

Der GHG Protocol – Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard wurde in der ersten Fassung 2008 vom World Resources Institute (WRI) und World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) veröffentlicht. Er beinhaltet konkrete Richtlinien für die Quantifizierung und Berichterstattung der Treibhausgasemissionen und -einsparungen, die mit einem bestimmten Produkt verbunden sind. Zielgruppe sind Unternehmen sowie andere Organisationen aller Größen und Länder. Das primäre Ziel des Standards ist es, einen allgemeinen Rahmen für Unternehmen zu schaffen, um fundierte Entscheidungen in Produktentwicklung, -verkauf, -herstellung und -nutzung treffen zu können, die zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen führen.

Der Standard fokussiert nur die tatsächlichen Treibhausgasemissionen und -entnahmen, die durch den Produktlebenszyklus entstehen bzw. generiert

²² European Commission (2013), S. 9.

²³ Vgl. EU PEF (2021).

werden. Die Vermeidung oder Minderung von Emissionen wird nicht über den Standard abgedeckt. Die Quantifizierung von Kompensationsleistungen ist ebenfalls nicht Gegenstand des Standards.

Grundlage des Standards sind die Methoden zur Erstellung von Ökobilanzen bzw. Treibhausgasbilanzen ISO 14040/44 und PAS 2050.

European Commission – International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook

Das International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook wurde im Jahr 2010 veröffentlicht, um das allgemeine Rahmenwerk zur Ökobilanzierung der ISO 14040/44 zu vervollständigen. Das Handbuch dient u. a. dazu, den Anwendenden für die Vielzahl der Handlungsspielräume der ISO Norm unterstützende Richtlinien an die Hand zu geben. Neben einem detaillierten Leitfaden ist auch ein vereinfachter Leitfaden enthalten. Das Handbuch deckt alle Aspekte der Durchführung einer Ökobilanz ab:

- die Definition des Ziels und der Zielgruppe,
- die Erfassung von Daten zu dem Ressourcenverbrauch und den Emissionen, die einem bestimmten Produkt zugeordnet werden können,
- die Berechnung des Beitrags zu den Auswirkungen auf die Umwelt,
- die Überprüfung der Robustheit und Signifikanz der Ergebnisse und Schlussfolgerungen sowie
- die Berichterstattung und Überprüfung, um Transparenz und Qualität sicherzustellen.

Das Handbuch ist Teil der Bemühungen der Europäischen Kommission, nachhaltige Verbrauchs- und Erzeugungsstrukturen zu fördern.

British Standards Institution – PAS 2050

Der PAS 2050 wurde auf den Wunsch der Stakeholder nach einer konsistenten Methode für die Erfassung der Lebenszyklus-Treibhausgasemissionen von Produkten und Dienstleistungen entwickelt. Der PAS 2050 stellt eine Bilanzierungsmethode zur Verfügung, die Organisationen nutzen können, um die Treibhausgasemissionen ihrer Wertschöpf-

fungskette besser zu verstehen. Das primäre Ziel des PAS ist es jedoch, eine einheitliche Basis für die Quantifizierung der Treibhausgasemissionen bereitzustellen. Der Standard wurde 2008 von der British Standards Institution (BSI) als erste definierte Norm für die CO₂-Bilanz eines Produktes bzw. einer Dienstleistung entwickelt und 2011 überarbeitet.

Der PAS 2050 baut auf den ISO-Normen 14040/44 auf bzw. stellt eine vereinfachte Form der ISO-Normen dar. Die breite Anwendung des PAS bestätigt das Bedürfnis von Organisationen nach einer klaren und einfachen Methode zur Treibhausgasbilanzierung von Produkten als weitere Option zu einer umfangreichen Ökobilanz (nach ISO-Norm).

ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020: Ökobilanz

Die ISO 14044 stellt gemeinsam mit der ISO 14040 den Standard für eine ISO-konforme Ökobilanz dar. Die Erstveröffentlichung der Norm geht auf das Jahr 2005 zurück, die aktuelle Überarbeitung stammt aus dem Jahr 2020.

Die Methode der Ökobilanz dient der Quantifizierung der potenziellen Umweltwirkungen (multikriteriell) eines Produktes oder einer Dienstleistung entlang dessen/deren gesamten Lebenszyklus, d. h. vom Abbau der notwendigen Rohstoffe über die Nutzung hin bis zur Entsorgung. Die potenziellen Umweltwirkungen werden dabei immer auf eine Referenzeinheit, die sogenannte funktionelle Einheit, bezogen, die den konkreten Nutzen eines Produktes oder einer Dienstleistung angibt.

Eine Ökobilanzstudie umfasst vier Phasen: (1) Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, (2) Sachbilanz-Phase (Bestandsaufnahme der In- und Outputdaten des zu untersuchenden Systems), (3) die Wirkungsabschätzung und (4) die Auswertung.

ISO 14067:2018: Carbon Footprint von Produkten

Die ISO-Normenreihe 14060 befasst sich mit der Quantifizierung, Validierung, Verifizierung, Überwachung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen. Die ISO 14067 „[...] definiert die Grundsätze, Anforderungen an und Leitlinien für die Quantifizierung des Carbon Footprint von Produkten. Das Ziel dieses Dokuments ist die Quantifizierung von emittierten Treibhausgasemengen im Zusammenhang mit den Lebenswegabschnit-

ten eines Produkts, beginnend bei der Ressourcengewinnung und Rohstoffbeschaffung über die Phasen der Produktion, der Nutzung und des Lebensendes des Produkts.“²⁴

ISO 14045:2012: Ökoeffizienzbewertung

Die ISO 14045 ist die internationale Norm zur Ökoeffizienzbewertung von Produktsystemen. Nach Definition der Norm ist die Ökoeffizienzbewertung „[...] ein quantitatives Managementwerkzeug, das die Untersuchung der Umweltauswirkungen im Verlauf des Lebensweges eines Produktsystems in Bezug auf den zugehörigen Nutzen des Gesamtsystems für Anspruchsgruppen ermöglicht. [...] Der Nutzen des Produktsystems darf so gewählt werden, dass zum Beispiel dessen Effizienz hinsichtlich Ressourcen, Produktion, Vertrieb oder Gebrauch oder eine Kombination davon widergespiegelt wird. Dieser Nutzen darf in monetären Einheiten oder anderen Nutzenaspekten angegeben werden. Üblicherweise wird die Wirtschaftlichkeit des Produktes (Nutzen) ins Verhältnis zu dessen Auswirkungen auf die Umwelt gesetzt.“²⁵

Die Umweltauswirkungen werden im Rahmen der Ökoeffizienzbewertung über die Methode der Ökobilanz quantifiziert. Hier finden die entsprechenden ISO-Normen ISO 14040/44 Anwendung. Somit treffen auf eine Ökoeffizienzbewertung auch die zentralen Prinzipien einer Ökobilanz zu, wie z. B. die Lebenswegbetrachtung, die Ganzheitlichkeit, der Ansatz der funktionellen Einheit, der iterative Charakter sowie der Transparenzanspruch.

Projektebene

ISO 14064-2:2019: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung, Überwachung und Berichterstattung von Reduktionen der Treibhausgasemissionen oder Steigerungen des Entzugs von Treibhausgasen auf Projektebene

Die ISO-Normenreihe 14060 befasst sich mit der Quantifizierung, Validierung, Verifizierung, Überwachung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen. Die ISO 14064-2 widmet sich als Teil dieser Reihe den

²⁴ ISO 14067:2018, S. 11.

²⁵ ISO 14045:2012, S. 5.

Projekten. Die ISO 14064-2 „[...] beschreibt die Grundsätze und Anforderungen für die Bestimmung der Ausgangsbasis und die Überwachung, Quantifizierung und Berichterstattung von Projektemissionen. [Sie] konzentriert sich auf THG-Projekte oder projektbasierte Aktivitäten, die speziell zur Reduzierung von THG-Emissionen und/oder zur Verbesserung des THG-Entzugs entwickelt werden. Sie bildet die Grundlage für zu verifizierende und zu validierende THG-Projekte.“²⁶

GHG Protocol – The GHG Protocol for Project Accounting

Das GHG Protocol for Project Accounting stellt Konzepte und Methoden für die Quantifizierung und das Reporting von Treibhausgasprojekten zur Verfügung. Die Projekte können Treibhausgasreduzierungen im Sinne von Reduktionen und Treibhausgasentnahmen bzw. -speicherungen umfassen.

Die Ziele des Protokolls sind:

- einen glaubwürdigen und transparenten Ansatz für die Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasreduzierungen aus Treibhausgasprojekten zu schaffen,
- die Glaubwürdigkeit der Bilanzierung von Treibhausgasprojekten durch die Anwendung gemeinsamer Bilanzierungskonzepte, Verfahren und Prinzipien zu erhöhen und
- eine Plattform für die Harmonisierung von verschiedenen projektbasierten Treibhausgasinitiativen und Programmen bereitzustellen.

Zielgruppe des Protokolls sind Projektentwicklerinnen und -entwickler bzw. die Projektverantwortlichen. Es kann jedoch auch für zahlreiche weitere Adressatinnen und Adressaten von Interesse sein. Das Protokoll kann unterstützend zur ISO-Norm 14064-2 herangezogen werden.

²⁶ ISO14064-2:2019, S. 9.

Organisationsebene

ISO 14064-1:2018: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene

Die ISO-Normenreihe 14060 befasst sich mit der Quantifizierung, Validierung, Verifizierung, Überwachung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen. Als Teil dieser Normenreihe befasst sich die ISO 14064-1 mit der Organisations- bzw. Unternehmensebene. In der ISO 14064-1 „[...] werden die Grundsätze für und Anforderungen an die Planung, die Entwicklung, das Management und die Berichterstattung von Treibhausgasbilanzen auf Organisationsebene ausführlich erläutert. Es enthält Anforderungen an die Festlegung von Grenzen bezüglich der Treibhausgasemissionen und des Entzugs von Treibhausgasen, die quantitative Bestimmung der Treibhausgasemissionen und des Entzugs von Treibhausgasen einer Organisation und die Identifizierung spezieller Maßnahmen oder Tätigkeiten des Unternehmens, die auf eine Verbesserung des Treibhausgasmanagements abzielen. Es enthält außerdem Anforderungen an und eine Anleitung für das Qualitätsmanagement von Treibhausgasbilanzen, die Berichterstattung, die Durchführung interner Audits und die Verantwortlichkeiten der Organisation in Bezug auf Verifizierungstätigkeiten.“²⁷

ISO/TR 14069:2013: Greenhouse gases – Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations – Guidance for the application of ISO 14064-1

Dieser technische Bericht beschreibt die Prinzipien, Konzepte und Methoden für die Quantifizierung und Berichterstattung von direkten und indirekten Treibhausgasemissionen einer Organisation. Dabei werden direkte (Scope 1) wie auch indirekte Emissionen (Scope 2 und 3) miteinbezogen. Der technische Bericht ist so angelegt, dass er als Leitfaden für die Anwendung der ISO 14064-1 dient und damit deren Anwendung unterstützt bzw. erleichtert.

²⁷ ISO 14064-1:2018, S. 9.

In der Synopse findet keine Betrachtung des technischen Berichts statt, da die zu Grunde liegende ISO 14064-1 mittlerweile auf einem aktuelleren Stand (Jahr 2018) als der technische Bericht (Jahr 2013) ist.

European Commission – Organisational Environmental Footprint (2013) (OEF)

Der Leitfaden der Europäischen Kommission für die Berechnung des Umweltfußabdrucks von Organisationen wurde – als Pendant zum PEF – mit dem primären Ziel entwickelt, eine einheitliche europäische Methodik bereitzustellen, die es ermöglicht, die Einflüsse von Organisationen auf die Umwelt zu quantifizieren. Ebenso wie die PEF-Methode verfolgt auch die organisationspezifische Methode das Prinzip „comparability over flexibility“, d. h., die Vergleichbarkeit der Studien hat oberste Priorität.

Die Europäische Kommission definiert den Umweltfußabdruck von Organisationen (bzw. Organisational Environmental Footprint, OEF) als „[...] ein auf mehreren Kriterien basierendes Maß für die Umweltleistung von Organisationen, die Waren oder Dienstleistungen anbieten, im Hinblick auf deren gesamten Lebensweg. OEF-Studien werden erstellt mit dem übergeordneten Ziel, die mit den Tätigkeiten von Organisationen verbundenen Umweltwirkungen unter Berücksichtigung aller Tätigkeiten entlang der Lieferkette (von der Gewinnung der Rohstoffe über Produktion und Nutzung bis hin zur abschließenden Abfallbewirtschaftung) zu verringern. Zu diesen Organisationen gehören u. a. Unternehmen, öffentliche Verwaltungsstellen und gemeinnützige Einrichtungen.“²⁸

Der OEF-Leitfaden beinhaltet zum einen die Methodengrundlage zur Berechnung eines OEF. Zum anderen enthält er Anleitungen zur Entwicklung sogenannter Sektorregeln, die der Berechnung des Umweltfußabdrucks von sektorspezifischen Organisationen (Organisation Environmental Footprint Sector Rules, OEFSR-Regeln) dienen sollen. Analog zu den PEFCR sollen die OEFSR – durch die einheitliche Fokussierung auf die wichtigsten Wirkungskategorien und Prozesse eines Sektors – die Vergleichbarkeit von OEF desselben Sektors ermöglichen.

²⁸ European Commission (2010), S. 110.

Der OEF-Leitfaden stützt sich auf die gängigen Methodik-Leitlinien wie u. a. die ISO 14064:2006, die ISO 14069:2010, das ILCD Handbuch und den organisationsspezifischen Standard des GHG Protocols.

ISO/TS 14072:2014: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment

Diese technische Spezifikation stellt Anforderungen und Richtlinien für die Anwendung der Ökobilanzstandards ISO 14040 und ISO 14044 auf Organisationsebene zur Verfügung. Es sind insbesondere die Anwendung der Ökobilanzmethode, die Vorteile der Methodenanwendung und die Wahl der Systemgrenzen in diesem Dokument erweitert.

Die ISO/TS 14072 kann auf alle Organisationen angewandt werden. Mit entsprechend gerechtfertigter Begründung kann diese technische Spezifikation auch bei Teilbereichen einer Organisation Anwendung finden.

GHG Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard

Der Corporate Accounting and Reporting Standard wurde 2001 erstmals veröffentlicht und im Jahre 2004 überarbeitet. Er stellt eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für Unternehmen und andere Organisationen zur Verfügung, die es ermöglicht, die eigenen Treibhausgasemissionen zu quantifizieren und zu berichten. Der Standard wird durch zahlreiche Kalkulations-tools ergänzt, die auf der GHG Protocol Website gelistet sind.

In der Entwicklung und Überarbeitung des Standards wurde eine umfassende Stakeholderkonsultation vorgenommen. Diese intensive Einbindung der Stakeholder sowie die starke Praxisorientierung des Standards sind Gründe für seine sehr breite Anwendung.

United Nations Environment Programme (UNEP) – Guidance on Organizational Life Cycle Assessment

In diesem Leitfaden des UNEP „[...] werden drei verschiedene Wege beschrieben, wie Organisationen aufbauend auf den bereits vorhandenen Erfahrungen mit einzelnen Umweltbewertungsmethoden ihren Analysehorizont erweitern und den O-LCA Ansatz umsetzen können. Empfehlungen für kleine, mittlere und große Organisationen geben außerdem Hilfestellung für die praktische Umsetzung. Gezielte Empfehlungen für verschiede-

ne Anwendungsfälle unterstreichen, dass es kein ‚Universalkonzept‘ für die Anwendung von O-LCA gibt. Darüber hinaus veranschaulichen elf Fallstudien von Vorreitern der O-LCA-Methode den Nutzen der Anwendung einer multikriteriellen Umweltbewertungsmethode für Organisationen und ihrer Wertschöpfungskette.“²⁹

Der Leitfaden baut auf der ISO 14040/44 auf und strebt die Angleichung mit der ISO 14072 an bzw. ist als erweiterndes Dokument zu dieser Richtlinie zu verstehen. Er zielt darauf ab, Konsistenz und Glaubwürdigkeit zu schaffen und eine einfachere und breitere Anwendung von O-LCA zu ermöglichen. Damit soll der Leitfaden Anwenderinnen und Anwender aus der Praxis bei der Bewältigung der wichtigsten methodischen Herausforderungen im Zuge der Anwendung von O-LCA unterstützen.

2.1.4 Methodensynopse

Die vorab beschriebenen Methoden werden in der nachfolgenden Synopse in ihren wesentlichen methodischen Grundlagen verglichen.

²⁹ UNEP (2015), S. 12.

Tabelle 1: Methodensynopse Bewertungsmethoden Produktebene

	ISO 14044	ISO 14045	ISO 14067	PAS 2050
Bezugsobjekt	Produkt/Dienstleistung	Produkt/Dienstleistung	Produkt/Dienstleistung	Produkt/Dienstleistung
Lebenswegbe-trachtung	Ja	Ja	Ja	Ja
Anwendung	Bestimmung von Möglichkeiten zur Verbesserung der Umweltleistung von Produkten. Vergleichende Aussagen mit zusätzlichen Anforderungen. Informationen für Entscheidungsträger.	Die Ökoeffizienzbewertung ist ein quantitatives Managementwerkzeug, das die Untersuchung der Umweltauswirkungen im Verlauf des Lebensweges eines Produktsystems in Bezug auf den zugehörigen Nutzen des Gesamtsystems für Anspruchsgruppen ermöglicht.	Informationen für Entscheidungsträger. Leistungsüberwachung. Vergleichende Aussagen mit zusätzlichen Anforderungen.	Die Methode ist für die interne Bewertung gedacht, z. B. – zur Erleichterung der Beurteilung alternativer Produktkonfigurationen oder des Benchmarkings; – Leistungsüberwachung, einschließlich Bestimmung von Möglichkeiten zur Verringerung von THG-Emissionen; – Erleichterung des Vergleichs von THG-Emissionen von Waren und Dienstleistungen.
Zielgruppe und Offenlegung	B2B und B2C	B2B und B2C	B2B und B2C	Offenlegungsanforderungen nicht spezifiziert
Funktionelle Einheit	Die funktionelle Einheit muss mit Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie im Einklang stehen. Sie muss klar definiert und messbar sein. Nachdem die funktionelle Einheit gewählt ist, muss der Referenzfluss definiert werden.	Die funktionelle Einheit muss mit Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie im Einklang stehen. Sie muss klar definiert und messbar sein.	Klar definiert und messbar	Bezieht sich auf die funktionelle Einheit als Untersuchungseinheit. Sehr wenige Informationen und Leitlinien.
Systemgrenzen	Iterativer Prozess: - Ursprüngliche Systemgrenzen werden auf Grundlage des Ziels und des Untersuchungsrahmens der Studie definiert. - Die endgültigen Systemgrenzen werden nach ersten Berechnungen und der Sensitivitätsanalyse festgelegt. Werden Prozesse, Lebenszyklusphase usw. weggelassen, muss das entsprechend begründet werden.	Entspricht ISO 14044	Bei der Quantifizierung eines CFP wird der gesamte Lebensweg eines Produkts betrachtet, einschließlich der Rohstoffgewinnung, der Konstruktion, der Produktion, des Transports/der Auslieferung, der Anwendung und der Behandlung am Ende des Produktlebenswegs. Der Ausschluss von Lebenswegabschnitten, Prozessen, Inputs oder Outputs innerhalb des untersuchten Systems ist nur zulässig, wenn damit die allgemeinen Schlussfolgerungen der CFP-Studie nicht wesentlich verändert werden. Jede Entscheidung für den Ausschluss von Lebenswegabschnitten, Prozessen, Inputs oder Outputs muss eindeutig dargelegt und die Gründe für den Ausschluss sowie dessen Auswirkungen müssen erläutert werden.	Von der Beschaffung der Rohstoffe bis zum Ende der Lebensdauer und der Entsorgung. Ermöglicht Cradle-to-Grave- und Cradle-to-Gate-Analysen. Es gelten andere zusätzliche Anforderungen. Ausschlüsse von der Systemgrenze: – Investitionsgüter, – Prozessinputs in Form von Humanenergie, – Transportdienstleistung durch Tiere, – Beförderung der Verbraucherin und des Verbrauchers zum und vom Verkaufsort (könnte nach der Prüfung aufgenommen werden), – Beförderung von Mitarbeitenden.
Abschneide-kriterien	Erlaubt – auf der Grundlage von Masse, Energie oder Umweltrelevanz.	Wahl der Abschneidekriterien muss in Übereinstimmung mit dem Ziel der Studie erfolgen.	Erlaubt – sofern unbedeutend für Carbon Footprint	5 % des Treibhauspotenzials (alle Emissionen, die einen wesentlichen Beitrag leisten (d. h. >1 % der Emissionen) und mindestens 95 % der Gesamtemissionen müssen einbezogen werden).
Modellierungs-ansatz (attribu-tional, conse-quential)	Enthält Grundsatz zur Berechnung der Umweltbelastung durch Produkte. Vermeidung der Allokation ist vorzuziehender Ansatz.	Enthält Grundsatz zur Berechnung der Ökoeffizienz von Produktsystemen.	Enthält Grundsatz zur Berechnung der THG-Emissionen (Klimaänderung) von Produkten. Vermeidung der Allokation ist vorzuziehender Ansatz.	Attributiver Ansatz. Vermeidung der Allokation ist vorzuziehender Ansatz.

	ISO 14044	ISO 14045	ISO 14067	PAS 2050
Datenqualität	Für folgende Kriterien sollten Datenqualitätsanforderungen vorgegeben werden: – zeitbezogener Erfassungsbereich – räumlicher Erfassungsbereich – technologischer Erfassungsbereich – Präzision – Vollständigkeit – Konsistenz – Datenquellen – Unsicherheit der Informationen Es gibt keine Mindestanforderungen zur Datenqualität. Für vergleichende Aussagen sind die vorgenannten Kriterien zu berücksichtigen.	Vorzugsweise wissenschaftliche Daten Entspricht ISO 14044 (Umweltbewertung nach ISO 14044)	Entspricht ISO 14044	Übernommen von ISO 14044. Keine Mindestanforderungen an die Datenqualität vorgegeben.
Datentyp und Datenerhebung	Primärdaten: erhoben (gemessen, berechnet oder geschätzt) an Produktionsstandorten, die mit den Prozessmodulen innerhalb der Systemgrenze in Verbindung stehen. Sekundärdaten: Daten aus anderen Quellen (z. B. Literatur oder Datenbanken). Keine Empfehlung für eine spezifische Datenquelle. Für die Wahl von Sekundärdaten muss der Nutzer die festgelegten Datenqualitätsanforderungen erfüllen. Vorlage für die Datenerhebung: s. ISO/TR 14049	Umweltbewertung nach ISO 14044	Entspricht ISO 14044	Primäre Tätigkeitsdaten sind für alle Prozesse erforderlich, an denen die durchführende Organisation Eigentumsrechte hat bzw. die von ihr durchgeführt werden. Für Inputs, für die keine primären Tätigkeitsdaten beschafft werden können, müssen Sekundärdaten verwendet werden. Sekundärdaten sollten vorzugsweise den Anforderungen der PAS-Norm entsprechen. Sekundärdaten müssen auf folgender Grundlage gewählt werden: 1) Datenqualitätsvorschriften gemäß ISO 14044, 2) Sekundärdaten aus Peer-Review unterzogenen Veröffentlichungen zusammen mit Daten aus sonstigen kompetenten Quellen werden bevorzugt. Vorlage für die Datenerhebung: im PAS-2050-Leitfaden enthalten.
Allokation	Allokation sollte soweit möglich zunächst durch Prozessunterteilung oder Systemerweiterung vermieden werden. Ist dies nicht möglich, sollten physikalische Beziehungen (z. B. Masse, Energie) zwischen Produkten oder Funktionen genutzt werden, um Inputs und Outputs aufzuteilen. Wenn keine physikalischen Beziehungen hergestellt werden können, müssen stattdessen andere Beziehungen genutzt werden (z. B. wirtschaftlicher Wert).	Es erfolgen keine Allokationen zu angrenzenden Systemen. Wahl der Abschneidekriterien muss in Übereinstimmung mit dem Ziel der Studie erfolgen.	Entspricht ISO 14044	Aus ISO 14044 weiterentwickelt: 1. Allokation von Koppelprodukten wird durch Unterteilung von Prozessmodulen in Teilprozesse oder durch Erweiterung des Produktsystems vermieden, 2. wenn Fall 1 nicht zutrifft: Allokation nach Maßgabe zusätzlicher Anforderungen, 3. gibt es keine zusätzlichen Anforderungen, wird dem wirtschaftlichen Wert der Vorzug gegeben.
Recycling Allokation	Diese Frage wird separat behandelt; enthält allgemeinen Grundsatz der Allokationsvermeidung, aber keine spezifische Vorschrift - keine Formel.	Entspricht ISO 14044 (Umweltbewertung nach ISO 14044)	Substitution der Primärproduktion des vermiedenen Produkts. Folgt der Allokationshierarchie von ISO 14044. Anhang C, der die Formeln enthält, dient der Information.	Enthält Gleichungen zur Emissionsberechnung - unterscheidet zwischen Recyclatgehaltmethode und Approximationsmethode (bei Closed Loop Recycling). (enthält Anwendbarkeitskriterien 0/100,100/0)
Fossile und biogene CO ₂ -Emissionen	Keine Regelung	Entspricht ISO 14044 (Umweltbewertung nach ISO 14044)	Die Bindung und Emission von CO ₂ aus fossilen und biogenen Quellen müssen getrennt erfasst werden.	Sowohl CO ₂ -Emissionen als auch CO ₂ -Bindungen sind in der Bewertung enthalten (obligatorisch), außer biogene CO ₂ -Emissionen/-Bindungen im Zusammenhang mit Lebens- und Futtermitteln (nicht obligatorisch).

	ISO 14044	ISO 14045	ISO 14067	PAS 2050
Direkte/indirekte Landnutzungsänderungen	Keine Regelung.	Entspricht ISO 14044 (Umweltbewertung nach ISO 14044)	Direkte Landnutzungsänderung: verwendet IPCC-Leitlinien. Indirekte Landnutzungsänderung: wird berücksichtigt, sobald eine international anerkannte Methode vereinbart ist.	Direkte Landnutzungsänderung: umfasst insbesondere Emissionen aus Landnutzungsänderungen im Laufe der letzten 20 Jahre. Indirekte Landnutzungsänderung: ist ausgeschlossen.
Kohlenstoffspeicherung und verzögerte Emissionen	Keine spezifische Regelung/spezifischen Informationen. Allerdings legt die Interpretation der gegebenen Ökobilanz-Definition nahe, dass die Kohlenstoffspeicherung und verzögerte Emissionen vom gewöhnlichen Untersuchungsrahmen der Studie ausgeschlossen sind.	Entspricht ISO 14044 (Umweltbewertung nach ISO 14044)	Kohlenstoffspeicherung muss getrennt angegeben werden.	Etwaige Wirkungen der Kohlenstoffspeicherung werden in der Bilanz berücksichtigt, müssen aber auch getrennt aufgezeichnet werden. Gewichtungsfaktoren für zeitverzögerte Emissionen werden in den Bilanzergebnissen nicht berücksichtigt, Organisationen, die dies wünschen, wird jedoch (in Anhang B) eine Methode angeboten. In diesem Fall muss dies in den Bilanzergebnissen getrennt erfasst werden.
Kompensation von Emissionen/Offsets	Keine Regelung	Entspricht ISO 14044 (Umweltbewertung nach ISO 14044)	Dürfen nicht in die Wirkungsabschätzung einbezogen werden (außerhalb des Produktsystems).	Dürfen nicht in die Wirkungsabschätzung einbezogen werden.
Prüfung und Qualifikation der Prüfer	Enthält Anforderungen für vergleichende Studien: Soll die Studie für zur Veröffentlichung bestimmte vergleichende Aussagen verwendet werden, müssen die Interessenträger diese Bewertung als kritische Prüfung durchführen und allgemeine Angaben zur Art der Prüfung machen.	Eine kritische Prüfung darf von internen oder externen Sachverständigen vorgenommen werden. In beiden Fällen muss die Prüfung durch einen von der Ökoeffizienzbewertung unabhängigen Sachverständigen durchgeführt werden. Das Gutachten, Stellungnahmen des/der Erstellenden sowie alle Reaktionen auf Empfehlungen des Gutachters bzw. der Gutachterin müssen in den Bericht zur Ökoeffizienzbewertung aufgenommen werden.	Sieht je nach Art und vorgesehener Anwendung der Studie verschiedene Verifizierungsprogramme vor: Erklärung, Behauptung, Kennzeichnung.	Unabhängige externe Zertifizierungsstelle, die zur Beurteilung und Zertifizierung nach PAS 2050 zugelassen ist. je nach Art der vorgesehenen Kommunikation gibt es auch andere Prüfungsmöglichkeiten, z. B. Eigenprüfungen und Prüfungen durch nicht akkreditierte Stellen.
Berücksichtigung Scope 3 (Up- und Downstream)	Abhängig von Systemgrenzen	Abhängig von Systemgrenzen	Abhängig von Systemgrenzen	Cradle-to-Grave erfasst Up- und Downstream; bei Cradle-to-Grave kein Downstream
Bottom up/Top down	Bottom up	Bottom up	Bottom up	Bottom up
Berücksichtigung Baseline	Keine Baseline-Richtlinien. Systeme müssen unter Anwendung derselben funktionellen Einheiten und äquivalenten methodischen Festlegungen, wie z. B. Leistung, Systemgrenze, Datenqualität, Allokationsverfahren, Kriterien zur Beurteilung von Inputs und Outputs sowie zur Wirkungsabschätzung, verglichen werden.	Entspricht ISO 14044 (Umweltbewertung nach ISO 14044)	Entspricht ISO 14044	Keine Baseline-Richtlinien. Für Produktvergleiche: - gleiche Datenqualität - gleiche Systemgrenzen - passende und gleiche funktionelle Einheit
Darstellbarkeit von Einzelmaßnahmen, insbesondere aus VDI 4800/4801	Gut möglich, da Ökobilanz	Gut möglich, da an Ökobilanz angelehnt	Gut möglich, da an Ökobilanz angelehnt	Gut möglich, da an Ökobilanz angelehnt

	GHG Protocol Product Standard	EU PEF	ILCD Handbook
Bezugsobjekt	Produkt/Dienstleistung	Produkt/Dienstleistung	Produkt/Dienstleistung/System
Lebensweg-betrachtung	Ja	Ja	Ja
Anwendung	Leistungsüberwachung, einschließlich Bestimmung von Möglichkeiten zur Verringerung von THG-Emissionen. Bereitstellung von THG-Emissionsdaten für Unternehmen und Interessenträger durch öffentliche Berichterstattung. Die Norm akzeptiert zusätzliche Arten der Offenlegung (z. B. Kennzeichnungen, Behauptungen) und enthält zusätzliche Spezifikationen (z. B. Produktregeln). Vergleichende Aussagen (gemäß ISO 14044) werden nicht akzeptiert.	Interne Anwendungen können die Unterstützung des Umweltmanagements, die Identifizierung von Hotspots und die Verbesserung und Verfolgung der Umweltleistung umfassen. Externe Anwendungen (z. B. B2B, B2C) decken ein breites Spektrum von Möglichkeiten ab, die von der Reaktion auf Wünsche von Kundinnen und Kunden und Verbraucherinnen und Verbrauchern bis hin zu Marketing, Benchmarking, Umweltkennzeichnung usw. reichen.	Untersuchung der Umweltleistung von Produkten entlang ihres Lebenswegs zwecks Verbesserung (Leistungsüberwachung), Vergleich, Kundeninformation (Geschäftskundinnen und -kunden). Einschließlich vergleichender Aussagen mit zusätzlichen Anforderungen.
Zielgruppe und Offenlegung	B2B und B2C	B2B und B2C	B2B und B2C
Funktionelle Einheit	Umfang, Dauer oder Lebensdauer sowie erwartetes Qualitätsniveau der Funktion oder Leistung. Separater Referenzfluss zur Unterstützung der Datenerhebung.	Die Analyseeinheit für eine PEF-Studie muss unter Berücksichtigung folgender Aspekte festgelegt werden: bereitgestellte Funktion(en)/Leistung(en): „was“, Umfang der Funktion oder Leistung: „wie viel“, Dauer der Leistung oder Lebensdauer: „wie lange“, erwartetes Qualitätsniveau: „wie gut“. Ein angemessener Referenzfluss muss bezogen auf die Untersuchungseinheit bestimmt werden. Die quantitativen Input- und Output-Daten, die zur Unterstützung der Untersuchung erhoben werden, müssen bezogen auf diesen Referenzfluss berechnet werden.	Die funktionelle Einheit muss mit Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie im Einklang stehen. Sie muss in Bezug auf quantitative und qualitative Aspekte klar definiert sein. Was? Wie viel? Wie lange? Wie gut? Separater Referenzfluss für die Unterstützung der Datenerhebung.
Systemgrenzen	Von der Beschaffung der Rohstoffe bis zum Ende der Lebensdauer und der Entsorgung. Zuordenbare Prozesse erforderlich, relevante nicht zuordenbare Prozesse empfohlen. Ermöglicht sowohl Cradle-to-Grave- als auch Cradle-to-Gate-Analysen.	Die Systemgrenzen müssen alle Prozesse einschließen, die mit der Produktlieferkette, auf die sich die Untersuchungseinheit bezieht, zusammenhängen. Cradle-to-Grave als Standardansatz oder anderer Ansatz, falls in PEFCR-Regeln so vorgesehen. Die Prozesse innerhalb der Systemgrenzen müssen in Vordergrundprozesse (d. h. Kernprozesse entlang des Produktlebenswegs, bei denen ein direkter Zugang zu Informationen möglich ist) und Hintergrundprozesse (d. h. diejenigen Prozesse entlang des Produktlebenswegs, bei denen kein direkter Zugang zu Informationen möglich ist) untergliedert werden.	Von der Beschaffung der Rohstoffe bis zum Ende der Lebensdauer und der Entsorgung. Iterativ, Schwerpunkt auf relevantesten Prozessen. Schließt alle relevanten Prozesse (sowohl zuordenbar als auch nicht zuordenbar) ein.
Abschneidekriterien	Nicht erlaubt	Nicht erlaubt	Abschneidekriterien sollten den quantitativen Grad der Vollständigkeit in Bezug auf die gesamten Umweltwirkungen des Produktsystems berücksichtigen. Für vergleichende Studien müssen sich die <u>Ausschlusskriterien ebenfalls stets auf Masse und Energie beziehen.</u>
Modellierungsansatz (attributiv, konsequential)	Attributiver Ansatz, plus direkte Systemerweiterung auf Mehrproduktprozesse und Approximation bei Closed Loop Recycling (Recycling im geschlossenen Kreislauf) (entsprechend den Anforderungen der Norm)	Enthält Elemente sowohl des attributiven als auch des konsequentialen Ansatzes	Attributiver Ansatz plus Substitution für Lebensendprozesse und andere Mehrproduktprozesse. Vermeidung der Allokation ist vorzuziehender Ansatz.

	GHG Protocol Product Standard	EU PEF	ILCD Handbook
Datenqualität	<p>5 Datenqualitätsindikatoren müssen zur Bewertung der Datenqualität verwendet werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> – technologische Repräsentativität, – zeitbezogene Repräsentativität, – räumliche Repräsentativität, – Vollständigkeit, – Zuverlässigkeit. <p>Für wesentliche Prozesse müssen die Unternehmen eine beschreibende Erklärung über die Datenquellen, die Datenqualität und etwaige Bemühungen zur Verbesserung der Datenqualität abgeben.</p>	<p>Datenqualität wird an folgenden Kriterien gemessen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – technologischer Repräsentativität, – räumlicher Repräsentativität, – zeitbezogener Repräsentativität, – Vollständigkeit, – Parameterunsicherheit, – methodischer Eignung und Konsistenz. <p>Externe Kommunikation: muss die Datenqualitätsanforderungen (sowohl spezifische als auch generische Daten) erfüllen. Im endgültigen Ressourcennutzungs- und Emissionsprofil müssen bei den Prozessen oder Tätigkeiten, die zu mindestens 70 % zu den einzelnen Wirkungskategorien beitragen (auf Basis des Screenings, falls durchgeführt), sowohl die spezifischen als auch die generischen Daten ein insgesamt „gutes“ Qualitätsniveau aufweisen. Für diese Prozesse muss eine semiquantitative Bewertung der Datenqualität durchgeführt und mitgeteilt werden. [...] In Bezug auf die Ebene, auf der die Datenqualitätsprüfung durchgeführt werden soll, gilt Folgendes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Die Qualität generischer Daten muss auf Ebene der Inputflüsse (z. B. gekauftes Papier, das in einer Druckerei verwendet wird) bewertet werden; – die Qualität spezifischer Daten muss auf Ebene eines einzelnen Prozesses, eines aggregierten Prozesses oder auf Ebene einzelner Inputflüsse bewertet werden. 	<p>Weicht von ISO 14044 ab (sowohl bei Primär-, als auch bei Sekundärdaten):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Technologische Repräsentativität; – räumliche Repräsentativität; – zeitbezogene Repräsentativität; – Vollständigkeit/ Genauigkeit;
Datentyp und Datenerhebung	<p>Primärdaten sind für alle Prozesse erforderlich, an denen das berichterstattende Unternehmen Eigentumsrechte hat oder dessen Kontrolle diese Prozesse unterliegen. Sekundärdaten: Es werden Daten der besten Qualität empfohlen, wobei Primärdaten – falls vorhanden – der Vorzug gegeben wird. Der Methodik-Leitfaden bestätigt, dass der Datenmanagementplan eine Vorlage für die Datenerhebung beinhalten sollte. Allerdings enthält die Norm kein Beispiel.</p>	<p>Für alle Vordergrundprozesse und gegebenenfalls für Hintergrundprozesse sind spezifische Daten zu erheben. Sind generische Daten für Vordergrundprozesse repräsentativer oder besser geeignet als spezifische Daten (dies ist zu begründen und zu melden), so müssen auch für Vordergrundprozesse generische Daten verwendet werden. Generische Daten sollten nur für Prozesse im Hintergrundsystem genutzt werden, es sei denn, (generische Daten) sind für Vordergrundprozesse repräsentativer oder besser geeignet als spezifische Daten; in diesem Fall sollten auch für Prozesse im Vordergrundsystem generische Daten verwendet werden. Generische Daten (vorausgesetzt, sie erfüllen die Datenqualitätsanforderungen gemäß diesem Leitfaden) müssen, soweit verfügbar, aus folgenden Quellen beschafft werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Daten, die im Einklang mit den Anforderungen der betreffenden PEFCR-Regel erarbeitet wurden, – Daten, die im Einklang mit den Anforderungen an PEF-Studien erarbeitet wurden, – ILCD Data Network (Daten, die den ILCD Datenanforderungen für Situation A entsprechen), – ILCD. <p>Vorlage für die Datenerhebung: Die Vorlage dient der Information.</p>	<p>Primärdaten: für Vordergrundprozesse und die wichtigsten Hintergrundprozesse werden Primärdaten bevorzugt; es können auch Sekundärdaten verwendet werden, vorausgesetzt, sie entsprechen dem ILCD und sind für diese Prozesse/Produkte nachweislich repräsentativ. Jeglicher sonstige Datenbedarf wird vorzugsweise mit den qualitativ hochwertigsten, ILCD-konformen Sekundärdaten gedeckt. Verbleibende Datenlücken müssen mit „Datenschätzungen“, die Mindestqualitätsanforderungen erfüllen, geschlossen werden. Der Methodik-Leitfaden bestätigt, dass der Datenmanagementplan eine Vorlage für die Datenerhebung beinhalten sollte.</p>
Allokation	<p>Aus ISO 14044 übernommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Unternehmen müssen wo immer möglich durch Prozess-Unterteilung, Neudefinition der funktionellen Einheit oder Rückgriff auf Systemerweiterung Allokationen vermeiden. – Wenn Allokation unvermeidbar ist, müssen Unternehmen THG-Emissionen und -bindungen auf Basis zugrunde liegender physikalischer Beziehungen zwischen dem untersuchten Produkt und dem/den Koppelprodukt(en) zuordnen. – Wenn physikalische Beziehungen allein nicht festgestellt werden können, müssen Unternehmen entweder die wirtschaftliche Allokation oder eine andere Allokationsmethode wählen, die andere Beziehungen zwischen dem untersuchten Produkt und dem/den Koppelprodukten widerspiegelt. 	<p>Zur Lösung von Multifunktionalitätsproblemen jeder Art ist nach folgender Entscheidungshierarchie vorzugehen: 1) Unterteilung oder Systemerweiterung, 2) Allokation auf Basis einer relevanten zugrundeliegenden physikalischen Beziehung (hier kann Substitution angewendet werden), 3) Allokation auf Basis einer anderen Beziehung.</p>	<p>Aus ISO 14044 weiterentwickelt und spezifiziert:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Vermeidung von Allokation durch Unterteilung oder virtuelle Unterteilung, – Substitution/Systemerweiterung (auch der weiteren Funktionen) des Marktmixes, – Allokation der physikalischen Kausalbeziehung, z. B. Masse, Energie, – wirtschaftliche Allokation.

	GHG Protocol Product Standard	EU PEF	ILCD Handbook
Recycling Allokation	Es muss entweder die Approximationsmethode (bei Closed Loop Recycling) oder die Recyclatgehaltsmethode angewendet werden. Wenn keine dieser Methoden angemessen ist, können - im Einklang mit ISO 14044 - andere Methoden genutzt werden, sofern sie im Bilanzbericht offengelegt und begründet werden.	Enthält spezifische Leitlinien (einschl. Formell!); berücksichtigt auch die energetische Verwertung	Substitution der im Marktdurchschnitt liegenden Primärproduktion des vermiedenen Produkts
Fossile und biogene CO ₂ -Emissionen	Sowohl CO ₂ -Emissionen als auch CO ₂ -Bindungen aus fossilen und biogenen Quellen sind in den Bilanzergebnissen enthalten und werden aus Transparenzgründen getrennt erfasst (obligatorisch, soweit nicht unzutreffend).	Die Bindung und Emission von CO ₂ aus fossilen und biogenen Quellen müssen getrennt erfasst werden.	Die Bindung und Emission von CO ₂ aus fossilen und biogenen Quellen müssen getrennt erfasst werden.
Direkte/indirekte Landnutzungsänderungen	Direkte Landnutzungsänderung: erforderlich, wenn zuordenbar. Zusätzliche Leitlinien für die Berechnung verfügbar, Datenquellen verweisen auf IPCC. Indirekte Landnutzungsänderung: nicht erforderlich.	Treibhausgasemissionen infolge direkter Landnutzungsänderungen sind Waren/Dienstleistungen nach der Änderung unter Verwendung der Tabelle der IPCC-Standardwerte 20 Jahre lang zuzuordnen. Indirekte Landnutzungsänderung: Treibhausgasemissionen infolge indirekter Landnutzungsänderungen dürfen für die Standard-EF-Wirkungsabschätzungskategorien nicht berücksichtigt werden.	Direkte Landnutzungsänderung: spezifische IPCC-abgeleitete Leitlinien mit Standardtabelle; Produkte nach Änderung der Landnutzung für die Dauer von 20 Jahren zugeordnet (kann angepasst werden, wenn spezifischere, überprüfte Daten verfügbar sind). Indirekte Landnutzungsänderung: wird im Rahmen der konsequenziellen Modellierung berücksichtigt, jedoch nicht bei der Ökobilanzierung auf Produktebene (die nach dem attributiven Ansatz erfolgt).
Kohlenstoffspeicherung und verzögerte Emissionen	Kohlenstoff, der nicht aufgrund von Behandlungen am Lebenswegende während der Studiendauer freigesetzt wird, wird wie gespeicherter Kohlenstoff behandelt. Die Studiendauer sollte soweit wie möglich wissenschaftlich fundiert sein oder mindestens 100 Jahre betragen. Verzögerte Emissionen oder Gewichtungsfaktoren (z. B. zeitlich befristeter Kohlenstoff) dürfen nicht in den Bilanzergebnissen berücksichtigt sein, können aber getrennt angegeben werden.	Gutschriften für vorübergehende (Kohlenstoff-)Speicherung oder verzögerte Emissionen dürfen bei der Berechnung des PEF für die Standard-Wirkungskategorien – sofern in einer zugrunde liegenden PEFCR-Regel nicht anders geregelt - nicht berücksichtigt werden.	Vom gewöhnlichen Untersuchungsrahmen der Studie ausgeschlossen. Falls jedoch einbezogen, weil Teil des Studienziels, enthält das ILCD-Handbuch detaillierte operative Anleitungen. Ähnelt dem in PAS 2050 empfohlenen Ansatz für Methoden zur Berechnung der Auswirkungen von Kohlenstoffspeichern. Unterscheidet zwischen zeitlich befristeter Speicherung und dauerhafter Speicherung (wenn für über 10 000 Jahre gewährleistet).
Kompensation von Emissionen/ Offsets	Dürfen nicht in die Wirkungsabschätzung einbezogen werden	Dürfen nicht in die Wirkungsabschätzung einbezogen werden	Dürfen nicht in die Wirkungsabschätzung einbezogen werden
Prüfung und Qualifikation der Prüfer	Sicherung ist erforderlich und kann folgendermaßen erreicht werden: – Verifizierung durch die interessierte Partei, – Verifizierung durch Dritte, – kritische Prüfung.	Soweit in maßgeblichen politischen Instrumenten nicht anders geregelt, muss jede für die externe Kommunikation bestimmte Studie von einem unabhängigen und qualifizierten externen Prüfer/einer Prüferin (oder Prüfteam) geprüft werden. Eine Studie, die zur Veröffentlichung bestimmte vergleichende Aussagen unterstützen soll, muss auf relevanten PEFCR-Regeln basieren und von einem unabhängigen Prüfer/einer Prüferin in Zusammenarbeit mit einem Gremium von Interessenträgern geprüft werden. Es gelten die Mindestanforderungen für die Qualifikation von Prüferinnen und Prüfern.	Enthält Mindestanforderungen für die Art der Prüfung, Qualifikation der Prüferinnen und Prüfer und die Durchführung der Prüfung (für eine allgemeine Ökobilanzstudie beispielsweise ist eine unabhängige externe Prüfung Mindestanforderung).
Berücksichtigung Scope 3 (Up- und Downstream)	Cradle-to-Grave erfasst Up- und Downstream; bei Cradle-to-Grave kein Downstream	Cradle-to-Grave erfasst Up- und Downstream	Cradle-to-Grave erfasst Up- und Downstream
Bottom up/Top down	Bottom up	Bottom up	Bottom up
Berücksichtigung Baseline	Keine Baseline-Richtlinien, aber Vorgaben bei vergleichenden Bewertungen: - gleiche Systemgrenzen, - gleiche Allokationsmethoden, - gleicher zeitlicher und räumlicher Untersuchungsrahmen, - etc. (S. 115 ff.).	PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules) werden für eine bessere Vergleichbarkeit von Produkten entwickelt. Angaben zu einer Baseline werden keine gemacht.	Keine Baseline-Richtlinien, aber Vorgaben bei Systemvergleichen (S. 145 ff.)
Darstellbarkeit von Einzelmaßnahmen	Gut möglich, da an Ökobilanz angelehnt	Gut möglich, da Ökobilanz	Gut möglich, da Ökobilanz

Tabelle 2: Methodensynapse Bewertungsmethoden Projektebene

	ISO 14064-2	GHG Protocol Project Protocol
Bezugsobjekt	Projekt	Projekt
Lebenswegbetrachtung	Keine Regelung	Keine Regelung
Anwendung	Quantitative Bestimmung, Überwachung und Berichterstattung von Tätigkeiten/Projekten zur Reduktion von Treibhausgasemissionen oder zur Steigerung des Entzugs von Treibhausgasen	Einen glaubwürdigen und transparenten Ansatz für die Quantifizierung und Berichterstattung von THG-Reduktionen aus THG-Projekten Die Glaubwürdigkeit der Bilanzierung von THG-Projekten zu erhöhen durch die Anwendung gemeinsamer Bilanzierungskonzepte, Verfahren und Prinzipien und Bereitstellung einer Plattform für die Harmonisierung zwischen verschiedenen projektbasierten THG-Initiativen und Programmen
Zielgruppe und Offenlegung	Unterschiedlichste Zielgruppen	Unterschiedlichste Zielgruppen
Funktionelle Einheit	Keine Regelung	Keine Regelung
Systemgrenzen	Keine System- oder Projektgrenze definiert, sondern die relevanten Quellen, Senken und Speicher: Relevante QSS umfassen jene, die vom Antragsteller des Projekts „kontrolliert“ werden, jene, die durch Stoff- oder Energieflüsse zum Projekt „zugehörig“ sind, und jene, die vom Projekt „beeinflusst“ werden.	Alle mit dem THG-Minderungsprojekt verbundenen Aktivitäten müssen erfasst werden. Alle primären (vorgesehene) und sekundären (nichtvorgesehenen) Effekte müssen erfasst werden.
Abschneidekriterien	Keine Angaben	Nichtsignifikante sekundäre Effekte sollen abgeschnitten werden.
Modellierungsansatz (attributional, consequential)	Keine Angaben zur Methode Folgende Prinzipien müssen eingehalten werden: - Relevanz - Vollständigkeit - Konsistenz - Genauigkeit - Transparenz - Konservativität	Verweis auf unterschiedliche Standards und Tools der GHG Protocol Initiative für die GHG Quantifizierung Folgende Prinzipien müssen eingehalten werden: - Relevanz - Vollständigkeit - Konsistenz - Genauigkeit - Transparenz
Datenqualität	Qualitätsmanagementverfahren zur Verwaltung von Daten und Informationen festlegen und anwenden	Datenqualität und Erfassung unterliegen den o. g. Prinzipien.
Datentyp und Datenerhebung	Daten können quantitativ bestimmt bzw. erhoben oder geschätzt werden	Datenqualität und Erfassung unterliegen den o. g. Prinzipien.
Allokation	Keine Regelung	Keine Regelung
Recycling Allokation	Keine Regelung	Keine Regelung
Fossile und biogene CO ₂ -Emissionen	Keine Regelung	Keine Regelung
Direkte/indirekte Landnutzungsänderungen	Keine Regelung	Keine Regelung
Kohlenstoffspeicherung und verzögerte Emissionen	Keine Regelung	Keine Regelung

54 Bewertungsmethoden und -tools, Datenbanken und andere Projekte

	ISO 14064-2	GHG Protocol Project Protocol
Kompensation von Emissionen/ Offsets	Keine Regelung	Keine Regelung
Prüfung und Qualifikation der Prüfer	Validierung und Verifizierung nach ISO 14064-3	Mindestanforderungen für das Reporting, keine Angaben zur Verifizierung durch Dritte
Berücksichtigung Scope 3 (Up- und Downstream)	Keine Regelung	Über sekundäre Effekte erfasst
Bottom up/Top down	Keine Regelung	Keine Regelung
Berücksichtigung Baseline	<p>Bezugsszenario: sollte die wahrscheinlichen zukünftigen Entwicklungen berücksichtigen und den Grundsatz der Konservativität erfüllen. Szenario kann statisch und dynamisch sein. Folgendes muss berücksichtigt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projektbeschreibung, - bestehende und alternative Projektarten, Tätigkeiten und Technologien, die gleichwertige Arten und Mengen von Produkten oder Dienstleistungen liefern, - Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Beschränkungen von Daten; - weitere relevante Informationen bezüglich derzeitiger oder künftiger Bedingungen wie z. B. rechtlicher, technischer, wirtschaftlicher, soziokultureller, umweltbezogener, geographischer, standortspezifischer und zeitlicher Annahmen oder Prognosen. <p>Enthält eine Anleitung zur Bestimmung des Szenarios</p>	<p>Umfangreiche Angaben zur Baseline (zwei Methoden zur THG-Ermittlung werden vorgeschlagen, Kapitel 8 und 9) Baseline kann statisch und dynamisch sein, es muss immer ein Zeitrahmen festgelegt werden, für den die Baseline valide ist.</p>
Darstellbarkeit von Einzelmaßnahmen, insbesondere aus VDI 4800/4801	Zweck der ISO Norm, Fokus auf Klimaschutzprojekten	Zweck des Protokolls, Fokus auf Klimaschutzprojekten

Tabelle 3: Methodensynopse Bewertungsmethoden Organisationsebene

	ISO 14064-1	ISO 14072	GHG Protocol Corporate Standard	UNEP OLCA	EU OEF
Bezugsobjekt	Organisation	Organisation	Organisation	Organisation	Organisation
Lebenswegbe-trachtung	Fakultativ	Ja	Fakultativ, mind. Scope 1 und 2	Ja	Ja
Anwendung	Organisationsdesign, Entwicklung, Management und Berichterstattung über Treibhausgasemissionen zum Zweck des organisationsinternen Risikomanagements, freiwillige Initiativen, Treibhausgasmärkte oder gesetzlich vorgeschriebene Berichterstattung	Erfassung der Umweltwirkung von Organisationen unter Berücksichtigung der Lebenszyklusperspektive. Kann angewandt werden für das Umweltmanagement, strategische Managemententscheidungen, Reporting etc.	Zur Unterstützung der Bilanzierung und Offenlegung zur internen Verwendung und für externe Anwendungen	Zahlreiche Anwendungen: - Insights in die Wertschöpfungskette und interne Tätigkeiten - Identifikation von umweltrelevanten Hotspots - Erfassen der Umweltperformance - Unterstützung der strategischen Entscheidungsfindung	Interne Anwendungen sind u. a. Unterstützung des Umweltmanagements, Identifizierung von kritischen Punkten (Hotspots), Umweltverbesserung und Leistungsverfolgung. Externe Anwendungen (z. B. B2B, B2C) umfassen ein breites Spektrum von Möglichkeiten - von der Reaktion auf Kunden- und Verbrauchervünsche bis hin zu Marketing, Benchmarking, Umweltkennzeichnung usw.
Zielgruppe und Offenlegung	B2B und B2C	B2B und B2C	B2B, B2C, Unternehmen an interessierte Kreise durch öffentliche Berichterstattung	B2B, B2C, Unternehmen an interessierte Kreise durch öffentliche Berichterstattung	B2B und B2C
Funktionelle Einheit	Keine Anwendung der Konzepte „funktionelle Einheit“ und „Referenzfluss“.	functional unit = reporting unit (z. B. "Hosting all the clients of the Hotel Group during one year, over the world, considering all the basic services including restauration")	Keine Verwendung der Konzepte „funktionelle Einheit“ und „Referenzfluss“	Welche Organisation, welche Tätigkeit, welches Jahr, welche Konsolidierungsmethode (Systemgrenzen)?	Konzept der funktionellen Einheit (Organisation als Warenanbieter/Dienstleister) und des Referenzflusses (Produktportfolio = Summe aller Waren/Dienstleistungen, die die Organisation im Berichtszeitraum erstellt/erbringt)
Systemgrenzen	Die Organisation muss die Treibhausgasemissionen und den Entzug von Treibhausgasen auf Ebene der Einrichtung nach einem der folgenden Ansätze zusammenführen: - Kontrollansatz, - Beteiligungsansatz (Equity-Share).	Cradle-to-Gate möglich, wenn kein Einfluss auf Nutzung und EOL Kontrollansatz (operational oder finanziell) oder Beteiligungsansatz	Festlegung der Grenzen nach dem „Equity-share-Ansatz“ oder anhand von Kontrollkriterien	Cradle-to-Gate möglich, wenn kein Einfluss auf Nutzung und EOL Kontrollansatz (operational oder finanziell) oder Beteiligungsansatz	Die Systemgrenzen müssen sowohl Organisationsgrenzen (in Bezug auf die definierte Organisation) als auch OEF-Grenzen (die die in der Untersuchung zu berücksichtigenden Aspekte der Lieferkette vorgeben) umfassen. „Kontrollansatz“ (finanzielle und/oder operative Kontrolle).
Abschneidekriterien	Auf Basis von Wesentlichkeit, Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit	Entspricht ISO 14044	Nicht empfohlen	Entspricht ISO 14044	Nicht erlaubt
Modellierungsansatz (attributional, consequential)	Keine Regelung	Entspricht ISO 14044 Top-down und Hybridansätze ebenfalls erlaubt	– Enthält Modellierungstabellen mit voreingestellten (aber anpassbaren) Standardemissionsfaktoren, die auf die Tätigkeitsdaten angewandt werden. – Enthält 15 Kategorien (z. B. Geschäftsreisen, Investitionen) für die Modellierung von Scope-3-Emissionen mit Empfehlungen für Einbeziehungen für jede Kategorie.	Entspricht für LCA weitestgehend der ISO 14044 Top-Down und Hybridansätze ebenfalls erlaubt	Enthält Elemente sowohl attributiver als auch konsequenzieller Modellierungsansätze.
Datenqualität	Erfordert Datenmanagementplan und Unsicherheitsbewertung. Verweis auf ISO 14064-3 hinsichtlich Validierungs-/Prüfungsanforderungen.	Entspricht ISO 14044	Empfehlte qualitative Bewertung der Datenqualität für Scope-3-Berechnungen. Legt Kriterien für einen Datenmanagementplan fest. Anleitungen für Unsicherheitsbewertungen auf THG-Website.	Entspricht ISO 14044	Datenqualität wird anhand von 6 Kriterien bewertet (technologische, räumliche und zeitbezogene Repräsentativität, Vollständigkeit, Parameterunsicherheit und methodische Eignung sowie Konsistenz). Datenqualitätsanforderungen sind für OEF-Studien, die für die externe Kommunikation bestimmt sind, obligatorisch und empfohlen für Studien hinsichtlich interner Anwendungen. Für Prozesse, die mindestens 70 % zu jeder Wirkungskategorie beitragen, ist „gute Qualität“ auf Grundlage einer semiquantitativen Bewertung sowohl für spezifische als auch für generische Daten erforderlich. [...]

	ISO 14064-1	ISO 14072	GHG Protocol Corporate Standard	UNEP OLCA	EU OEF
Datentyp und Datenerhebung	<p>Spezifische Daten: Erforderlich für Unternehmenstätigkeiten innerhalb der Systemgrenze</p> <p>Generische Daten: Sollten aus einer anerkannten Quelle stammen, aktuell und angemessen sein</p>	Entspricht ISO 14044	<p>Spezifische Daten: Enthält Anleitungen für die Erhebung von spezifischen Daten für Scope-3-Tätigkeiten des Unternehmens.</p> <p>Generische Daten: Enthält eine Beschreibung generischer Daten für jede Kategorie in Scope 3. Bevorzugte Quellen: international anerkannte staatliche oder einer Peer-Review unterzogene Quellen.</p>	Entspricht ISO 14044	<p>Spezifische Daten: Vorgeschrieben für alle Vordergrundprozesse und gegebenenfalls für Hintergrundprozesse. Sind jedoch für Vordergrundprozesse generische Daten repräsentativer oder besser geeignet als spezifische Daten (anzugeben und zu begründen), so müssen auch für Vordergrundprozesse generische Daten verwendet werden.</p> <p>Generische Daten: Sollten nur für Hintergrundprozesse verwendet werden. Generische Daten sollten – falls verfügbar – aus folgenden Quellen stammen: – Daten, die im Einklang mit den einschlägigen OEF-Regeln erstellt wurden, – Daten, die im Einklang mit den Anforderungen an OEF-Studien erstellt wurden, – ILCD Data Network, – ELCD.</p> <p>Vorlage für die Datenerhebung; die Vorlage dient der Information.</p>
Allokation	Keine Regelung	Entspricht ISO 14044 Sensitivitätsanalyse, wenn unterschiedliche Methoden anwendbar	Folgt ISO 14044. Berechnungsinstrument für stationäre Verbrennung, gibt 2 Allokationsoptionen.	Entspricht ISO 14044 Sensitivitätsanalyse, wenn unterschiedliche Methoden anwendbar	OEF-Multifunktionalitätshierarchie: 1) Unterteilung oder Systemerweiterung, 2) Allokation auf Basis einer relevanten zugrunde liegenden physikalischen Beziehung (hier kann eine Substitution vorgenommen werden), 3) Allokation auf Basis einer anderen Beziehung.
Recycling Allokation	Keine Regelung	Entspricht ISO 14044	Folgt ISO 14044. Berechnungsinstrument für stationäre Verbrennung gibt 2 Allokationsoptionen.	Entspricht ISO 14044	Enthält spezifische Anleitungen (mit Formel) auch unter Berücksichtigung von energetischer Verwertung.
Fossile und biogene CO ₂ -Emissionen	Getrennt erfassen und dokumentieren	Keine Regelung	Keine Regelung	Keine Regelung.	Die Bindung und Freisetzung von CO ₂ aus biogenen Quellen muss im Ressourcennutzungs- und Emissionsprofil getrennt erfasst werden.
Direkte/indirekte Landnutzungsänderungen	Keine Regelung	Keine Regelung	Verweis auf IPCC	Keine Regelung	<p>Treibhausgasemissionen, die auf direkte Landnutzungsänderungen zurückzuführen sind, müssen Produkten i) nach der Landnutzungsänderung 20 Jahre lang zugeordnet werden oder ii) es muss ein einziger Erntezeitraum ab Gewinnung des untersuchten Produkts gewählt werden (auch wenn dieser länger als 20 Jahre dauert), je nach dem, welcher Zeitraum der längere ist. Für weitere Einzelheiten s. Anhang VI.</p> <p>Treibhausgasemissionen infolge indirekter Landnutzungsänderungen dürfen nicht erfasst werden, es sei denn, dies ist in der OEF-Regel ausdrücklich vorgesehen. In diesem Fall muss die indirekte Landnutzungsänderung als „zusätzliche Umweltinformation“ separat angegeben werden; sie darf bei der Berechnung der Wirkungsabschätzungskategorie „Treibhausgase“ jedoch nicht berücksichtigt werden.</p>

	ISO 14064-1	ISO 14072	GHG Protocol Corporate Standard	UNEP OLCA	EU OEF
Kohlenstoffspeicherung und verzögerte Emissionen	Separat ausweisen	Keine Regelung	Kohlenstoffspeicherung und -entnahme müssen separat ausgewiesen werden.	Keine Regelung	Gutschriften für temporäre CO ₂ -Speicherung oder verzögerte Emissionen dürfen bei der Berechnung der EF-Standardwirkungskategorien nicht berücksichtigt werden. Diese müssen als „zusätzliche Umweltinformation“ aufgenommen werden, wenn dies in den OEF-Regeln vorgeschrieben ist.
Kompensation von Emissionen/ Offsets	Verringerungen durch gekaufte Gutschriften oder sonstige externe Projekte müssen gesondert dokumentiert und angegeben werden.	Keine Regelung	Bereitstellen von Bilanzierungsrichtlinien	Separat ausweisen	Darf nicht in die Wirkungsabschätzung einbezogen werden.
Prüfung und Qualifikation der Prüfer	Prüfbericht oder Prüferklärung Dritter sollte für öffentliche Aussagen zur Verfügung stehen. Erforderliches Validierungs- und Prüfniveau hängt von mehreren Kriterien ab.	Entspricht ISO 14044	Enthält detaillierte Anleitungen, aber keine Anforderungen.		Für die externe Kommunikation vorgesehene OEF-Studien erfordern eine Prüfung durch einen unabhängigen und qualifizierten externen Prüfer (oder ein Prüfteam). OEF-Studien zur Unterstützung einer vergleichenden Aussage erfordern eine Prüfung durch 3 unabhängige externe Prüfer. Es gelten Mindestanforderungen an die Qualifikation von Prüfern.
Berücksichtigung Scope 3 (Up- und Downstream)	Direkte (Scope 1) verpflichtend und indirekte Emissionen (Scope 2 und 3) und damit Up- und Downstream fakultativ	Upstream fakultativ, abhängig davon, ob gradle-to-gate oder gradle-to-grave	Scope 3 fakultativ	Upstream fakultativ, abhängig davon ob gradle-to-gate oder gradle-to-grave	„Cradle-to-grave“ als Standard, aber nur Cradle-to-gate als Muss definiert
Bottom up/Top down	Keine Regelung	Bottom up, Top down, hybrid	Bottom up (Scope 3 Calculator nutzt auch Top-down)	Bottom up, Top down, hybrid	Bottom up
Berücksichtigung Baseline	Angaben zur Festlegung des Basisjahres	Referenzjahr	Referenzjahr oder Durchschnitt mehrerer Jahre Definition, aber keine Richtlinie für Baseline	Referenzjahr	Keine Regelung
Darstellbarkeit von Einzelmaßnahmen, insbesondere aus VDI 4800/4801	Nicht/schwer möglich, da Organisationsbezug	Nicht/schwer möglich, da Organisationsbezug	Nicht/schwer möglich, da Organisationsbezug	Nicht/schwer möglich, da Organisationsbezug	Nicht/schwer möglich, da Organisationsbezug

2.1.5 Schlussfolgerungen

Die Auswertung der einschlägigen Standards und Empfehlungen zeigt, dass es keine expliziten Methoden gibt, die sich für eine Emissionsberechnung von Materialeffizienz-Maßnahmen anbieten. Natürlich können LCA oder PCF grundsätzlich für solche Zwecke eingesetzt werden. Der Aufwand ist jedoch beträchtlich und erfordert Fachkenntnisse. Es gibt keine leicht anwendbaren Verfahren für die Praxis. Hinzu kommt, dass die Standards so offen formuliert sind, dass viele methodische Festlegungen vom jeweiligen Anwendungsfall abhängen. Das erschwert die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu unterschiedlichen Maßnahmen. Trotzdem können aus den Standards einige wichtige Empfehlungen abgeleitet und an den hier vorliegenden Anwendungsbereich angepasst werden:

- Für eine Bilanz müssen die Systemgrenzen, die Bezugsobjekte (bzw. funktionellen Einheiten) sowie der Berichtszeitraum plausibel und nachvollziehbar gewählt werden.
- Die Berechnungen sollten reproduzierbar sein, d. h., alle Annahmen und methodischen Festlegungen müssen dokumentiert sein.
- Bei der Bilanzierung sind neben den Emissionen von CO₂ grundsätzlich auch die anderen Treibhausgase mit zu berücksichtigen. Dies sind vor allem Methan und Lachgas (Distickstoffmonoxid), aber auch Schwefelhexafluorid (SF₆), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKWs) und Fluorkohlenwasserstoffe (FKWs) entsprechend dem Kyoto-Protokoll. Die Emissionen sind in CO₂-Äquivalenten anzugeben. Zur Berechnung ist das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) gemäß den Empfehlungen des IPCC zu verwenden (IPCC 2013).
- Wenn keine Substitution von CO₂-Emissionen fossilen Ursprungs durch CO₂-Emissionen biogenen Ursprungs (bzw. umgekehrt) zu erwarten sind, so werden nur die CO₂-Emissionen fossilen Ursprungs berücksichtigt. Bei den anderen Treibhausgasen wird eine solche Unterscheidung nicht vorgenommen, hier sind stets alle Emissionen einzubeziehen.
- Wenn biogene CO₂-Emissionen berücksichtigt werden, so sind sie - neben den fossilen Emissionen - getrennt auszuweisen.

- Die langfristige Bindung von CO₂ in biogenen Systemen oder in nicht-biogenen Systemen bzw. deren verzögerte Emission sind nicht zu berücksichtigen.
- Kompensationen oder Offsets von Emissionen sind grundsätzlich auszuschließen.
- Beim Einsatz von Strom wird grundsätzlich vom bundesdeutschen Strommix ausgegangen, der Bezug von grünem Strom wird nicht berücksichtigt. Dies erleichtert die Vergleichbarkeit verschiedener Maßnahmen und verhindert Fehlinterpretationen.
- Wenn ein Prozess oder ein Produktionssystem mehr als ein Produkt hervorbringt und sich die Emissionen bzw. Verbräuche (z. B. von Energie) nicht eindeutig den Produkten zuordnen lassen, so ist eine Allokation vorzunehmen. Dabei werden die Emissionen (oder Verbräuche) anteilig auf die Produkte verteilt. Der Verteilungsschlüssel sollte sich an dem Nutzen der Produkte in der Technosphäre orientieren, das sind meistens die Mengen (in kg, m³, kWh etc.) oder der Marktwert.
- Recyclingsysteme werden mit einem Cut-off-Ansatz gerechnet, d. h. vereinfacht gesprochen: Die Aufwendungen bzw. Emissionen im „ersten Leben“ eines Materials werden nicht dem zweiten Leben des Materials mit angerechnet. Tendenziell werden dadurch Sekundärmaterialien in ihrem Carbon Footprint begünstigt. Die Regel wird vor allem aus Praktikabilitätsgründen komplexeren Berechnungen (wie z. B. im PEF) vorgezogen.
- Gemessene oder empirisch ermittelte Werte von Verbräuchen und Emissionen sind Standard- oder generischen Werten vorzuziehen. Die Datenquellen sind transparent zu dokumentieren. Bei generischen Daten sollte auf qualitätsgesicherte und aktualisierte Datenbanken zurückgegriffen werden.

Die entsprechenden Empfehlungen werden im Kapitel 4.2 zum ESTEM-Berechnungsverfahren wieder aufgenommen.

2.2 Datenbanken

2.2.1 Überblick und Anforderungen

Die Erstellung von Ökobilanzen und Treibhausgasbilanzen ist sehr datenintensiv. Für jedes Material und für jeden Energieeinsatz des zu untersuchenden Systems muss bekannt sein, welche Umweltwirkungen bzw. Treibhausgasemissionen damit verbunden sind. Man spricht hier von sogenannten Background- oder Hintergrunddaten. Für diese Daten wird üblicherweise auf spezielle Datenbanken zurückgegriffen.

Da das Projekt auf deutsche Unternehmen abzielt, sind vorrangig Hintergrunddaten für den deutschen Raum notwendig. Hier spielt insbesondere der Einsatz von elektrischer Energie eine zentrale Rolle. Die in Unternehmen eingesetzten Materialien müssen nicht zwangsläufig ihren Ursprung in Deutschland haben. So kommen u. a. Metalle – zumindest deren Erzkonzentrate – fast ausschließlich aus anderen Regionen der Welt. Die Hintergrunddaten müssen also – insbesondere für Materialien – eine hohe globale Abdeckung sicherstellen. Des Weiteren spielt die Aktualität der Daten eine entscheidende Rolle. Das beste Beispiel hierfür ist der sich dynamisch verändernde Strommix. So setzte eine kWh des deutschen Strommixes im Jahr 2015 noch ca. 30 % mehr Treibhausgasemissionen frei als der Strommix des Jahres 2019.³⁰ Da der Fokus des Projekts auf Materialeffizienzmaßnahmen liegt, müssen neben der hohen globalen Abdeckung und Aktualität auch alle notwendigen Materialien über die Datenbank abgedeckt sein. Genauere Informationen hierzu sind in Kapitel 2.2.3 erläutert.

Die beiden bekanntesten und meist genutzten Datenbanken sind die ecoinvent-Datenbank der Non-Profit-Vereinigung ecoinvent und die GaBi-Datenbank der Sphera Solutions GmbH (ehemals Thinkstep AG). Beide Datenbanken bieten eine umfassende, aktuelle und konsistente Datenbasis mit einer hohen sektoralen und globalen Abdeckung. Neben den Marktführenden gibt es noch zahlreiche weitere Ökobilanz-Datenbanken am Markt. Hier sind u. a. die kostenfreien Datenbanken, wie z. B. ProBas des Umwelt-

³⁰ Vgl. IEA und OECD (2020).

bundesamtes, zu nennen. Diese Datenbanken weisen jedoch deutliche Schwächen hinsichtlich Umfang und Aktualität auf. Eine weitere, relativ neue Datenbank, ist carbonminds. Diese Datenbank bietet eine sehr umfassende und stark differenzierte Datenbasis für die chemische Industrie. Die hohe Differenzierung nach unterschiedlichen Chemikalien, Herstellungsvarianten und Produktionsländern und Standorten wird durch umfassende Modellrechnungen ermöglicht. Darüber hinaus sind zahlreiche kostenfreie und kostenpflichtige Datenbanken für unterschiedliche Regionen der Welt verfügbar, die jedoch aufgrund der o. g. Anforderungen der deutschen und globalen Abdeckung nicht in Betracht gezogen werden.

Neben den ökobilanziellen Datenbanken gibt es die auf volkswirtschaftlichen Statistiken beruhenden Input-Output-Datenbanken (siehe vorangegangenes Kapitel), die um umweltrelevante Kennzahlen erweitert wurden (Umweltwirkung pro Geldeinheit Produktionsleistung). Ein Beispiel hierfür ist die Exiobase-Datenbank, die von mehreren europäischen Forschungsinstituten entwickelt wurde. Diese Daten werden für sogenannte umweltbezogene Input-Output-Analysen verwendet. Solche Analysen haben den großen Vorteil, dass komplexe Systeme relativ einfach und schnell analysiert werden können. Auch Prozesse, die keine klassischen physikalischen Datenparameter ausweisen, wie z. B. Dienstleistungen oder Entwicklungsleistungen, können damit erfasst werden. Die Nachteile dieser Analyse liegen insbesondere in der begrenzten Detailtiefe (die auf die stark aggregierte Datenbasis zurückzuführen ist) und in der Unsicherheit durch die Bewertung anhand monetärer Werte, die natürlichen Schwankungen unterliegen. Sie sind daher für die Bewertungen von Materialeffizienzmaßnahmen, die durchaus eine sehr hohe Detailtiefe und Genauigkeit benötigen können, eher ungeeignet.

2.2.2 Vergleich der Datenbanken

In Tabelle 4 sind die wichtigsten Datenbanken und deren zentralen Eckdaten aufgelistet. Wie in Kapitel 2.1 erläutert, kommen aufgrund der genannten Anforderungen der hohen globalen Abdeckung, hohen Aktualität und breiten Materialabdeckung für die weitere Betrachtung in erster Linie die ecoinvent und GaBi-Datenbank in Frage. Beide Datenbanken sind jedoch auch sehr kostenintensiv in der Anschaffung. Die ProBas-Datenbank (inte-

griert auch weitere kostenfreie Datenbanken, u. a. GEMIS) bietet ebenfalls eine globale Abdeckung und eine annehmbare Materialabdeckung. Sie ist zudem kostenfrei, weist jedoch deutliche Schwächen in der Aktualität und methodischen Konsistenz der Daten auf.

Tabelle 4: Die wichtigsten Umwelt-Datenbanken und deren Eckdaten

	eco-invent	Thinkstep GaBi	ProBas UBA	GEMIS	carbon-minds	JRC
Art der Daten	LCI-Daten	LCI-Daten	LCI-Daten	LCI-Daten	LCI-Daten	LCI-Daten
Region	Global, diff. nach Ländern/Regionen	Global, diff. nach Ländern/Regionen	Global, diff. nach Ländern/Regionen	Global, diff. nach Ländern/Regionen	Global, diff. nach Ländern/Regionen	Europa, diff. nach Ländern/Regionen
Kostenpflichtig	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein
Aktualität	Regelmäßig aktualisiert	Regelmäßig aktualisiert	Teilweise veraltet	Teilweise veraltet	Regelmäßig aktualisiert	Eingestellt
Datensätze	19.000	15.000	16.000	10.000	30.0000	500
Bereiche	Umfassend	Umfassend	Umfassend (beinhaltet. u. a. GEMIS)	Insbesondere Energie	Chemikalien	Umfassend

	exiobase	Federal Commons	IDEA	CaLC	The ICE Database
Art der Daten	Input-Output	LCI-Daten	LCI-Daten	LCI-Daten	Energie / CO _{2eq}
Region	Global, diff. nach Ländern/Regionen	USA	Japan	Global, diff. nach Ländern/Regionen	Keine Unterscheidung
Kostenpflichtig	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein
Aktualität	Unregelmäßig aktualisiert	Regelmäßig aktualisiert	Regelmäßig aktualisiert	Teilweise veraltet	Regelmäßig aktualisiert
Datensätze	200 Produkte	9.200	3.800	k. A.	200 Materialien
Bereiche	Umfassend	Umfassend	Umfassend	Umfassend	Umfassend

Am Beispiel Aluminium ist der Abdeckungsgrad der drei Datenbanken ecoinvent, GaBi und ProBas veranschaulicht:

- Ecoinvent bietet in Summe 183 Datensätze zu 44 Produkten und Prozessen (Rohstoff, Vorprodukte, Halbzeuge, Schrottgruppen etc.) den Rohstoff Aluminium betreffend an. 50 Datensätze davon sind Market-Datensätze, die den durchschnittlichen Produktions- bzw. Konsummix eines Landes oder einer Region angeben. Solche Market-Datensätze sind insbesondere dann notwendig, wenn keine spezifischen Informationen über die genaue Herkunft der Materialien bekannt sind (z. B. Recyclinganteil, Produktionsverfahren etc.). Die ecoinvent-Datenbank bietet zudem für die wichtigen Produkte, wie z. B. Primäraluminium, eine Abdeckung von bis zu elf Ländern/Regionen. Die Daten werden nach einem einheitlichen Verfahren extern begutachtet und sind damit qualitätsgesichert. Da auch die einzelnen Teilprozesse eingesehen werden können, ist die Datenbank transparent und nachvollziehbar aufgebaut.
- Die GaBi-Datenbank bietet mit 133 Produkten und Prozessen eine weit- aus breitere Auswahl. Diese hohe Zahl kommt insbesondere durch die Vielzahl an unterschiedlichen Aluminiumlegierungen zustande, die GaBi aus Primär- und Sekundärquellen (Erze und Schrotte) anbietet. Die Anzahl an Datensätzen ist jedoch trotz der breiten Produkt- und Prozesspalette mit 211 Datensätzen ähnlich groß wie bei ecoinvent. Das ist unmittelbar darauf zurückzuführen, dass GaBi eine Länderabdeckung von bis zu max. fünf Ländern/Regionen anbietet. Zudem sind lediglich elf Market-Datensätze vorhanden.
- Die ProBas-Datenbank bietet in Summe 55 Datensätze zu Aluminium an. Diese Datensätze decken hauptsächlich den Rohstoff Aluminium (primär und sekundär) ab. Produkte und Zwischenprodukte sind kaum enthalten. Für Primäraluminium deckt die ProBas-Datenbank acht Länder/Regionen ab. Das größte Manko der Datensätze ist die Aktualität. Lediglich zwölf Datensätze haben das Bezugsjahr 2020 oder 2030. Dabei handelt es sich jedoch nicht um aktuelle Datensätze, sondern um Zukunftsszenarien für diese Jahre, die bereits vor mehreren Jahren erstellt wurden.

Hinzu kommt, dass die Datenbank insgesamt aus vielen sehr heterogenen Quellen gespeist wird und deshalb methodische Inkonsistenzen aufweist. Die Daten werden auch nicht extern begutachtet, wie beispielsweise die ecoinvent-Datenbank.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ecoinvent eine besonders breite globale Abdeckung sowie eine Vielzahl an Market-Datensätzen bereitstellt. Auch die Produkt- und Prozesstiefe ist hoch. GaBi bietet eine sehr hohe Produkt- und Prozesstiefe an, weist jedoch Schwächen hinsichtlich der globalen Abdeckung und den Market-Datensätzen auf. ProBas beinhaltet lediglich die essenziellen Produkte und Prozesse mit einer annehmbaren globalen Abdeckung. Die Aktualität und Qualität der Daten sind jedoch derzeit nicht vertretbar.

In der nachfolgenden Abbildung 11 sind einige Datensätze der ProBas-Datenbank (ohne die integrierten Datenbanken) denen der ecoinvent und GaBi Datenbanken gegenübergestellt. Die blauen Datenpunkte zeigen den Vergleich ecoinvent - ProBas, die orangenen Datenpunkte den Vergleich GaBi - ProBas. Liegen die Punkte auf der Geraden, so sind die Werte der beiden miteinander verglichenen Datenbanken identisch, wobei beachtet werden muss, dass die Skala doppeltlogarithmisch ist. Ein „Kästchen“ entspricht einer Abweichung um den Faktor 10, ein Drittel „Kästchen“ entspricht einer Abweichung um 100 % (Faktor 2).

Schon zwischen den Werten von ecoinvent und GaBi können große Abweichungen auftreten (z. B. Bimsstein oder Baukies). Hieraus wird ersichtlich, welche (Un)Genauigkeiten entsprechende Berechnungen mit generischen Daten aufweisen. Tendenziell zeigen die Werte aus ProBas einen ähnlichen Verlauf wie die Werte aus GaBi und ecoinvent. Einige Datenpunkte weichen jedoch deutlich von der Geraden ab. Da es sich um eine Log-log-Skala handelt, bedeuten bereits geringe Abweichungen von der Geraden signifikante Unterschiede in den Werten.

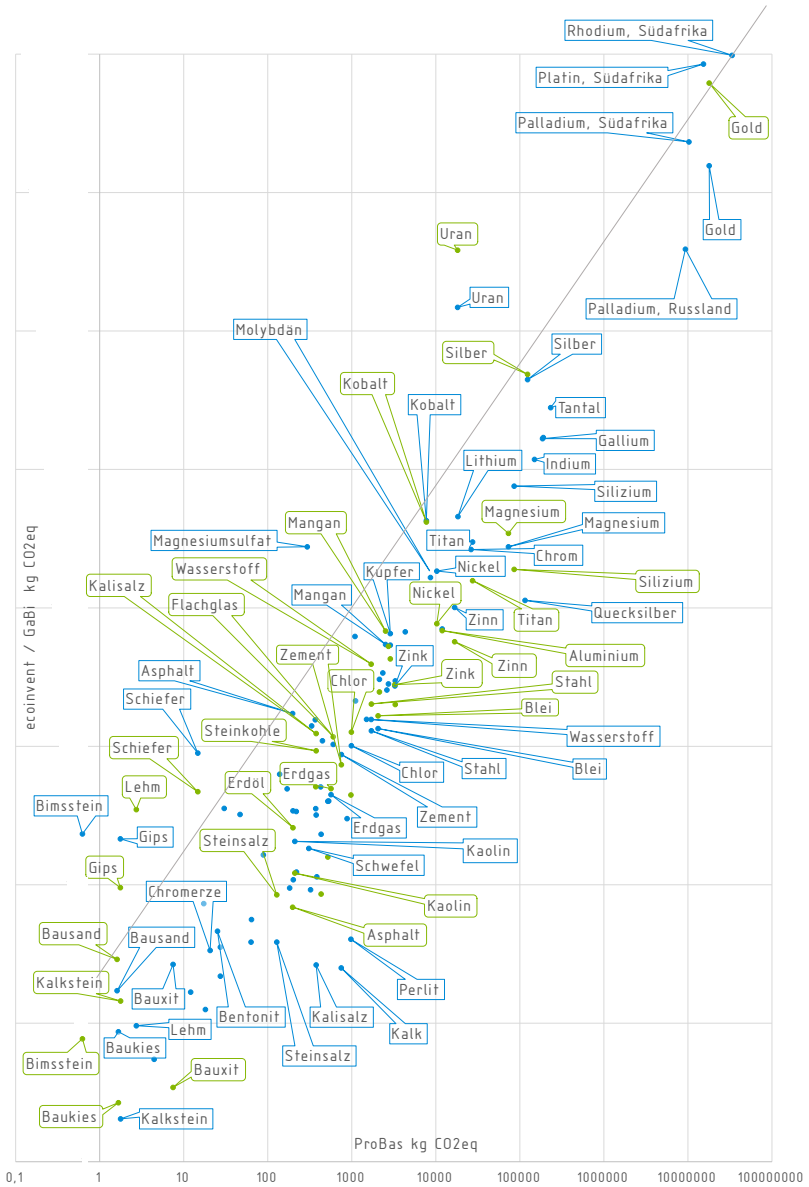


Abbildung 11: Vergleich ausgewählter ProBas-Daten mit den Datenbanken ecoinvent (blau) und GaBi (grün) (eigene Darstellung)

Dieser Datenbankenvergleich zeigt zudem, dass die GaBi-Datenbank für einige der Materialien, die in ProBas und auch ecoinvent aufgeführt sind (z. B. Tantal, Gallium, Indium, Chrom, zahlreiche Erze und Erzkonzentrate etc.), keine Datensätze beinhaltet.³¹

Während der Projektlaufzeit hat sich außerdem gezeigt, dass ein großes Interesse an frei verfügbaren Daten zu Emissionsfaktoren besteht. Zum Teil wurde diesem Wunsch in der Zwischenzeit mit der BAFA-Liste³² entgegengekommen. Darüber hinaus soll auch die ProBas-Datenbank in Zukunft ertüchtigt werden. Sämtliche aktuellen Entwicklungen wurden bei der Entwicklung des ESTEM-Berechnungsverfahrens berücksichtigt (s. Kapitel 4.4).

2.2.3 Materialtaxonomie

Unter Materialtaxonomie wird im Kontext dieses Projekts die Granularität bzw. der Detaillierungsgrad der in den Datenbanken verfügbaren Materialien verstanden. Wie tief sollte der Detaillierungsgrad sein? Reichen z. B. die gängigsten Metalle aus oder muss auch die letzte Sonderlegierung mit abgebildet werden? Um diese Fragen beantworten zu können, müssen zwei Dinge untersucht werden: zum einen, wie stark sich die Materialien in ihren THG-Emissionen unterscheiden bzw. welche Kriterien hierbei entscheidend sind. Zum anderen muss untersucht werden, welche Materialien, die von deutschen Unternehmen eingesetzt werden, die größten Anteile an den Gesamt-emissionen und damit die größte Relevanz haben.

Unterschiede und wichtige Einflussfaktoren der THG-Emissionen der Materialien

In Abbildung 12 sind die THG-Emissionen einiger der gängigsten Materialgruppen aufgeführt. Dabei sind jeweils die wichtigsten Materialien der jeweiligen Gruppen als Bandbreitenpunkte dargestellt (z. B. PE, PP, PVC usw. bei den Kunststoffen). Die hierfür verwendeten Daten sind über die Weltproduktion gemittelte Werte.

³¹ Betrachtet wurden die Professional Database sowie alle Extension Databases. Data on demand ist von der Betrachtung ausgenommen.

³² Vgl. BAFA (2021).

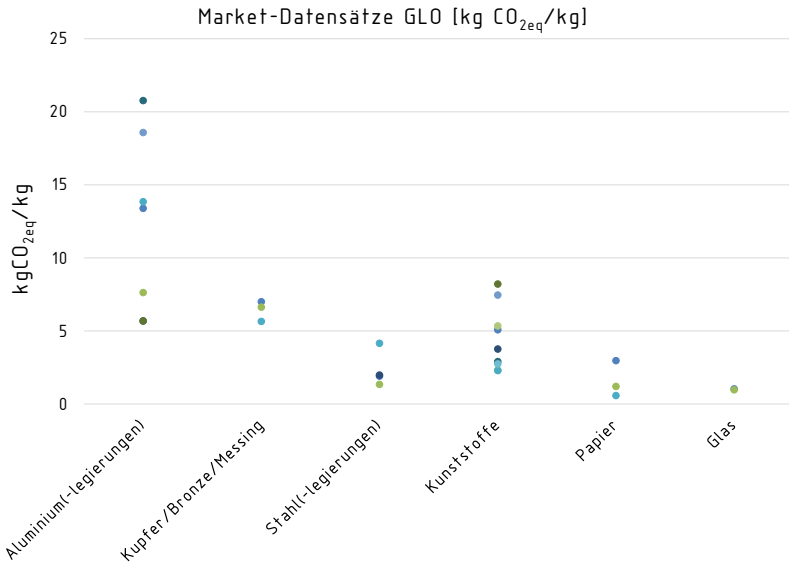


Abbildung 12: Streubreite der globalen Durchschnittswerte der THG-Emissionen in kg CO_{2eq} pro kg für einzelne Materialien aus den gängigsten Materialgruppen (ecoinvent V 3.7) (eigene Darstellung)³³

Zwei Dinge sind in dieser Grafik zu erkennen:

(1) Die unterschiedlichen Materialgruppen weichen in ihren THG-Emissionen teils stark voneinander ab. Das ist unmittelbar auf die unterschiedlichen Aufwände in ihrer Herstellung zurückzuführen. So muss z. B. Aluminium unter sehr hohem Energieeinsatz elektrolytisch raffiniert werden, während Papier und Glas relativ energiearm produziert werden können.

(2) Ebenfalls gut zu erkennen ist, dass die Bandbreiten der jeweiligen Materialien innerhalb der Gruppe in ihren THG-Emissionen stark schwanken können. Das liegt im Wesentlichen an folgenden Dingen:

³³ Redaktioneller Hinweis: Aus Gründen der Nutzungsrechte sind die Werte anonymisiert.

- Eine Materialgruppe enthält nur ähnliche und nicht identische Materialien (z. B. unterschiedliche Kunststoffe, die auch teils unterschiedlich produziert werden, oder unterschiedliche Legierungen).
- Dieselben Materialien können außerdem über jeweils andere Produktionstechniken und/oder aus unterschiedlichen Ausgangsstoffen hergestellt werden (z. B. Schrott oder Erz).
- Ebenso kann die Verarbeitungsstufe der Materialien Einfluss auf die THG-Emissionen haben. Im nachfolgenden Kapitel wird darauf ausführlicher eingegangen.

Ein weiterer Einflussfaktor, der bei dieser globalen Durchschnittsbetrachtung nicht zur Geltung kommt, ist die Region der Materialproduktion. Unterschiedliche Länder/Regionen der Welt greifen auf unterschiedliche Strommixe mit unterschiedlichen THG-Emissionen zurück. Auch hierauf wird im nachfolgenden Kapitel ausführlich eingegangen werden.

In Abbildung 13 sind fünf „Spezialmaterialgruppen“ zu den Materialien aus Abbildung 12 hinzugefügt. Hierbei zeigt sich, dass solche Spezialmaterialien in ihren THG-Emissionen signifikant von den gängigen Materialgruppen abweichen können und damit gesondert behandelt werden müssen, sofern sie für die vorgesehenen Untersuchungen relevant sind.

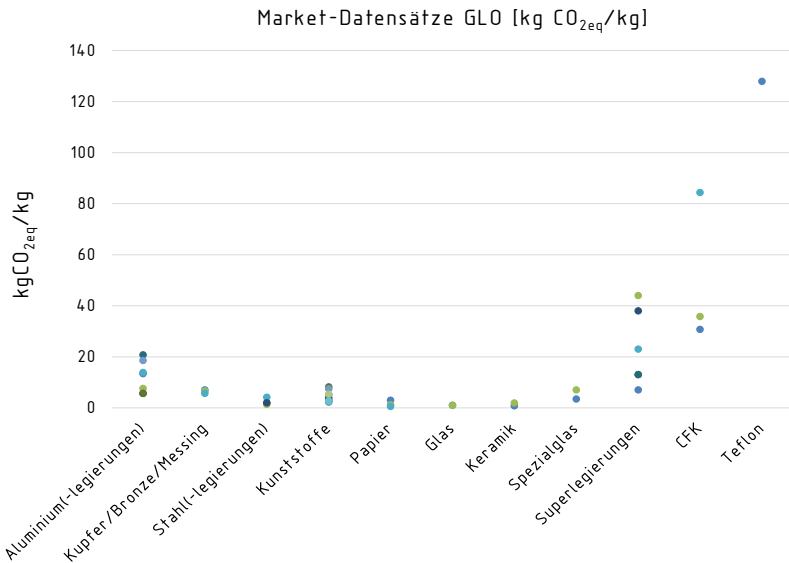


Abbildung 13: Streubreite der globalen Durchschnittswerte der THG-Emissionen in kg CO_{2eq} pro kg für einzelne Materialien der gängigsten Materialgruppen und zusätzlich fünf Spezialmaterialgruppen (ecoinvent V 3.7; GaBi Datenbank) (eigene Darstellung)³⁴

Dass Metalle nicht gemeinsam in einer Materialgruppe zusammengefasst werden können, wird bereits aus Abbildung 12 und Abbildung 13 deutlich. Eine umfassendere Analyse hierzu kann der logarithmischen Darstellung, basierend auf Nuss und Eckelmann (2014), in Abbildung 14 entnommen werden.

Darin wird ersichtlich, dass Metalle, je nachdem, welche man untersucht, in ihrer Herstellung THG-Emissionen von 0,3 kg CO_{2eq}/kg bis 35.000 kg CO_{2eq}/kg verursachen können. Die typischen Massenmetalle wie Eisen oder Aluminium sind auf der rechten Seite des Diagramms zu verorten. Technologie- und Edelmetalle finden sich hauptsächlich auf der linken Seite im Bereich der hohen Emissionen. Eine differenzierte Betrachtung ist damit bei Metallen unumgänglich.

³⁴ Redaktioneller Hinweis: Aus Gründen der Nutzungsrechte sind die Werte anonymisiert.

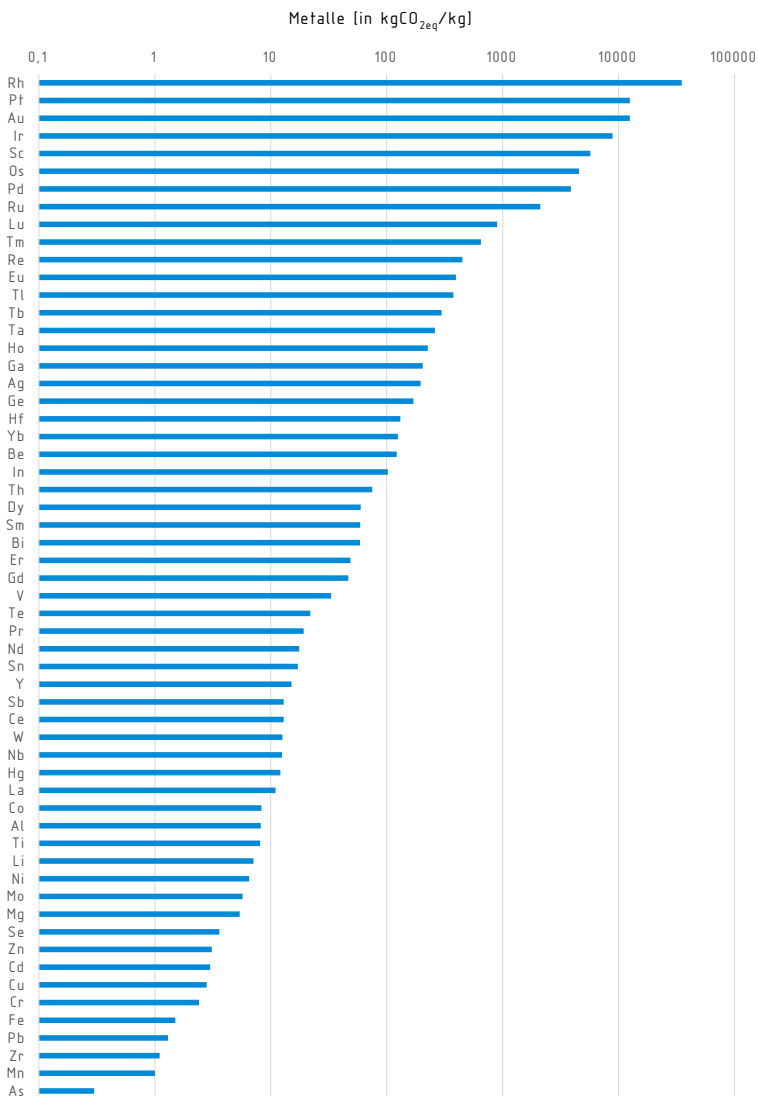


Abbildung 14: Streubreite der durchschnittlichen THG-Emissionen in kg CO_{2eq} pro kg von Metallen³⁵

³⁵ Eigene Darstellung nach Nuss und Eckelmann (2014).

Wichtige Einflussfaktoren

Am Beispiel von Metallen sind nachfolgend die wichtigsten Einflussfaktoren auf die THG-Emissionen von Materialien, die bereits im vorangestellten Kapitel identifiziert wurden, näher untersucht.

Unterschiedliche Legierungen

Abbildung 15 zeigt die THG-Emissionen unterschiedlicher Stahllegierungen. Dabei zeigt sich, dass die THG-Emissionen der meisten Legierungen sehr nahe beieinanderliegen. Lediglich die Edelstahllegierungen (Stainless Steel) weichen davon ab. Hier empfiehlt sich eine Detailtiefe, die zwischen gewöhnlichem Stahl bzw. gewöhnlichen Stahllegierungen und Edelstahllegierungen unterscheidet. Ähnlich verhält es sich bei weiteren Metallen. Im Falle von Aluminium sollte z. B. zwischen Guss- und Knetlegierungen differenziert werden.

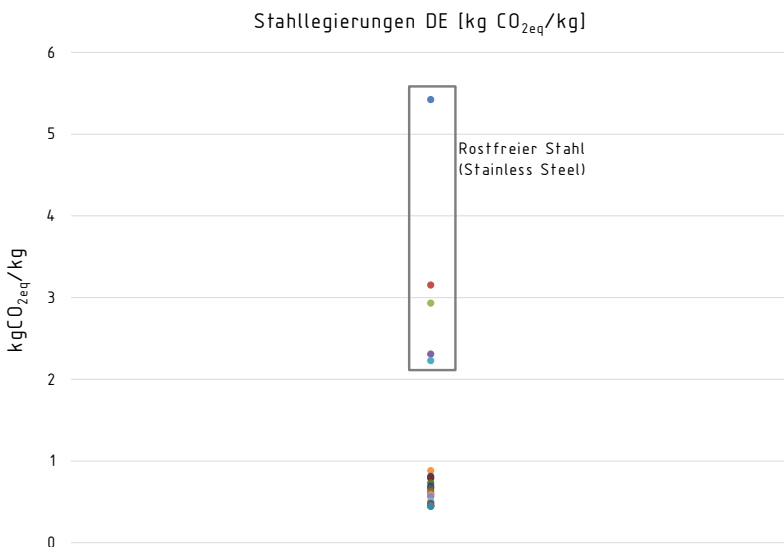


Abbildung 15: Streubreite der deutschen Durchschnittswerte der THG-Emissionen in kg CO_{2eq} pro kg unterschiedlicher Stahllegierungen (GaBi Datenbank) (eigene Darstellung)³⁶

³⁶ Redaktioneller Hinweis: Aus Gründen der Nutzungsrechte sind die Werte anonymisiert.

Unterschiedliche Produktionsrouten

Am Beispiel von Kupfer sind die Einflüsse der verschiedenen Produktionsrouten auf die resultierenden THG-Emissionen in Abbildung 16 veranschaulicht. Während der globale Durchschnittswert über alle Länder und Produktionsrouten hinweg bei ca. 7 kg CO_{2e}/kg Kupfer liegt, kann der Wert für Kupfer, das aus einer Goldmine gewonnen wird, bei ca. 2 kg CO_{2e}/kg liegen. Das andere Extrem findet sich bei Kupfer als Kuppelprodukt der Platingewinnung mit ca. 15 kg CO_{2e}/kg.

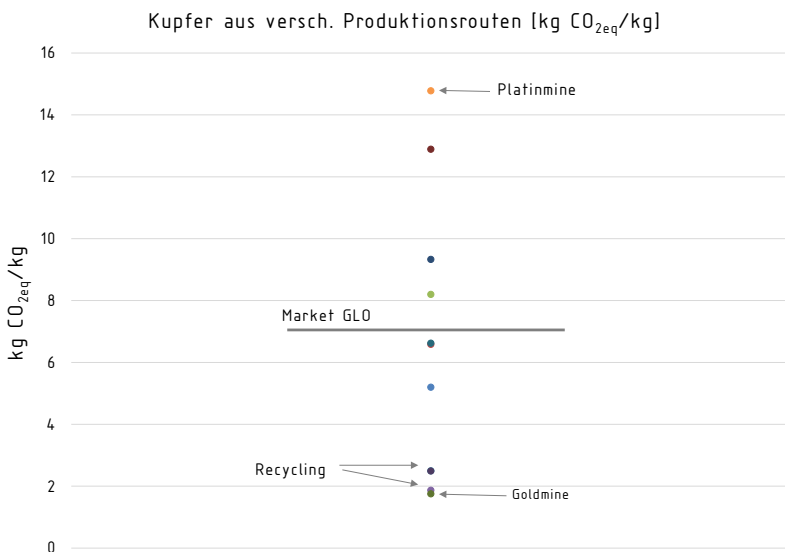


Abbildung 16: Streubreite der durchschnittlichen THG-Emissionen unterschiedlicher Kupferproduktionsrouten und der globale Marktdurchschnitt (ecoinvent V 3.7) (eigene Darstellung)³⁷

Eine Differenzierung nach Produktionsrouten ist basierend auf dieser Auswertung empfehlenswert. An dieser Stelle muss jedoch auch die Frage nach der Praktikabilität gestellt werden. Nur wenige Unternehmen können

³⁷ Redaktioneller Hinweis: Aus Gründen der Nutzungsrechte sind die Werte anonymisiert.

ihre Materialien bis zum exakten Ursprung zurückverfolgen und verfügen daher auch nicht über die notwendigen Informationen, um nach spezifischen Produktionsrouten zu differenzieren. Konsistente und fundierte globale Mittelwerte der wichtigsten Materialien über die primären Produktionsrouten hinweg bereitzustellen, wird hier daher als probates Mittel angesehen. Im Falle von Recycling wird unterdessen eine differenzierte Betrachtung vorgeschlagen, da der Einsatz von Recyclingmaterial den Unternehmen meist bekannt ist bzw. sogar eine beliebte Maßnahme zur Reduktion der THG-Emissionen darstellt.

Unterschiedliche Verarbeitungsstufen

Das Beispiel Stahl zeigt in Abbildung 17, inwieweit die THG-Emissionen bei unterschiedlichen Verarbeitungsstufen variieren können. Zwar sind die Unterschiede nicht so groß wie z. B. bei unterschiedlichen Produktionsrouten, die beiden Extreme weichen dennoch um ca. 100 % voneinander ab. Da davon auszugehen ist, dass Unternehmen über Wissen zu den Verarbeitungstiefen ihrer eingesetzten Materialien verfügen, wird empfohlen, eine grobe Differenzierung, z. B. anhand der drei Stufen der Verarbeitungstiefe oder nach den gängigsten Verarbeitungstypen (Rohre, Coils etc.), vorzunehmen.



Abbildung 17: Streubreite der globalen THG-Emissionen in kg CO_{2eq} pro kg von Stahlprodukten mit unterschiedlicher Verarbeitungstiefe (ecoinvent V 3.7; worldsteel) (eigene Darstellung)³⁸

Unterschiedliche Produktionsregionen

Unterschiedliche Regionen der Welt haben unterschiedliche Strommixe mit unterschiedlichen THG-Emissionen sowie unterschiedlichen Umweltstandards. Dieser Umstand wirkt sich unmittelbar auf die THG-Emissionen der Materialien und Güter aus, die in den Regionen produziert werden. Am Beispiel von Aluminium ist das nachfolgend in Abbildung 18 veranschaulicht.

³⁸ Redaktioneller Hinweis: Aus Gründen der Nutzungsrechte sind die Werte anonymisiert.

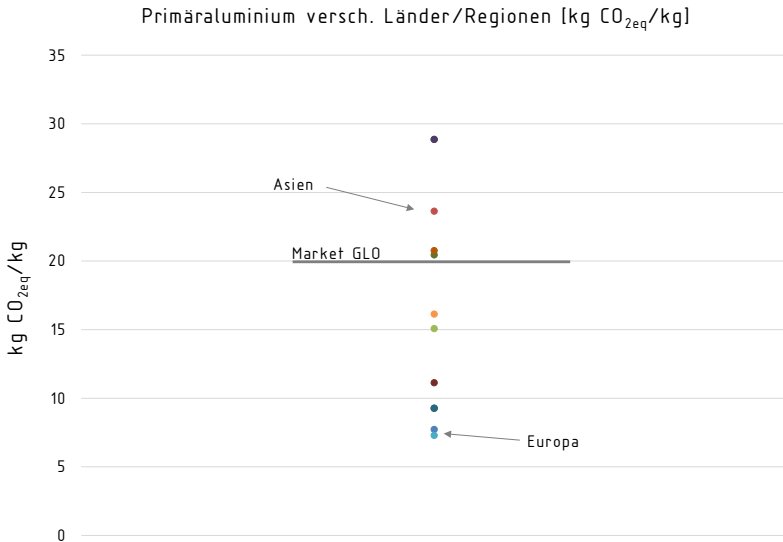


Abbildung 18: Streubreite von THG-Emissionen in kg CO_{2eq} pro kg von Primäraluminium unterschiedlicher Produktionsländer/-regionen und der globale Marktdurchschnitt (ecoinvent V 3.7) (eigene Darstellung)³⁹

Ähnlich wie im Falle der unterschiedlichen Produktionsrouten weichen die THG-Emissionen auch bei differenzierter regionaler Betrachtung deutlich vom globalen Durchschnittswert ab. Anders als bei den Produktionsrouten können Unternehmen jedoch meist feststellen, aus welchen Ländern/Regionen ihre bezogenen Güter und Materialien stammen. Eine differenzierte Betrachtung nach Herkunftsland bzw. nach Herkunftsregion wird damit als notwendig und praktikabel eingestuft.

2.2.4 Schlussfolgerungen

Grundsätzlich liegt mit den professionellen Datenbanken ein umfangreicher Fundus an materialbezogenen Daten vor. Die Qualität und Aktualität

³⁹ Redaktioneller Hinweis: Aus Gründen der Nutzungsrechte sind die Werte anonymisiert.

der Daten sind unterschiedlich, weshalb die Auswahl für Nicht-Fachkundige schwierig ist. Man muss sich darauf verlassen können, die richtigen Datensätze ausgewählt zu haben. Die Wahlfreiheit in methodischen Annahmen des LCA und PCF (z. B. attributional vs. consequential oder diverse Allokationsvorschriften) führt eher zu Fehlern. Außerdem sind die Annahmen und einfließenden empirischen Daten in die Datensätze nicht immer vollständig nachvollziehbar. Das erschwert die Vergleichbarkeit von Ergebnissen.

LCA- oder CF-Daten sind von folgenden Faktoren stark abhängig:

- Technikauswahl und Modernisierungsniveau der Produktion; dies hängt maßgeblich vom Erhebungsjahr und Erhebungsland ab,
- zugrunde gelegter Energiemix,
- Abdeckung der relevanten Input- und Outputflüsse bei den jeweiligen Prozessen,
- Marktzusammensetzung; diese kann sich innerhalb weniger Jahre verändern,
- Festlegungen und Allokation bei Mehrproduktsystemen (z. B. im Recyclingbereich, aber auch beim Einsatz biogener Rohstoffe); sie erfolgen oft nach unterschiedlichen Regeln und mit mangelnder Transparenz,
- konsistente Verknüpfung aller Datensätze in einer Art „Weltmodell“.

Zum letzten Punkt ist zu sagen, dass nach gängiger LCA-Methodik alle Datensätze in einem Gesamtmodell miteinander verknüpft werden. Das erfordert jedoch nicht nur eine Datensammlung, sondern auch die Möglichkeit zu einer rechnerischen Verknüpfung. Sie ist unerlässlich, wenn z. B. bei der Produktion von Materialien auch die jeweiligen länderspezifischen Stromerzeugungsprozesse oder die aktuellen Stahldaten berücksichtigt werden sollen.

Mit Blick auf die Materialtaxonomie ist die Herkunft der Materialien oft entscheidender als die Variation in der Zusammensetzung und Qualität der

Materialien. Für die Differenzierung der Materialien sollte man sich zudem von der absoluten Klimarelevanz leiten lassen. So ist z. B. die Berücksichtigung verschiedener Verarbeitungsstufen oder Legierungen bei Stahl oder Aluminium sinnvoll, bei Technologiemetallen indes eher irrelevant.

Aus diesen Punkten resultiert, dass die LCA- oder CF-Daten von Materialien mindestens

- aktuell sein und aus einem vergleichbaren Bezugszeitraum stammen sollten,
- die jeweilige Produktionskette mit den entsprechenden aktuellen und länderspezifischen Energiemixen beinhalten,
- die Angebotsituation, z. B. in Europa oder Deutschland, entsprechend der aktuellen Marktzusammensetzung berücksichtigen,
- einen Mindestsatz relevanter Input- und Outputflüsse in ihrer Produktionskette berücksichtigen (z. B. alle wichtigen THG-Emissionen),
- den Fokus auf für den Klimaschutz relevante Materialströme legen,
- alle Annahmen, insbesondere zu Allokationen, transparent dokumentieren.

Darüber hinaus wäre es wünschenswert, wenn die Daten aus einem einheitlich verknüpften und gemeinsamen Gesamtmodell (s. o.) stammten.

Diese Punkte zeigen, dass es nicht angemessen ist, mehr oder weniger zufällig Daten aus beliebigen Quellen zu suchen und zusammenzutragen, sondern sie veranschaulichen das Erfordernis, eine vergleichbare Aktualität, Qualität und Konsistenz herzustellen. Dazu sind ein methodisch abgestimmtes Verfahren sowie eine gewisse Langfristigkeit in der Bereitstellung qualitätsgesicherter Daten obligat.

Da professionelle Datenbanken mit erheblichen Kosten verbunden sind, greifen viele Praxisanwenderinnen und -anwender auf frei verfügbare Daten zurück. Hier sind die beschriebenen Anforderungen hinsichtlich Qualität, Aktualität und methodischer Konsistenz der Daten selten gegeben.

Gerade für kleine und mittlere Unternehmen jedoch, die sich entsprechende Software und Daten der professionellen Anbieter nicht leisten wollen oder können, sollten Alternativen bereitgestellt werden.

In einem Projekt des Umweltbundesamts aus dem Jahr 2011 hatte das ifeu-Institut Heidelberg Ökopprofile von ca. 130 verschiedenen Materialien angelegt (s. Tabelle 5), die teilweise auch in ProBas bereitgestellt wurden.⁴⁰ Diese Profile decken einen Großteil der wichtigsten Importgüter ab und können als Anhaltspunkte für den Carbon Footprint von Materialien dienen. Allerdings sind diese Daten seitdem nicht mehr aktualisiert worden und erfüllen deshalb auch nicht die o. g. Anforderungen.

Es wäre denkbar, für einen begrenzten Satz von Materialien (ca. 200 - 300 Materialien) solche Standarddaten wieder bereitzustellen. Die Daten müssten aktualisiert respektive neu erhoben, qualitätsgesichert und transparent dokumentiert werden. Teilweise ist das bereits mit der BAFA-Liste geschehen⁴¹. Sinnvoll wären zudem die Berücksichtigung von Bezugszeit und Herkunft sowie eine turnusgemäße Aktualisierung, um die Dynamik bei der Energiewende in Deutschland und in anderen Ländern entsprechend abzubilden. Außerdem sollten die Daten in eine konsistente Berechnungsumgebung eingebunden werden (s. o.). Vor allem wäre aber wichtig, diese Daten dauerhaft bereitzustellen.

Die Auswahl könnte Rohstoffe im engeren Sinne (z. B. Metalle), aber auch die für die Industrie wichtigen Halbzeuge oder Vorprodukte umfassen und sich idealerweise am absoluten Beitrag zur nationalen THG-Bilanz orientieren. Zudem sollten sich die erfassten Daten nicht nur auf THG beziehen, sondern auch andere wichtige Umweltwirkungen miterfassen. Der damit verbundene Aufwand ist nicht relevant größer, könnte aber im Umkehrschluss als Hilfe dienen, falls es zu ökologischen Trade-offs kommt.

⁴⁰ Vgl. Giegrich et al. (2012), S. A1 - A131.

⁴¹ Vgl. BAFA (2021).

Tabelle 5: Auswahl der von IFEU 2011 erstellten Umweltprofile⁴²

Metalle und Erze	Mineralische Rohstoffe	Halb- und Fertigwaren
Aluminium	Andalusit, Disthen	Baumwollgewebe
Arsen	Asbest	Brennelemente
Bauxit	Asphalt	Computer
Blei	Barit (Schwerspat)	Flachglas
Chrom	Bariumkarbonat	Laptop
Chromerze	Baukies	LDPE
Eisen	Bausand	PET
Eisenerz (2)	Bentonit	PKW
Gallium	Bimsstein	Stahl
Gold	Borate	Styrol
Ilmenitkonzentrate	Industriediamanten	Zeitungsdruckpapier
Indium	Flussspat	Naphta
Iridium	Gesteinsmehl	Ethylen
Kobalt	Gips	
Kobalterze	Glimmer	
Kupfer	Graphit	Energierohstoffe
Kupfererze & Konz. (4)	Kalisalz	Erdgas
Lithium	Kalk	Erdöl
Magnesium	Kalkstein	Steinkohle
Mangan	Kaolin	Uran
Manganerz	Kieselgur	
Molybdän	Kreide	
Molybdänerz	Kryolith	Biotische Rohstoffe
Nickel	Lehm	Ackerbohne
Niob- und TantalKonz.	Magnesiumkarbonat	Futterpflanze (Silomais)
Osmium	Magnesiumsulfat	Gemüse (Weißkohl)
Palladium (2)	Naturstein, ungebroschen	Getreide (Winterweizen)
Platin (2)	Pegmatitsand	Grünland
Quecksilber	Perlit	Hackfrüchte (Kartoffel)
Rhodium (2)	Phosphat (2)	Handelsgewächse (Raps)
Ruthenium	Quarz, Quarzite	Laubholz
Selen	Quarzsand	Nadelholz
Silber	Schiefer	Obst (Apfel)
Silizium	Schmirgel, Korund, Granat	Rübenblatt
Tantal	Siedesalz	Stroh (Winterweizen)
Thallium	Silimanit	
Titan	Speckstein	
Wismut	Splitt, Körnungen aus Marmor	Sonstige
Wolfram	Steinsalz	Chlor
Zink	Talk, Talkum	Phosphor, weiß
Zinkerze	Torf	Sauerstoff, flüssig
Zinn	Trass	Schwefel
	Tuffstein	Stickstoff, flüssig
	Vermikulit	Wasserstoff
	Zement	UCTE-Strom

⁴² Vgl. Giegrich et al. (2012).

Detailliertere oder andere Datensätze (z. B. Unterteilung der Metalldatensätze in die verschiedenen Legierungen und Verarbeitungsformen) müssten nach wie vor durch entsprechende professionelle Anbieter erstellt werden. Wichtig ist, hier keine Konkurrenzsituation zu schaffen.

Die Diskussion der unterschiedlichen Datenbanken ist letztlich essenziell für die Entwicklung eines Berechnungstools, da hier entsprechende Daten eingebunden werden müssen. Hierzu wird auf das Kapitel 4.4 verwiesen.

2.3 Bewertungstools

2.3.1 Überblick und Anforderungen

Für die Erstellung von Öko- und Treibhausbilanzen sind mittlerweile eine Vielzahl an Softwarelösungen und einfachen Web-Tools in unterschiedlichen Ausprägungen verfügbar: Von frei zugänglichen und sehr einfach gehaltenen CO₂-Rechnern, die es Privatpersonen ermöglichen, ihren persönlichen Carbon Footprint zu überschlagen, über kommerzielle Softwarelösungen und Web-Tools für die umfassende Berechnung des Corporate Carbon Footprints bis hin zu Expertentools aus der Ökobilanzierung. Neben diesen Angeboten sind am Markt auch zahlreiche Dienstleistungsangebote für die Erstellung von Corporate Carbon Footprints und Ökobilanzen verfügbar.

Die Anforderungen des Projekts an das Bewertungstool ergeben sich aus der Diskussion der Methoden, der erforderlichen Daten und der einfachen Handhabung für die Anwendenden in den Unternehmen. Mit Blick auf die Zielsetzung des Projekts sind insbesondere die Softwarelösungen und Web-Tools für die Berechnung des Corporate Carbon Footprints von Bedeutung. Sie sind meist ohne wesentliche Vorkenntnisse zu bedienen und erlauben eine erste Einschätzung.

Ökobilanztools sind hingegen weitaus komplexer, erlauben jedoch flexiblere und detailliertere Analysen und sind grundsätzlich dafür geeignet, komplexe Situationen oder Maßnahmen abzubilden. Da sie eine umfangreiche Expertise voraussetzen und die Zielsetzung des Projekts eine möglichst

niedrigschwellige Anwendung auch für Laien vorsieht, sind sie von der nachfolgenden Detailbetrachtung ausgeschlossen. In Tabelle 6, die einen Überblick über die wichtigsten Eckdaten der zahlreichen Bewertungstools gibt, sind sie der Vollständigkeit halber jedoch mit aufgeführt.

Tabelle 6: Verfügbare Bewertungstools und deren Eckdaten

Tool	SMART 3	CO ₂ -Rechner	Eco-cockpit	CCF. Navi	ECO-SPEED Business	Foot-print Manager Foot-print Expert	Scope 3 Evaluator	ESM Software
Anbieter	myclimate	KlimAktiv	Effizienzagentur NRW	Energie Agentur NRW	Ecospeed	Carbon Trust	GHG Protokoll, Quantis	WeSustain GmbH
Anwendung	CCF (Scope 1,2,3)	CCF (Scope 1,2,3)	CCF (Scope 1,2,3), PCF	CCF (Scope 1,2,3)	CCF (Scope 1,2,3), PFC, PEF	CCF (Scope 1,2,3), PCF	CCF (Scope 1,2,3)	CCF (Scope 1,2,3)
Methode	GHG Protokoll, ISO 14064	GHG Protokoll, ISO 14064	GHG Protokoll	ISO 14064, GHG Protokoll	GHG Protokoll, ISO 14040/44, 14064, 14067	GHG Protokoll, PAS 2050, ISO 14067	GHG Protokoll	k. A.
Anwender	U. a. Dyson, Lufthansa	U. a. Schaeffler, Melitta	U. a. Roth, Dyckhoff	K. A.	U. a. Stawag, Sparda Bank	U. a. Samsung, Danone	K. A.	U. a. ThyssenKrupp
Kommerziell	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Software	Web-basiert	Software as a Service	Web-basiert	Web-basiert	Web-basiert	Cloud-basiert	Web-basiert	Web-basiert
Sprache(n)	Mehrsprachig	Deutsch	Deutsch	Deutsch	Mehrsprachig	Englisch	Englisch	Deutsch
Anwendungs-freundlichkeit	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch
Konfigurierbarkeit	Individuell konfigurierbar	div. Lizenzmodelle	Keine	Keine	Customising möglich	K. A.	K. A.	K. A.
Verwendete Datenbanken	ecoinvent	GEMIS, Daten aus Studien, öffentl. Daten (U. a. IEA)	GEMIS, ProBas, Ökobaudat	GEMIS	Keine	K. A.	Hauptsächlich IO-Daten (WIOD), ecoinvent (V2.2.), eGRID	DEFRA, ecoinvent

Tabelle 6: Verfügbare Bewertungstools und deren Eckdaten (Weiterführung)

Tool	SC0 ₂ PES	CCalC2	GaBi	GEMIS	umberto	OPEN LCA	Simpa Pro	ease-tech
Anbieter	Global Climate	University of Manchester	Sphera	IINAS	IFU	Green Delta	Pré Sustainability	ESATECH
Anwendung	CCF (Scope 1,2,3)	Ökobilanz	Ökobilanz	Ökobilanz	Ökobilanz	Ökobilanz	Ökobilanz	Ökobilanz (heterogene Stoffströme, Abfallwirtschaft)
Methode	K. A.	ISO 14044, PAS 2050	ISO 14040/44	ISO 14040/44	ISO 14040/44	ISO 14040/44	ISO 14040/44	ISO 14040/44
Anwender	K. A.	K. A.	U. a. VW	K. A.	U. a. Miele	U. a. BASF	U. a. Huawei	Überwiegend Forschung
Kommerziell	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Kostenpflichtige Schulung
Software	Software as a Service	Software	Software	Software	Software	Software	Software	Software
Sprache(n)	Deutsch, englisch	Englisch	Mehrsprachig	Deutsch	Englisch, deutsch	Englisch	Mehrsprachig	Englisch
Anwendungsfreundlichkeit	Hoch	Mittel	Komplex, Expertentool	Komplex, Expertentool	Komplex, Expertentool	Komplex, Expertentool	Komplex, Expertentool	Komplex, Expertentool
Konfigurierbarkeit	K. A.	K. A.	K. A.	K. A.	K. A.	K. A.	K. A.	K. A.
Verwendete Datenbanken	Basiert auf monetären Daten	CCalC-Datenbank, ecoinvent	GaBi, ecoinvent, USLCl-Datenbank	GEMIS	GaBi, ecoinvent	Zahlreiche Datenbanken möglich	Zahlreiche Datenbanken möglich	Zahlreiche Datenbanken möglich

2.3.2 Kurzbeschreibung und Bewertung der wichtigsten Bewertungstools

Das erste Screening der am Markt verfügbaren Bewertungstools zeigt, dass die methodischen und konzeptionellen Unterschiede nur sehr geringfügig sind. Der grundlegende Aufbau ist immer derselbe:

(1) Die notwendigen physikalischen Daten werden erfasst bzw. in die dafür vorgegebenen Kategorien eingegeben (z. B. Energieverbräuche, Materialeinsatz usw.). Über diese Eingabe in definierte Kategorien (z. B. externer Strombezug, Eigenerzeugung, Materialeinkauf usw.) findet automatisch eine Zuordnung zu den Scope-Kategorien statt.

(2) Im Hintergrund werden die eingegebenen Daten mit den LCI- bzw. CO_{2e}-Daten einer hinterlegten Datenbank verknüpft. Lediglich der Scope-3-Evaluator, der über die GHG Protocol Initiative und Quantis zur Verfügung gestellt wird, ergänzt dieses Vorgehen durch eine erweiternde, auf monetären Daten basierende Input-Output-Analyse für einige der Scope-3-Kategorien.

In einem weiteren Schritt wurden ausgewählte Bewertungstools in mehreren Kategorien, die die Praktikabilität betreffen, näher untersucht. Dafür fanden ein direkter Austausch mit den Anbietern sowie direkte Tests der Tools statt. Die Auswahl der Tools basiert u. a. auf der allgemeinen Verbreitung der Tools am Markt, der Relevanz der Tools für relevante Stakeholder und (potenzielle) Anwendende (diese stammen aus anderen Projekten der Autorinnen und Autoren, u. a. 100 Betriebe) und deren Facheinschätzungen. Vier der sechs näher untersuchten Tools (CO₂-Rechner von KlimAktiv, Smart 3 von myclimate, Sco₂pes von Global Climate sowie ecocockpit von efa-nrw) wurden zudem von den Unternehmen bzw. Institutionen im Zuge des Projektworkshops am 26. Januar 2021 vorgestellt.

Die qualitativen Erkenntnisse dieser Analyse sind in der nachfolgenden Tabelle 7 zusammengefasst. Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse ist darüber hinaus nachfolgend gegeben.

Tabelle 7: Bewertungsergebnisse der Tools

	CO ₂ -Rechner	SMART 3	Eco-cockpit	Ecospeed business	Scope 3 Evaluator	Scopes
Bedienfreundlichkeit	Sehr hoch	Hoch	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Hoch
Durchführungsaufwand	Sehr gering	Gering	Sehr gering	Hoch	Gering	Sehr gering
Ergebnisqualität	Mittel	Mittel	Mittel	Keine Daten	Gering (Scope 3 umfassend)	Sehr hoch
Darstellungsqualität	Hoch	Mittel	Hoch	Sehr hoch	Mittel	Hoch
In ERP-System integrierbar	In Planung	API-Schnittstelle	Keine	Halbautomatisiert	Keine	Ja

KlimAktiv - CO₂-Rechner für Unternehmen

Bedienfreundlichkeit

Das webbasierte Tool ist einfach und intuitiv zu bedienen. Die Bedienoberfläche ist selbsterklärend. Es gibt nur wenige, logische aufeinander folgende Bearbeitungsschritte. Ein negativer Aspekt besteht darin, dass die Einheiten der einzupflegenden Daten fix sind. Es gibt keine Möglichkeit, diese umzustellen (z. B. von kWh auf MJ) und so den Nutzenden mögliche Umrechnungen zu ersparen. Vorteilhaft ist u. a., dass zu jedem eingegebenen Datensatz die wichtigsten Informationen zu den Hintergrunddaten aufgerufen werden können. Bereits bei der Erfassung der Daten ist eine grafische Darstellung der THG-Emissionen für die jeweilige Kategorie/Sektor (Einkauf, Transport, Produktion etc.) möglich.

Den Nutzenden werden eine Kurzanleitung sowie ein ausführliches Handbuch bereitgestellt.

Durchführungsaufwand

Der Durchführungsaufwand ist als sehr gering einzustufen. Durch Voraus-

wahl der Branche werden die wichtigsten bzw. für die jeweilige Branche typischen Eingabemöglichkeiten vorausgewählt. So finden sich z. B. im klassischen Dienstleistungsgewerbe kaum Materialauswahlmöglichkeiten, im Maschinenbaugewerbe ist diese Auswahl derweil deutlich umfangreicher. So wird das Tool bewusst übersichtlich und schlank gehalten. Die Eingabe der Daten erfolgt manuell, Grundkenntnisse sind dabei von Vorteil.

Ergebnisqualität

Die Ergebnisse suggerieren durch eine Rundung auf zwei Dezimalstellen eine Genauigkeit, die bei solchen Analysen nie zutreffen kann. Zudem sind die zugrundeliegenden Datenbanken teils stark veraltet, woraus sich eine weitere Minderung der Ergebnisqualität ergibt.

Die Möglichkeit, bei der Dateneingabe die Qualität der eingegebenen Daten über drei Kategorien zu bewerten (hoch, mittel, niedrig), hat keine Auswirkung auf das Ergebnis, sondern ist lediglich ein visuelles Hilfsmittel, u. a. für externe Sachverständige.

Bisher wird nur der Upstream des Scope 3 über die Hintergrunddaten erfasst (z. B. ökologischer Rucksack der Materialien). Es bestand keine Erfassungsmöglichkeit des Downstreams (insb. Nutzungsphase).

Darstellungsqualität

Das Bewertungstool ermöglicht zwei grafische Darstellungen: Balken- und Kreisdiagramm; Balken nach Sektoren, Kreisdiagramm nach Scopes. Zudem sind Erklärungen zu den Scopes gegeben. Eine Ausgabe der Ergebnisse als PDF-Dokument ist möglich.

In ERP-System integrierbar/Schnittstelle zum Datenimport?

In Planung/Entwicklung

myclimate - Smart 3

Bedienfreundlichkeit

Das Smart 3-Tool ist relativ einfach und intuitiv zu bedienen. Die Übersichtlichkeit und allgemeine Darstellungsqualität des Tools sind als eher gering einzustufen. Die Einheiten sind nicht variabel, was die Dateneingabe er-

schweren kann. Die Dateneingabe wird im direkten Vergleich zu den Daten des Vorjahres vorgenommen. Für die Erfassung des Pendelverkehrs der Mitarbeitenden wird ein zusätzliches Excel[®]-Dokument bereitgestellt.

Den Nutzenden wird ein ausführliches Handbuch bereitgestellt.

Durchführungsaufwand

Der Durchführungsaufwand ist als gering einzustufen. Die Eingabe der Daten erfolgt manuell. Insbesondere bei der Auswertung der Ergebnisse sind zumindest Grundkenntnisse notwendig.

Ergebnisqualität

Die Ergebnisse suggerieren durch eine Rundung auf zwei Dezimalstellen eine Genauigkeit, die bei solchen Analysen nie zutreffen kann.

Bisher wird nur der Upstream des Scope 3 über die Hintergrunddaten erfasst (z. B. ökologischer Rucksack der Materialien). Es besteht keine Erfassungsmöglichkeit des Downstreams (insb. Nutzungsphase).

Darstellungsqualität

Das Tool bietet vier grafische Darstellungsmöglichkeiten an. Hierzu zählen u. a. Zeitreihenanalysen, Aufteilung nach Sektoren/Kategorien, Scopes etc. Die Eingabedaten und Datenanalysen können nach Excel[®] exportiert werden.

Die grundsätzliche Datenanalyse respektive Auswertung ist unübersichtlich und verhältnismäßig komplex. Es gibt zahlreiche Auswertungsmöglichkeiten (freie Auswahl der zu analysierenden Jahre, Scopes, Eingabedaten usw.), die nicht intuitiv zu bedienen sind.

In ERP-System integrierbar/Schnittstelle zum Datenimport?

API-Schnittstelle

Effizienzagentur NRW - ecocockpit

Bedienfreundlichkeit

Das ecocockpit ist einfach und sehr intuitiv zu bedienen. Das Tool ist äußerst übersichtlich gestaltet und in der Darstellungsqualität sehr gut. Die Einheiten sind teilweise änderbar, was die Dateneingabe erleichtern kann.

Bei der Eingabe der Daten wird die zugrundeliegende Hintergrunddatenbank angezeigt (meist GEMIS) sowie deren Qualitätseinschätzung.

Den Nutzenden wird ein ausführliches Handbuch bereitgestellt.

Durchführungsaufwand

Der Durchführungsaufwand ist als sehr gering einzustufen. Die Dateneingabe erfolgt manuell und ist ohne Vorkenntnisse durchzuführen.

Ergebnisqualität

Bisher wird nur der Upstream des Scope 3 über die Hintergrunddaten erfasst (z. B. ökologischer Rucksack der Materialien). Es besteht keine Erfassungsmöglichkeit des Downstreams (insb. Nutzungsphase).

Darstellungsqualität

Die Darstellung der Ergebnisse ist sehr übersichtlich und ausreichend, obwohl nur eine grafische Darstellungsvariante verfügbar ist. Die grundsätzliche Datenaufbereitung ist sehr gut. Über eine prozentuale Aufteilung der gesamten Treibhausgasemissionen auf die Eingabedaten (Strom, Materialien etc.) können u. a. Hotspots einfach und schnell identifiziert werden. Die Ergebnisse werden zudem so aufbereitet, dass sie auch Laien gut einordnen können (z. B. Vergleich mit verständlichen Beispielen).

In ERP-System integrierbar/Schnittstelle zum Datenimport?

Nicht integrierbar, keine Schnittstellen für den Datenimport.

Ecospeed - Ecospeed Business

Bedienfreundlichkeit

Ecospeed Business ist ein übersichtliches Web-Tool, für das jedoch eine kurze Einführung und Einarbeitungsphase benötigt werden. Der Aufbau ist wenig intuitiv. Das Tool ist konzeptioniert, um zentral verwaltet zu werden (wichtige Grundeinstellungen, Strommix etc.). Die Dateneingabe der jeweiligen Fachbereiche (z. B. Produktion) sollte dann dezentral stattfinden. Gemeinsames Arbeiten im Tool/Projekt ist möglich. Es können unterschiedliche Zugangsberechtigungen vergeben werden.

Es ist ein Handbuch vorhanden. Zudem wird eine umfangreiche Einführung in das Tool bereitgestellt.

Durchführungsaufwand

Der Durchführungsaufwand fällt recht hoch aus. Der Aufbau ist modular, so müssen beispielsweise vorab eigene Bilanzierungseinheiten/Fachbereiche (Produktion, Entwicklung etc.) definiert werden. Danach kann ausgewählt werden, welche Kategorien für die jeweilige Bilanzierungseinheit relevant sind (Gebäude, Material, Energie, Mobilität). Die Dateneingabe kann direkt im Tool (für Fachleute) oder über eine spezielle tabellarische Eingabemaske (für Laien) vorgenommen werden.

Die Einstellungen, die vom Fachbereich vorgenommen werden, sind relativ umfassend und benötigen Fachwissen. So können z. B. Wirkungsgrade von Eigenverbrauch-KWK-Anlagen variabel definiert werden.

Ergebnisqualität

Hintergrunddaten für unterschiedliche Energiemixe sind verfügbar und ggf. variabel zusammenstellbar. Die Grundlage sind IPCC-Daten.

Darüber hinaus sind keine Hintergrunddaten hinterlegt. Ecoinvent soll im Mai 2021 als zusätzliche Option eingeführt werden. Ecospeed will nach eigenen Angaben das Tool sehr transparent und konsistent halten. Deshalb gibt es bis jetzt keine hinterlegten Daten. Es können also bisher maximal Scope 1 und Scope 2 modelliert werden (basierend auf den Energiedaten).

Darstellungsqualität

Die Darstellungsqualität und -möglichkeiten sind sehr umfassend und decken alle denkbaren Optionen ab. Ein Datenexport nach Excel[®] ist möglich.

In ERP-System integrierbar/Schnittstelle zum Datenimport?

Keine Standardschnittstelle, i. d. R. werden beim Customising halbautomatisierte Schnittstellen realisiert.

GHG Protocol/Quantis - Scope 3 Evaluator

Bedienfreundlichkeit

Der Scope 3 Evaluator ist weitestgehend übersichtlich gestaltet, jedoch nicht immer intuitiv in der Nutzung. Von Vorteil ist, dass Einheiten teils

variabel eingestellt werden können. Monetäre Daten (für die Input-Output-Analyse) können nur in US-Dollar angegeben werden.

Durchführungsaufwand

Die Nutzenden werden zu zahlreichen Unternehmensspezifika befragt (Einsatz von Energie, Einkauf von Waren, Organisationsstruktur etc.). Diese manuell eingepflegten Daten werden durch das Tool mit Daten aus Input-Output-Statistiken (im Falle der monetären Angaben) und LCI-Daten (im Falle der physikalischen Angaben) verknüpft. Das Tool ist nicht zur Datendokumentation bzw. für größere Datenmengen gedacht. Für Kategorien, die umfangreiche Daten beinhalten, wird vorgeschlagen, dass nur die fünf, zehn oder 20 wichtigsten Positionen verwendet werden. Grundwissen ist von Vorteil.

Ergebnisqualität

Das Tool ist grundsätzlich dazu gedacht, eine erste grobe Abschätzung der Scope-3-Emissionen zu ermöglichen. Auch wenn das Tool den GHG-Protokoll-Empfehlungen folgt, sind die errechneten THG-Emissionen in vielen Fällen nur Schätzungen und gewährleisten keine Konformität mit dem Scope-3-Standard.

Der Scope 3 Evaluator verwendet die World Input-Output Database und die Open IO Database. Scope 1 und 2 werden entweder über direkte Eingabe der Emissionen oder Eingabe von Unternehmensdaten (monetär oder physikalisch) quantifiziert. Wenn nicht möglich, können die Scope-1- und Scope-2-Emissionen über sektorspezifische Statistiken abgeschätzt werden. Das Tool differenziert nach 15 Scope-3-Kategorien.

Darstellungsqualität

Die Darstellung ist mit einer mittleren Qualität einzustufen. Die Ergebnisse werden in einer Gesamtübersicht der über die Scopes sowie in einer detaillierten Auflistung der 15 Scope-3-Kategorien dargestellt. Es ist ein Datenexport nach Excel[®] möglich.

In ERP-System integrierbar/Schnittstelle zum Datenimport?

Nicht integrierbar, keine Schnittstellen für den Datenimport

Global Climate - Sco₂pes

Bedienfreundlichkeit

Das Sco₂pes Tool weist eine sehr hohe Bedienfreundlichkeit auf und ist sehr intuitiv zu bedienen. Ein integriertes Tool ist u. a. zur Berechnung der Transportdistanzen (Straße und Luft) verfügbar. Das Einpflegen von Zuliefernden ermöglicht die einfache Erfassung der Transportwege.

Es ist ein Support verfügbar.

Durchführungsaufwand

Der Durchführungsaufwand wird durch den direkten Import der buchhalterischen Daten auf ein Minimum reduziert (insbesondere Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Energieeinsätze etc. sind in der Buchhaltung hinterlegt). Das manuelle Nachpflegen der Daten, die nicht automatisch aus der Buchhaltung importiert werden, ist einfach und intuitiv. Grundkenntnisse sind von Vorteil, jedoch nicht notwendig. Einschätzung der Autorinnen und Autoren: Bei KMU kann diese Methode der Datenübernahme aus der Buchhaltung praktikabel sein, bei größeren Unternehmen und Konzernen sind die in der Buchhaltung hinterlegten Daten so vielfältig, dass die Methode an die Grenzen der Praktikabilität stoßen dürfte.

Ergebnisqualität

Die Software greift auf die Datenbank ecoinvent und buchhalterische Inputdaten (z. B. Materialeinkauf nach Masseneinheiten) zurück. Sofern die buchhalterischen Daten in den zur Ökobilanzdatenbank passenden Einheiten vorliegen, kann eine sehr hohe Ergebnisqualität angenommen werden.

Darstellungsqualität

Das Tool bietet eine sehr hohe Darstellungsqualität in grafischer und tabellarischer Form, Datenexport über Excel[®] möglich.

In ERP-System integrierbar/Schnittstelle zum Datenimport?

SAP-Schnittstelle zu ERP-System und Buchhaltungssystem, weitere Schnittstellen in Planung (z. B. Microsoft Dynamics).

2.3.3 Schlussfolgerungen

Derzeit können keine einfachen Software-Tools speziell für den Bereich der Klimawirksamkeit von Materialeffizienz-Maßnahmen identifiziert werden. Für die Qualität der Tools ist neben der Bedienbarkeit vor allem entscheidend, auf welchen Methoden und Daten sie aufbauen. Insbesondere die Vergleichbarkeit der erzeugten Ergebnisse dürfte stark eingeschränkt sein. Letztlich kann der methodische Ansatz des ESTEM-Berechnungsverfahrens nicht von am Markt vorhandenen Tools abgedeckt werden, sodass eine pragmatische Toollösung im ESTEM-Vorhaben entwickelt wurde (s. Kapitel 4.2).

2.4 Andere Projekte

Zur Erfassung der Ausgangssituation wurde eine Übersicht über abgeschlossene und laufende Vorhaben oder Projekte erstellt, die sich mit der Weiterentwicklung von Methoden, Datenbanken und Tools zur Bewertung von Materialeffizienz-Maßnahmen befassen. Hierfür wurde eine systematische Metastudie durchgeführt. Das Vorgehen zur Durchführung der Metastudie ist in Abbildung 19 und Tabelle 13 schematisch dargestellt.

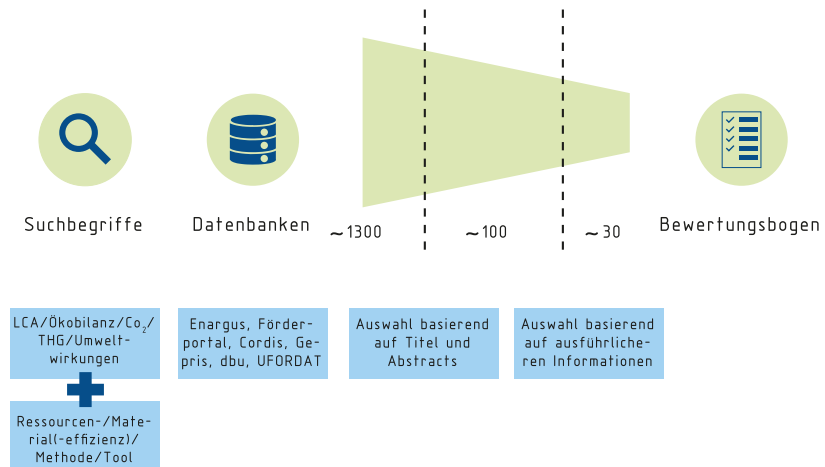


Abbildung 19: Durchführung der Metastudie

Die Projekte wurden hinsichtlich folgender Kategorien ausgewertet:

- Titel, Autorschaft, Institute/Firmen, Zeitraum,
- weiterentwickelte Methode/Datenbank/Tool,
- Datenbasis: Hintergrunddatenbank oder eigene Daten,
- Untersuchungsgegenstand und Untersuchungsrahmen (z. B. Systemgrenze, Ort, zeitlicher Bezug),
- Berücksichtigung einer Baseline/eines Referenzzustands,
- einbezogene Materialien und Rohstoffe und Branchen.

Die Analyse zeigt, dass sich ein Großteil der untersuchten Projekte mit der Weiterentwicklung oder Anwendung von Methoden befasst (14 Projekte), wovon knapp die Hälfte auf die Methode der Ökobilanzierung zurückgreift. Während die Entwicklung eines Berechnungstools Gegenstand von sieben Projekten ist, beschäftigen sich zwei Projekte mit der Weiterentwicklung von Datenbanken. Als Datenbasis wird am häufigstenecoinvent, gefolgt von GaBi, oder eine Kombination verschiedener Datenbanken verwendet.

In den Projekten werden unterschiedliche Definitionen für den Referenzzustand bzw. die Baseline gegeben. So wird die Baseline je nach Projekt als herkömmliche Bauweise, ursprüngliche Technologie, technologischer Stand vor der Maßnahme oder bereits existierender realer Prozess definiert. Dabei fokussierten sich die meisten der 14 analysierten Projekte auf einzelne Branchen, wie beispielsweise die Baubranche, die Holzindustrie, oder auf einzelne Rohstoffe, wie z. B. Metalle.

Auf dieser Basis wurde abschließend eingeordnet, welche bestehenden Projekte dieselben Merkmale wie das Projekt ESTEM aufweisen. Dafür wurde geprüft, ob im Projekt eine Methode neu entwickelt wurde, Materialeffizienz-Maßnahmen im Fokus standen, ob ein Top-down- oder ein Bottom-up-Ansatz verfolgt wurde, ob THG-Emissionen berechnet wurden und ob die Zielgruppe Unternehmen waren. Aus dieser Auswertung lässt sich zusammenfassend folgern, dass keines der Projekte denselben Fokus wie

das Projekt ESTEM aufweist. Diese Feststellung bestätigt die Einzigartigkeit und Neuheit des Projekts und verdeutlicht, dass bei der Entwicklung der Methode nicht ausschließlich auf bereits bestehende Vorarbeiten zurückgegriffen werden kann, sondern die Entwicklung eines neuen Ansatzes notwendig ist.

3 ANALYSE UND EVALUIERUNG VON MATERIAL-EFFIZIENZ-PROJEKTEN

3.1 Zielsetzungen und Auswahl der Fallbeispiele

3.1.1 Zielsetzungen

Im Folgenden werden 25 Fallbeispiele für Materialeffizienz-Projekte in Unternehmen hinsichtlich der dort angewandten Methoden, Daten und Tools für die Ermittlung der eingesparten Treibhausgasemissionen ausgewertet. Diese Auswertung dient als Grundlage, um Rahmenbedingungen und konzeptionelle Bausteine für die Entwicklung einer standardisierten Vorgehensweise zur Ermittlung der THG-Emissionen zu erarbeiten.

Die einbezogenen Materialeffizienz-Projekte werden hinsichtlich der folgenden Kriterien analysiert:

I: Allgemeine Informationen (projektbezogen)

- Charakterisierung des betrachteten Unternehmens (Branche, Größe, Region)
- Kurzbeschreibung der jeweils im Projekt durchgeführten Materialeffizienz-Maßnahme(n)
- Analyse der verwendeten Bewertungsmethode(n), Datenbasis oder Bewertungstools zur Ermittlung der eingesparten THG-Emissionen

II Spezifische Informationen (zu jeder in einem Projekt identifizierten Maßnahme)

- Fokus (prozessbezogen, produktbezogen, organisationsbezogen)
- Betrachteter Umfang der Systemgrenzen (Auswirkung auf Rohstoffgewinnungs-, Herstellungs-, Nutzungs- und/oder Entsorgungsphase, regionale oder globale Einsparung)
- Materialien/Materialklassen/Materialeinsätze, die durch die Maßnahme beeinflusst werden

- Definition eines Ist-Zustands als Referenzzustand
- Für die Untersuchung der Maßnahme genutzte spezifische Daten und deren Erhebungsmethoden

Für die Auswertung der projektbezogenen und spezifischen Informationen wurden die Inhalte der untersuchten Praxisbeispiele nach verschiedenen Merkmalen zu Unternehmen, Maßnahmen und Bewertungsmethoden geclustert.

3.1.2 Auswahl der Fallbeispiele (Materialeffizienz-Projekte)

Die Auswahl von Fallbeispielen für das Projekt ESTEM erfolgte im Zeitraum von Oktober bis November 2020. Dazu wurden von Seiten der am Projekt beteiligten Bundesländer insgesamt 44 schriftliche Dokumentationen zu Projekten zur Materialeffizienz aus Förderprogrammen der beteiligten Bundesländer sowie zwei vom Umweltbundesamt geförderte Vorhaben zur Vorauswahl bereitgestellt. Aus den vorgelegten Dokumentationen wurden 25 Fallbeispiele ausgewählt, sodass eine möglichst große Repräsentativität hinsichtlich der beteiligten Bundesländer und der realisierten Materialeffizienz-Maßnahmen erreicht werden konnte.

3.2 Methodische Vorbereitung der Auswertung der Fallbeispiele

Überblick zum Vorgehen der Auswertung

Im Hinblick auf die eingangs beschriebenen Zielsetzungen und die für die Auswertung vorgesehenen Kriterien wurde eine erste Sichtung der 25 Fallbeispiele vorgenommen. Auf dieser Basis wurden Sachverhalte identifiziert, die für die Durchführung der Auswertung zu konkretisieren bzw. methodisch auszuarbeiten waren. Diese Sachverhalte betreffen einerseits die verwendete Terminologie, andererseits die Überprüfung auf Vollständigkeit und ggf. Erweiterung des Katalogs der VDI-Richtlinie 4800⁴³, der für die Identifikation von Maßnahmen zugrunde gelegt werden sollte.

⁴³ Vgl. VDI 4800:2016.

Für die genannten Sachverhalte wurden die im Folgenden beschriebenen Vorgehensweisen ausgearbeitet, die im Zuge der Auswertung zur Anwendung kamen.

Terminologie

Der als Grundlage zur Auswertung von Maßnahmen der Materialeffizienz-Projekte verwendete Katalog ist in der VDI-Richtlinie 4800 als Tabelle 1 (Abbildung 20) mit der Überschrift „Strategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz“ enthalten. Anstelle des in der VDI-Richtlinie 4800 verwendeten Begriffs „Strategie“ wird im vorliegenden Projekt der Begriff „Maßnahme“ verwendet, da dieser im allgemeinen Sprachgebrauch gängiger für die in der VDI 4800 beschriebenen Sachverhalte ist.

Abbildung 20 zeigt den Katalog der VDI 4800:2016, der im Weiteren als „Maßnahmenkatalog VDI 4800“ bezeichnet wird.

Eine weitere Notwendigkeit für eine terminologische Festlegung ergab sich aus dem nach erster Durchsicht der Fallbeispiele festgestellten Befund, dass die Maßnahmen des Katalogs der VDI 4800 in der Praxis regelmäßig kombiniert und nicht einzeln vorgefunden wurden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch eine frühere Studie zur Ressourceneffizienz im Kontext der Industrie 4.0⁴⁴. Vor diesem Hintergrund wurde für die Kombination von Maßnahmen die Terminologie einer „Praxisanwendung“ übernommen.

Eine Praxisanwendung „bezeichnet die im realen Unternehmen vorgefundene Kombination oder Ausprägung unterschiedlicher Maßnahmen oder Strategien“⁴⁵.

⁴⁴ VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017).

⁴⁵ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017), S. 75.

Nr.	Strategie	Bezug		Einflussnehmer der Akteur im Betrieb				Lebensphasen mit relev. Auswirkungen			Lebensweg-analyse				
		Produkt	Produktion	Produktentwicklung	Fabrikplanung	Arbeitsvorbereitung	Einkauf/Beschaffung	Produktion	Vertrieb	Rohmaterialherstellung	Produktherstellung	Nutzung	Verwertung/Beseitigung	Transport	erforderlich
1	Werkstoffauswahl / Materialsubstitution	•	•	•					•	•	•	•	•		
2	Leichtbauweise	•	•	•					•	•	•	•	•		
3	Beanspruchungsgerechtigkeit und Sicherheit	•	•	•					•	•	•	•	•		•
4	Miniaturisierung	•	•	•					•	•	•	•	•		
5	Fertigungsgerechte Produktgestaltung	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•		
6	Nutzungsgerechte Produktgestaltung	•	•	•					•	•	•	•	•		
7	Verlängerung der technischen Produktlebensdauer	•	•	•					•	•	•	•	•		
8	Verlängerung der Produktnutzungsdauer	•	•	•					•	•	•	•	•		
9	Produkt-Service-Systeme (Dematerialisierung)	•	•	•					•	•	•	•	•		
10	Kaskadennutzung von Produkten	•	•	•					•	•	•	•	•		
11	Reparierbarkeit	•	•	•					•	•	•	•	•		
12	Recyclinggerechte Produktgestaltung	•	•	•					•	•	•	•	•		
13	Bedenungsanleitung mit Hinweisen zum Nutzerverhalten	•	•	•					•	•	•	•	•		•
14	Ressourceneffiziente Gestaltung der Verpackung	•	•	•					•	•	•	•	•		
15	Fertigungsprozessauswahl und Fertigungsprozessoptimierung	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•		
16	Dimensionierung der Fertigungsmittel	•	•	•					•	•	•	•	•		
17	Minimierung des Bearbeitungsvolumens	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•		
18	Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen	•	•	•		•	•		•	•	•	•	•		
19	Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•		
20	Vermindern von geplantem Verlust	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•		
21	Vermindern von geplantem Ausschuss	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•		
22	Vermeiden von Verlust durch Nacharbeit	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
23	Vermeiden von Verlust durch Entsorgung fertiger Produkte	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
24	Vermeiden von Verlust durch Entsorgung eingekaufter Materialien	•	•	•		•	•		•	•	•	•	•		
25	Vermeiden von Verlusten d. unsachgemäße Lagerung/Überlagerung	•	•	•		•	•		•	•	•	•	•		
26	Vermindern des Energieverbrauchs	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
27	Effiziente Energiebereitstellung	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
28	Nutzung von Prozess- und Abwärme	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
29	Effiziente Gebäudeinfrastruktur	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
30	Effiziente Gebäudehülle	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
31	Effiziente Reinigung	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•		
32	Fertigungsprozessbezogene Kreislaufführung	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
33	Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
34	Effizienter Transport	•	•	•			•		•	•	•	•	•		
35	Eindeutige und vollständige Produktdokumentation	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•		
36	Detaillierte Arbeitsanleitungen und geregelte Schichtübergabe	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•		
37	Mitarbeiterqualifikation/Mitarbeiterpotenzial	•	•	•			•		•	•	•	•	•		

Abbildung 20: Maßnahmenkatalog VDI 4800⁴⁶

Überprüfung des Maßnahmenkatalogs VDI 4800 auf Vollständigkeit

Der Maßnahmenkatalog VDI 4800 wurde auf Vollständigkeit hinsichtlich zweier Themengebiete, Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft, überprüft.

⁴⁶ VDI 4800:2016, S. 38 f. Wiedergegeben mit Erlaubnis des Verein Deutscher Ingenieure e.V.

Digitalisierung

In Bezug auf die Fragestellung, ob der VDI-Katalog um eine oder mehrere Maßnahmen aus dem Kontext der Digitalisierung erweitert werden sollte, wurde auf die an der TU Darmstadt vorliegende einschlägige Erfahrung aus anderen Forschungsprojekten zurückgegriffen, insbesondere auf die Studie zur Ressourceneffizienz im Kontext Industrie 4.0⁴⁷. Basierend auf der dort vorgenommenen Literaturlauswertung und den untersuchten Fallbeispielen lässt sich sagen, dass eigenständige Maßnahmen der Digitalisierung für die Ressourceneffizienz nicht identifiziert werden können. Vielmehr stellt sich die Sachlage so dar, dass Maßnahmen der Digitalisierung die Funktion eines Enablers für schon bekannte bzw. im Maßnahmenkatalog VDI 4800 aufgeführte Maßnahmen haben: So führen sie beispielsweise zur Verringerung von Ausschuss in der Produktion oder zur Erhöhung der Energieeffizienz von Maschinen. Aus diesem Grund wird der Maßnahmenkatalog VDI 4800 nicht um Maßnahmen der Digitalisierung erweitert.

Kreislaufwirtschaft

Zur Überprüfung des Themenfelds „Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft“ wurde auf die Definition abfallwirtschaftlicher Maßnahmen in § 6 (1) KrWG zurückgegriffen, die strukturiert wurden in Maßnahmen der Vermeidung im Vorfeld der Entstehung von Abfällen und Maßnahmen der stofflichen Verwertung im Sinne der Schließung von Materialkreisläufen. Als Ergebnis dieser Strukturierung wurden

- I. im Maßnahmenkatalog VDI 4800 schon enthaltene Maßnahmen spezifischer gefasst bzw. in spezifischere Maßnahmen unterteilt:
 - Unterteilung **der Maßnahmen 1 und 18** hinsichtlich der Substitution durch a) erneuerbare Rohstoffe, b) Sekundärrohstoffe
 - Begriffliche Klärung der **Maßnahme 32** zur fertigungsbezogenen Kreislaufführung.

⁴⁷ VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017).

- II. zusätzliche Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft definiert:
- **Maßnahme 38:** Recycling von Produktionsabfällen
 - **Maßnahme 39:** Vermeidung von Abfällen durch innerbetriebliche stoffliche Verwertung

Unter Hinzufügung dieser veränderten und neuen Maßnahmen ergibt sich eine Erweiterung des **Maßnahmenkatalogs VDI 4800**, der für die Auswertung der Fallbeispiele verwendet wurde.

3.3 Ergebnisse der Fallbeispiel-Auswertung

3.3.1 Überblick zur Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse werden zu den Themen Unternehmen, Bewertungsmethode sowie Praxisanwendungen/Maßnahmen geclustert, wie in Abbildung 21 dargestellt.

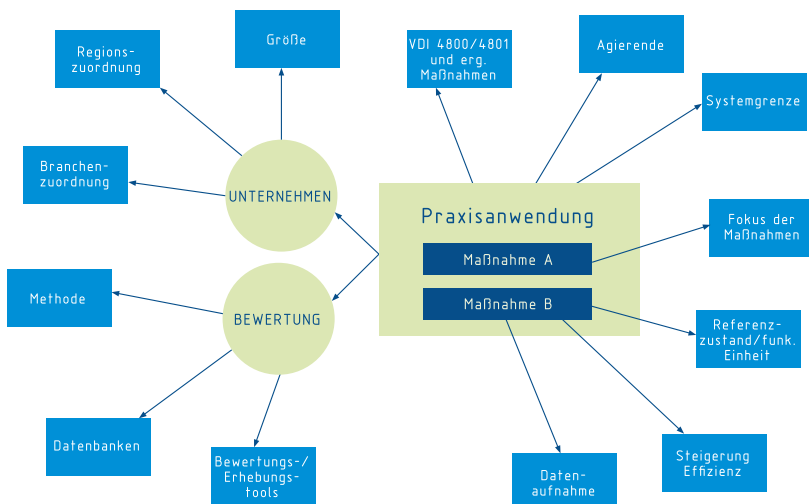
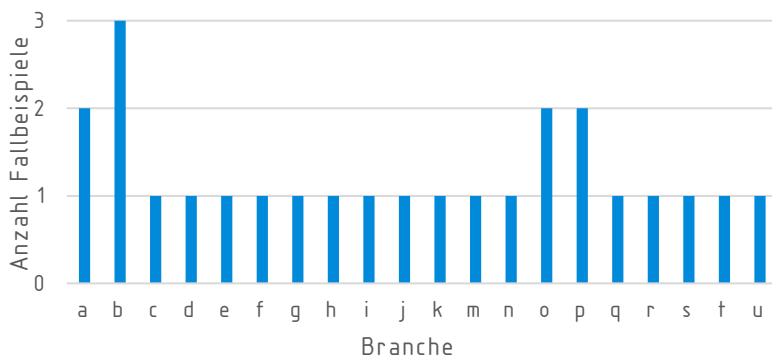


Abbildung 21: Darstellung der Clusterung zu den Themen Unternehmen, Bewertungsmethoden und Praxisanwendungen/Maßnahmen (eigene Darstellung)

Die Darstellung der quantitativen Auswertung findet sich in den folgenden Abschnitten zu den genannten Clustern. Den weiteren Abschnitten lassen sich zusammenfassend weitere qualitative Ergebnisse der Auswertung sowie die Identifikation der Themen für die weitere Methodenentwicklung entnehmen.

3.3.2 Unternehmensbezogene Informationen

Die 25 untersuchten Fallbeispiele können insgesamt 20 unterschiedlichen Branchen zugeordnet werden (Abbildung 22). Aufgrund der breiten Verteilung ist jede Branche nur durch ein oder wenige Fallbeispiele repräsentiert, sodass keine Erkenntnisse zu branchenspezifischen Maßnahmen abgeleitet werden konnten.



- a Chemische Industrie
- b Elektroindustrie
- c Erzeugung und erste Bearbeitung von sonstigen NE-Metallen
- d Fahrzeugbau
- e Feinmechanische Industrie
- f Herstellung von Anstrichen, Druckfarben und Kitten
- g Herstellung von Kunststoffen
- h Herstellung von Metallkonstruktionen
- i Herstellung von Platten, Folien, Schläuchen und Profilen aus Kunststoffen
- j Herstellung von sonstigen Erzeugnissen aus nichtmetallischen Mineralien
- k Lebensmittelherstellung - Kaffee
- m Maschinenbau - Herstellung von Verpackungsmaschinen
- n Maschinenbau - Herstellung bahnförmiger Materialien
- o Metallherzeugung und -bearbeitung
- p Metallverarbeitende Industrie
- q Mineralölverarbeitende Industrie
- r Oberflächenveredelung
- s Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik
- t Rückgewinnung sortierter Kunststoffe
- u Schreibgeräteherstellende

Abbildung 22: Branchenzusammensetzung der ausgewerteten Fallbeispiele (eigene Darstellung)

Die untersuchten Fallbeispiele umfassen kleine, mittlere und große Unternehmen. Als kleines Unternehmen gelten solche, deren Personalzahl <50 ist, als mittlere Unternehmen solche, deren Personalzahl >50 und <250, und als große solche, deren Personalzahl >250 ist. Die Verteilung kann Abbildung 23 entnommen werden. Die Beispiele stammen regional aus den Bundesländern Hamburg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Bayern und Baden-Württemberg.

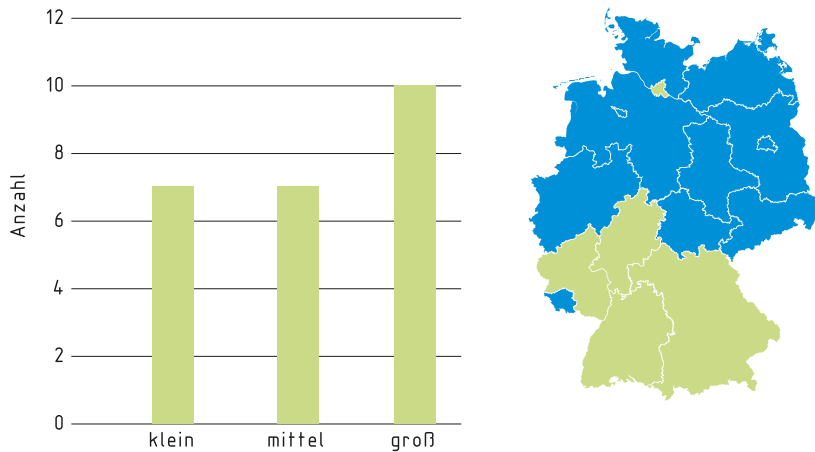


Abbildung 23: Unternehmensgröße und regionale Zuordnung der untersuchten Fallbeispiele (eigene Darstellung)

3.3.3 Bewertungsmethoden

Den Überblick der eingesetzten Bewertungsmethoden zeigt Abbildung 24:

Keine Berechnung	10				
CO ₂ -Berechnungen	15	Anzahl vollständige LCA	4		
		Anzahl unvollständiger CO ₂ -Ermittlung*	11	Nur Energiebezug	4
			Berücksichtigung einzelner Materialien	7	

Identifikation von insgesamt 36 spez. Emissionsfaktoren
 ● energiebezogen (Strom, Erdgas)
 ● Materialien

* (Material/Energiebedarf* spez. Emissionsfaktor aus der Literatur)

Abbildung 24: Überblick eingesetzte Bewertungsmethoden (eigene Darstellung)

In den 25 untersuchten Fallbeispielen erfolgt in 15 Fällen eine Ermittlung der eingesparten CO₂-Emissionen, davon in vier Fällen anhand einer vollständigen Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment, LCA). In den restlichen elf Fällen werden die durch die jeweiligen Maßnahmen hervorgerufenen Einsparungen mithilfe spezifischer Emissionsfaktoren ermittelt. In vier Fällen wird lediglich die durch eine Energieeinsparung erzielte THG-Reduktion berücksichtigt, d. h., die Materialeinsparungen werden hierbei nicht betrachtet. In sieben Fällen wird die erzielte THG-Reduktion durch Materialeinsparung mit Emissionsfaktoren aus der Literatur ermittelt. Die notwendigen Aufwendungen, wie Maschinenbeschaffung, Mehrbedarf an anderen Betriebsstoffen etc., sind größtenteils nicht festgestellt worden und werden dementsprechend nicht mit den erzielten CO₂-Einsparungen gegengerechnet. Insgesamt konnten den Fallbeispielen 36 spezifische Emissionsfaktoren entnommen werden. Davon entfallen neun Emissionsfaktoren auf Strom und sieben auf Erdgas.

Abbildung 25 können die durchschnittlichen in den Fallbeispielen eingesetzten spezifischen Emissionsfaktoren einschließlich ihrer Standardabweichung entnommen werden. Für fünf der neun eingesetzten Emissionsfaktoren sind keine Quellen angegeben, sodass eine Überprüfung der Ursachen der Abweichung nicht möglich ist. Im Fall von Erdgas wurde nicht immer angegeben, ob sich die spezifischen Emissionsfaktoren auf kWh_{el} oder kWh_{th} beziehen.

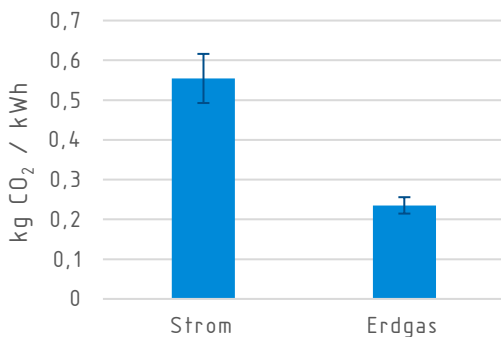


Abbildung 25: Spezifische Emissionsfaktoren Strom und Erdgas (eigene Darstellung)

Emissionsfaktoren für Materialien wurden für 20 verschiedene Materialien angegeben. Die Datenherkunft wurde nur in ca. einem Drittel aller Fälle genannt.

In den Fallbeispielen konnten zwei eingesetzte Tools zur Berechnung der CO₂-Einsparungen identifiziert werden: der vom Infozentrum UmweltWirtschaft Bayern zur Verfügung gestellte Excel[®]-basierte CO₂-Rechner sowie die Berechnungssoftware GEMIS⁴⁸.

3.3.4 Praxisanwendungen und Maßnahmen

Im Rahmen der Untersuchung der 25 Fallbeispiele konnten 42 Praxisanwendungen identifiziert werden. Diese umfassen insgesamt 106 Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz (siehe Abbildung 26).

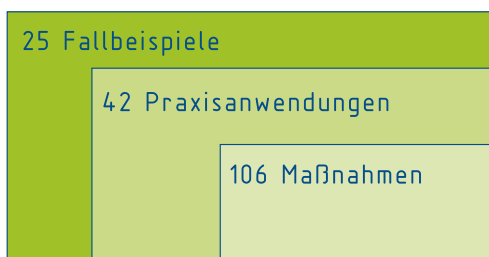


Abbildung 26: Untersuchte Falleispiele, Praxisanwendungen und Maßnahmen (eigene Darstellung)

Im Rahmen der Bewertung, Umsetzung und Identifikation von Material- und Ressourceneffizienzmaßnahmen im Unternehmen sind unterschiedliche Agierende beteiligt. Eine Übersicht kann Tabelle 8 entnommen werden. Die größte Gruppe beteiligter Agierender stellen externe Beraterinnen und Berater dar. Diese waren an 13 der 25 einbezogenen Fallbeispiele beteiligt.

⁴⁸ Vgl. Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021).

Tabelle 8: Beteiligte Agierende

Intern					
Unternehmensführung	FuE	Einkauf	Nachhaltigkeits-/Umweltmanagement	Operativer Bereich	Diverse (ohne konkrete Zuordnung)
3	2	2	1	2	3
Extern					
Liefernde	Kundschaft	Berater	Forschungseinrichtungen	Sonstige	
2	2	13	3	1 (Generalunternehmerinnen und -unternehmer)	

Die Aufteilung der identifizierten Praxisanwendungen erfolgt unterschiedlich. Der größte Anteil entfällt auf prozessbezogene Maßnahmen, knapp die Hälfte sind produktbezogene und knapp ein Drittel organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Ressourceneffizienz (vgl. Abbildung 27).

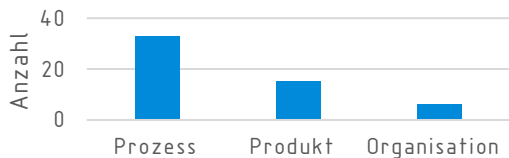
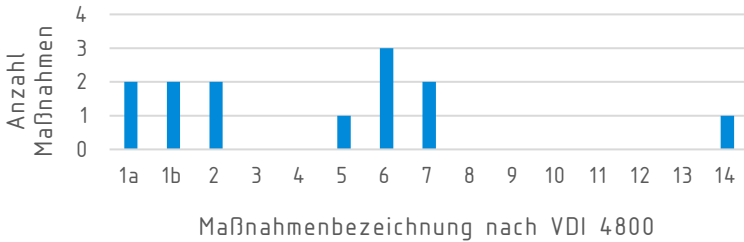


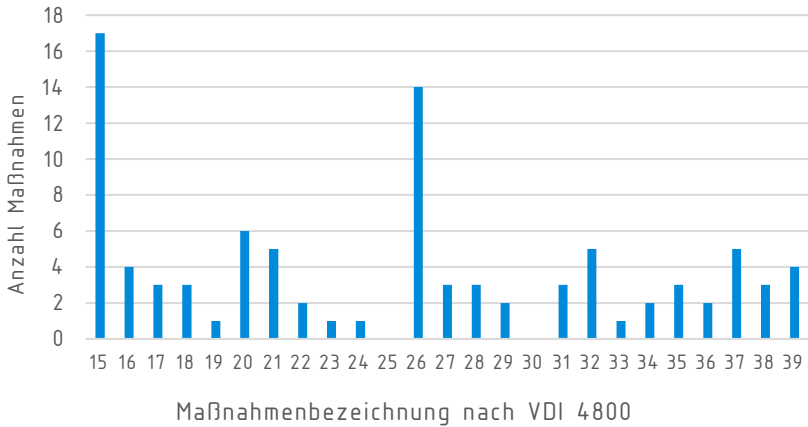
Abbildung 27: Fokus der Praxisanwendungen (eigene Darstellung)

Die Aufteilung der Maßnahmengruppen ist in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellt:



1a	Werkstoffauswahl/Materialsubstitution	8	Verlängerung der Produktnutzungsdauer
1b	Einsatz von Sekundärrohstoffen	9	Produkt-Service-Systeme (Dematerialisierung)
2	Leichtbauweise	10	Kaskadennutzung von Produkten
3	Beanspruchungsgerechtigkeit und Sicherheit	11	Reparierbarkeit
4	Miniaturisierung	12	Recyclinggerechte Produktgestaltung
5	Fertigungsgerechte Produktgestaltung	13	Bedienungsanleitung mit Hinweisen zum Nutzerverhalten
6	Nutzungsgerechte Produktgestaltung	14	Ressourceneffiziente Gestaltung der Verpackung
7	Verlängerung der technischen Produktlebensdauer		

Abbildung 28: Produktbezogene Maßnahmen (eigene Darstellung)



- 15 Fertigungsprozessauswahl und Fertigungsprozessoptimierung
- 16 Dimensionierung der Fertigungsmittel
- 17 Minimierung des Bearbeitungsvolumens
- 18 Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen
- 19 Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung
- 20 Vermindern von geplantem Verlust
- 21 Vermindern von geplantem Ausschuss
- 22 Vermeiden von Verlust durch Nacharbeit
- 23 Vermeiden von Verlust durch Entsorgung fertiger Produkte
- 24 Vermeiden von Verlust durch Entsorgung eingekaufter Materialien
- 25 Vermeiden von Verlusten durch unsachgemäße Lagerung/Überlagerung
- 26 Vermindern des Energieverbrauchs
- 27 Effiziente Energiebereitstellung
- 28 Nutzung von Prozess- und Abwärme
- 29 Effiziente Gebäudeinfrastruktur
- 30 Effiziente Gebäudehülle
- 31 Effiziente Reinigung
- 32 Fertigungsprozessbezogene Kreislaufführung
- 33 Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen
- 34 Effizienter Transport
- 35 Eindeutige und vollständige Produktdokumentation
- 36 Detaillierte Arbeitsanleitungen und geregelte Schichtübergabe
- 37 Mitarbeiterqualifikation/Mitarbeiterpotenzial
- 38 Recycling von Produktionsabfällen
- 39 Vermeidung von Abfällen durch innerbetriebliche stoffliche Verwertung

Abbildung 29: Prozessbezogene und organisatorische Maßnahmen (eigene Darstellung)

Die Anteile der Maßnahmen in kleinen Unternehmen sind in Abbildung 30 dargestellt. Hinsichtlich der Aufteilung der Maßnahmen ist festzuhalten, dass kleine Unternehmen vorzugsweise energiebezogene Maßnahmen durchführen, aber keine produktbezogenen. Dies betrifft vor allem Unternehmen der folgenden Branchen:

- Erzeugung und erste Bearbeitung von sonstigen NE-Metallen
- Herstellung von Anstrichen, Druckfarben und Kitten
- Herstellung von Platten, Folien, Schläuchen und Profilen aus Kunststoffen
- Metallerzeugung und -bearbeitung
- Oberflächenveredelung
- Rückgewinnung sortierter Kunststoffe

Hier ist anzunehmen, dass ein erheblicher Anteil der Unternehmen keine eigene Produktentwicklung vorweist, sondern als Zulieferer bzw. in Lohnfertigung produziert.

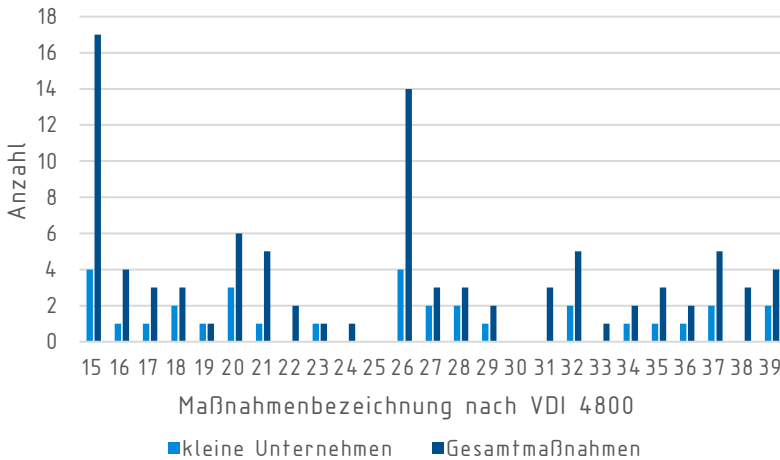


Abbildung 30: Anteil der Maßnahmen in kleinen Unternehmen (eigene Darstellung, Legende in Abbildung 29)

Die Ergebnisse für mittlere Unternehmen sind in Abbildung 31 und Abbildung 32 dargestellt. Diese sind vor allem folgenden Branchen zuzuordnen:

- Chemische Industrie
- Elektroindustrie
- Fahrzeugbau
- Herstellung von Kunststoffen
- Herstellung von Metallkonstruktionen
- Maschinenbau - Herstellung von Verpackungsmaschinen

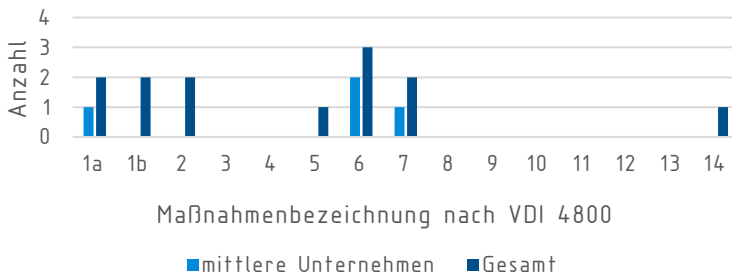


Abbildung 31: Produktbezogene Maßnahmen mittlere Unternehmen (eigene Darstellung, Legende in Abbildung 28)

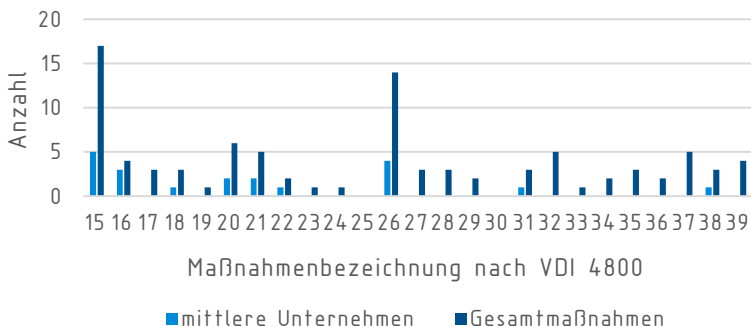


Abbildung 32: Prozessbezogene Maßnahmen mittlerer Unternehmen (eigene Darstellung, Legende in Abbildung 29)

Hier liegt offensichtlich ein Fokus auf Produktinnovationen, die für die Kundschaft zu Einsparungen führen oder durch umweltfreundliche Materialauswahl die Vermarktung erleichtern.

Die Ergebnisse für große Unternehmen sind in Abbildung 33 und Abbildung 34 dargestellt. Diese sind vor allem folgenden Branchen zuzuordnen:

- Chemische Industrie
- Elektroindustrie
- Feinmechanische Industrie
- Lebensmittelherstellung - Kaffee
- Metallerzeugung und -bearbeitung
- Metallverarbeitende Industrie
- Mineralölverarbeitende Industrie
- Schreibgeräteherstellende

Auch hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den mittleren Unternehmen.

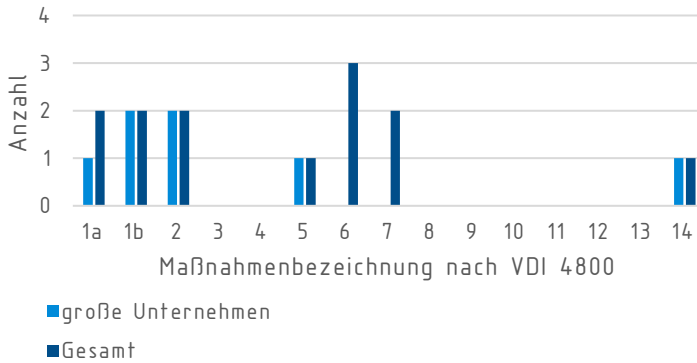


Abbildung 33: Produktbezogene Maßnahmen große Unternehmen (eigene Darstellung, Legende in Abbildung 28)

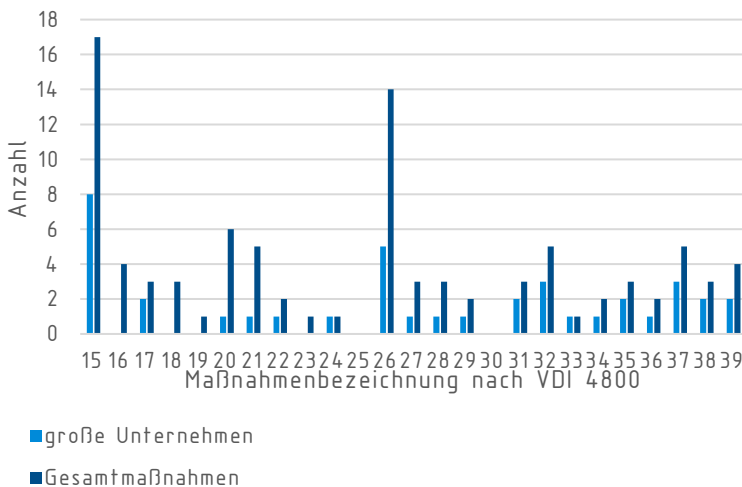


Abbildung 34: Prozessbezogene Maßnahmen große Unternehmen (eigene Darstellung, Legende in Abbildung 29)

3.3.5 Sonstiges

Über die beschriebene quantitative Auswertung hinaus können die folgenden Erkenntnisse qualitativ beschrieben werden.

Überprüft wurde, welche Rolle die Digitalisierung in den Fallbeispielen einnimmt. Hierzu fanden sich u. a. die folgenden Beispiele:

- Einsatz von RFID-Tags zur optimierten Bauteilreinigung,
- programmtechnische Optimierung von Formanordnungen, sodass weniger Verschnitt anfällt,
- Einsatz von Robotern mit optimierten Bewegungsabläufen,
- Zeit-Weg-Optimierung von Logistikprozessen.

Die Maßnahmen zur Ressourceneffizienzsteigerung mithilfe von Digitalisierung werden v. a. durch Optimierungssoftware erreicht. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die kontinuierliche Nachverfolgung von Bauteilen im

Herstellungsprozess, um individuelle bauteilgerechte Produktionseinstellungen vorzunehmen: z. B. Auswahl eines geeigneten Reinigungsprogramms und in Anlehnung an das reinigungsintensivste Bauteil. Insgesamt wird durch die Auswertung bestätigt, dass die Digitalisierung als Enabler nahezu aller Maßnahmen der Ressourceneffizienz eingesetzt werden kann.

Weiterhin wurde der Frage der Erfassung und Aufbereitung von Betriebsdaten („Vordergrunddaten“) nachgegangen. Hierzu fanden sich generell keine verwertbaren Angaben in den ausgewerteten Fallbeispielen.

Das Thema der Steigerung der Effizienz wird textlich in den Fallbeispielen ausführlich beschrieben. Eine Berechnung der „Ressourceneffizienz“ in der Definition der VDI 4800 erfolgt jedoch nicht.

4 ESTEM-BERECHNUNGSVERFAHREN

4.1 Ausgangssituation

Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, liegen zur Bilanzierung von THG-Emissionen umfangreiche Praxiserfahrungen, bewährte Berechnungsverfahren und sogar international gebräuchliche Standards und Normen vor. Trotzdem ist die Bilanzierung im konkreten Fall nicht trivial, und das Ergebnis hängt von zahlreichen Annahmen und Festsetzungen ab. Die wichtigsten Einflussfaktoren werden im Folgenden kurz dargestellt.

4.1.1 Wahl der Systemgrenzen

Bei der Bilanzierung von THG-Emissionen ist entscheidend, auf welches Subjekt sich die Bilanz bezieht (siehe Abbildung 35). Es kann ein einzelner Standort, ein ganzes Unternehmen, ein Produkt oder ein Prozess sein. Bei Materialeffizienz-Maßnahmen, wie sie in der Abbildung 20 aufgeführt sind, bilden sehr unterschiedliche Subjekte den Bezugspunkt. Deshalb hat beispielsweise die VDI 4800 zwischen dem Bezug auf ein Produkt oder die Produktion unterschieden⁴⁹.

Hinzu kommen unterschiedliche Bilanzgrenzen (vgl. Abbildung 35). Sie sind insbesondere im Rahmen des Greenhouse Gas Protocols mit der dortigen Unterscheidung nach Scope 1, Scope 2 und Scope 3 von Bedeutung. Hinsichtlich des Organisationsbezugs ist die einfachste Form eine reine Standortbilanzierung bzw. eine „Gate-to-Gate“-Bilanz. Bei Produkten ist eine Lebenswegbilanz gemäß dem Ansatz „Cradle to Grave“ üblich.

⁴⁹ Vgl. VDI 4800:2016, S. 38.

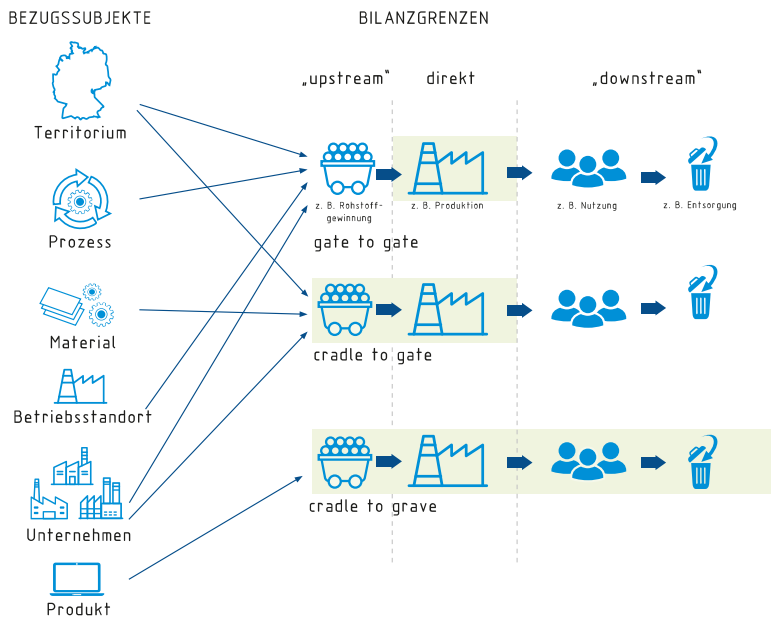


Abbildung 35: Bilanzsubjekte und mögliche Bilanzgrenzen (eigene Darstellung)

Bei der Klimarelevanz von Materialeffizienz-Maßnahmen geht es um eine globale Umweltwirkung. Der Ort der Ursache (z. B. die Produktion eines Produktes) und der Ort ihrer Wirkung sind keine Einheit, fallen für gewöhnlich also nicht zusammen. Deshalb wird bei der Wahl der Systemgrenzen, innerhalb derer die Emissionen zu bilanzieren sind, von einem Lebensweggedanken ausgegangen (siehe Abbildung 36): „Unter System sind alle für diesen Nutzen erforderlichen vor- und nachgelagerten Prozesse inklusive der dazugehörigen Infrastruktur zu verstehen“⁵⁰. Dieses Prinzip ist streng genommen auf alle Bilanzsubjekte anzuwenden, erfordert aber eine sorgfältige Auswahl der Systemteile, die beispielsweise von einer Maßnahme betroffen sind. Damit soll vermieden werden, dass Emissionsminderungen in Systemteilen missinterpretiert und Verlagerungseffekte in andere Systemteile übersehen werden.

⁵⁰ Vgl. VDI 4800:2016, S. 18.

Mit den Auftraggebern des vorliegenden Projekts wurde beschlossen, die Systemgrenzen und das Berechnungsverfahren so zu wählen, dass die durch eine Maßnahme betroffenen THG-Emissionen global erfasst werden, d. h. beispielsweise die Emissionen im Ausland, die durch die Bereitstellung eines Materials erfolgen, bei der Bilanz zu berücksichtigen. Diese Festlegung ist wichtig, damit Minderungspotenziale nicht direkt auf nationale oder regionale Minderungsziele angerechnet werden können, da sich diese Ziele normalerweise auf räumliche Bilanzgrenzen beziehen und ausländische Emissionen nicht berücksichtigen.

4.1.2 THG-Bezugsszenario

THG-Minderungsmaßnahmen erfordern den Bezug zu einer Referenz, mit deren Hilfe die Wirksamkeit bewertet werden kann. Einerseits soll damit die relative Wirksamkeit (also die Minderungsquote der Emissionen) bewertet werden können, andererseits aber auch die absolute Minderungs- menge. Dazu kommt die Zeitdimension, in der die Minderungen betrachtet werden.

Kapitel 3.2.6 des ISO-Standards 14064-2 beschreibt ein Bezugsszenario als den hypothetischen Bezugsfall, „der am besten die Bedingungen darstellt, die beim Fehlen eines vorgeschlagenen Klimaschutzprojekts am wahrscheinlichsten auftreten würden“⁵². Und weiter: „Ein Treibhausgasbezugsszenario kann statisch (während des Projektzeitraums unverändert bleiben) oder dynamisch (veränderlich über den Projektzeitraum) sein.“⁵³ Und: „Bei der Entwicklung des Treibhausgasbezugsszenarios muss der Antragsteller des Projekts die Annahmen, Werte und Verfahren auswählen, die sicherstellen, dass die Reduktionen von Treibhausgasemissionen oder Steigerungen des Entzugs nicht überschätzt werden, [sic!] und diese begründen.“⁵⁴

⁵² ISO 14064-2:2019, S. 20.

⁵³ ISO 14064-2:2019, S. 33.

⁵⁴ ISO 14064-2:2019, S. 33.

Da die Berechnung der Emissionen **E** meistens das Produkt aus den beiden Faktoren Aktivität **A** und Emissionsfaktor **EF** ist, muss die Veränderlichkeit beider Faktoren bei einem Bezugsszenario beachtet werden.

Der Emissionsfaktor bildet in der Regel das technische System ab, also wie viel THG durch eine Anlage pro Nutzeinheit emittiert oder wie viel THG-Emissionen durch die Herstellung einer Material- oder Produkteinheit verursacht werden. Materialeffizienz-Maßnahmen setzen typischerweise an diesem Faktor an und beeinflussen ihn. Dazu kommen externe Einflüsse, beispielsweise wenn sich der Emissionsfaktor für extern bezogenen elektrischen Strom ändert (siehe Abbildung 37).

Es wird davon ausgegangen, dass im Rahmen von Förderprojekten nicht allein die spezifischen Emissionen (pro Nutzeinheit) verringert werden sollen, sondern ein Beitrag zur absoluten Minderung von THG-Emissionen angestrebt wird. Dies wurde mit den Auftraggebern dieses Projekts abgestimmt. Die Emissionen werden deshalb auf einen Bezugszeitraum (z. B. ein Jahr) bezogen. Damit sind auch Veränderungen der Aktivität relevant. So kann beispielsweise die Absatzmenge eines Produktes deutlich zunehmen, möglicherweise sogar als Reboundeffekt der Maßnahme.

Die Annahmen beim Bezugsszenario sollen nach ISO 14064-2 so ausgewählt werden, dass die Reduktionen durch die Maßnahmen nicht überschätzt werden. Geht man von absoluten Emissionsmengen (und nicht von spezifischen) aus, so hat die Aktivität einen entscheidenden Einfluss: Von welchen Absatzzahlen oder Produktionsmengen geht ein Unternehmen aus? Hier müssen Annahmen getroffen und begründet werden, die für längere Zeiträume mit großen Unsicherheiten verbunden sein können. Eine entsprechende Prognose ist aufwendig und hängt von den individuellen Verhältnissen ab, was eine Vergleichbarkeit verschiedener Projekte erschwert.

Eine weitere Schwierigkeit betrifft den Betrachtungszeitraum der Emissionsminderung. In der ISO 14064-2 heißt es hierzu: „Der Treibhausgasbezugszeitraum und der Berichtszeitraum sollten lang genug sein, um sicherzustellen, dass die Variabilität der betrieblichen Abläufe durch das Treib-

hausgasbezugszenario und die Leistungsindikatoren für Projektemissionen berücksichtigt werden.“⁵⁵ Weitere Vorgaben werden nicht gemacht.

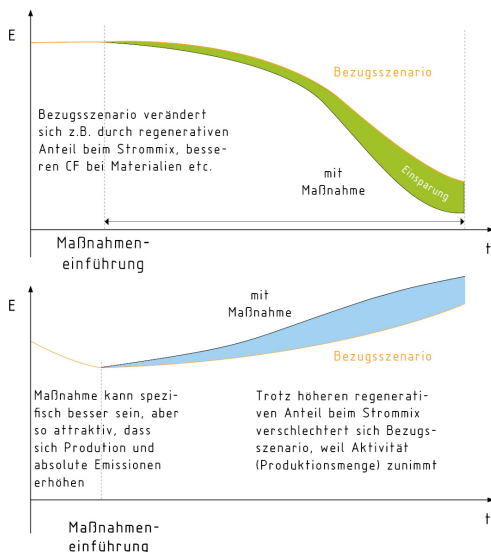


Abbildung 37: Mögliche Verläufe der Emissionen von Bezugsszenario und Maßnahmen-Szenario (eigene Darstellung)

Da bei der Auswahl von Materialeffizienz-Projekten Vergleichbarkeit erforderlich ist und willkürliche Annahmen vermieden werden müssen, gilt es, hier eine einheitliche Vorgabe für einen Betrachtungszeitraum festzulegen

4.1.3 Behandlung der End-of-Life-Phase

Maßnahmen des „End-of-Life“ (EoL) umfassen allgemein solche Maßnahmen, die Änderungen bei der Behandlung von Materialien oder Produkten nach Ende der Nutzungsphase bewirken. Zu unterscheiden ist hier zwischen Maßnahmen, die zwar auf die EoL-Phase einwirken, aber in anderen Phasen des Lebenszyklus von Materialien oder Produkten ansetzen, und Maßnahmen, die erst in der EoL-Phase selbst angewandt werden. Abbil-

⁵⁵ ISO 14064-2:2019, S. 55.

dung 38 stellt diese Unterscheidung graphisch dar und nennt beispielhaft Maßnahmen in den verschiedenen Lebenszyklusphasen.

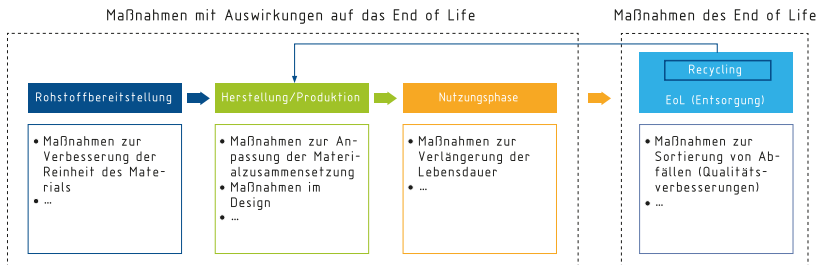


Abbildung 38: Maßnahmen im Lebenszyklus eines Produkts (eigene Darstellung)

Im ersten Fall, der die vorgelagerten Maßnahmen mit Auswirkungen auf das EoL beschreibt, können Produkte beispielsweise in der Entwicklungsphase so konzipiert werden, dass sie langlebiger und reparaturfreundlicher gestaltet werden oder mit verringertem Materialaufwand oder umweltfreundlicheren Rohstoffen hergestellt werden können. Solche Maßnahmen verringern die Menge von Materialien oder Produkten, die nach der Nutzungsphase zu entsorgen sind, oder senken deren gefährliche Umwelteigenschaften.

Im zweiten Fall geht es im engeren Sinn um Maßnahmen der Entsorgung, d. h. um Maßnahmen der Verwertung, Behandlung oder Beseitigung von Abfällen. Sachlich ist dies der Regelungsbereich der Kreislaufwirtschaftsgesetzgebung (KrWG) und die zu entsorgenden Materialien und Produkte haben rechtlich den Charakter von Abfällen. In der Kreislaufwirtschaft setzt die fünfstufige Abfallhierarchie die Prioritäten zwischen vorgelagerten Maßnahmen in der Produktions- oder Nutzungsphase zur Vermeidung von Abfällen und verschiedenen Möglichkeiten der Entsorgung fest. Höchste Priorität hat die Vermeidung, danach folgen in der Priorität zunächst die stoffliche und dann die energetische Verwertung von Abfällen. Nur wenn alle diese Maßnahmen nicht infrage kommen bzw. Gründe des Umweltschutzes oder der wirtschaftlichen Zumutbarkeit vorliegen, dürfen Abfälle beseitigt werden.

In der Ökobilanz und ebenso im ESTEM-Berechnungsverfahren werden die vorgelagerten Maßnahmen, die schon beim Design oder in der Herstellung von Produkten ansetzen, auf der Input-Seite bilanziert. Das bedeutet, es wird in Rechnung gestellt, dass weniger Material in das zu bilanzierende System - im Fall von Hilfs- oder Betriebsmitteln der Betrieb, im Fall von Produkten die gesamte Prozesskette der Herstellung - hineinfließt und sich im gleichen Maße die entstehenden Abfälle verringern. Dies kann bis zu dem Extremfall gehen, dass ein Hilfsstoff für die Produktion völlig vermieden werden kann und gar kein Abfall mehr anfällt. Ein Beispiel hierfür ist die Trockenbearbeitung in der spanenden Fertigung, durch die der Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS) und damit der Anfall gebrauchter KSS-Emulsionen entfällt.

Im Unterschied dazu setzen Maßnahmen des EoL im engeren Sinne dort an, wo Abfall bereits vorhanden ist. Die zentrale Maßnahme ist hier die stoffliche Verwertung, für die im KrWG synonym der Begriff Recycling verwendet wird. Durch Recycling werden Materialkreisläufe in der Wirtschaft geschlossen. Das heißt, Abfälle werden in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt, indem sie aufbereitet und als Sekundärrohstoffe wieder für die Produktion eingesetzt werden. Dieser Fall ist bilanzierungstechnisch komplexer und wird im Folgenden vorgestellt.

Eine generische Darstellung von Materialkreisläufen in der Wirtschaft zeigt Abbildung 39. Diese verdeutlicht - in vereinfachter Weise - die beim Schließen von Materialkreisläufen beteiligten Agierenden auf Seiten der Bereitstellung und Nutzung von Sekundärrohstoffen.

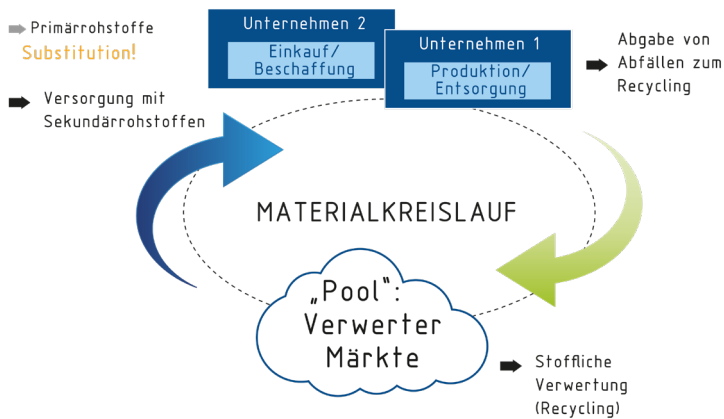


Abbildung 39: Materialkreisläufe in der Wirtschaft (eigene Darstellung)

Es wird deutlich, dass an solchen Materialkreisläufen mehrere Gruppen von Agierenden beteiligt sind. Ein Unternehmen, bei dem Abfälle anfallen, muss diese getrennt erfassen und zielgerichtet an einen Recyclingbetrieb weitergeben. Das Recycling kann mehrere technologische Schritte umfassen, an denen ein oder mehrere Unternehmen der Entsorgungswirtschaft beteiligt sein können. Am Ende steht ein produzierendes Unternehmen, das sich, anstelle der Versorgung mit Primärmaterialien, für den Einkauf von Sekundärmaterialien entscheidet. Nur durch das Zusammenwirken aller dieser Agierenden können Materialkreisläufe letztlich erfolgreich geschlossen werden.

Die Einsparung von Umweltwirkungen wie Treibhausgasen in einem solchen Materialkreislauf, der „Lieferkette für Sekundärrohstoffe“, findet durch den letzten Schritt statt, d. h. durch die Substitution von Primär- durch Sekundärmaterialien. Für die Berechnung der Umweltwirkungen in der Lieferkette müssen zunächst die Aufwendungen für die Herstellung der Primärmaterialien bekannt sein. Da diese durch die Substitution nicht mehr anfallen, werden sie als Einsparungen in Rechnung gestellt. Dies sind die Brutto-Einsparungen, denen die Aufwendungen des Recyclings gegenübergestellt werden. Dazu müssen alle Prozesse des Recyclings sowie die

nötigen Transporte von Materialien berechnet werden. Nach Abzug der Brutto-Einsparungen erhält man die Netto-Einsparungen für den Materialkreislauf. Dieses allgemeine Schema zur Substitution von Primär- durch Sekundärmaterialien findet allerdings nur unter bestimmten Marktbedingungen statt. Bei einer Maßnahme der zusätzlichen Bereitstellung von Sekundärrohstoffen muss auch eine zusätzliche Nachfrage nach Sekundärrohstoffen gegeben sein bzw. darf bei einer Maßnahme der zusätzlichen Nutzung von Sekundärrohstoffen keine Knappheit an Sekundärrohstoffen herrschen.

Im ESTEM-Berechnungsverfahren, das der Bilanzierung von Maßnahmen eines einzelnen Unternehmens dient und nicht auf die Situation der Märkte eingeht, stellen sich hier zwei wesentliche Fragen: 1) Wie hoch sind die Einsparungen der Maßnahmen und 2) welchem innerhalb eines Materialkreislaufs Agierenden soll die durch Substitution entstehende Einsparung zugerechnet werden? Eine grundlegende Konvention der Ökobilanzierung für solche Materialkreisläufe besteht darin, dass keine Doppelzählung erfolgen darf und Flüsse physikalisch korrekt abgebildet werden⁵⁶. Daraus folgt, dass die durch Substitution eingesparte Menge an Umweltwirkungen wie Treibhausgasen nicht jedem der Agierenden zugerechnet werden darf, sondern sie muss entweder auf mehrere aufgeteilt werden oder sie wird genau einem zugerechnet. Für solche Aufteilungen bzw. Zurechnungen gibt es im Bereich der Ökobilanzierung unterschiedliche methodische Ansätze, die Gegenstand von jahrzehntelangen wissenschaftlichen Diskussionen sind, allerdings ohne dass bislang eine allgemeingültige und allseits akzeptierte methodische Festlegung erfolgt wäre.

Im Folgenden werden die wesentlichen Ansätze zum Recycling innerhalb der Ökobilanzierung kurz vorgestellt. Die ausführliche Beschreibung der Methoden und ihre Anwendung in verschiedenen Guidelines ist in Allacker et al. (2017) oder auch Ekvall et al. (2020) zu finden.

⁵⁶ Vgl. Pelletier et al. (2014), S. 396 sowie vgl. Allacker et al. (2014), S. 9.

Cut-off-Ansatz

Ein einfacher und in der Praxis auch häufig verwendeter Ansatz in LCAs ist der sogenannte Cut-off-Ansatz. Dieser Ansatz ist in der ecoinvent-Datenbank in einem Systemmodell umgesetzt und wird ebenfalls nach dem internationalen System der Umweltdeklaration (EPD), dem PAS 2050 und dem Greenhouse Gas Protocol empfohlen. Beim Cut-off-Ansatz wird der Einsatz von Sekundärmaterialien folgendermaßen bilanziert: Das Sekundärmaterial trägt ausschließlich die Umweltwirkungen aus dem vorgelagerten Recyclingprozess, es werden keine Umweltwirkungen aus seinem „Vorleben“, der Primärmaterialbereitstellung⁵⁷, angerechnet. Ob das neue Produkt wieder recyclingfähig ist, wird nicht weiter betrachtet, denn es findet ein Schnitt zwischen dem untersuchten und dem nachfolgenden Lebenszyklus statt.

Der Cut-off-Ansatz, auch Recycled-Content-(oder 100:0-)Ansatz genannt, fördert den Einsatz des Sekundärmaterials, solange das Recycling hierbei eine geringere Umweltwirkung besitzt als die Herstellung des Primärmaterials. Als Folge werden Produkte aus Primärmaterial tendenziell schlechter bewertet, da die Umweltwirkungen der Primärmaterialgewinnung meistens höher liegen. Durch diesen Ansatz wird unter den beschriebenen Prämissen schlussendlich die Verwendung von Sekundärmaterialien gefördert, die Bereitstellung wird nicht honoriert.

Recyclingfähigkeitsansatz

Der Recyclability- (dt. Recyclingfähigkeits-)Ansatz ist häufig in LCA-Studien zu finden, die sich mit dem EoL im engeren Sinne befassen, z. B. in Studien zur verbesserten Sortiertechnik oder zu neuen Recyclingverfahren. In solchen Abfallmanagementstudien wird der Einsatz von Sekundärmaterial häufig gar nicht betrachtet, sondern es wird auf die Bereitstellung von Sekundärmaterial eingegangen, die nach dem Prinzip der Recyclingfähigkeit bilanziert wird: Für den recyclingfähigen Anteil eines Abfalls werden nachfolgende Umweltwirkungen aus dem Recycling berücksichtigt und vermiedene Umweltwirkungen durch vermiedene Primärmaterialbereitstellung gutgeschrieben. Daher reduzieren sich die Umweltwirkungen eines

⁵⁷ Das Primärmaterial trägt somit 100 % der Umweltwirkungen der Primärmaterialherstellung.

recyclingfähigen Materials. Mithilfe dieses Ansatzes werden Umweltwirkungen in den nächsten und letztendlich in den letzten Lebenszyklus verschoben, in dem nur die Beseitigung bleibt. Aus diesem Grund wird der Ansatz auch „Avoided-Burden-“ (dt. vermiedene Belastung) (oder 0:100-)Ansatz genannt.

Mit dieser Methode werden Anreize für die Bereitstellung von Sekundärmaterialien gegeben, da die vermiedenen Umweltwirkungen durch Primärmaterialsubstitution die Gesamtbilanz stark verbessern, teilweise sogar negative Werte zeigen. Die Verwendung von Sekundärmaterial wird nicht gefördert.

50:50-Ansatz

Der 50:50-Ansatz wurde u. a. im Rahmen der ersten Product-Environmental-Footprint-(PEF-)Methode⁵⁸ vorgeschlagen. Mit diesem Ansatz werden die Nutzung und Bereitstellung von Sekundärmaterialien folgendermaßen bilanziert: Sowohl Umweltwirkungen aus dem vor- oder nachgelagerten Recycling als auch die durch Recycling vermiedenen Umweltwirkungen sollen im Verhältnis von 50 : 50 zwischen Bereitstellenden und Nutzenden des Sekundärmaterials aufgeteilt werden.⁵⁹

Bei diesem Ansatz findet somit keine Bevorzugung statt und es wird sowohl das Bereitstellen des Materials als auch der Einsatz des Sekundärmaterials gefördert.

Circular Footprint Formula/„CFF“- (20:80-, 80:20-)Ansatz

Die CFF ist Teil der Vorschläge zur erneuerten PEF-Methodik.⁶⁰ Dieser Ansatz berücksichtigt anstatt der fixen 50:50-Aufteilung Faktoren, die das Verhältnis von Angebot und Nachfrage auf einem Markt widerspiegeln sollen. Hierbei besagt ein niedriger Wert, dass die Nachfrage höher als das Angebot des Sekundärmaterials ist. Ein hoher Wert zeigt wiederum, dass das Angebot höher als die Nachfrage ist. Für die Kategorien Metall, Papier, Plastik, Batterien, Baumaterialien, Glas und Chemikalien wurden bisher als

⁵⁸ European Commission (2013).

⁵⁹ European Commission (2013), S. 84.

⁶⁰ Vgl. Wolf et al. (2019), S. 2.

Default-Werte 0.2, 0.5 und 0.8 ausgegeben. Mithilfe dieser Faktoren wird sowohl das bereitstellende als auch das nutzende Produktsystem anteilmäßig berücksichtigt.

Der CFF-Ansatz bewirkt, dass sowohl die Bereitstellung als auch der Einsatz des Sekundärmaterials abhängig von der Marktsituation und Qualität des Materials gefördert wird.

Allocation-at-the-point-of-substitution-(APOS)-Ansatz

Der APOS-Ansatz stammt ebenfalls aus der weit verbreiteten Datenbank ecoinvent. Die Umweltwirkungen werden mithilfe des Zuteilungsfaktors der Abfallerzeugung dem Recycling und der Beseitigung zugeschrieben. Diese Zuteilung basiert i. d. R. auf dem wirtschaftlichen Wert für ein Produkt und des einsetzbaren Sekundärmaterials.⁶¹ So wird dem abfallerzeugenden Produkt und dem Sekundärmaterial jeweils ein Wert zugewiesen. Parallel hierzu werden die Produktion neuer Produkte und die endgültige Entsorgung jeweils dem Lebenszyklus zugeschrieben, in dem diese erfolgen. Im Gegensatz zum Cut-off-Ansatz wird der größte Teil des Recyclingprozesses hier häufig dem Lebenszyklus zugeordnet, in dem Sekundärmaterial erzeugt wird.

Je nach Zuteilungsfaktor kann das recycelte Material aus diesem Produkt eine größere Umweltwirkung besitzen als z. B. die Primärproduktion. Dies geschieht, wenn die Herstellung und die Nutzung eines Produkts höhere Umweltwirkungen als die Materialbereitstellung haben. Ob nun das Recycling für die Bereitstellung von Sekundärmaterial gefördert wird, ist abhängig von den angenommenen Zuteilungsfaktoren.

Marktmodell-(0:100- oder 100:0)-Ansatz

Während die vorangegangenen Ansätze in der sogenannten attributionellen LCA eingesetzt werden und auf normativer Zuweisung basieren, finden sich im folgeorientierten LCA (c-LCA) Recyclingansätze, die die Auswirkungen einer veränderten Nachfrage oder Bereitstellung von Sekundärrohstoffen unter Berücksichtigung der Marktsituation abbilden. Ob ein 0:100-

⁶¹ Vgl. Weidema et al. (2013), S. 2.

oder 100:0-Ansatz erfolgt, ist somit keine generelle Entscheidung, sondern hängt von der jeweiligen Marktsituation ab. Ein solcher Marktmodell-Ansatz ist ebenfalls in einem Systemmodell in der weit verbreiteten Datenbank ecoinvent enthalten.

Zur Beurteilung der Marktsituation und nachfolgenden Auswahl des Ansatzes werden Daten zum Angebot und zur Nachfrage von Sekundärrohstoffen benötigt. In einem Markt, in dem das Angebot von Sekundärrohstoffen höher als die Nachfrage ist, wird die zusätzliche Nutzung von Sekundärrohstoffen mit dem 100:0-Ansatz abgebildet. In einem Markt, in dem die Nachfrage höher ist als das Angebot, wird diese Situation mit dem Recyclingfähigkeit-Ansatz (0:100) wiedergegeben. Darüber hinaus werden in der Modellierung Marktbeschränkungen berücksichtigt, die beispielsweise dazu führen, dass der Einsatz von Sekundärmaterial zu erhöhter Primärproduktion führen kann. Weitere Erläuterungen zu den Prinzipien der marktbasiernten Modellierung sind in Weidema (2000) oder Schrijvers et al. (2021) zu finden.

Mithilfe des Marktmodell-Ansatzes werden entweder Maßnahmen zur Recyclingfähigkeit des Produkts oder Maßnahmen zum Einsatz von Sekundärmaterial unterstützt. Ist das Angebot von Sekundärrohstoffen höher als die Nachfrage, wird der Einsatz gefördert. Ist die Nachfrage höher als das Angebot, wird die Recyclingfähigkeit von Produkten gefördert. Zur Umsetzung dieses Ansatzes werden zusätzliche Daten über das Unternehmen benötigt, um die Marktsituation zu bestimmen.

Ansatz der Doppelzählung (sog. "Double counting") (100:100-Ansatz)

Mit dem Ansatz der Doppelzählung wird das Prinzip der physikalischen Korrektheit gebrochen. Ziel der Methode ist es, über den Ansatz der Ökobilanzierung hinaus Anreize zur gemeinsamen Erfüllung von Zielen zu schaffen. Hierbei werden jedem bzw. jeder Agierenden die vollen positiven und negativen Umweltwirkungen angerechnet. Dahinter steht die Theorie, dass für das gemeinsame Erreichen der Ziele alle Agierenden eine essenzielle Rolle spielen und ihnen, unabhängig vom konkreten eigenen Beitrag, die gleiche Relevanz zugeordnet wird. Nur durch ein gemeinsames Handeln können die gemeinsamen Ziele erreicht werden. Im Rahmen des Projekts

ESTEM wurde der Fokus auf ökobilanzielle Bewertungsansätze gelegt, sodass dieser Ansatz hier nicht weiter beschrieben wird.

4.1.4 Einfluss der Nutzungsphase von Produkten

In der Nutzungsphase von Produkten können Materialeffizienz-Maßnahmen zwei wesentliche Effekte bewirken:

- (1) Änderung des Ressourcenverbrauchs (Energie, Hilfs- und/oder Betriebsstoffe),
- (2) Veränderung der Nutzungsdauer.

Ein klassisches Beispiel für den ersten Effekt ist die Verringerung des Materialeinsatzes in einem Produkt, das zu einem geringeren Gewicht und somit zu einer Reduktion des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase führt. Weiterhin kann eine Veränderung des Produktdesigns auch eine veränderten Betriebsstoffeinsatz nach sich ziehen, wenn beispielsweise bei Druckern weniger Farbpatronen benötigt werden. Für eine Quantifizierung der damit verbundenen THG-Emissionsminderung müssen Daten aus der Nutzungsphase zur Verfügung stehen, z. B. über die Nutzungsmuster (von Kundinnen und Kunden) und den damit verbundenen Energie- und Betriebsmitteleinsatz.

Eine größere Herausforderung ist die Allokation der Emissionen. Damit ist gemeint, dass im Falle der Herstellung einer Teilkomponente der Beitrag dieser Komponente an der gesamten Emissionsänderung in der Produktnutzungsphase bestimmt werden muss. Als Beispiel kann hier der Beitrag einer Einspritzpumpe an den späteren Emissionen eines Lkws in seiner Nutzungsphase genannt werden. Die Allokation könnte im einfachsten Fall nach Masseanteil oder Wertanteil (der Einspritzpumpe am Lkw) erfolgen. Sinnvoller wäre sicherlich eine funktionale Zuordnung, aus der hervorginge, welchen Beitrag eine Einspritzpumpe zur Energieeinsparung beim Lkw leisten kann. Solche Fragestellungen lassen sich aber mit vereinfachten Bilanzierungsansätzen, zumal auf Materialeffizienz fokussiert, nicht beantworten und erfordern eher detaillierte Ökobilanzen oder zumindest Carbon Footprints.

Die Einbeziehung der Produktnutzungsphase wirft auch die Frage nach dem Bezugspunkt der Emissionsbilanz auf. In produktbezogenen Ökobilanzen oder Carbon Footprints werden die gesamten Umweltwirkungen (bzw. Emissionen) entlang des Produktlebenswegs typischerweise auf die funktionelle Einheit des betrachteten Produkts bezogen, also auf deren Nutzen oder im einfachsten Fall auf die Produkteinheit. Wenn Bilanzen auf einen Zeitraum bezogen sind, müsste mit Einbezug der Nutzungsphase entweder der Zeitraum ausgeweitet werden oder z. B. eine Verrechnung der Emissionen aus der Nutzungsphase auf das Jahr der Herstellung erfolgen. Solche Ansätze sind komplex, müssen fallbezogen gewählt werden und erschweren somit die Vergleichbarkeit verschiedener Materialeffizienz-Maßnahmen.

Der zweite Effekt, die Verlängerung der Nutzungsdauer, kann zum einen zu einer Erhöhung der Gesamtemissionen im Betrieb eines Produktes führen, zum anderen kann die Verlängerung der Nutzungsdauer aber auch Emissionseinsparungen bewirken, die aus der Verschiebung des Lebensendes und somit der zeitlichen Verschiebung der Herstellung eines neuen Produktes resultieren. In Summe müssen dadurch im Zeitverlauf weniger Produkte hergestellt werden, was sich positiv auf die Emissionsbilanz bei der Herstellung auswirkt. Solche Effekte können nur mit komplexen Modellen abgebildet werden, in die Kauf- und Nutzungsverhalten sowie Rückkopplungen auf Angebots- und Nachfragesituationen einfließen. Im Rahmen von Ökobilanzen werden solche Aspekte in sogenannten Consequential LCA behandelt.

4.1.5 Biogene und fossile CO₂-Emissionen

Mit Blick auf die CO₂-Emissionen muss eine Unterscheidung zwischen Kohlenstoff-Quellen fossilen bzw. biogenen Ursprungs, also aus Biomasse, getroffen werden. Wird Kohlenstoff aus Biomasse verbrannt, so wird nur so viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt, wie auch zuvor bei der Photosynthese aus der Atmosphäre aufgenommen wurde. Deshalb werden bei vielen Emissionsbilanzen die Bindung von biogenem Kohlenstoff und dessen Freisetzung als CO₂ vernachlässigt. Dies ist gerechtfertigt, solange dieser Kreislauf über kürzere Zeiten geschlossen ist. Wenn allerdings mehr Biomasse verbrannt als neu erzeugt wird (z. B. durch Abholzung von Regen-

wäldern) oder umgekehrt mehr Kohlenstoff in Biomasse gebunden als verbrannt wird (z. B. durch Maßnahmen der Wiederaufforstung), dann muss der biogene Kohlenstoff mitbilanziert werden.

In diesem Fall schreibt die ISO 14067 vor, dass CO₂ biogenen Ursprungs zusätzlich und getrennt von fossilen CO₂-Emissionen auszuweisen ist: „Wird der biogene Kohlenstoffgehalt eines Produkts berechnet, muss er separat im Bericht zur CFP-Studie dokumentiert werden, er darf jedoch nicht im Ergebnis für den CFP oder den partiellen CFP berücksichtigt werden. Informationen zum biogenen Kohlenstoffgehalt müssen bereitgestellt werden, wenn Studien für den Lebenswegabschnitt „von der Wiege bis zum Werkstor“ vorgenommen werden, da diese Informationen für die übrige Wertschöpfungskette relevant sein können“⁶².

Trotzdem werden auch Materialien oder Produkte aus Biomasse einen Carbon Footprint haben. Er setzt sich aus den fossilen Emissionen zusammen, die mit dem Anbau und der Verarbeitung der Biomasse verbunden sind, sowie aus den Emissionen anderer THG (insbesondere Methan und Lachgas).

4.2 Grundsätze des ESTEM-Berechnungsverfahrens

Folgende Anforderungen ergeben sich für das Berechnungsverfahren:

- **Vergleichbarkeit:** Das Verfahren ermöglicht den Vergleich der eingesparten THG-Emissionen durch Materialeffizienz-Maßnahmen, die in staatlichen Förderprogrammen hauptsächlich von kleinen und mittleren Unternehmen vorgeschlagen werden.
- **Einfachheit:** Das Verfahren ist so einfach, dass es mit vertretbarem Aufwand im Rahmen eines Förderantrags von Antragstellenden (KMU) durchgeführt werden kann.

⁶² ISO 14067:2018, S. 55.

- **Konservativität:** Die Annahmen und schließlich auch die Ergebnisse sind konservativ, d. h., die Einsparmengen werden nicht durch willkürliche Annahmen überschätzt.
- **Standardisierung:** Das Verfahren erfordert ein hohes Maß an Standardisierung, sowohl bzgl. der Berechnungsschritte als auch der zugrundeliegenden Annahmen und verwendeten Daten.

Zu diesem Zweck wurden für die Bereiche **Systemgrenzen, Bezugsszenario, Allokationen und Biogene Emissionen** Verfahrensvorschläge entwickelt, die im Folgenden vorgestellt werden. Sie sind im Excel®-basierten ESTEM-Tool, das im begleitenden Leitfaden beschrieben wird, entsprechend umgesetzt.

Der wesentliche Ansatz, der dem vorgeschlagenen Berechnungsverfahren zugrunde liegt, ist eine Delta-Analyse: Die Antragstellenden werden danach gefragt, welche Änderungen durch ihre vorgeschlagene Materialeffizienz-Maßnahme ausgelöst werden. Dazu wird das System, innerhalb dessen Grenzen die THG-Emissionen bilanziert werden, stark vereinfacht. Es werden strikte Annahmen über den Bezugszeitraum getroffen, um Vergleichbarkeit herzustellen. Ein detailliertes Bezugsszenario entfällt, da nur die Veränderungen betrachtet und die eingesparten THG-Emissionen in der absoluten Summe bewertet werden. Für Recyclingmaßnahmen werden ebenfalls vereinfachende Annahmen getroffen, die leicht zu handhaben sind und Doppelzählungen vermeiden. Die Berechnung der Emissionen erfolgt mithilfe standardisierter Emissionsfaktoren, die von staatlicher Seite aktualisiert vorgegeben werden.

4.2.1 Wahl der Systemgrenzen

Es wurde ein stark vereinfachtes Schema zur Behandlung der Systemgrenzen aufgestellt (siehe Abbildung 40). Die zentrale Annahme ist dabei, dass bei Materialeffizienz-Maßnahmen die emissionsmindernde Wirkung in den meisten Fällen durch eine Veränderung der Materialströme verursacht wird. Wird ein Produkt durch geringeren Materialeinsatz oder Materialwechsel leichter, so äußert sich das beim Material-Input im System (beim Unternehmen), hat aber möglicherweise für die Nutzungs- und Entsorgungsphase ebenfalls eine Bedeutung, die zu berücksichtigen ist. Aller-

dings sind mit diesem Ansatz jene Maßnahmen nicht oder kaum abbildbar, die auf qualitative Änderungen im Produktdesign, im Management oder in der Nutzungsart des Produktes abzielen. Die Quantifizierung der Emissionsminderung solcher Maßnahmen lässt sich jedoch kaum standardisieren und erfordert immer eine ausführliche und individuelle Begründung jenseits dieses standardisierten Berechnungsverfahrens.

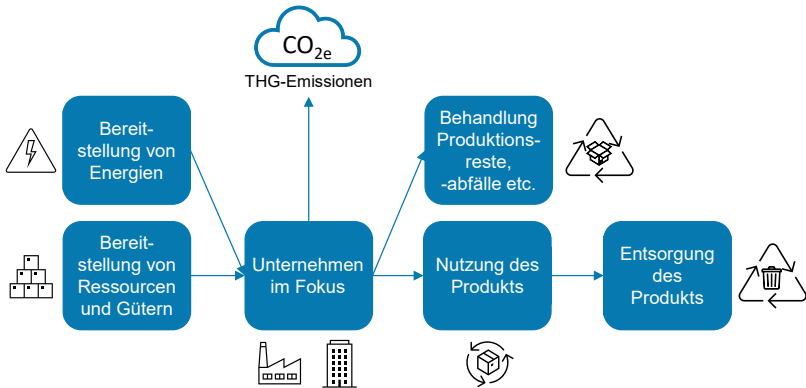


Abbildung 40: Vereinfachter Lebensweg für die ESTEM-Systembetrachtung (eigene Darstellung)

Geht man von einem (beantragenden) Unternehmen aus - wir nennen es hier das fokale Unternehmen -, so treten Emissionen und die entsprechenden Einsparungen direkt beim Unternehmen auf (Scope 1 in der Nomenklatur des Greenhouse Gas Protocol). Hinzu kommen Emissionen der vorgelagerten Prozesse für die Bereitstellung von Materialien, Gütern und Energie oder Energieträgern (Scope 2 und Scope 3 upstream). Diese Emissionen treten aus der Sicht des Unternehmens vorgelagert auf und sind beispielsweise durch den Mengeneinsatz und die entsprechenden Carbon Footprints quantifizierbar. Die Carbon Footprints enthalten dabei implizit die Informationen der Vorkette, sodass diese im Detail nicht weiter analysiert werden müssen.

Schwieriger ist die Handhabung der Emissionen, die aus Sicht des fokalen Unternehmens „downstream“ erfolgen, also in der Nutzungs- und Entsorgungsphase. Hier müssen Annahmen getroffen werden: Produktabsatz-

mengen, Produktnutzungsmuster, Entsorgungs- und Recyclingszenarien usw. Die Bilanzierung von Scope-3-Downstream-Emissionen unterliegt meistens Annahmen und Schätzungen für die Zukunft. Für das vorliegende Berechnungsverfahren wurde mit den Auftraggebern beschlossen, von einer Ceteris-paribus-Annahme auszugehen. Das bedeutet, dass bei Produktionsmengen, zugrunde zu legenden Verfahren und Carbon Footprints von den Zuständen zum Zeitpunkt der Antragstellung ausgegangen wird. Dies gilt beispielsweise auch für die Bereitstellung elektrischen Stroms aus dem nationalen Netz („Strommix“).

Die Anwendenden des Berechnungsverfahrens werden anhand der einzelnen Systemteile gefragt, welche Änderungen durch eine Materialeffizienz-Maßnahme dort jeweils auftreten. Dies erfolgt durch einen Katalog von zehn Fragen, der im ESTEM-Tool auch entsprechend aufbereitet ist.

4.2.2 Delta-Analyse statt Bezugsszenario

Das vorgeschlagene Berechnungsverfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Bezugsszenario nicht explizit erforderlich ist, sondern nur die Änderungen bzw. Minderungen in den absoluten THG-Emissionen gegenüber dem Status quo bilanziert werden. Damit wird implizit ein „statisches Bezugsszenario“ angenommen,⁶³ nämlich ein Einfrieren der aktuellen Emissionswerte, gegenüber denen die Änderung betrachtet wird. Allerdings werden die absoluten Emissionswerte (z. B. eines Unternehmens) nicht erhoben, sondern nur die Änderungen. Deshalb eignet sich diese Methode nicht für die Unternehmensberichterstattung, bei der stets auch die Relevanz einer Maßnahme gegenüber den Gesamtemissionen betrachtet werden sollte. Hier geht es ausschließlich um die Frage, wie hoch die Emissionsminderungen im Rahmen einer Fördermaßnahme im Vergleich von verschiedenen Maßnahmenvorschlägen sind. Deshalb werden auch nur die Minderungsmengen bilanziert. Das vereinfacht das Verfahren erheblich, da weder ein Bezugsszenario noch eine Gesamtbilanz erstellt werden muss.

⁶³ ISO 14064-2:2019, S. 33.

Da das Berechnungsverfahren auf Materialeffizienz-Maßnahmen abzielt, wird die Delta-Analyse im Wesentlichen durch eine Änderung der Aktivität ΔA abgebildet, zu der insbesondere die eingesetzten Materialmengen zählen. Die Emissionsfaktoren EF werden als statisch angenommen und vom Berechnungsverfahren standardisiert vorgegeben. Sie repräsentieren die Vorkette der Materialbereitstellung, aber auch Prozesse aus dem Bereich der externen Energiebereitstellung, der Entsorgung oder des Transports.

Die Änderung der Emissionen ΔE errechnet sich dann als Produkt aus der Änderung der Aktivität ΔA und des Emissionsfaktors EF dieser Aktivität.

Maßnahmen wie die Verringerung des Materialeinsatzes, die Materialsubstitution oder der verstärkte Einsatz von Rezyklaten können durch geeignete Datensätze für die Emissionsfaktoren einfach und standardisiert abgebildet werden. Die Herausforderung liegt darin, hinreichend differenzierte und umfangreiche EF -Datensätze bereitzustellen (vgl. Kapitel 2.2 und 4.4).

Es muss auch die Bezugsgröße festgelegt werden, auf die die THG-Emissionen bzw. die Mengen an geminderten Emissionen bezogen werden. Wenn es sich um Maßnahmen mit konstanter und kontinuierlicher Minderung handelt, ist die Wahl einer Zeiteinheit einfach. Einzig relevant wäre die Frage, wie lang diese Maßnahme wirkt bzw. gegenüber einem (hier nicht angenommenen) Bezugsszenario vorteilhaft wäre. Wird der Zeitraum kurz gewählt, wäre einerseits Vergleichbarkeit gewährleistet und andererseits würden Fehler durch einen zeitlichen Verlauf der Minderungen begrenzt. Deshalb wird hier von einem Jahr als Bezugszeitraum ausgegangen (siehe Abbildung 41 oben).

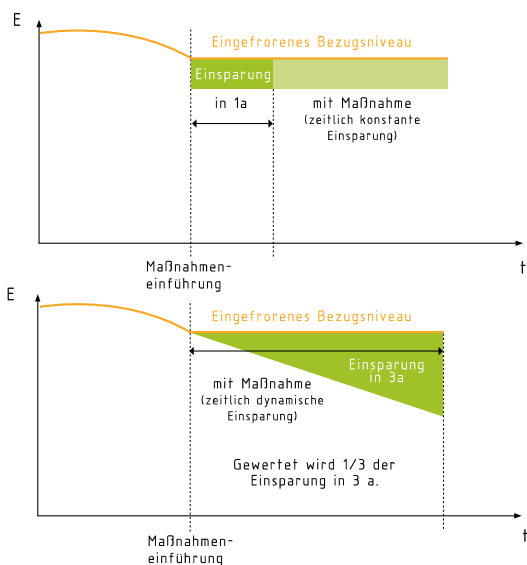


Abbildung 41: Zeitlich konstante (oben) und veränderliche (unten) Emissionsminderung durch eine Maßnahme (eigene Darstellung)

Zeigt eine Maßnahme einen dynamischen Minderungseffekt, bleiben die geminderten Emissionsmengen also zeitlich nicht konstant, kann ein Mittelwert über einen gewissen Zeitraum angenommen werden (Abbildung 41 unten). Den Zeitraum korrekt zu wählen hieße wiederum, ein für die Maßnahme individuelles Bezugsszenario aufzustellen. Stattdessen wird willkürlich ein geeigneter Zeitraum gewählt, der für alle Fälle einheitlich gelten soll. Als geeigneter Zeitraum werden hierfür drei Jahre angenommen, da das auch in der Regel den operativen Planungshorizont vieler Unternehmen abdeckt. Die Bezugsgröße bleibt jedoch ein Jahr.

Wenn eine Maßnahme nicht zu einer kontinuierlichen Emissionsminderung führt, sondern eine einmalige Einsparung darstellt, muss zum Zeitpunkt ihrer Umsetzung eine Vergleichbarkeit mit kontinuierlich wirkenden Maßnahmen hergestellt werden. Auch hier werden als geeigneter Ver-

gleichszeitraum drei Jahre angenommen, d. h., die einmalige Einsparung wird durch 3 geteilt (siehe Abbildung 42).

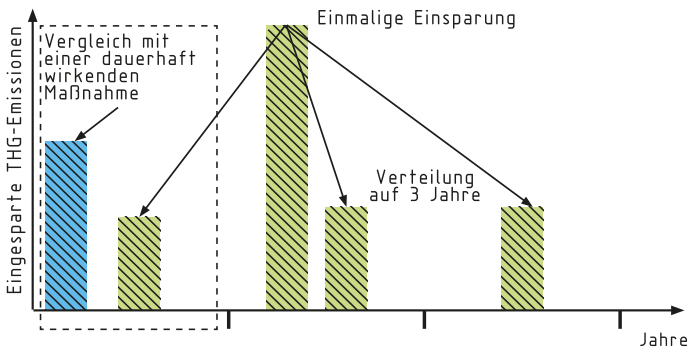


Abbildung 42: Berücksichtigung von einmaligen Einsparungen durch Verteilung auf 3 Jahre (eigene Darstellung)

Zahlreiche Materialeffizienz-Maßnahmen erfordern Investitionen in Anlagen, Transportmittel oder Gebäude. Diese Investitionen verursachen meistens zusätzliche Emissionen, die gegen die Einsparungen aufgerechnet werden müssen. Hierfür wird ein Abschreibungsmechanismus angenommen, wie er bei Investitionen auch betriebswirtschaftlich üblich ist. Das heißt, die zusätzlichen Emissionen einer Investition werden durch die Jahre der Abschreibungsdauer geteilt. Als Abschreibungsdauer wird aus Vergleichsgründen einheitlich eine Zeit von drei Jahren gewählt. Denkbar wären auch längere Abschreibungszeiträume, wie es für verschiedene Investitionen und Branchen nach AfA üblich ist. Es wird jedoch empfohlen, im Zuge des Berechnungsverfahrens einheitlich von drei Jahren auszugehen. Wenn im Einzelfall die Abschreibungszeit einen (zu) großen Einfluss auf das Ergebnis ausübt, so sollte bei einem Förderantrag individuell argumentiert werden.

4.2.3 Behandlung der End-of-Life-Phase

Mögliche Entscheidungskriterien zur Auswahl eines entsprechenden Bilanzierungsansatzes sind unter anderen die **Anwendbarkeit** und die er-

zielte **Steuerungswirkung**, die für die verschiedenen Ansätze ausführlich in Kapitel 4.1.3 beschrieben worden sind.

Da im Rahmen des ESTEM-Projekts vor allem die Anwendbarkeit des Bilanzierungsansatzes wichtig ist, wurde aus pragmatischen Gründen der Cut-off-Ansatz als Methodik ausgewählt. Dieser Ansatz liegt den Datensätzen gängiger Datenbanken zugrunde, die z. B. auch in Listen des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Verwendung finden, und benötigt Daten, die gleichfalls im Rahmen des ESTEM-Berechnungsverfahrens erhoben werden:

Im Zuge dessen werden Maßnahmen einzelner Unternehmen im eigenen Betrieb oder am eigenen Produkt untersucht. Zudem soll eine Einschätzung der Umweltwirkungen - basierend auf bereits zur Verfügung stehenden Daten wie dem GHG Protocol - möglich sein. Dies bedeutet allerdings, dass ein Schnitt erfolgt, sobald das Produkt das Unternehmen verlässt. Es stehen in der Regel keine oder kaum abgesicherte Informationen der nachfolgenden Lebensphasen zur Verfügung und sollten daher zunächst außer Acht gelassen werden. Zudem besitzt das Unternehmen nur einen bedingten Einfluss auf die Entscheidungen nachfolgender Agierender, während es selbst konkrete Handlungen bezüglich seines Inputs und des eigenen Verbrauchs ergreifen kann. Der Cut-off-Ansatz spiegelt genau diese Abgrenzung wider und unterstützt diesen inputorientierten Ansatz.

Praktisch zieht die Anwendung des Cut-off-Ansatzes verschiedene Konsequenzen für eine konsistente Bilanzierung nach sich: Beim Input von Materialien wird zwischen Primär- und Sekundärmaterial unterschieden. Wie oben beschrieben, enthält das Sekundärmaterial keine Umweltwirkungen aus dem früheren Produktleben, sondern nur die Umweltwirkungen des vorgelagerten Recyclings und zur Bereitstellung des Materials. Primärmaterial enthält dagegen keine Gutschriften für mögliche Anteile späteren Material-Recyclings. Setzt sich ein Produkt beispielsweise zu 70 % aus Primärmaterial und zu 30 % aus Sekundärmaterial zusammen, werden die Umweltwirkungen anteilig berechnet und addiert. Somit gilt: Für Abfälle, die am Lebensende recycelt werden können, gibt es keine Gutschriften. Maßnahmen, die in den Bereich des verstärkten Recyclings münden, müs-

sen deshalb auf der Inputseite durch einen entsprechenden Mix von Primär- und Sekundärrohstoffen berücksichtigt werden.

Das ESTEM-Berechnungsverfahren trägt den Anforderungen einer einfachen und standardisierten Berechnung im Bereich des EoL durch die Festlegung auf den Cut-off-Ansatz Rechnung. Damit wird eine Doppelzählung vermieden und diese steht in Übereinstimmung mit einer häufig verwendeten Methodik der Ökobilanzierung, mit der ebenfalls Datensätze in gängigen Datenbanken bilanziert werden. Die Konsequenz dieser Wahl ist, dass Maßnahmen in Materialkreisläufen für die Gruppe von Unternehmen anrechenbar sind, die Sekundärmaterialien einsetzen. Dies steht in Übereinstimmung mit aktuellen Forderungen in der Kreislaufwirtschaft, sich stärker auf die Substitution respektive Substitutionsquoten zu konzentrieren. Trotzdem kann man argumentieren, dass Sekundärmaterial gar nicht erst zur Verfügung stünde, wenn nicht Unternehmen durch Maßnahmen zu betrieblichen Abfällen oder zur Gestaltung ihrer Produkte dafür sorgten, dass Abfälle für das Recycling bereitstehen und somit alle in Materialkreisläufen Agierenden entsprechende Anreize erhalten sollten.

Dafür sind prinzipiell zwei Ansätze denkbar: Zum einen könnte auf methodische Ansätze wie PEF zurückgegriffen werden. Der Vorteil ist hier die Konformität zur Ökobilanzierung, insbesondere durch die Vermeidung von Doppelzählungen. Der größte Nachteil beinhaltet die fehlende Kompatibilität mit existierenden Datenbanken sowie die Komplexität und schwere Vermittelbarkeit des Ansatzes. Zum anderen wäre es im Rahmen von Förderprogrammen grundsätzlich auch denkbar, von der Methodik der Ökobilanz abzuweichen, indem sowohl für Maßnahmen bei abgebenden als auch bei aufnehmenden Unternehmen die Substitutionseffekte voll angerechnet werden. Die dadurch verursachte Doppelzählung kann als ein theoretisch begründeter Anreiz für Einsparungen von Umweltwirkungen wie Treibhausgaseinsparungen interpretiert werden⁶⁴. Die Analyse solcher Anreizsysteme liegt jedoch außerhalb des Untersuchungsrahmens des ESTEM-Projekts und muss letztendlich als Bestandteil politischer Entscheidungen in Förderprogrammen beantwortet werden.

⁶⁴ Vgl. Caro et al. (2013), S. 545 ff.

4.2.4 Einfluss der Nutzungsphase von Produkten

Im ESTEM-Berechnungsverfahren kann die Veränderung der Lebensdauer (vgl. Kapitel 4.1.4) nicht berücksichtigt werden. Es müssten Rückwirkungen der Nutzungsphase auf die Produktionsmenge einbezogen werden, um Minderungseffekte zu ermitteln. Dies ist einerseits sehr schwer nachzuweisen bzw. vorherzusagen. Andererseits werden durch den gewählten Delta-Ansatz nur Änderungen erfasst, nicht aber der komplette Zustand des Gesamtsystems vor und nach der Maßnahmenumsetzung. Da sich die Verschiebung des Lebensendes nicht nur auf die sich ändernden Energie- und Materialströme auswirkt, sondern auf die Emissionsbilanz des gesamten Produktsystems, ist eine Differenzbetrachtung auf Unternehmensebene an der Stelle nicht mehr ausreichend. Es würde stattdessen eine Gesamtbilanz auf Produktebene benötigt.

Die Änderung des Ressourcenverbrauchs (Energie, Hilfs- und/oder Betriebsstoffe) in der Nutzungsphase kann hingegen berücksichtigt werden, wenn entsprechende Daten verfügbar sind.

Für Maßnahmen, die zu Emissionsminderungen in der Produktnutzung führen, muss der Zeitraum festgelegt werden, über den diese Emissionen zu berücksichtigen sind. Bei kurzlebig genutzten Produkten stellt das kein Problem dar, hier kann von einem Bezugszeitraum von einem Jahr ausgegangen werden. Bei längerfristig genutzten Produkten ist das schwieriger. Es wäre möglich, die Einsparungen über die entsprechenden Nutzungszeiten zu summieren. Allerdings müssten dann verlässliche Nachweise über die Produktnutzungszeit erbracht werden. Aus diesem Grund wird bei langlebigen Produkten die Berücksichtigung der Emissionsminderung in der Nutzungsphase von drei Jahren angenommen (siehe Abbildung 43).

Diese Festlegung führt zu einer gewissen Vergleichbarkeit, lässt aber den Einfluss von Maßnahmen, die zu einer längeren Nutzungsdauer von Produkten führen, unberücksichtigt. Wenn der Aspekt der Nutzungsdauer bei einer Maßnahme relevant ist, so sollte dies in einem Förderantrag individuell dargelegt und ausführlich belegt werden.

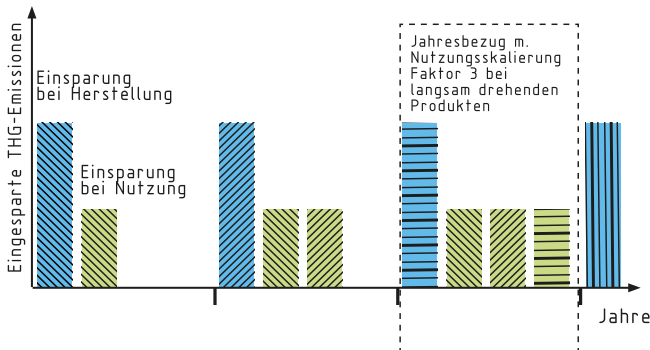


Abbildung 43: Berücksichtigung von Einsparungen bei Nutzung langlebiger Produkte (eigene Darstellung)

4.2.5 Biogene und fossile CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen biogenen Ursprungs werden nicht mitbilanziert. Es werden nur CO₂ aus fossilen Quellen sowie die weiteren Treibhausgase berücksichtigt. Begründet wird das durch die mangelnde öffentliche Verfügbarkeit entsprechender Werte für Materialien und die Gefahr der Fehlinterpretation.

Das heißt nicht, dass Materialien oder Produkte aus Biomasse keinen Carbon Footprint haben. Doch dieser setzt sich aus dem fossilen CO₂ zusammen, das bei dem Anbau und der Verarbeitung der Biomasse emittiert wurde, sowie aus anderen THG.

Im Zuge der Verbrennung von Materialien oder Produkten aus Biomasse sind die entsprechenden CO₂-Emissionen nicht zu berücksichtigen.

Durch diese Festlegung kann mit dem vorgestellten Berechnungsverfahren die Klimarelevanz der langfristigen Speicherung von Kohlenstoff biogenen Ursprungs nicht abgebildet werden (z. B. durch langfristigen Holzeinsatz in Gebäuden oder in hochwertigen Möbeln).

4.2.6 Sonstige wichtige Annahmen

Ein umstrittenes Thema ist die Verwendung von Emissionsfaktoren für elektrischen Strom. Es gibt hier zwei grundsätzliche Möglichkeiten: die Verwendung eines einheitlichen Wertes für die nationale Bereitstellung von elektrischem Strom (nationaler „Strommix“). In ihn fließen die Anteile der verschiedenen Energiequellen mit ein, also aus fossilen, regenerativen und anderen Quellen. Alle Stromverbraucherinnen und -verbraucher werden dann gleichbehandelt. Die andere Möglichkeit besteht darin, von spezifischen Lieferverträgen für elektrischen Strom auszugehen und zu berücksichtigen, wie hoch der jeweilige Anteil an regenerativen Quellen ist. Das würde beispielsweise die Möglichkeit einschließen, „grünen Strom“ entsprechend als klimaneutral o. Ä. mitzubilanzieren.

Für das Berechnungsverfahren wird daher vorgeschlagen, grundsätzlich vom nationalen Strommix auszugehen und hierfür stets die neuesten Emissionsfaktoren zu verwenden, die beispielsweise vom Umweltbundesamt regelmäßig bereitgestellt werden. Nur so sind verschiedene Materialeffizienz-Maßnahmen miteinander vergleichbar. Ansonsten würde nicht der Minderungseffekt der Maßnahme an sich, sondern die Einkaufstrategie von elektrischem Strom bewertet werden.

Gleiches gilt im Übrigen für die monetäre Kompensation von THG-Emissionen. Sie wird bei dem Berechnungsverfahren grundsätzlich nicht berücksichtigt.

4.3 Die ESTEM-Leitfragen

Das ESTEM-Berechnungsverfahren ist so aufgebaut, dass die Anwendenden für die verschiedenen relevanten Systembereiche (vgl. Abbildung 40) nach Änderungen in den jeweiligen Aktivitäten gefragt werden. Dies sind in den meisten Fällen Material- oder Energiemengen, die sich durch eine Materialeffizienz-Maßnahme ändern. Eine Abnahme der Menge wird positiv gezählt, eine Mengenzunahme, die ebenfalls auftreten kann, negativ. Eine Mengenzunahme ist also eine negative Minderung der Menge.

Diese Mengen werden dann mit fest vorgegebenen Emissionsfaktoren multipliziert und ergeben die Emissionsminderungen für den jeweiligen Systembereich. Alle Minderungsbeiträge aus den verschiedenen Systembe-

reichen werden schließlich summiert und führen zu dem Gesamtergebnis für die betrachtete Materialeffizienz-Maßnahme.

Das für die Maßnahme erforderliche Mengengerüst wird durch die Antworten auf die folgenden zehn Leitfragen gefüllt:

- I.** Verändert sich die Menge der für die Produkte bezogenen Materialien?
- II.** Verändert sich die Menge oder Zusammensetzung für im Unternehmen benötigte Betriebsstoffe?
- III.** Verändern sich materielle Kapital- bzw. Investitionsgüter?
- IV.** Verändern sich die für die Energieerzeugung am Standort eingesetzten Mengen oder Arten von Energieträgern?
- V.** Verändern sich direkte, aus einem Prozess resultierende THG-Emissionen?
- VI.** Verändert sich die eingesetzte Menge an bezogener Energie?
- VII.** Verändert sich die Menge der am Lebensende zu entsorgenden Materialien in Produkten oder verändert sich das Entsorgungsverfahren dieser Materialien?
- VIII.** Verändert sich die Menge der anfallenden produktionsspezifischen Abfälle oder deren Entsorgung?
- IX.** Verändert sich in der Nutzungsphase des Produkts der Verbrauch von Betriebsstoffen?
- X.** Verändert sich in der Nutzungsphase des Produkts der Energieverbrauch?

Diese Leitfragen können in dem Excel®-basierten ESTEM-Tool detailliert und standardisiert beantwortet werden. Die Beschreibung des Tools sowie die Handhabung der einzelnen Fragen sind in einem gesonderten Leitfaden enthalten, der auf den methodischen Annahmen dieses Kapitels aufbaut und Teil des Projekts ist.

4.4 Datenherkunft

Die Standardisierung eines Berechnungsverfahrens für die Emissionsminderung durch Materialeffizienz-Maßnahmen - wie überhaupt auch andere entsprechende Emissionsberechnungen - setzt die Verfügbarkeit von

Emissionsfaktoren (oder Carbon Footprints) für Materialien, Energieträger und Prozesse voraus.

Während die Faktoren für die Bereitstellung und Verbrennung von (fossilen) Energieträgern allgemein verfügbar und weitgehend vergleichbar sind⁶⁵, muss für Materialien und andere Prozesse (Entsorgung, Transporte) auf Datenbanken zurückgegriffen werden. Die dort bereitgestellten Daten sind von sehr unterschiedlicher Herkunft und Qualität und können für das gleiche Material sehr stark streuen. Dazu kommt die Notwendigkeit der Aktualität und methodischen Homogenität, wenn sie für ein standardisiertes Verfahren eingesetzt werden sollen.

Überlässt man den Anwenderinnen und Anwendern die Auswahl und den Einsatz der Emissionsfaktoren, so führt das zu einer nicht abschätzbaren individuellen Einflussnahme auf die Ergebnisse des Berechnungsverfahrens. Deshalb sollten im Rahmen eines standardisierten Berechnungsverfahrens auch die zu verwendenden Emissionsfaktoren festgelegt und bestenfalls kostenlos bereitgestellt werden.

Im ESTEM-Tool wurden die wichtigsten Emissionsfaktoren bereitgestellt. Sie sind geschützt und können von Anwendenden nicht verändert werden. Eine Aktualisierung und Erweiterung der Emissionsfaktoren sind möglich. Für die Werte wurde auf folgende Quellen zurückgegriffen:

- **Die ProBas-Datenbank des Umweltbundesamts (UBA 2022):** Sie enthält eine Vielzahl von Faktoren für Materialien und Prozesse und ist öffentlich sowie kostenlos verfügbar. Allerdings sind diese Daten nicht nach gleichen methodischen Verfahren ermittelt, sie sind nicht qualitätsgesichert und werden in weiten Bereichen auch nicht aktualisiert. Es gibt Ausnahmen: So sind beispielsweise die Emissionsfaktoren für Verkehr und Transport von guter Qualität. Auch der Emissionsfaktor für den deutschen Strommix wird regelmäßig und aktuell vom Umweltbundesamt veröffentlicht. Die Schwachstelle bilden hier die Materialien. Es besteht allerdings die Hoffnung, dass die ProBas-Daten in Qualität,

⁶⁵ Vgl. Umweltbundesamt (2016).

methodischer Homogenität, Aktualität und Ausdifferenziertheit verbessert werden.

- **Die sogenannte BAFA-Liste des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA 2021):** Sie enthält eine Liste von ca. 200 Emissionsfaktoren für „Ressourcen“, d. h. für wichtige Materialien und Wirtschaftsgüter. Diese Liste ist eine Auskopplung von aktualisierten Ökopprofilen, die jüngst aus Daten der Ökobilanz-Datenbankecoinvent erstellt wurden. Diese Daten haben den Vorteil, dass sie aktualisiert und qualitätsgesichert sind. Der Nachteil ist ihr begrenzter Umfang. Es besteht die Hoffnung, dass die Liste erweitert wird. Auch die Emissionsfaktoren für den Einsatz von Energieträgern sind dieser BAFA-Liste entnommen und stammen ursprünglich vom Umweltbundesamt.
- Für Investitionsgüter (Maschinen, Anlagen, Fahrzeuge oder Gebäude) wurden Emissionsfaktoren aus volkswirtschaftlichen Input-Output-Analysen verwendet⁶⁶. Die Emissionsfaktoren beziehen sich dann auf den monetären Wert der Güter und werden in kg CO_{2e} pro Euro angegeben.

⁶⁶ Vgl. Schmidt et al. (2021), S. 1698 ff.

5 STAKEHOLDER-EINBINDUNG IN DIE METHODEN-ENTWICKLUNG

Die zentrale Form der Stakeholder-Einbindung waren die Treffen mit den Auftraggebern aus den fünf beteiligten Bundesländern und weiteren Vertreterinnen und Vertretern aus Bundesministerien, des Umweltbundesamts und interessierter Kreise. Während der Projektlaufzeit wurden neun Besprechungstermine mit den Auftraggebern zur Schärfung von Goal & Scope der Methodik durchgeführt.

Daneben wurden zwei Projektworkshops und ein Abschlussworkshop zur Vorstellung der (Zwischen-)Ergebnisse veranstaltet. Der erste Projektworkshop im Januar 2021 befasste sich mit der Evaluation von vorhandenen Methoden und Tools. Der zweite Projektworkshop war der Stakeholder-Dialog-Workshop zur Diskussion der Zwischenergebnisse, insbesondere des vorgeschlagenen methodischen Vorgehens.

5.1 Workshop zur Evaluation von vorhandenen Methoden und Tools

Am 26. Januar 2021 wurde ein Workshop veranstaltet, auf dem die (Zwischen-)Ergebnisse des Projekts vorgestellt wurden. Der Workshop sollte darüber hinaus Anbietern von Analysemethoden, Datenbanken und IT-Tools die Möglichkeit geben, ihre Produkte vorzustellen. Die konzeptionellen Arbeiten zu Bewertungsmethoden, Datenbanken und Tools wurden somit durch die Informationen der Anbieter aus erster Hand ergänzt.

Es wurden jeweils vier Datenbank- und Tool-Anbieter zu einer Kurzpräsentation eingeladen. Die Auswahl der einzuladenden Unternehmensvertreterinnen und -vertreter erfolgte auf Basis eines Bewertungsrasters der Datenbanken und Tools. Maßgeblich waren hierbei die Relevanz der Produkte im jeweiligen Markt und der Innovationsgehalt der Datenbank- bzw. der Toollösung. Die Präsentationen folgten einer fest vorgegebenen Struktur, um eine Vergleichbarkeit der Angaben zu gewährleisten. Neben den Anbietern, dem Projektteam und den Auftraggebern sollten auch weitere Agierende z. B. aus dem Umweltbundesamt (UBA), des Projektträgers Jülich (PtJ), dem BMWi (dem heutigen BMWK) sowie weitere interessierte

Kreise aus den beteiligten Institutionen in begrenztem Umfang teilnehmen können.

Der Workshop hat einen konzentrierten Überblick über die Angebote von Tools und Datenbanken gegeben. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass Ökobilanz-Datenbanken sehr unterschiedlich in Tiefe und Breite sind und dass die Auswahl eines Anbieters von mehreren Kriterien abhängt. Die Datenbank von Carbon minds ist z. B. sehr speziell und dürfte nicht auf alle Bereiche übertragbar sein. Ecoinvent und GaBi sind zwar prinzipiell geeignet, aber derart hoch im Preis, dass der Erwerb von Lizenzen in keinem Verhältnis zur Bilanzierung eines Projekts zur Materialeffizienz stehen würde.

Die Hoffnungen, dass mit der kostenfreien ProBas-Datenbank eine verwendbare Alternative zur Verfügung steht, wurden gemeinhin verworfen. ProBas kann in der jetzigen Form nicht verwendet werden, insbesondere weil eine regelmäßige Datenaktualisierung nicht gewährleistet ist. Die Erstellung und vor allem die regelmäßige Pflege der Datenbanken durch Updates sind mit einem großen Aufwand verbunden. Hier wären eine grundlegende Aktualisierung und Pflege der Daten zwingend erforderlich.

Der Top-down-Ansatz von Input-Output-Modellen könnte zwar eine breitere Nutzung gewährleisten, allerdings hat der Top-down-Ansatz auch Nachteile, wenn technologiespezifische Maßnahmen bewertet werden sollen. Top-down-Ansätze sind hingegen bei der Bewertung von Unternehmen im Scope-3-Bereich sinnvoll, wenn viele Produkte und Vorleistungen betrachtet werden sollen.

Die Synopse der Datenbanken und ein Überblick der Tools haben gezeigt, dass die Qualität der Tools wesentlich von den aus den Datenbanken genutzten Daten abhängt. Das zeigt die Bedeutung der Daten für die Bestimmung der THG-Minderungen.

Es wird daher vorgeschlagen, dass das UBA die ProBas-Datenbank mit jährlich aktualisierten Daten zu den wichtigsten Industriewerkstoffen und Energieträgern ergänzt. Die personellen und finanziellen Ressourcen müssten dazu entsprechend bereitgestellt werden.

Die Wahl der Methode ist entscheidend für die Wahl der Daten, da jede Methode eigene Datenanforderungen hat. In der Diskussion der Methoden hat sich gezeigt, dass es am sinnvollsten ist, die für den Leitfaden zu entwickelnde Methodik auf bestehenden Ansätzen aufzubauen. Bei den Daten ist zwar eine regelmäßige Aktualisierung notwendig, die Methode sollte aber nicht kurzfristig geändert werden.

5.2 Stakeholder-Dialog-Workshop zur Diskussion des vorgeschlagenen methodischen Vorgehens

Am 13. Juli 2021 fand der Stakeholder-Workshop „Ermittlung der eingesparten THG-Emissionen aus Materialeffizienz-Maßnahmen“ statt. Hierbei wurde insbesondere das methodische Vorgehen des ESTEM-Berechnungsverfahrens vorgestellt und diskutiert. Die Diskussion der methodischen und auch praktischen Herausforderungen bei der Bestimmung der vermiedenen THG-Emissionen aus Materialeffizienz-Maßnahmen erfolgte dabei in vier Break-out-Sessions.

Aus den Diskussionen mit den Stakeholdern ergibt sich folgendes Gesamtbild der Statements.

Materialverbrauch wird aus Unternehmenssicht vor allem als Kostenfaktor angesehen. Die Verbindung von Materialverbrauch und THG-Emissionen wird daher dann besonders klar, wenn eine Perspektive zur CO₂-Bepreisung vorhanden ist. Unternehmen wünschen sich hier klare Rahmenbedingungen, um Investitionen tätigen zu können, z. B. in neue Technologien wie „Grünen“ Stahl. Bei klarer Perspektive zur Entwicklung des CO₂-Preises wäre auch ein „interner“ CO₂-Preis ein Hilfsmittel, um Kostenentwicklungen zu antizipieren. Insofern werden z. B. EU Green Deal, EU Taxonomy, Sustainable Products Initiative sowie Science Based Targets Initiative als zukünftige Motivation zur Materialeffizienz angesehen, wobei aus Sicht der Stakeholder auch die aktuelle Politik die Aufmerksamkeit für Materialeffizienz-Maßnahmen erhöht hat. Zudem befeuern aktuelle Materialengpässe die Materialeffizienz und es wird darin eine Risikominimierung gesehen, die auch auf Erfahrungen mit den Auswirkungen der Corona-Krise zurückgeht.

Die Stakeholder sehen als Ziel der Materialeffizienz die Themen **Kostenreduktion, Reduzierung Materialverbrauch/weniger Ausschuss und hochwertige Verwertung von Abfällen**. Vor allem bei Metallen wird die Einsparung von CO₂ als positiver Nebeneffekt angesehen. Über die reine Kostenreduktion hinaus ist bei KMU z. T. eine hohe Eigenmotivation vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Verantwortung vorhanden. Bei Großunternehmen wird das Thema Materialeffizienz als wichtiger für das Marketing betrachtet, insbesondere auch im Hinblick auf die Gewinnung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Als Hemmnisse für Materialeffizienz werden im operativen Bereich die Datenverfügbarkeit, der Aufwand der Datenbeschaffung, fehlende Integration der Datenerfassung im Unternehmen, fehlende Energiemanagement-Systeme und fehlende Manpower genannt. Außerdem wirken die Lieferketten bei Halbfertigprodukten hemmend, da Daten der Zwischenprodukte nicht verfügbar sind. Hier muss dann in kleinen Schritten bei einer Lieferkette anfangen werden, um Verständnis für die großen Aufwände zu schaffen. Außerdem besteht im Bereich Entsorgung die Schwierigkeit der Abnahme von Nebenprodukten aufgrund von Informationslücken. Hier würden Material-börsen helfen, da die Vernetzung zwischen Entsorgungsketten elementar ist.

Die Stakeholder sehen im Verhältnis zwischen Material- und Energieeffizienz einige Synergien. Diese werden vor allem im verarbeitenden Gewerbe verortet, da hier der Materialeinsatz am höchsten ist. Im Unterschied zur Energieeffizienz tragen zu den CO₂-Emissionen von Materialien komplexe Vorketten bei, deshalb muss hier anders gedacht und bilanziert werden. Aus Stakeholder-Sicht erfordert Materialeffizienz ein interdisziplinäres Vorgehen. Dazu müssen in Unternehmen unterschiedliche Abteilungen zusammenarbeiten. Während Energieeffizienz ein Thema des Standortmanagements ist, ist Materialeffizienz eines der Produktentwicklung. Daher wäre es wichtig, Einsparungen durch Prozessoptimierungen, d. h. Erhöhung der Effizienz bzw. Menge von Material, getrennt von den Einsparungen durch den Einkauf von Materialien darzustellen, die mit weniger CO₂-Emissionen hergestellt werden.

Im Hinblick auf den Stand der THG-Bilanzierung in Unternehmen wird folgendes Lagebild von den Stakeholdern charakterisiert. Die Sensibilisierung für das Thema THG-Bilanzierung und -Berichterstattung ist bei Unternehmen vorhanden und die Bandbreite bei der Umsetzung ist groß. Unternehmen starten i. d. R. mit der Bilanzierung von einzelnen Musterprodukten. Erste Schritte erfolgen mit externer Hilfe durch Beraterinnen und Berater sowie Hochschulen. Dabei sind große Unternehmen bei der THG-Bilanzierung meist weiter als kleine. Allerdings scheitert die Bilanzierung von Materialien oft an teuren Datenbanken und ausbaufähigem Know-how.

Der Datenaustausch von THG-Daten in der Lieferkette zwischen Kundschaft und Liefernden ist in Unternehmen noch nicht etabliert und allgemein unzureichend, mit ausländischen Teilen der Vorkette sogar noch schlechter. Der digitale Produktpass und dessen Möglichkeiten sind den Teilnehmerinnen und Teilnehmern nicht bekannt. Wenn Daten aus dem Ausland kommen, erweist sich die Datenqualität als schlechter als bei Daten aus dem Inland. Unternehmensbilanzen im Scope-3-Bereich stellen insbesondere Unternehmen mit komplexen Lieferketten und einer Vielzahl an Vorleistungen daher vor große Herausforderungen.

Bei der Datenerfassung in Unternehmen können ERP-Systeme auch heute schon THG-Daten abbilden, bislang ist das aber noch unüblich. Insofern ist auch eine automatisierte Kennzahlberechnung in der Praxis bisher nicht etabliert. Sofern Kunden THG-Kennzahlen anfordern, wird nicht nach der Datenqualität und Dokumentation gefragt. Es werden Kennzahlen übernommen, egal wie diese zustande gekommen sind. Für viele Unternehmen wäre eine Unternehmensbilanz mit einem Top-down-Ansatz auf Basis von Branchendaten der ökologisch erweiterten Input-Output-Rechnung ein großer Fortschritt, selbst wenn damit nur eine grobe Analyse möglich wäre.

Hinsichtlich der Datenerfassung und des Datenzugangs werden folgende Aussagen von den Stakeholdern gemacht: Unternehmen, insbesondere KMU, sehen sich mit einer hohen Anzahl unterschiedlicher Datenbanken konfrontiert, die teilweise deutliche Kostenfaktoren für die Unternehmen darstellen. Die Auswahl der „richtigen“ Datenbank für die Unternehmenszwecke stellt aufgrund der Vielfalt und fehlenden Expertise oft eine Her-

ausforderung dar. Weiterhin ergibt die Erfassung von Unternehmens- bzw. Primärdaten oft ein Problem, da die Daten oftmals nur Schätzungen sind oder in unterschiedlichen Einheiten vorliegen. Unternehmensberaterinnen und -berater bestätigen die Erfahrungen der Unternehmen. Neben Schwierigkeiten bei der Primärdatenerfassung sind insbesondere die Sekundärdaten eine Herausforderung. Häufig existieren keine passenden Daten, insbesondere wenn viele Halbzeuge im Unternehmen verarbeitet werden. Daten für Spezialmaterialien und -prozesse sind ebenfalls nur sehr schwer erhältlich.

Die verfügbaren Datenbanken werden untereinander als sehr heterogen eingeschätzt. Verwendet man unterschiedliche Datenbanken, generiert man unterschiedliche Ergebnisse. So kann die Reproduzierbarkeit der Bewertungsergebnisse nicht gewährleistet werden. Wenn in Unternehmen aber bereits Ökobilanzen oder Carbon Footprints existieren, gibt es häufig das Problem, dass die verwendeten Daten nicht mehr nachvollzogen werden können. Zudem wird die mangelhafte Aktualität in Datenbanken als problematisch angesehen. So werden insbesondere Daten aus dem Bergbausektor als stark veraltet eingeschätzt, auch in kommerziellen Datenbanken. Ökobilanzen sind daher nur eine mögliche Sichtweise auf einen Prozess und nicht in der Lage, die exakte Realität wiederzugeben. So können Datensätze auch nie exakt sein. Datensätze sollten daher nie nur einen Wert angeben, sondern vielmehr eine Schwankungsbreite.

Wünschenswert wäre daher eine größere Homogenität der Datenbanken. Es wurde der Wunsch nach einer nationalen, öffentlich und frei zugänglichen Datenbank mit Standardfaktoren für die wichtigsten Materialien geäußert. ProBas und GEMIS kommen bei den Anwenderinnen und Anwendern gut an und werden als sehr gelungen eingeschätzt. Allerdings sind jeweils die Zugänge zu den Datendokumentationen und die Aktualität der Datensätze unzureichend. Hier wünscht man sich Aktualisierungen und Verbesserungen.

Unternehmen wünschen sich von ihren Zuliefernden das direkte Mitliefern von CO₂-Werten. Das passiert in der Praxis aber nicht. Gleichzeitig macht die Kundschaft den Unternehmen Druck und fordern ebenfalls CO₂-Werte

für die Produkte. Die Forderung, dass Lieferunternehmen CO₂-Werte mitliefern sollten, kommt auch aus der Forschung und Beratung.

Im Hinblick auf das ESTEM-Berechnungsverfahren und die entsprechende Methodik äußerten die Stakeholder folgende Anforderungen, Herausforderungen und Wünsche.

Anwendbarkeit

Es sollte eine einfache, schnelle, aber trotzdem richtungssichere Maßnahmenbewertung ermöglicht werden, die nicht nur von Profis durchgeführt werden kann, sondern auch von Laien. Die Methode sollte in einem Berechnungstool ausgeführt werden können. Hierbei sollten auch bereits vorhandene Tools auf ihre Anwendbarkeit geprüft werden. Aus Sicht der Behördenvertreterinnen und -vertreter sollten ebenso konkrete Fördervorhaben abbildbar sein. Hier gibt es einen großen Bedarf, der individuell darstellbar sein soll.

Vergleichbarkeit

Es sollte die Effektivität einer Maßnahme im Vergleich zu anderen Maßnahmen der Materialeffizienz in Bezug auf die THG-Vermeidung bewertet werden können. Dazu sollten einheitliche Berechnungs- und Allokationsregeln vorgegeben werden. Entsprechend sollte eine große Bandbreite an Produktionstechnologien und -prozessen sowie der Rezyklateinsatz betrachtet werden können. Dadurch soll letztendlich die Übertragbarkeit von Maßnahmen und deren Effekten sichergestellt werden.

Datenbasis

Die Datenbasis sollte für alle Anwenderinnen und Anwender einheitlich, verlässlich und überprüfbar sein. Dabei sollten auch sektorspezifische Herausforderungen berücksichtigt werden. Idealerweise könnte dies über eine Aktualisierung und Erweiterung der ProBas-Datenbank erreicht werden.

Transparenz und Nachvollziehbarkeit sowie Dokumentier- und Reproduzierbarkeit

Die Anforderungen in diesen Bereichen zielen auf ein verständliches Rechenverfahren, das mit Quellenangaben belegt und „sichtbar“ sein sollte. Die Nachvollziehbarkeit sollte für alle Bilanzierungsschritte vorhanden sein. Entsprechend sollten auch die anzugebenden Informationen einheitlich vorgegeben werden ebenso wie die Informationen zu Vorder- und Hintergrundsystemen.

Mit den Anforderungen gehen zudem Herausforderungen einher, die die Stakeholder in folgenden Bereichen sehen: Die in Unternehmen vorhandenen Informationen müssen mit den Angaben von Lebenszyklus-Datenbanken verbunden werden. Dies kann im Einzelfall schwierig sein, da auch nicht immer klar ist, welche Informationen zum Hintergrundsystem gehören und welche zum Vordergrundsystem. Der Umgang mit Allokationen und Rezyklaten stellt aus Sicht der Stakeholder eine weitere methodische Herausforderung dar. Weiterhin sollten spezifische Daten nach Herkunftsländern verwendet werden und es sollte im Allgemeinen eine einheitliche Datenbasis vorhanden sein. Die alleinige Betrachtung von THG kann in Einzelfällen zu kurz greifen. Hier wäre dann ggf. eine Ökobilanz zur Umweltbewertung erforderlich. Dementgegen könnte die Lebenswegbetrachtung auch im Konflikt mit nationalen Klimaschutzplänen stehen.

Die von den Stakeholdern geäußerten Wünsche und Hinweise wurden weitestgehend bei der Methodenentwicklung des ESTEM-Berechnungsverfahrens entwickelt und führten letztlich auch dazu, dass diese Methode, anders als ursprünglich geplant, in einem eigenen Excel®-Tool umgesetzt wurde.

6 ERPROBUNG DER ESTEM-METHODIK: TOOL-ENTWICKLUNG UND PRAXISBEISPIELE

Das folgende Kapitel soll für exemplarische Fallbeispiele die Anwendung der Methodik veranschaulichen. Dafür werden sechs Fallbeispiele vorgestellt, die mithilfe des ESTEM-Tools bewertet werden. Die Bewertung von Fallbeispielen zeigt aber auch die Grenzen des Berechnungsverfahrens auf, das sich für bestimmte Maßnahmentypen nicht eignet. Die methodischen Annahmen zum ESTEM-Berechnungsverfahren sind im Abschlussbericht des Projekts dokumentiert. Jedes Fallbeispiel soll eine mögliche Anwendung des ESTEM-Tools aufzeigen. Die ursprüngliche Datenbasis beruht auf realen, in Unternehmen umgesetzten Projekten. Diese wurden anonymisiert und teilweise um fehlende Daten ergänzt oder zur Vereinfachung gekürzt. Für jedes Fallbeispiel werden zunächst die Ausgangssituation und die Maßnahme beschrieben. Dann werden die Vorgehensweise der Berechnung und die Ergebnisse vorgestellt. Für keines der Fallbeispiele lagen typische Transportdistanzen vor, weshalb diese in den Berechnungen nicht berücksichtigt wurden.

6.1 Fallbeispiel 1: Leichtbau

Ausgangssituation

Die Firma stellt massivumgeformte Komponenten, u. a. aus Stahl, für den Automobil- sowie Maschinenbau her. Bei der Herstellung von Muttern sind signifikante Gewichtseinsparungen möglich. Die strukturmechanischen Randbedingungen müssen bei der Umsetzung von Maßnahmen eingehalten werden, jedoch können Bauteile, die nicht unmittelbar zur Tragfähigkeit beitragen, reduziert werden.

Beschreibung der Maßnahme

Zur Realisierung einer geometrisch und stofflich optimierten Leichtbaumutter wurde auf ein gesamtheitliches Konzept gesetzt, das die interagierenden Bereiche Werkstoffauswahl, Fertigungsverfahren und Konstruktion kombiniert. Durch den Einsatz mikrolegierter, bainitischer Stahlwerkstoffe kann nun innerhalb der Vormaterialherstellung auf entsprechende Glühbehandlungen zur Einstellung einer hinreichend umformbaren Gefü-

gestruktur verzichtet werden. Außerdem wird beim eigentlichen Produkt, der Mutter, die üblicherweise durchzuführende Wärmebehandlung zur Erzielung definierter Härtewerte obsolet.

Wirkweise/Maßnahmentyp

Hauptmaßnahme ist die Verminderung von Input-Stoffflüssen im Prozess selbst. Es handelt sich um eine kontinuierliche Einsparung. Das bedeutet, dass die Einsparungen jährlich konstant bleiben. Die Maßnahme wirkt sich theoretisch auch auf die Nutzungs- und Entsorgungsphase aus, da die Leichtbaumuttern im Fahrzeugbau eingesetzt werden. Der Effekt ist aber bei dem niedrigen Muttergewicht äußerst gering und wird daher im Weiteren vernachlässigt.

Betroffene Lebenszyklusphasen

Die betroffenen Lebenszyklusphasen sind in Abbildung 44 dargestellt.

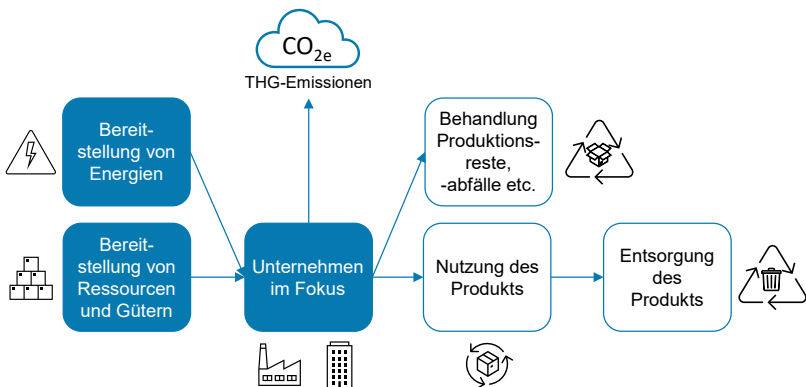


Abbildung 44: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Leichtbau“ (in Blau)

Vorgehen bei der Berechnung

Pro Jahr werden 260 t Elektrostahl (Frage I im ESTEM-Tool), 924 t Wasser (Frage II), 118 MWh Erdgas (Frage IV) sowie 252 MWh Strom (Frage VI) eingespart, diese Einsparungen werden als positive Werte in die Felder bei den jeweiligen Fragen eingetragen und die Materialien im Dropdown-Menü

ausgewählt. Bei der Wahl der Materialien ist darauf zu achten, ob es sich um Primär- oder Sekundärmaterialien handelt.

Ergebnisse

Tabelle 9: Ergebnisse für das Fallbeispiel „Leichtbau“

Maßnahmen	Scope gem. GHG-Protokoll	THG-gem. Emissionen [t CO _{2e}]
I Veränderung der Menge der für die Produkte bezogenen Materialien (z. B. Materialsubstitution, biogene statt fossiler Stoffe, weniger Material, Einsatz von Sekundärmaterialien)	Scope 3.1/3.4	143,21
II Veränderung der Menge oder Zusammensetzung für im Unternehmen benötigte Hilfs- und Betriebsstoffe (z. B. Verpackungen, Öle, Farben, Klebstoffe)	Scope 3.1/3.4	0,30
III Veränderungen bei Kapital- zw. Investitionsgütern (z. B. Maschinen, Fahrzeuge, Gebäude oder Produktionsanlagen)	Scope 3.2	0,00
IV Veränderung der Energieerzeugung am Standort der eingesetzten Mengen oder Arten von Energieträgern	Scope 1, inkl. vorgelag. Scope 3.3-Emissionen	23,72
V Veränderung der direkten, aus dem Prozess resultierenden THG-Emissionen	Scope 1	0,00
VI Veränderung der eingesetzten Menge an bezogener Energie (Strom, Wärme)	Scope 2, inkl. Scope 3.3	122,22
VII Veränderung der Menge an Materialien im fertigen Produkt und somit die Entsorgung am Lebensende	Scope 3.9/3.10/3.12	0,00
VIII Veränderung der Menge oder Zusammensetzung von Hilfs- und Betriebsstoffen sowie Produktionsresten und somit Entsorgung	Scope 3.5/3.10	0,00
IX Veränderung in der Nutzungsphase des Produkts (Verbrauch von Materialien, Hilfs- oder Betriebsstoffen)	Scope 3.10/3.11	0,00
X Veränderung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase des Produkts	Scope 3.9/3.10/3.11	0,00
XI Veränderung in der Transportleistung	Scope 3.4/3.9	0,00
Gesamtsumme		289,45

Insgesamt können durch die Umsetzung der Maßnahme jährlich 289 t CO_{2e} eingespart werden. Der verringerte Energiebezug spart dabei den größten Teil der Emissionen ein (Strom 122 t CO_{2e}/Jahr und Erdgas 24 t CO_{2e}/Jahr). Die Einsparung von Stahl verringert die jährlichen Emissionen um 143 t CO_{2e}/Jahr. Die Gesamtergebnisse, wie aus dem Excel[®]-Tool ausgegeben, sind in Tabelle 9 dargestellt.

6.2 Fallbeispiel 2: Einsatz von Recyclingmaterial

Ausgangssituation

Es handelt sich um eine Firma, die Stifte herstellt. Diese möchte eine nachhaltige Alternative für einen Filzstift entwickeln.

Beschreibung der Maßnahme

Zur Umsetzung der Maßnahme wird ein erhöhter Anteil an Recyclingmaterial für die Hülle des Stifts etabliert. Die Tinte, die Fasermine und andere Materialien bleiben jedoch gleich. Der Filzstift stellt ein alternatives Produkt mit gleicher Funktion zum Standardstift dar. Unter der Annahme der gleichbleibenden Qualität des Materials kann von einem gleichbleibenden Prozess und somit Hilfsstoff- und Energieverbrauch ausgegangen werden. Es werden 87 % des Primärmaterials durch Recyclingmaterial ersetzt. Der Recyclingprozess findet außerhalb des eigenen Unternehmens statt.

Wirkweise/Maßnahmentyp

Die Maßnahme wirkt sich auf die Bereitstellung von Ressourcen aus. Statt Primärmaterial wird Sekundärmaterial verwendet. Dies verursacht geringere Emissionen in der Produktion der Materialien. Die Maßnahme kann sich auch auf die Nutzungs- und Entsorgungsphase auswirken, da beispielsweise die Veränderung des Materials Einfluss auf die Wahl des Entsorgungsweges und die Recyclingfähigkeit haben kann. Zugleich können die veränderten Eigenschaften, z. B. die Lebensdauer des Stifts, beeinflusst werden. In diesem Fallbeispiel wird jedoch von einem gleichbleibenden Entsorgungsweg und keiner veränderten Nutzungsphase ausgegangen.

Betroffene Lebenszyklusphasen

Abbildung 45 zeigt die betroffenen Lebenszyklusphasen für das beschriebene Beispiel.

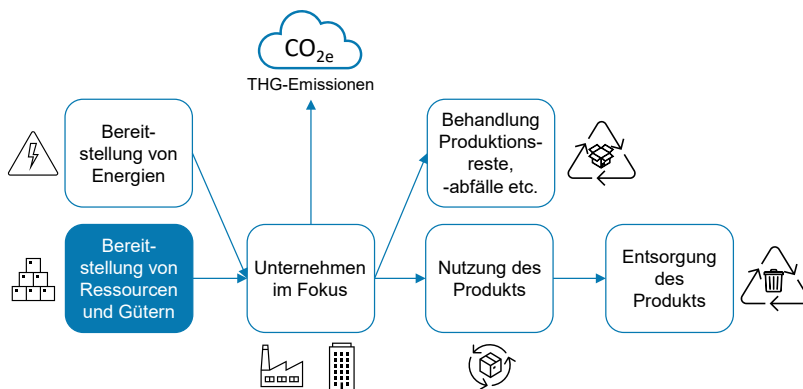


Abbildung 45: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Einsatz von Recyclingmaterial“ (in Blau)

Vorgehen bei der Berechnung

Die zuvor dokumentierten Annahmen, wie beispielsweise die Vereinfachungen in Bezug auf die Nutzung und Entsorgung des Produktes, gelten auch für die folgende Berechnung. Das Gewicht eines Filzstiftes wird mit 10 g angegeben. Hiervon werden 87 % durch das Recyclingmaterial Polyethylenterephthalat (PET) ersetzt. Unter der Annahme, dass 4.687.500 Stifte jährlich produziert werden, können so 40,8 t PP ersetzt werden. Bei der Umsetzung im ESTEM-Tool wird die Reduzierung des Primärmaterials PET von 40,8 t als positiver Wert und der Einsatz des PET-Sekundärmaterials von 40,8 t als negativer Wert bei Frage I angegeben.

Ergebnisse

Durch die Verringerung von Primärmaterial können 78 t CO_{2e}/Jahr eingespart werden, zusätzlich verursacht die Herstellung des recycelten PETs 47 t CO_{2e}/Jahr. Somit wird eine gesamte Einsparung von 31 t CO_{2e}/Jahr erzielt.

6.3 Fallbeispiel 3: Effekt auf Nutzungsphase

Ausgangssituation

Die Firma stellt Verpackungsmaschinen her. Durch die Verbesserung der von der Firma hergestellten Maschinen soll in der Betriebsphase der Maschinen Verpackungsmaterial eingespart werden.

Beschreibung der Maßnahme

Durch die Optimierung der Verpackungsmaschinen soll die Verpackung möglichst effizient hergestellt werden. Es wird Material durch die Optimierung des Verpackungsdesigns oder eine geringere Foliendicke eingespart. Dadurch verringern sich der Materialeinsatz und das Abfallaufkommen in der Nutzungsphase. Durch Energieeffizienzmaßnahmen, wie beispielsweise den Einsatz von servomotorangetriebenen Komponenten statt Druckluft, kann zudem der Energieverbrauch in der Nutzungsphase gesenkt werden.

Wirkweise/Maßnahmentyp

Es handelt sich um eine kontinuierliche Maßnahme, die die Nutzungsphase des Produktes beeinflusst.

Betroffene Lebenszyklusphasen

Zur Vereinfachung und aufgrund einer fehlenden Datenbasis wird in der Berechnung davon ausgegangen, dass sich die Effekte auf die Nutzungsphase beschränken (vgl. Abbildung 46). In der Praxis sollte allerdings geprüft werden, ob durch die Umsetzung der Maßnahme auch andere Lebenszyklusphasen betroffen sind, die in dem Fall in der Berechnung entsprechend berücksichtigt werden sollten.

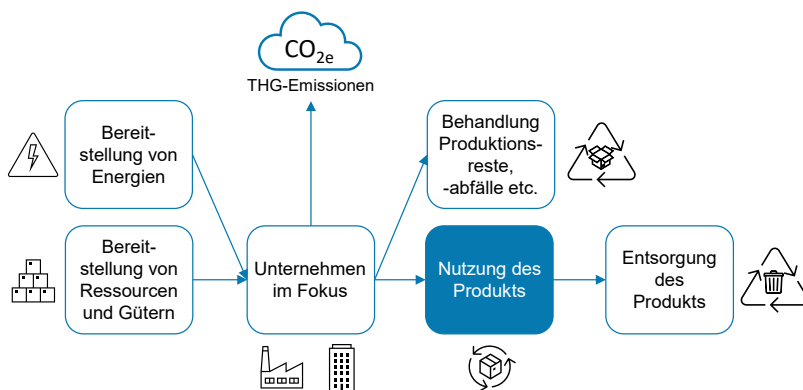


Abbildung 46: Betroffene Lebenszyklusphasen beim Fallbeispiel „Nutzungsphase“ (in Blau)

Vorgehen bei der Berechnung

Durch die Optimierung der Maschine können jährlich 72.800 t PVC als Verpackungsmaterial in der Nutzungsphase der Maschine eingespart werden (Frage IX). Im Betrieb der Maschine werden durch die Reduktion des Druckluftbedarfs jährlich 8,05 MWh Strom eingespart. Dies wird in Frage IX eingetragen. Da es sich um ein langsam drehendes Produkt mit langer Lebensdauer handelt, werden alle Einsparungen mit einem Nutzungsskalierungsfaktor von drei multipliziert.

Ergebnisse

Insgesamt können durch die Umsetzung der Maßnahme jährlich 415.509 t CO_2e eingespart werden. Die Emissionen sind in Tabelle 10 aufgeschlüsselt. Zur transparenten Darstellung werden die Ergebnisse einmal mit und einmal ohne den Nutzungsskalierungsfaktor von drei angegeben.

Tabelle 10: Ergebnisse für das Fallbeispiel „Nutzungsphase“

Frage	Maßnahme	THG-Emissionen [t CO _{2e}] ohne Nutzungsskalierungsfaktor	THG-Emissionen [t CO _{2e}] mit Nutzungsskalierungsfaktor von drei
IX	Veränderung in der Nutzungsphase des Produkts (Verbrauch von Materialien, Hilfs- oder Betriebsstoffen)	138.499	415.497
X	Veränderung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase des Produkts	4	12

Erkenntnisse bezüglich der Anwendung des ESTEM-Tools

Wie anhand des Fallbeispiels verdeutlicht, können gewisse Effekte in der Nutzungsphase, wie z. B. die Änderung des Ressourcenbedarfs, berücksichtigt werden. Maßnahmen, die zu einer Veränderung der Lebensdauer des Produkts führen, können jedoch nicht mit dem Tool abgebildet werden, da hierfür eine Differenzbetrachtung auf Unternehmensebene nicht mehr ausreicht. In dem Fall wird eine ergänzende Gesamtbilanz auf Produktebene benötigt.

6.4 Fallbeispiel 4: Verminderter Materialeinsatz im Prozess

Ausgangssituation

Die Firma stellt Geräteträger her. Die Bauteile der Träger werden mittels Laser aus einer Tafel geschnitten und danach weiterbearbeitet. Aktuell können je Tafel drei Bauteile geschnitten werden. Durch den hauptsächlich manuellen und dadurch nicht optimierten und fehlerbehafteten Prozess entsteht ein Ausschuss von ca. 35 %.

Beschreibung der Maßnahme

Ein verbesserter Laserprozess, der digital gesteuert ist, kommt zum Einsatz. So können mehrere Bearbeitungsschritte gleichzeitig durchgeführt werden. Es können größere Tafeln verwendet werden, wodurch eine optimierte Belegung dieser möglich ist. Zur Optimierung können verschiedene

Aufträge, die dasselbe Material benötigen, kombiniert werden. Dadurch sinkt der Ausschuss und damit die Abfallmenge auf ca. 25 % der Menge vor der Maßnahme. Außerdem sinken der Strom- und der Erdgasverbrauch der Maschine. Zudem wird weniger Stickstoff als Schneidgas verwendet und der Prozess benötigt keinen Sauerstoff mehr. Lediglich der Kompressor braucht nach Umsetzung der Maßnahme mehr elektrische Energie.

Wirkweise/Maßnahmentyp

Durch die Verringerung des Ausschusses wird weniger Material als Input benötigt. Es handelt sich um eine kontinuierliche Maßnahme, die nach der Umstellung jährliche Einsparungen mit sich bringt.

Betroffene Lebenszyklusphasen

Die Maßnahme wirkt sich auf die in Abbildung 47 dargestellten Lebenszyklusphasen aus.

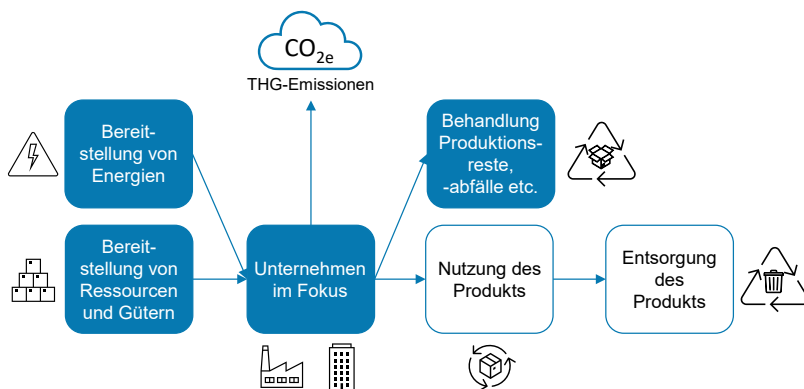


Abbildung 47: Betroffene Lebenszyklusphasen beim Fallbeispiel „Verminderter Materialeinsatz im Prozess“ (in Blau)

Vorgehen bei der Berechnung

Es werden jährlich 15 t Stahl (Frage I), 3,5 t Stickstoff, 0,2 t Sauerstoff (Frage II), 0,04 MWh Erdgas (Frage IV) und 0,2 MWh Strom (Frage VI) eingespart. Diese werden als positive Mengen in die jeweiligen Fragen

eingetragen. Bei der Bewertung des Stroms wird berücksichtigt, dass ein Teil des Stroms in der firmeneigenen Solaranlage erzeugt wird.

Es ist weiterhin zu beachten, dass bei der Quantifizierung von Einsparungen mögliche Mehraufwände berücksichtigt werden und die Gesamtsumme in das Tool eingetragen wird. In diesem Fall wird somit die Summe aus der Stromeinsparung der Maschine und dem erhöhten Stromverbrauch des Kompressors gebildet und im entsprechenden Feld vermerkt.

Außerdem müssen 15 t Stahl weniger entsorgt werden. Stahl wird zur Entsorgung in einen Recyclingbetrieb gegeben. Laut Cut-off-Ansatz ist es deshalb nicht möglich, dem Unternehmen eine Emissionseinsparung durch Verminderung dieser Produktionsabfälle gutzuschreiben. Frage VIII bleibt leer.

Ergebnisse

Insgesamt können durch die Umsetzung der Maßnahme jährlich 33,8 t CO_{2e} eingespart werden. Die Aufteilung der eingesparten Emissionen auf die einzelnen Fragen ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Ergebnisse des Fallbeispiels „Verminderter Materialeinsatz im Prozess“

Maßnahmen	Scope gem. GHG- Protokoll	THG- Emissionen [t CO _{2e}]
I Veränderung der Menge der für die Produkte bezogenen Materialien (z. B. Materialsubstitution, biogene statt fossiler Stoffe, weniger Material, Einsatz von Sekundärmaterialien)	Scope 3.1/3.4	32,73
II Veränderung der Menge oder Zusammensetzung für im Unternehmen benötigte Hilfs- und Betriebsstoffe (z. B. Verpackungen, Öle, Farben, Klebstoffe)	Scope 3.1/3.4	0,88
III Veränderungen bei Kapital- zw. Investitionsgütern (z. B. Maschinen, Fahrzeuge, Gebäude oder Produktionsanlagen)	Scope 3.2	0,00
IV Veränderung der Energieerzeugung am Standort der eingesetzten Mengen oder Arten von Energieträgern	Scope 1, inkl vorgelag. Scope 3.3-Emissionen	0,01
V Veränderung der direkten, aus dem Prozess resultierenden THG-Emissionen	Scope 1	0,00
VI Veränderung der eingesetzten Menge an bezogener Energie (Strom, Wärme)	Scope 2, inkl. Scope 3.3	0,10
VII Veränderung der Menge an Materialien im fertigen Produkt und somit die Entsorgung am Lebensende	Scope 3.9/3.10/3.12	0,00
VIII Veränderung der Menge oder Zusammensetzung von Hilfs- und Betriebsstoffen sowie Produktionsresten und somit Entsorgung	Scope 3.5/3.10	0,00
IX Veränderung in der Nutzungsphase des Produkts (Verbrauch von Materialien, Hilfs- oder Betriebsstoffen)	Scope 3.10/3.11	0,00
X Veränderung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase des Produkts	Scope 3.9/3.10/3.11	0,00
XI Veränderung in der Transportleistung	Scope 3.4/3.9	0,00
Gesamtsumme		33,72

6.5 Fallbeispiel 5: Investitionsmaßnahme

Ausgangssituation

Im Betrieb werden Karosserieteile lackiert. Mehr als die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs für die Herstellung einer Karosserie entfällt auf die Lackierung. Dies ist auf den hohen Energieverbrauch beim Trocknen sowie die Luftventilation zurückzuführen. Außerdem entsteht beim Lackieren Overspray, also Lack, der nicht auf die Karosserieteile fällt. Dieser muss abgeschieden und entsorgt werden.

Beschreibung der Maßnahme

Durch die Investition in ein neues, hochpräzises Lackiersystem soll der Overspray reduziert werden. Dies gelingt durch erhöhte Präzision, einen Lackauftrag, der näher an der zu lackierenden Oberfläche stattfindet, und neue Verfahren (z. B. InkJet-Verfahren). So kann sowohl der Overspray reduziert werden als auch der Ausschuss, der durch fehlerhafte Lackierung entsteht.

Wirkweise/Maßnahmentyp

Es handelt sich um eine einmalige Investition in eine neue Anlage, die sich aber kontinuierlich auf den Betrieb auswirkt. Die neue Anlage verringert den Einsatz von Lackiermitteln und den Ausschuss durch fehlerhafte Lackierung. Dadurch verringern sich der Input an Materialien (Lack und PVC) und die zu behandelnden Produktionsabfälle. Außerdem wird die Wärmebereitstellung im Zuge der neuen Anlage von Heizöl auf Erdgas umgestellt.

Betroffene Lebenszyklusphasen

Die betroffenen Lebenszyklusphasen sind in Abbildung 48 dargestellt.

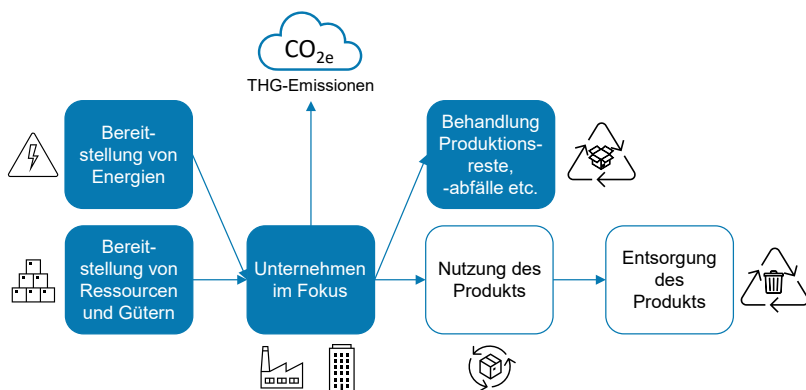


Abbildung 48: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Investitionsmaßnahme“ (in Blau)

Vorgehen bei der Berechnung

Es werden jährlich 4,3 t PVC (Frage I) und 4 t Lack (Frage II) eingespart. Insgesamt kostet die Investition rund 2.300.000 €. Dies wird als negativer Wert bei Frage III eingetragen. Für den Basisfall wird eine Abschreibungsdauer von drei Jahren angenommen. Neben den Materialeinsparungen und Investitionen werden 330 MWh leichtes Heizöl durch 205 MWh Erdgas ersetzt, was bei Frage IV vermerkt wird. Heizöl wird eingespart und deshalb als positiver Wert eingetragen, das zusätzliche Erdgas hingegen wird mit negativem Vorzeichen berücksichtigt. Durch eine verbesserte Energieeffizienz ergeben sich außerdem Einsparungen von 31,8 MWh Strom jährlich (Frage VI). Zudem wird durch die verminderte Menge an PVC auch eine Einsparung der Produktionsabfälle angenommen. Dafür wird in Frage VIII eine eingesparte Menge von 4,3 t Deponie bzw. Hausmüll eingetragen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse für den Basisfall (drei Jahre Abschreibung) sind, so wie sie auch im ESTEM-Tool dargestellt werden, in Tabelle 12 zu finden.

Tabelle 12: Ergebnisse für die Berechnung des Fallbeispiels „Investitionsmaßnahme“ für eine Abschreibungsdauer von drei Jahren

Maßnahmen	Scope gem. GHG-Protokoll	THG-Emissionen [t CO _{2e}]
I Veränderung der Menge der für die Produkte bezogenen Materialien (z. B. Materialsubstitution, biogene statt fossiler Stoffe, weniger Material, Einsatz von Sekundärmaterialien)	Scope 3.1/3.4	8,24
II Veränderung der Menge oder Zusammensetzung für im Unternehmen benötigte Hilfs- und Betriebsstoffe (z. B. Verpackungen, Öle, Farben, Klebstoffe)	Scope 3.1/3.4	7,89
III Veränderungen bei Kapital- zw. Investitionsgütern (z. B. Maschinen, Fahrzeuge, Gebäude oder Produktionsanlagen)	Scope 3.2	-254,53
IV Veränderung der Energieerzeugung am Standort der eingesetzten Mengen oder Arten von Energieträgern	Scope 1, inkl vorgelag. Scope 3.3-Emissionen	46,58
V Veränderung der direkten, aus dem Prozess resultierenden THG-Emissionen	Scope 1	0,00
VI Veränderung der eingesetzten Menge an bezogener Energie (Strom, Wärme)	Scope 2, inkl. Scope 3.3	15,42
VII Veränderung der Menge an Materialien im fertigen Produkt und somit die Entsorgung am Lebensende	Scope 3.9/3.10/3.12	0,00
VIII Veränderung der Menge oder Zusammensetzung von Hilfs- und Betriebsstoffen sowie Produktionsresten und somit Entsorgung	Scope 3.5/3.10	9,44
IX Veränderung in der Nutzungsphase des Produkts (Verbrauch von Materialien, Hilfs- oder Betriebsstoffen)	Scope 3.10/3.11	0,00
X Veränderung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase des Produkts	Scope 3.9/3.10/3.11	0,00
XI Veränderung in der Transportleistung	Scope 3.4/3.9	0,00
Gesamtsumme		-166,96

Die Aufteilung zeigt, dass durch die hohen CO₂-Emissionen, die durch den Bau der Anlage entstehen, insgesamt negative Einsparungen erzielt werden. Die Maßnahme verursacht also zusätzliche jährliche Emissionen.

Ohne die Berücksichtigung der Investitionsmaßnahme würden sich positive Einsparungen von rund 88 t CO_{2e} ergeben. In Verbindung mit den Emissionen für die Anschaffung der Anlage kann daraus die Amortisationszeit

berechnet werden, also die theoretische Abschreibungsdauer, welche zu positiven jährlichen Einsparungen führt. Diese liegt bei 8,7 Jahren.

6.6 Fallbeispiel 6: Kreislaufwirtschaftliche Maßnahme

Kaffeestäube werden in der Regel als produktionsspezifische Abfälle entsorgt. Das Unternehmen plant eine neue Pelletieranlage, um die Umleitung des Materialflusses in ein hochwertiges Produkt, einen organischen Dünger, zu ermöglichen. Der zu behandelnde Staub enthält zerkleinerte Kaffeehütchen der Kaffeebohne und wird durch eine Windsichtung in die Grob- und Feinstaubanteile aufgetrennt. Die Feinstaubfraktion wird durch eine Siebung von Kunststoffäden der Kaffeesäcke befreit und anschließend in einem Mischer homogenisiert. Der homogene Staub wird anschließend pelletiert und in einem Außensilo für den Abtransport gelagert. Die Pelletieranlage ersetzt zusätzlich den Presscontainer für die Entsorgung. Der Einsatz dieser Pellets ist als Dünger geplant und kann auch als nachwachsender Brennstoff eingesetzt werden.

Wirkweise/Maßnahmentyp

Das Ergebnis der Maßnahme ist eine hohe Abfallvermeidung beim Unternehmen verbunden mit einer Veränderung des Ressourcen- und Energieeinsatzes im Recyclingprozess der Pelletieranlage und des Windsichters.

Erkenntnisse bezüglich der Anwendung des ESTEM-Tools

Aufgrund des Cut-off-Ansatzes beim ESTEM-Tool werden die Einsparungen, die nun außerhalb des Unternehmens durch die Substitution von Dünger erfolgen, nicht betrachtet. Die Einsparungen würden bei einem anderen Unternehmen auftreten, das auf der Inputseite alternativ die Pellets als Dünger einsetzt. Somit verursacht die Behandlung der Produktionsreste beim produzierenden Unternehmen nur zusätzliche Emissionen. Erst wenn die Systemgrenzen erweitert werden, könnte der positive Beitrag zur Emissionsminderung dargestellt werden.

Dies ist ein Fallbeispiel, das durch das einfache ESTEM-Berechnungsverfahren nicht abgedeckt wird. In diesem Fall wären eine ausführliche Beschreibung und Begründung der Maßnahmen jenseits der Anwendung des

ESTEM-Tools erforderlich. Solche Fälle sind sinnvollerweise mit einer ausführlichen LCA- oder CF-Analyse zu behandeln.

6.7 Schlussfolgerungen aus den Fallbeispielen

Bei den Fallbeispielen handelt es sich um beispielhafte Maßnahmen, die verschiedene Maßnahmentypen abdecken. Tabelle 13 gibt eine Übersicht über die Beispiele aus dem Leitfaden.

Tabelle 13: Überblick über die fünf Fallbeispiele, die von der Methode abgedeckt werden

Titel des Fallbeispiels	Kurzbeschreibung	Auswirkungen auf Lebenszyklusphasen
Fallbeispiel 1: Leichtbau	Verminderung von Input-Stoffflüssen im Prozess selbst durch die Herstellung einer Mutter mit geringerem Gewicht.	Bereitstellung von Energien, Ressourcen und Gütern; Unternehmen im Fokus
Fallbeispiel 2: Einsatz von Recyclingmaterial	Statt Primärmaterial wird Sekundärmaterial zur Herstellung eines Stiftes eingesetzt.	Bereitstellung von Ressourcen und Gütern
Fallbeispiel 3: Effekt auf Nutzungsphase	Herstellende von Verpackungsmaschinen optimieren die Nutzungsphase der hergestellten Maschinen. Dadurch sinkt der Ressourcen- und Energieverbrauch in der Nutzungsphase.	Nutzung des Produktes
Fallbeispiel 4: Verminderung von Input-Stoffflüssen im Prozess selbst	Durch die Optimierung eines Laserprozesses wird weniger Input-Material benötigt. Außerdem muss weniger Abfall durch Verschnitt entsorgt werden.	Bereitstellung von Energie, Ressourcen und Gütern; Unternehmen im Fokus, Behandlung Produktionsreste, -abfälle, etc.
Fallbeispiel 5: Investitionsmaßnahme	Investition in neue Lackieranlage, die den Einsatz von Lack reduziert.	Bereitstellung von Energie, Ressourcen und Gütern; Unternehmen im Fokus, Behandlung Produktionsreste, -abfälle, etc.

Größte Schwierigkeit bei der Bewertung der Fallbeispiele war die fehlende bzw. unklare Datenlage. Die ursprüngliche Datenbasis beruht auf realen, in Unternehmen umgesetzten Maßnahmen. Diese wurden anonymisiert und teilweise um fehlende Daten ergänzt oder zur Vereinfachung gekürzt. Für Unternehmen, die die Bewertung ihres eigenen Projekts mithilfe des Tools durchführen, sollte es jedoch einfacher sein, die dafür benötigten Daten zu akquirieren, denn durch die gezielten Fragen kann schnell bestimmt wer-

den, welche Daten in welcher Form noch abgefragt oder erhoben werden müssen.

Die Anwendung der Methodik auf die Fallbeispiele verdeutlicht zudem, dass die Bereitstellung von Emissionsfaktoren unabdingbar für eine einfache und konsistente Bewertung von Maßnahmen ist. Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, wird mit dem Tool eine Datenbasis für sehr viele Materialien und Energieträger geliefert. Außerdem können fehlende Emissionsfaktoren nachträglich im Tool ergänzt werden.

Es zeigte sich zudem, dass die Bewertung der nachgelagerten Phasen (Nutzung und Entsorgung) deutlich komplizierter ist. Das wird insbesondere am Fallbeispiel „Effekt auf Nutzungsphase“ erkennbar. Hier müssen viele Annahmen bezüglich der Einsparungen getroffen werden, da das Unternehmen diese nur bedingt beeinflussen kann und lediglich begrenzten Einblick in die Daten der Nutzungsphase hat. Zudem wurde bei der Auswahl und Bewertung der Fallbeispiele noch einmal deutlich, dass mit dem ESTEM-Berechnungsverfahren nicht alle Maßnahmentypen, die die Nutzungs- bzw. Entsorgungsphase betreffen, abgedeckt werden können (vgl. Kapitel 4.2.3 und 4.2.4).

Bei der Bewertung von Investitionsmaßnahmen zeigte sich die hohe Sensitivität gegenüber der angenommenen Abschreibungsdauer. Wie im Fallbeispiel „Investitionsmaßnahme“ dargelegt, soll für die erste Bewertung eine Abschreibungsdauer von drei Jahren angenommen werden. Diese kann in begründeten Ausnahmefällen in einer zweiten Bewertung hochgesetzt werden. Im berechneten Fallbeispiel ergeben sich erst ab einer Abschreibungsdauer von ca. acht Jahren Einsparungen von Emissionen. Die für die Berechnung angenommene Abschreibungsdauer sollte bei der Ergebnisinterpretation immer berücksichtigt und kritisch hinterfragt werden.

In Summe konnte mithilfe der gewählten Fallbeispiele gezeigt werden, dass sich die ESTEM-Methodik und das zugehörige Tool für die konsistente Bewertung verschiedener Materialeffizienz-Maßnahmen eignen. Die sechs im Leitfaden beschriebenen Fallbeispiele, die unterschiedliche Maßnahmentypen abdecken, können für die Unternehmen als Hilfestellung bei der Anwendung der Methodik und des Tools dienen.

7 AUSBLICK

Zusammen mit dem ESTEM-Tool, dem Leitfaden und dem ersten Satz an Emissionsfaktoren liegt ein Verfahren vor, das in der Praxis sofort eingesetzt werden kann. Damit wurde im Projekt mehr erreicht als ursprünglich geplant.

Trotzdem gibt es noch Aufgaben für die Zukunft:

- Die Emissionsfaktoren im ESTEM-Tool müssen regelmäßig aktualisiert werden. Das betrifft insbesondere den nationalen Strommix durch den zunehmenden Einsatz regenerativer Energieträger, aber auch andere material- oder prozessbezogene Faktoren, da sie u. a. vom veränderten Strommix mit beeinflusst werden. Wir empfehlen eine jährliche Überprüfung und ggf. Anpassung der Emissionsfaktoren.
- Der öffentlich und kostenlos verfügbare Satz an Emissionsfaktoren für Materialien, etwa im Rahmen der ProBas-Datenbank des Umweltbundesamts, sollte deutlich erweitert werden: um weitere Werkstoffe, aber auch um weitere Betriebsstoffe, wie sie in produzierenden Unternehmen verwendet werden. Für wichtige Werkstoffe sollten sowohl Faktoren für Varianten aus Primärmaterial als auch aus Sekundärmaterial bereitgestellt werden. Ähnliches gilt für biobasierte Stoffe.
- Hinsichtlich der Datenbereitstellung sollte allgemein die Kooperation in der EU, z. B. mit der Europäischen Kommission, gestärkt werden, insbesondere weil die Berechnungen von THG-Minderungen durch Effizienzmaßnahmen in allen EU-Mitgliedstaaten relevant sind und viele Vorketten von Produkten innerhalb der EU liegen.
- Ein industriepolitisch wichtiger Schritt wäre die Unterscheidung der materialbezogenen Emissionsfaktoren nach Herkunftsregion, also z. B. die Frage, ob ein Werkstoff oder Vorprodukt aus Europa oder aus Asien kommt. Dies würde einen erheblichen Aufwand für die Ermittlung und öffentliche Bereitstellung der Emissionsfaktoren bedeuten, hätte aber eine strategische Relevanz, da nur so in Zukunft die globalen Handelsströme und Importe hinsichtlich ihrer Klimarelevanz beurteilt werden

können – sowohl von staatlicher Seite als auch von einzelnen Wirtschaftsakteuren.

- Prozessdaten in den Bereichen „End-of-Life“ und „Transport“ könnten im ESTEM-Tool noch weiter differenziert und aktualisiert werden.
- Alle Emissionsfaktoren sollten mittelfristig an die neuen Global-Warming-Potential-Werte nach IPCC AR6 (2022) angepasst werden. Derzeit wird aus Kompatibilitätsgründen noch mit Umrechnungsfaktoren für die verschiedenen THG aus IPCC AR5 (2014) gerechnet.
- Unter den Anwendenden sollten Befragungen zur Evaluierung des ESTEM-Tools vorgenommen werden. Dabei sollte erhoben werden, welche Schwierigkeiten und Fragen beim Ausfüllen auftreten und für welche Materialien oder Systembereiche noch Ergänzungen gewünscht sind. Diese Ergebnisse könnten in eine überarbeitete Version 2.0 einfließen.
- Für Ausnahme-Tatbestände, die nicht durch das ESTEM-Tool abgebildet werden, könnten weitergehende Vorgehensweisen entwickelt oder zumindest durch Beispiele für die Anwendenden illustriert werden. Hierzu könnte gehören, wie man Fälle, die aus dem vorgegebenen Rahmen fallen, geeignet und nachvollziehbar dokumentiert.
- Wenn die Anzahl an Materialien und Prozessen deutlich erweitert wird, stößt das ESTEM-Tool als Excel[®]-Anwendung an die Grenzen einer einfachen Anwendung. In diesem Fall würde ein neu programmiertes Tool erforderlich.

LITERATURVERZEICHNIS

Allacker, K.; Mathieux, F.; Manfredi, S.; Pelletier, N.; Camillis, C. de; Ardente, F. und R. Pant (2014): Allocation solutions for secondary material production and end of life recovery: Proposals for product policy initiatives. In: Resources, Conservation and Recycling, 88: 1 - 12.

Allacker, K.; Mathieux, F.; Pennington, D. und R. Pant (2017): The search for an appropriate end-of-life formula for the purpose of the European Commission Environmental Footprint initiative. In: Int J Life Cycle Assess, 22(9): 1441 - 1458.

BAFA (2021): Informationsblatt CO₂-Faktoren. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft - Zuschuss. Eschborn: BAFA. [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2021.pdf;jsessionid=BEE076F00607D83C86744ED44B6B511B.2_cid378?__blob=publicationFile&v=9

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021): Berechnen Sie Ihre Treibhausgasemissionen mit dem CO₂-Rechner. München: LfU. [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/217/berechnung-co2-emissionen

Caro, F.; Corbett, C.J.; Tan, T. und R. Zuidwijk (2013): Double Counting in Supply Chain Carbon Footprinting, In: Manufacturing & Service Operations Management, 15(4): 545 - 558.

ecoinvent (2022): System Models. [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models/>

Ekvall, T.; Björklund, A.; Sandin, G.; Jelse, K.; Lagergren, J. und M. Rydberg (2020): Modeling recycling in life cycle assessment. Final project report. Gothenburg: IVL Swedish Environmental Research Institute [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2020_05_Modeling-recycling-in-life-cycle-assessment-1.pdf

Estell (2021): Modell der Systain Consulting GmbH. [abgerufen am: 06.07.2022] verfügbar unter www.systain.com/?download=6426

European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (2010): International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

European Commission (2013): 2013/179/EU: Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Eurostat (2008): Eurostat Manual of Supply, Use and Input-Output Tables. Luxembourg: European Communities [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter:

<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902113/KS-RA-07-013-EN.PDF/b0b3d71e-3930-4442-94be-70b36cea9b39>

Giegrich, J.; Liebich, A.; Lauwigi, C. und J. Reinhardt (2012): Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion. UBA-Texte 01/2012. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4237.pdf>

IEA und OECD (2020): CO₂ Emissions from Fuel Combustion Statistics: Greenhouse Gas Emissions from Energy. Paris: IEA/OECD.

IPCC (2013): Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report. Climate change 2013: The physical science basis: Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment. Geneva: IPCC [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter:

https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/drafts/fgd/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_Chapter08.pdf

ISO 14044:2020: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/38498.html>

ISO 14045:2012: Environmental management – Eco-efficiency assessment of product systems – Principles, requirements and guidelines [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/43262.html>

ISO/TR 14069:2013: Greenhouse gases – Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations – Guidance for the application of ISO 14064-1 [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/43280.html>

ISO/TS 14072:2014: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/61104.html>

ISO 14064-1:2018: Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/66453.html>

ISO 14067:2018: Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/71206.html>

ISO 14080:2018: Greenhouse gas management and related activities – Framework and principles for methodologies on climate actions [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/67452.html>

ISO 14064-2:2019: Greenhouse gases – Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/66454.html>

Nuss P. und M.J. Eckelmann (2014): Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. In: PLoS ONE, 9(7): e101298.

OECD (2015): OECD Inter-Country Input-Output (ICIO) Tables. Paris: OECD [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.oecd.org/sti/ind/inter-country-input-output-tables.htm>

PAS 2050:2011: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. London: BSI.

Pelletier, N.; Allacker, K.; Pant, R. und S. Manfredi (2014): The European Commission Organisation Environmental Footprint method: comparison with other methods, and rationales for key requirements. In: Int J LCA, 19: 387 – 404.

Schmidt, M.; Spieth, H.; Haubach, C.; Bauer, J. und M. Preiß (2019): 100 Betriebe für Ressourceneffizienz - Praxisbeispiele und Erfolgsfaktoren. Band 2. Heidelberg et al.: Springer.

Schmidt, M.; Nill, M. und J. Scholz (2021): Die Bedeutung der Lieferkette für den Klimafußabdruck von Unternehmen. In: Chemie Ingenieur Technik, 93(11), 1692 - 1706.

Schrijvers, D.L.; Loubet, P. und B.P. Weidema (2021): To what extent is the Circular Footprint Formula of the Product Environmental Footprint Guide consequential? In: Journal of Cleaner Production 320: 128800.

Science Based Targets Initiative (2021): SBTi Criteria and Recommendations, TWG-INF-002, Version 4.2. April 2021 [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBTi-criteria-legacy.pdf>

Stadler, K. et al. (2018): EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables. In: Journal of Industrial Ecology, 22(3): 502 - 515.

Statistisches Bundesamt (2020): Umweltökonomische Gesamtrechnungen : Methode der Berechnungen zur globalen Umweltinanspruchnahme durch Produktion, Konsum und Importe, Wiesbaden: StBA [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/ueberblick/Publicationen/Downloads/ugr-globale-umweltinanspruchnahme-methode-5851102209004.pdf;jsessionid=01ADFC737EBF03F6D145CF5CF3F7DB32.live742?__blob=publicationFile

Umweltbundesamt (2016): CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. Climate Change 27/2016. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf

Umweltbundesamt (2022): ProBas - Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

UNEP (2015): Guidance on Organizational Life Cycle Assessment. Paris: UNEP [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2015/04/o-lca_24.4.15-web.pdf

VDI 4800:1:2016: Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0; Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. Berlin: VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE). [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf

Weidema, B.P. (2000): Avoiding Co-Product Allocation in Life-Cycle Assessment. In Journal of Industrial Ecology, 4(3): 11 - 33.

Weidema B.P.; Bauer, C.; Hischier, R.; Mutel, C.; Nemecek, T.; Reinhard, J.; Vadenbo, C.O. und G. Wernet (2013): Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3). St. Gallen: Ecoinvent Center.

Wolf, M.-A. et al. (2019): Circular Footprint Formula. Webinar; Environmental Footprint (EF) transition phase. European Communities [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Webinar%20CFF%20Circular%20Footprint%20Formula_final-shown_8Oct2019.pdf

WRI und WBCSD (o. J.): Quantifying the greenhouse gas emissions of products: PAS 2050 & the GHG Protocol Product Standard. A short guide to their purpose, similarities and differences [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/GHG%20Protocol%20PAS%202050%20Factsheet.pdf

WRI und WBCSD (2004): GHG Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

WRI und WBCSD (2005): GHG Protocol – The GHG Protocol for Project Accounting [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg_project_accounting.pdf

WRI und WBCSD (2011): GHG Protocol – Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf

WRI und WBCSD (2011): GHG Protocol – Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf

Zampori, L. und Pant, R. (2019): Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. JRC Technical Reports. Luxembourg: European Union [abgerufen am: 06.07.2022], verfügbar unter: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEF_method.pdf

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bülowstraße 78
10783 Berlin
Tel. +49 30-2759506-0

zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

