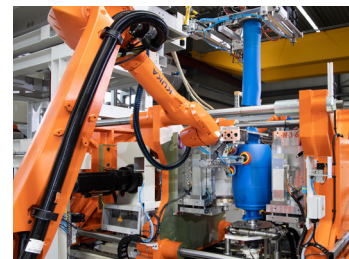




Leitfaden zum ESTEM-Tool

Einfache standardisierte Vorgehensweise zur
Ermittlung eingesparter Treibhausgas-Emissionen
von Projekten zur Materialeffizienz (ESTEM)



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

1. Auflage, November 2022

Autorinnen und Autoren:

Steinbeis-Transfer-Zentrum für Marketing, Logistik und Unternehmensführung an der Hochschule Pforzheim

Prof. Dr. Mario Schmidt (Projektleitung) | Dr. Christian Haubach | Dr. Philipp R. Schäfer

Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft

Prof. Dr. Liselotte Schebek | Dr. Vanessa Zeller | Laura Goellner, Dipl.-Wirt.-Ing. | Tabea Hagedorn, M.Sc.

Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e. V. München

Sofia Haas, M.Sc. | Dr. Anika Neitz-Regett

Systain Consulting GmbH Hamburg

Dr. Moritz Nill | Hubertus Drinkuth | Yi Ding

Fachlicher Ansprechpartner

Jakob Rothmeier, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

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

Die Studie wurde durch das VDI Zentrum Ressourceneffizienz, das im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz arbeitet, in Zusammenarbeit 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/Krakenimages.com, PantherMedia/cookelma, VDI ZRE, VDI ZRE

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

Leitfaden zum ESTEM-Tool

Einfache standardisierte Vorgehensweise zur Ermittlung eingesparter Treibhausgas-Emissionen von Projekten zur Material-effizienz (ESTEM)

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	9
2 BERECHNUNG MIT DEM ESTEM-TOOL	14
2.1 Grundsätzliches zur Emissionsberechnung	14
2.2 Die Anwendung des ESTEM-Tools	17
3 DIE LEITFRAGEN IM ESTEM-TOOL	20
3.1 Leitfrage I: Menge bezogener Materialien	20
3.2 Leitfrage II: Menge bezogener Betriebsstoffe	25
3.3 Leitfrage III: Kapital- und Investitionsgüter	26
3.4 Leitfrage IV: Energieerzeugung am Standort	28
3.5 Leitfrage V: Direkte Emissionen am Standort	30
3.6 Leitfrage VI: Menge bezogener Energie	31
3.7 Leitfrage VII: Entsorgung von Produkten	32
3.8 Leitfrage VIII: Entsorgung von produktionsspezifischen Abfällen	35
3.9 Leitfrage IX: Betriebsstoffe/Verbrauchsmaterialien in der Produktnutzung	37
3.10 Leitfrage X: Energie in der Produktnutzung	39
4 BEISPIELHAFTE ANWENDUNG DES ESTEM-TOOLS	41
4.1 Fallbeispiel 1: Leichtbau	41
4.2 Fallbeispiel 2: Einsatz von Recyclingmaterial	44
4.3 Fallbeispiel 3: Effekt auf Nutzungsphase	46
4.4 Fallbeispiel 4: Verminderter Materialeinsatz im Prozess	48
4.5 Fallbeispiel 5: Investitionsmaßnahme	51
4.6 Fallbeispiel 6: Kreislaufwirtschaftliche Maßnahme	55
LITERATURVERZEICHNIS	57

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Beispiel für ein Projekt mit einer Praxisanwendung, die mehrere Maßnahmen zur Materialeffizienz beinhaltet	12
Abbildung 2:	Die in ESTEM vereinfachten Systemgrenzen, innerhalb der die THG-Emissionen bilanziert werden (eigene Darstellung)	14
Abbildung 3:	Beispiel für die Eingabefelder (grün) und Informationsfelder (grau).	18
Abbildung 4:	Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	20
Abbildung 5:	Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	25
Abbildung 6:	Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	26
Abbildung 7:	Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	28
Abbildung 8:	Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	30
Abbildung 9:	Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	31
Abbildung 10:	Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	32

Abbildung 11: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	35
Abbildung 12: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	37
Abbildung 13: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)	39
Abbildung 14: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Leichtbau“ (in Blau)	42
Abbildung 15: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Einsatz von Recyclingmaterial“ (in Blau)	45
Abbildung 16: Betroffene Lebenszyklusphasen beim Fallbeispiel „Nutzungsphase“ (in Blau)	47
Abbildung 17: Betroffene Lebenszyklusphasen beim Fallbeispiel „Verminderter Materialeinsatz im Prozess“ (in Blau)	49
Abbildung 18: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Investitionsmaßnahme“ (in Blau)	52

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Beispiele für Materialeffizienz-Maßnahmen in Anlehnung an die VDI 4800	10
Tabelle 2:	Umrechnungsfaktoren für den Heizwert von Energieträgern (BAFA 2021).	16
Tabelle 3:	Ergebnisse für das Fallbeispiel „Leichtbau“	43
Tabelle 4:	Ergebnisse für das Fallbeispiel „Nutzungsphase“	48
Tabelle 5:	Ergebnisse des Fallbeispiels „Verminderter Materialeinsatz im Prozess“	51
Tabelle 6:	Ergebnisse für die Berechnung des Fallbeispiels „Investitionsmaßnahme“ für eine Abschreibungsdauer von drei Jahren	54

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CF	Carbon Footprint, dt.: Klimafußabdruck
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO_{2e}	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
LCA	Life Cycle Assessment (dt. ‚Ökobilanz‘)
PCF	Product Carbon Footprint
PEF	Product Environmental Footprint
THG	Treibhausgas(e)

Excel[®] und Windows[®] sind Trademark von Microsoft[®].

1 EINLEITUNG

Der vorliegende Leitfaden dient als Anleitung zur Anwendung des kostenlos bereitgestellten Excel®-Tools ESTEM. Er wird ergänzt durch den ESTEM-Projektabschlussbericht, in dem die methodischen Grundlagen detaillierter beschrieben sind.¹

Das Berechnungsverfahren und das ESTEM-Tool dienen dazu, die Klimawirksamkeit von Maßnahmen aus dem Bereich der betrieblichen Materialeffizienz abzuschätzen. Sie liefern einen Bewertungsmaßstab für den innerbetrieblichen Vergleich von Materialeffizienzmaßnahmen, die Beantragung von Fördermitteln durch Unternehmen und Beratende sowie für die Förderung von entsprechenden Projekten. Die durch den Einsatz von Material und Energie und die direkte Freisetzung von Treibhausgasen (THG) insgesamt verursachten THG-Emissionen werden durch ein standardisiertes Berechnungsverfahren beziffert. Damit können Projekte und Maßnahmen zur Materialeffizienz im betrieblichen Umfeld hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit und ihres Minderungspotenzials verglichen werden.

Auftraggeber für die Entwicklung dieses Tools waren die zuständigen Ministerien aus den fünf Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Hamburg, Hessen und Rheinland-Pfalz. Als Projektträger diente das VDI Zentrum Ressourceneffizienz in Berlin (VDI ZRE) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Auftragnehmer war das Steinbeis-Transferzentrum für Marketing, Logistik und Unternehmensführung an der Hochschule Pforzheim unter Leitung von Prof. Dr. Mario Schmidt vom Institut für Industrial Ecology (INEC). Am Projekt beteiligt waren die Technische Universität Darmstadt unter Leitung von Frau Prof. Dr. Liselotte Schebek, die Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. in München sowie die Sustain Consulting GmbH in Hamburg. Das Berechnungsverfahren sowie das Excel®-Tool wurden einer nachträglichen fachlichen Prüfung durch Prof. Dr. Christoph Helbig unterzogen.

Es muss ausdrücklich betont werden, dass dieses Tool ausschließlich für eine standardisierte Bewertung von Materialeffizienz-Maßnahmen

¹ Sämtliche im Zusammenhang mit dem Projekt ESTEM veröffentlichten Materialien stehen auf www.estem-projekt.de zum kostenfreien Download zur Verfügung.

vorgesehen ist. Damit soll eine Vergleichbarkeit gewährleistet werden, die zwingend erforderlich ist, wenn in Förderprogrammen Prioritäten festgelegt werden müssen. Das Tool ist in erster Linie für die Antragstellung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) gedacht und muss deshalb einfach zu handhaben sein. Es ersetzt keine fortgeschrittenen Bewertungsverfahren wie beispielsweise ein Life Cycle Assessment bzw. eine Ökobilanz nach ISO EN DIN 14040/44, einen Carbon Footprint nach ISO EN DIN 14064, ISO EN DIN 14067 bzw. das GHG Protocol (2011) oder einen europäischen Product Environmental Footprint (PEF)². Deshalb sollten das Tool bzw. die ihm zugrundeliegenden Berechnungsverfahren und Daten auch nie ersatzweise für entsprechende Bilanzen auf Produkt- oder Unternehmensebene eingesetzt werden. Das Tool deckt außerdem nur eine Reihe von Standardsituationen ab und kann nicht jeden Spezialfall berücksichtigen. Hierfür sind dann - z. B. bei entsprechenden Förderanträgen - detailliertere Nachweise erforderlich.

Die Standardsituationen bei Maßnahmen zur Materialeffizienz orientieren sich an der Maßnahmenliste aus der VDI-Richtlinie 4800 „Ressourceneffizienz“. Ein Großteil dieser Ansatzpunkte kann mit dem Tool bewertet werden. Es wird empfohlen, diese Maßnahmenliste und ihre Beschreibungen aus der VDI 4800-Richtlinie für die Berechnung der THG-Emissionen heranzuziehen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispiele für Materialeffizienz-Maßnahmen in Anlehnung an die VDI 4800³

Nr.	Maßnahme
1a	Werkstoffauswahl/Materialsubstitution
1b	Werkstoffauswahl/Einsatz von Sekundärrohstoffen
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
10	Kaskadennutzung von Produkten
11	Reparierbarkeit
12	Recyclinggerechte Produktgestaltung
13	Bedienungsanleitung mit Hinweisen zum Nutzerverhalten

² Vgl. EU Kommission (2021).

³ Vgl. VDI 4800. Wiedergegeben mit Erlaubnis des Verein Deutscher Ingenieure e.V.

Tabelle 1: Beispiele für Materialeffizienz-Maßnahmen in Anlehnung an die VDI 4800 (Weiterführung) ⁴

Nr.	Maßnahme
14	Ressourceneffiziente Gestaltung der Verpackung
15	Fertigungsprozessauswahl und Fertigungsprozessoptimierung
16	Zustandsüberwachung von Prozessen und Maschinen
17	Vorausschauende Wartung
18	Dimensionierung der Fertigungsmittel
19	Modularisierung von Anlagen
20	Minimierung des Bearbeitungsvolumens
21a	Materialauswahl/Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen
21b	Materialauswahl/Hilfs- und Betriebsstoffe aus Sekundärrohstoffen
21c	Lebensdauerverlängerung von Hilfs- und Betriebsstoffen
22	Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung
23a	Vermindern von geplantem Verlust
23b	Vermindern von geplantem Ausschuss
23c	Vermeiden von Verlust durch Nacharbeit
23d	Vermeiden von Verlust durch Entsorgung fertiger Produkte
23e	Vermeiden von Verlust durch Entsorgung eingekaufter Materialien
23f	Vermeiden von Verlusten durch unsachgemäße Lagerung/Überlagerung
23g	Vermindern des Energieverbrauchs
24	Vermindern des Energieverbrauchs in der Produktion
25	Last- und Bewegungsoptimierung von Handhabungssystemen
26	Optimiertes Lastmanagement in der Energieversorgung
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	Recycling von Produktionsabfällen
35	(Innerbetr.) Überführung v. Material zur Entsorg. zu verkaufsf. Produkten
36	Effizienter Transport
37	Eindeutige und vollständige Produktdokumentation
38	Detaillierte Arbeitsanleitungen und geregelte Schichtübergabe
39	Mitarbeiterqualifikation/Mitarbeiterpotenzial

Meistens besteht ein Förderprojekt zur Materialeffizienz aus einer Praxisanwendung, die die Wirkung mehrerer Einzelmaßnahmen entsprechend der Tabelle 1 abdeckt (siehe Abbildung 1). Die Minderung der THG-Emissionen des Projekts ergibt sich dann aus der Summe der Einzelmaßnahmen. So kann beispielsweise ein Material substituiert werden, woraus ein geringerer Carbon Footprint (CF) in der Beschaffung resultiert. Dessen Verarbeitung in einem Produkt kann weiterhin einen geringeren (oder auch höheren) Energiebedarf in der Nutzungsphase zur Folge haben, das Produkt kann dadurch leichter repariert oder der Werkstoff am Produktlebensende besser recycelt

⁴ Vgl. VDI 4800. Wiedergegeben mit Erlaubnis des Verein Deutscher Ingenieure e.V.

werden. Diese Einzeleffekte gilt es, bei der Bewertung eines Projekts zu berücksichtigen.

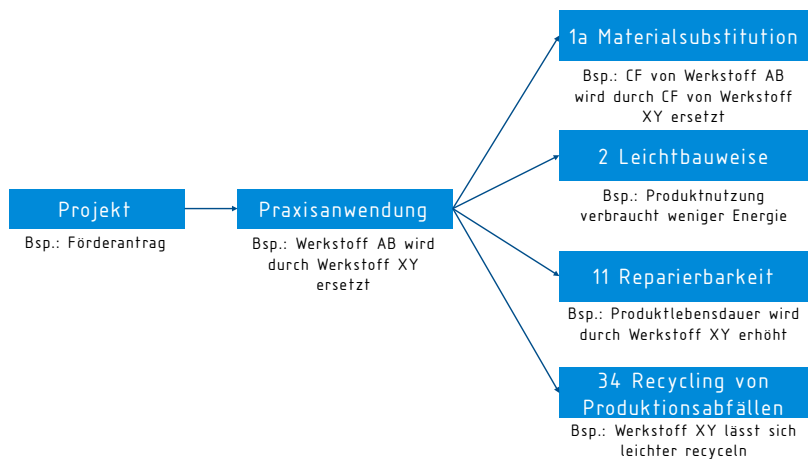


Abbildung 1: Beispiel für ein Projekt mit einer Praxisanwendung, die mehrere Maßnahmen zur Materialeffizienz beinhaltet (eigene Darstellung)

Grundsätzlich sollte die Einsparung an THG-Emissionen infolge einer Maßnahme oder eines Maßnahmenbündels durch eine Vorher-nachher-Betrachtung erfolgen. Das bedeutet, es müssen die Ermittlung der Emissionen vor Maßnahmeneinführung und die entsprechende Ermittlung nach Maßnahmeneinführung erfolgen. Hierbei sind die Wahl der Bilanzgrenzen sowie die Berücksichtigung beeinflussender Faktoren relevant, woraus eine umfangreiche Analyse resultiert. Zum Beispiel müsste berücksichtigt werden, ob durch die Einführung der Maßnahme die Aktivität des Unternehmens (Produktionsvolumen oder Umsatz) beeinflusst wird. Dies könnte passieren, wenn Preis- oder Kostensätze verändert werden. Diese weitreichenden Einflussfaktoren können bei dem hier vorgesehenen einfachen Berechnungsverfahren nicht berücksichtigt werden.

Das Berechnungsverfahren und somit das Tool setzt stattdessen auf eine Differenzenbetrachtung bzw. auf eine sogenannte Delta-Analyse. Das heißt, es wird abgeschätzt, welche Änderungen am bestehenden System durch die Maßnahme bzw. das Maßnahmenbündel verursacht werden. Diese

Änderungen werden in zehn Abschnitten systematisiert und durch Leitfragen ausgedrückt. Hierzu sind in dem ESTEM-Tool jeweils quantitative Angaben vorzunehmen. Werden Minderungseffekte des Projekts dadurch nicht ausreichend abgedeckt, so können ergänzende Angaben gemacht werden, die allerdings detailliert zu dokumentieren sind.

Die Anwendung des Tools sollte durch eine Person im Unternehmen erfolgen, die das geplante Projekt kennt, technischen Sachverstand aufweist, Grundkenntnisse von MS Excel hat und quantitative Angaben zum Projekt machen kann.

Das ESTEM-Tool bzw. die zugrundeliegenden Daten werden regelmäßig aktualisiert. Deshalb sollte stets die neueste Version verwendet werden.

2 BERECHNUNG MIT DEM ESTEM-TOOL

Im ersten Unterkapitel werden die Berechnungsgrundlagen für die THG-Emissionen sowie für deren Minderung kurz vorgestellt. Dazu kommen einige methodische Annahmen. Im zweiten Unterkapitel werden das ESTEM-Tool und seine wichtigsten Funktionen dargelegt. Die Eingabe von Daten wird im Unterkapitel 3 ausführlich präsentiert. Dort wird zu den jeweiligen Fragestellungen auf weitere methodische Annahmen eingegangen und die Dateneingabe wird mit kurzen Beispielen verdeutlicht.

2.1 Grundsätzliches zur Emissionsberechnung

Maßnahmen haben häufig weitreichende Wirkungen auf die THG-Emissionen. Sie können direkt, aber auch indirekt an anderer Stelle erfolgen. Deshalb ist die Wahl der Systemgrenzen entscheidend, um zu eruieren, was bei der Bilanzierung mitberücksichtigt werden muss. Für das ESTEM-Tool wurden vereinfacht die in Abbildung 2 dargestellten Systembereiche einbezogen. Ausgangspunkt ist dabei das fokale Unternehmen, auf das die Maßnahmen bezogen sind. Neben den direkten Emissionen des Unternehmens gehören auch die Lieferketten von Vorprodukten und Energie sowie die Entsorgung von Abfällen, die Nutzung und die Entsorgung der Produkte dazu.

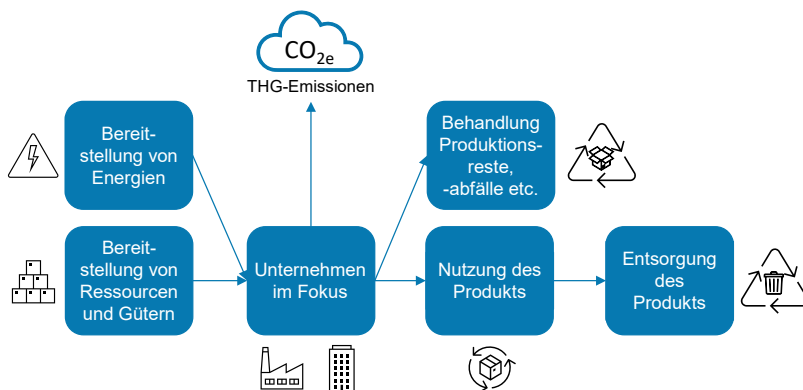


Abbildung 2: Die in ESTEM vereinfachten Systemgrenzen, innerhalb der die THG-Emissionen bilanziert werden (eigene Darstellung)

Die Berechnung von THG-Emissionen erfolgt meistens nach dem folgenden Muster:

$$\text{Emissionen } E = \text{Aktivität } A \cdot \text{Emissionsfaktor } EF$$

oder kurz:

$$E = A \cdot EF$$

Aktivitäten können Materialmengen [in kg oder t], Brennstoff- oder Energiemengen [in Kilogramm, Liter, Kilowattstunde oder Megawattstunde], Transportkenngrößen [in Tonnen-Kilometer] o. Ä. sein. Die Emissionsfaktoren müssen sich jeweils auf diese Aktivitätsgrößen beziehen, z. B. t CO_{2e}/t Material. CO_{2e} bedeutet CO₂-Äquivalent. Hier sind andere Treibhausgase wie z. B. Methan oder Lachgas mit entsprechenden Umrechnungsfaktoren bereits eingerechnet.

Sind die Aktivitäten pro Zeiteinheit oder pro Produktmenge angegeben, so werden die Emissionen pro Zeiteinheit oder pro Produktmenge errechnet (Einheiten in eckigen Klammern):

$$E \text{ [t CO}_{2e}\text{/a]} = A \text{ [t Material/a]} \cdot EF \text{ [t CO}_{2e}\text{/t Material]}$$

Beispiel

Es werden 200 t Konverterstahl pro Jahr eingesetzt. Der Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Konverterstahl beträgt 2,182 t CO_{2e}/t Stahl.

Dann ist:

$$E = 200 \text{ t Stahl/a} \cdot 2,182 \text{ t CO}_{2e}\text{/t} = 436,4 \text{ t CO}_{2e}\text{/a}$$

Der Emissionsfaktor für THG-Emissionen von Materialien, Produkten oder Dienstleistungen wird häufig als Carbon Footprint (CF) bezeichnet. Er umfasst auch die Emissionen der Lieferkette dieser Materialien, sodass sie nicht im Detail analysiert werden muss.

Bei der vorliegenden Berechnungsmethode sind nicht die absoluten Emissionen von Interesse, sondern die Änderungen durch die betreffenden Maßnahmen. Das bedeutet, in ESTEM wird nur die Änderung der Aktivität ΔA angegeben, die zu einer Änderung der Emissionen ΔE führt:

$$\Delta E = \Delta A \cdot EF$$

Einsparungen oder Minderungen werden positiv aufgeführt. Wenn mit einer Erhöhung der Aktivitäten, also der Mengen, zu rechnen ist, dann sind negative Werte anzugeben.

Beispiel

Es werden 50 t Konverterstahl pro Jahr eingespart. Der Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Konverterstahl beträgt 2,182 t CO_{2e}/t Stahl und die eingesparte Menge an Emissionen dann:

$$\Delta E = 50 \text{ t Stahl/a} \cdot 2,182 \text{ t CO}_{2e}/\text{t} = 109,1 \text{ t CO}_{2e}/\text{a}$$

Das ESTEM-Tool ist so aufgebaut, dass die Aktivitäten des Unternehmens angegeben werden müssen, sprich die Mengen an eingespartem Material, Energie usw. Die Emissionsfaktoren sind hingegen fest vorgegeben und im ESTEM-Tool hinterlegt. Sie können nicht verändert werden. Die Werte werden regelmäßig aktualisiert. Deshalb ist es wichtig, mit der jeweils aktuellen Version zu rechnen, da sich Emissionsfaktoren mit der Zeit verändern können.

Im Rahmen der Eingabe der Aktivitäten in das ESTEM-Tool ist darauf zu achten, dass die gleiche Einheit gewählt wird, auf die sich die Emissionsfaktoren beziehen. Bei Energieträgern sind u. U. Umrechnungen erforderlich. Dafür können folgende Umrechnungsfaktoren verwendet werden.

Tabelle 2: Umrechnungsfaktoren für den Heizwert von Energieträgern (BAFA 2021).

Energieträger	Mengeneinheit	Heizwert in MJ	Heizwert in MWh
Steinkohlen	t	30.103	8,36
Braunkohlen	t	9.038	2,51
Brennholz	t	14.654	4,07
Ottokraftstoffe	m ³	32.480	9,02
Dieselmotortreibstoffe	m ³	35.870	9,96
Heizöl, leicht	m ³	35.800	9,94
Heizöl, schwer	m ³	39.100	10,9
Flüssiggas	t	45.965	12,77
Erdgas (Normkubikmeter)	1.000 Nm ³	35.182	9,77
Strom	MWh	3.600	1

Alle Maßnahmen und errechneten Emissionsminderungen werden auf ein Jahr bezogen. Ausgangspunkt sind dabei die Status-quo-Emissionen bzw. die

Änderungen dieser. Es werden keine Projektionen in die Zukunft vorgenommen, da in diesem Fall ein Großteil der erforderlichen Annahmen (Produktmengen, Umsatz etc.) rein spekulativ wären. Im Zuge einer kontinuierlich wirkenden Maßnahme wird also von ihrer Minderungswirkung im ersten Jahr ausgegangen. Bei einer einmalig wirkenden Maßnahme werden die Emissionsminderungen gleichmäßig auf drei Jahre verteilt und anschließend wird ein Jahr als Vergleich gewählt. Gleiches gilt für die Emissionen innerhalb der Nutzungsphase von sogenannten langsam drehenden Produkten, deren Nutzungsdauer mehr als ein Jahr beträgt. Bei der Abschreibungsdauer der Emissionen von Investitionsgütern wird ebenfalls von drei Jahren ausgegangen. Im ESTEM-Tool muss entsprechend angegeben werden, ob das Projekt zu einer einmaligen oder zu einer kontinuierlichen Emissionsminderung führt.

2.2 Die Anwendung des ESTEM-Tools

Das ESTEM-Tool ist ein Template für Microsoft Excel® und setzt die Installation von Microsoft Excel® ab einer Version 2016 auf handelsüblichen PCs oder Notebooks voraus, die entweder mit dem Betriebssystem Microsoft Windows® oder mit entsprechenden Emulatoren betrieben werden. Das Tool wird als xlsx-Datei geladen, enthält keine Makro-Anwendungen und benötigt auch keinerlei Makros für die Berechnung. Daher besteht im Rahmen der Anwendung des ESTEM-Tools keine Gefahr durch Makroviren.

Das Tool ist geschützt, hier insbesondere die hinterlegten Emissionsfaktoren. Lediglich die erforderlichen Eingaben, allen voran die jeweilige Änderung der Aktivitäten, können durch die Anwendenden eingetragen werden. Datenfelder, die veränderbar sind, sind grün eingefärbt und können entweder durch Dropdown-Auswahlmenüs (hellgrün) oder durch numerische Eingaben (pastellgrün) gefüllt werden. Vom ESTEM-Tool vorgegebene Informationsfelder sind unterdessen grau gefärbt (siehe Abbildung 3).

Werkstoff [t]			[t CO ₂ e/t]
Stahl (Konverterstahl)	200.0	*	2,182
Silizium		*	77,614
Silizium		*	0,000
Sillimanit		*	0,000
Sonstiges		*	0,000
Spanplatte		*	0,000
Splitt		*	0,000
Stahl (Elektrostahl)		*	0,000
Stahl (Konverterstahl)		*	0,000
Stahlblech		*	0,000
		*	0,000
		*	0,000

Abbildung 3: Beispiel für die Eingabefelder (grün) und Informationsfelder (grau).

Das ESTEM-Tool ist in mehrere Datenblätter unterteilt, die sich durch das Blattregister anwählen lassen. Das Datenblatt „ESTEM-Anleitung“ sollte vor der erstmaligen Anwendung gewissenhaft gelesen werden. Im Anschluss gilt es, das Datenblatt „1. Beschreibung des Projekts“ auszufüllen. Die Eingabefelder sind selbsterklärend und dienen dazu, das Projekt mit den Rechenergebnissen zu dokumentieren (unter „3. Ergebnis DRUCK“). Es wird dringend empfohlen, das Projekt ausführlich zu beschreiben, damit die Annahmen nachvollziehbar sind.

Die wichtigsten Eingaben erfolgen im Datenblatt „2. Dateneingabe“. Es ist in zehn Leitfragen gegliedert, die auf die Änderungen abzielen, welche durch die Praxisanwendung auftreten. Dabei wird durch eine Grafik entsprechend der Abbildung 2 verdeutlicht, welcher Systembereich durch die Frage und die Eingaben betroffen ist.

Die Datenblätter „3. Ergebnisse DRUCK“ und „4. Dateneingabe DRUCK“ dienen der Dokumentation und sind für den Ausdruck (mit Drucker oder als pdf-Datei) vorformatiert. Es wird dringend empfohlen, die Version, die zu einem Ausdruck gehört, unter einem eindeutigen Dateinamen abzuspeichern und für Rückfragen unverändert aufzubewahren.

Das ESTEM-Tool enthält noch weitere Datenblätter, die die verwendeten Emissionsfaktoren anführen und nicht veränderbar sind resp. nicht verändert werden dürfen. Aus diesem Grund ist dieser Bereich geschützt. Dieser Schutz sollte auf keinen Fall durch entsprechende Eingriffe aufgehoben

werden. Das ESTEM-Tool darf in einem solchen Fall nicht mehr verwendet werden. Wenn für ein Projekt andere Berechnungen oder Daten genutzt werden, müssen diese im Tool hinterlegt, sollten gesondert dokumentiert und gegenüber einem Projektträger o. Ä. entsprechend vertreten werden.

Im Folgenden werden die einzelnen Leitfragen aus dem Datenblatt „2. Dateneingabe“ behandelt und es wird dargelegt, wie mit bestimmten Situationen umzugehen ist.

3 DIE LEITFRAGEN IM ESTEM-TOOL

3.1 Leitfrage I: Menge bezogener Materialien

Verändert sich die Menge der für die Produkte bezogenen Materialien?

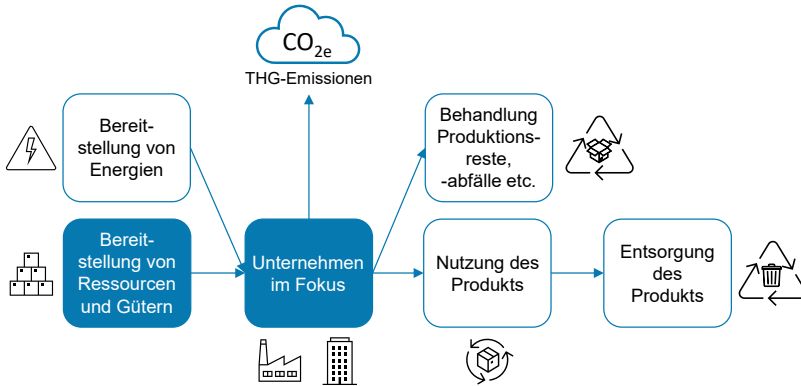


Abbildung 4: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Die Abfrage bezieht sich auf die Bereitstellung von Rohstoffen und Vorprodukten, die für die Produkte benötigt werden. Über ein Auswahlfeld können vordefinierte Materialien ausgewählt werden, zu denen Emissionsfaktoren im ESTEM-Tool vorgegeben sind. Die Liste wird zukünftig aktualisiert und erweitert. Ist das gewünschte Material in der Liste nicht vorhanden, so kann ein ähnliches Material verwendet werden oder es wird im Falle eines Projektantrags gesondert dokumentiert, mit welchen Einsparungen und Emissionsminderungen zu rechnen ist.

Die ermittelten Werte gehören gemäß Greenhouse Gas Protocol (2011) zu den sogenannten Scope-3-Emissionen und dort zu den Unterkategorien 3.1 und 3.4.

Es werden nur die Änderungen der Mengen angegeben. Dabei sind folgende Fälle zu unterscheiden:

a) Mengenreduktion

Im einfachsten Fall wird die Menge eines Materials eingespart. Das Material wird im Auswahlfeld eingetragen und die Menge im daneben liegenden Eingabefeld in Tonnen angegeben. Wenn es sich um eine kontinuierliche Einsparung handelt, wird die eingesparte Menge pro Jahr aufgeführt. Im Falle einer einmaligen Einsparung ist die eingesparte Menge insgesamt anzugeben.

Beispiel:

Es werden 50 t Konverterstahl pro Jahr eingespart. Der von ESTEM vorgegebene Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Konverterstahl beträgt 2,182 t CO_{2e}/t Stahl.

Eingesparte Menge pro Jahr (positiv) Zusätzliche Mengen (negativ)	THG- Emissionsfaktor Vorkette	Verteilungsfaktor bei einmaligen Einsparungen	THG- Emissionen
Werkstoff [t]	[t CO _{2e} /t]		[t CO _{2e}]
Stahl (Konverterstahl) 50,0 *	2,182	1	109,11

Die eingesparte Menge an Emissionen beträgt 109,11 t CO_{2e} pro Jahr.

Der von ESTEM vorgegebene Emissionsfaktor bezieht sich typischerweise auf eine Verfügbarkeit am europäischen Markt. Die Angabe von Transportentfernungen ist deshalb in der Regel nicht erforderlich, zumal der Transport meistens nur einen geringen Beitrag liefert. Bei Massengütern wie z. B. Steine und Erden kann der Transport eine Rolle spielen. Dann besteht die Möglichkeit anzugeben, wie groß die Transportentfernung des Materials vom Zuliefernden ist bzw. war, denn das Material soll künftig eingespart werden. Aus der eingesparten Menge, der Transportentfernung und dem Transportmittel werden die Transportleistung (in Tonnenkilometer) und schließlich die Transportemissionen errechnet, die eingespart werden. Dazu

ist in einem weiteren Auswahlfeld das entsprechende Transportmittel auszuwählen.

Beispiel:

Die eingesparten 50 t Konverterstahl pro Jahr wurden mit einem Lkw > 7,5 t über 125 km transportiert.

Typisches Transportmittel für Anlieferung	Typische Transport- entfernung	THG- Emissionen (Transport)
	[km]	[t CO ₂ e]
Lkw > 7,5 t	125,0	0,55

Die eingesparten Transportemissionen betragen 0,55 t CO_{2e} pro Jahr.

Gegenanzeige: Die Berechnung ist nicht dazu gedacht, Veränderungen in der Transportlogistik abzubilden, da dies keine Materialeffizienz-Maßnahme wäre. Dazu gehört beispielsweise ein Wechsel des Transportmittels oder eine alleinige Veränderung der Transportentfernung.

b) Materialsubstitution

In diesem Fall wird Material durch ein anderes ersetzt. Das bedeutet, ein Material wird eingespart (wie in Fall a) und ein weiteres wird zusätzlich benötigt. Letzteres muss dann als negativer Wert eingegeben werden. Die Mengen der beiden Materialien können sich dabei unterscheiden.

Beispiel:

Es werden 50 t Konverterstahl pro Jahr durch 30 t Aluminium ersetzt.
Die Aluminiummenge muss als negative Zahl angegeben werden:

Eingesparte Menge pro Jahr (positiv) Zusätzliche Mengen (negativ)	THG- Emissionsfaktor Vorkette	Verteilungsfaktor bei einmaligen Einsparungen	THG- Emissionen
Werkstoff [t]	[t CO ₂ e/t]		[t CO ₂ e]
Stahl (Konverterstahl) 50,0 *	2,182	1	109,11
Aluminium (Gusslegierung) -30,0 *	5,712	1	-171,35
Summe			-62,24

Die Substitution ergibt hier in Summe eine Erhöhung der Emissionen um 62,24 t CO₂e pro Jahr.

Im Rahmen der Materialsubstitution können unterschiedliche Transporte relevant sein, z. B. die eingesparten Transporte für das substituierte Material und die zusätzlichen Transporte für das ersetzende Material.

Beispiel:

Die 30 t Aluminium pro Jahr werden per Bahn über 300 km transportiert.

Typisches Transportmittel für Anlieferung	Typische Transport- entfernung	THG- Emissionen (Transport)
	[km]	[t CO ₂ e]
Lkw > 7,5 t	125,0	0,55
Güterzug	300,0	-0,16
Summe		0,38

Die eingesparten Transportemissionen betragen in Summe 0,38 t CO₂e pro Jahr.

c) Einsparung von Primärmaterial durch Erhöhung des Rezyklatanteils

Die in ESTEM erfassten Materialien und Emissionsfaktoren berücksichtigen das Recycling auf der Inputseite durch die Angabe des Rezyklatanteils von

eingesetztem Material. Der Rezyklatanteil kann nicht direkt eingegeben werden, sondern muss durch geeignete Mengen aus Primär- und Sekundärmaterial zusammengesetzt werden. Ein Material mit 30 % Rezyklatanteil setzt sich dann aus 70 % Primär- und 30 % Sekundärmaterial zusammen, welche bei ESTEM getrennt eingetragen werden müssen.

Beispiel:

Es werden 50 t Aluminium pro Jahr eingespart, das einen Rezyklatanteil von 30 % hat. Das heißt, der Primäranteil liegt bei $0,7 \cdot 50 \text{ t} = 35 \text{ t}$ und der Sekundäranteil bei $0,3 \cdot 50 \text{ t} = 15 \text{ t}$. Im Eingabefeld kann das ebenfalls mittels Formel eingegeben werden.

Werkstoff [t]			[t CO ₂ e/t]			[t CO ₂ e]
Aluminiumblech, primär	35,0	*	10,653	:	1	= 372,86
Aluminiumblech, sekundär	=0,3*50	*	1,165	:	1	= 17,48
Summe						390,34

Die Einsparung beträgt 390,34 t CO_{2e} pro Jahr.

d) Veränderung des Rezyklatanteils

Wenn für ein Material der Rezyklatanteil verändert wird, so geschieht das durch Eintrag in vier Zeilen, was einer Kombination aus Fall b) und Fall c) entspricht.

Beispiel:

Der Recyclinganteil von 50 t Aluminium pro Jahr erhöht sich von 30 % auf 80 %. Die Menge von 50 t bleibt unverändert.

Werkstoff [t]			[t CO ₂ e/t]			[t CO ₂ e]
Aluminiumblech, primär	35,0	*	10,653	:	1	= 372,86
Aluminiumblech, sekundär	15,0	*	1,165	:	1	= 17,48
Aluminiumblech, primär	-10,0	*	10,653	:	1	= -106,53
Aluminium, sekundär	=-0,8*50	*	0,517	:	1	= -20,69

Die Einsparung beträgt 263,11 t CO_{2e} pro Jahr.

Die Berücksichtigung des Rezyklatanteils kann nur bei Materialien erfolgen, für die bei ESTEM bereits Emissionsfaktoren sowohl für die Primär- als auch Sekundärproduktion hinterlegt sind. Die Liste dieser Werte soll in Zukunft kontinuierlich erweitert werden.

e) Einsparungen oder Substitution mit nachwachsenden Rohstoffen

Die Emissionsfaktoren für Materialien biogenen Ursprungs beziehen sich stets auf die Emission fossilen Kohlenstoffdioxids, z. B. durch die Verwendung fossiler Energiequellen für die Herstellung oder den Transport. Sie werden deshalb auf der Inputseite genauso gezählt wie der Carbon Footprint anderer Materialien. Allerdings dürfen bei der Entsorgung dieser Materialien keine CO₂-Emissionen, die biogenen Ursprungs sind, gezählt werden. Dies wird bei den Emissionsfaktoren unter Leitfrage VII berücksichtigt.

3.2 Leitfrage II: Menge bezogener Betriebsstoffe

Verändert sich die Menge oder Zusammensetzung für im Unternehmen benötigte Betriebsstoffe?

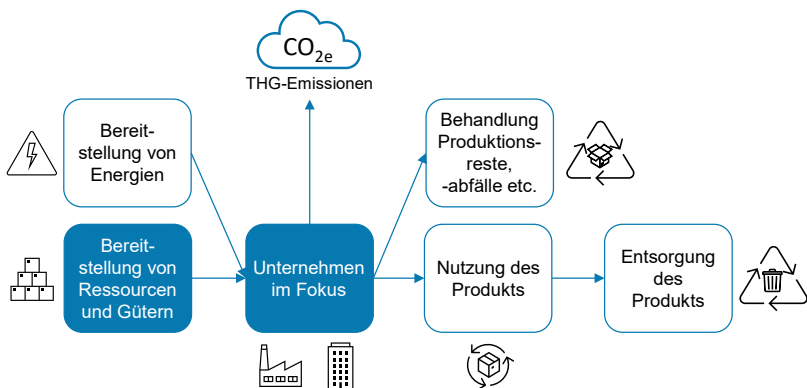


Abbildung 5: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Die Frage ist analog zur Frage I zu beantworten. Die Angaben können reine Mengenreduktionen betreffen (wie unter Ia), Substitutionen (wie unter Ib) oder Veränderungen des Rezyklatanteils (wie unter Ic). Falls relevant, kann ebenfalls der Transport einbezogen werden. Der Unterschied zur Frage I besteht darin, dass sich das Auswahlfeld auf eine andere Liste an Materialien bezieht, die typisch für Betriebsstoffe ist (Anmerkung: In der ersten Version sind beide Listen noch gleich).

3.3 Leitfrage III: Kapital- und Investitionsgüter

Verändern sich materielle Kapital- bzw. Investitionsgüter?

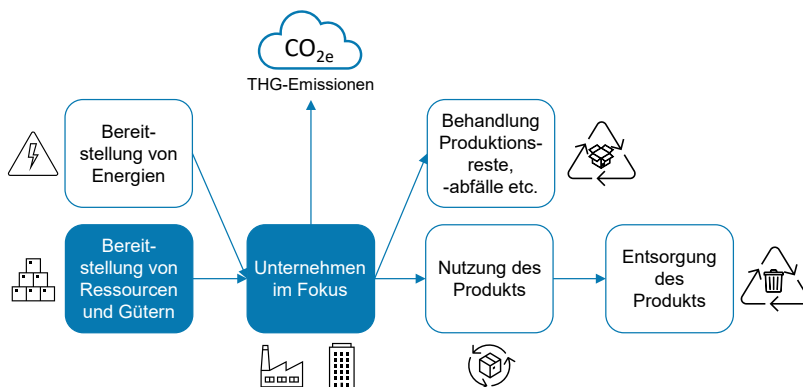


Abbildung 6: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Viele Projekte der Materialeffizienz gehen mit der Anschaffung neuer Anlagen einher. Investitionsgüter in Form von Maschinen und Anlagen, Fahrzeugen oder Gebäuden führen oft zu einem großen Materialeinsatz auf der Inputseite und können die Emissionsbilanz erheblich beeinflussen. Mit der Leitfrage III können diese Einflüsse berücksichtigt werden. Da es sich in der Regel um zusätzliche Emissionen handelt, müssen die Mengeneingaben negativ erfolgen.

Es ist nicht einfach, die Materialzusammensetzung von Investitionsgütern zu bestimmen und darauf basierend eine Emissionsbilanz zu erstellen. Jedoch skalieren die THG-Emissionen häufig auch mit dem ökonomischen Wert der Güter. Deshalb wird bei Investitionsgütern nicht von Mengen in kg oder t ausgegangen, sondern vom ökonomischen Wert in Euro, sprich den Anschaffungskosten.

Allerdings handelt es sich meistens um Güter, die langfristig eingesetzt werden. Sie werden betriebswirtschaftlich über einen längeren Zeitraum monetär abgeschrieben. Deshalb wird auch hier eine „Abschreibung“ der Emissionen über einen gewissen Zeitraum vorgenommen. Um Vergleichbarkeit zu erreichen und willkürlich gewählte Zeiträume auszuschließen, wird in der Regel von einer Abschreibung von bis zu drei Jahren ausgegangen. Da alle Emissionen auf ein Jahr bezogen sind, bedeutet das dann beispielsweise eine Drittelung der Emissionen aus Investitionsgütern.

In Einzelfällen, beispielsweise im Fall von kostenintensiven Investitionen, können durch zu kurze Abschreibungsdauern negative Einsparungen auftreten. In solchen Fällen kann eine längere Abschreibungsdauer auf der Basis der AfA-Regeln angenommen werden. Sie sollte gesondert begründet und belegt werden. Sie kann im ESTEM-Tool dann entsprechend individuell angesetzt werden.

Es kommt vor, dass durch eine Maßnahme Investitionen vermieden werden können oder kleiner ausfallen als ursprünglich geplant. Damit verbunden sind dann auch eingesparte Emissionen. Allerdings handelt es sich dabei nicht um tatsächlich geminderte, sondern um in die Zukunft projizierte Emissionen.

Da mit dem ESTEM-Tool keine Emissionsbaseline bzw. -szenarien definiert werden, können solche vermiedenen oder reduzierten Investitionen nicht berücksichtigt werden. Außerdem darf der entfallene Weiterbetrieb von Investitionsgütern (z. B. Anlagen) im Rahmen der Emissionsbilanz nicht berücksichtigt werden, da die mit der Herstellung der Güter verbundenen Emissionen bereits erfolgt sind und sich nicht mehr vermeiden lassen.

Aus methodischen Gründen (die sogenannte Cut-off-Regel) wird für Reuse, Refurbishing, Recycling etc. von Altanlagen keine Emissionsgutschrift vergeben.

Die THG-Emissionen sind gemäß Greenhouse Gas Protocol dem Scope 3.2 zuzuordnen.

Beispiel:

Für eine Materialeffizienz-Maßnahme sind neue Maschinen im Gesamtwert von 500.000 Euro erforderlich. Die mit der Herstellung der Maschinen verbundenen Emissionen werden über diese Kostenangabe geschätzt und müssen als negativer Wert eingegeben werden.

Eingesparte Menge pro Jahr (positiv) Zusätzliche Mengen (negativ)	Einheit	THG-Emissionsfaktor Vorkette	Einheit	Abschreibungsdauer bei Investitionen	THG-Emissionen
Investitionsgut [Tsd. Euro]				[Jahre]	[t CO ₂ e]
Maschinen u. Anlagen -500	Tsd. Euro	0,332	t CO ₂ e	3	-55,33

Die zusätzlichen Emissionen, auf ein Jahr bezogen, betragen 55,33 t CO₂e.

3.4 Leitfrage IV: Energieerzeugung am Standort

Verändern sich die für die Energieerzeugung am Standort eingesetzten Mengen oder Arten von Energieträgern?

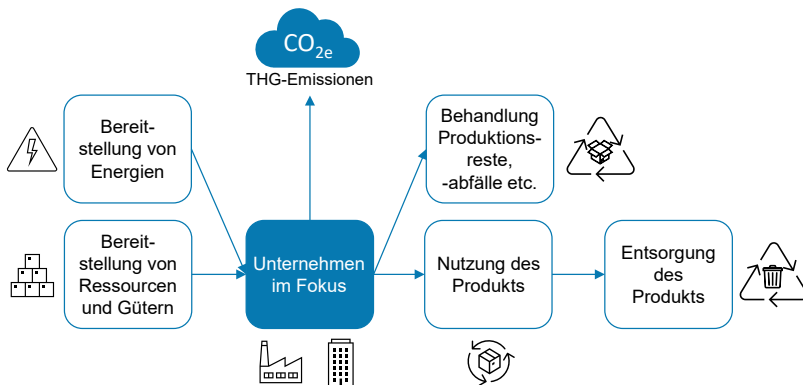


Abbildung 7: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Mit vielen Materialeffizienz-Maßnahmen geht auch eine Veränderung des Energiebedarfs beim fokalen Unternehmen einher. Die Leitfrage IV behandelt dabei die THG-Emissionen, die aus der Verfeuerung fossiler Energieträger beim Unternehmen selbst verursacht werden. Sie entsprechen den Scope-1-Emissionen aus dem Greenhouse Gas Protocol, enthalten allerdings auch die bei der Bereitstellung erfolgten Emissionen nach Scope 3.3. Die Veränderung der Emissionen berechnet sich aus der Angabe der geänderten Mengen an eingesetzten Energieträgern.

Beispiel:

Es werden durch eine Maßnahme 10.000 Nm³ Erdgas und 500 l Diesel jährlich eingespart. Die Umrechnung ergibt 97,7 MWh bzw. 4,98 MWh.

Energieträger [MWh _{th}]	[t CO _{2e} /MWh _{th}]	[t CO _{2e}]
Erdgas	0,201	19,64
Heizöl leicht/Diesel	0,266	1,33

Die Einsparungen betragen zusammen 20,97 t CO_{2e} pro Jahr.

Die Mengenangaben für die verschiedenen Energieträger, die in dem Auswahlfeld verfügbar sind, müssen als MWh angegeben werden. Für manche Energieträger sind andere Einheiten gebräuchlich. Sie können mit Hilfe der Tabelle 2 umgerechnet werden.

3.5 Leitfrage V: Direkte Emissionen am Standort

Verändern sich direkte, aus einem Prozess resultierende Treibhausgas-Emissionen?

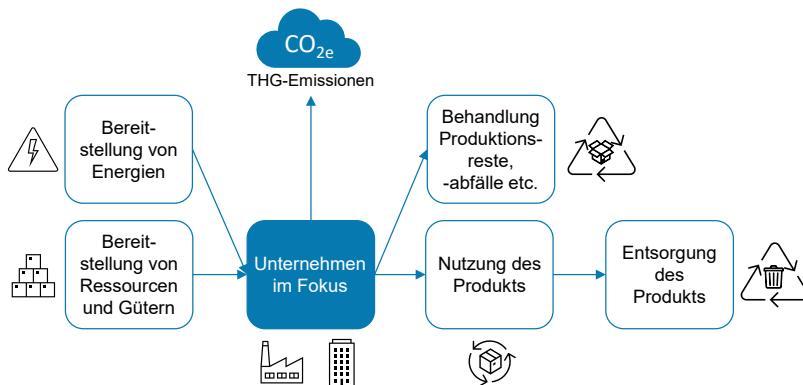


Abbildung 8: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Mit dieser Leitfrage können zusätzlich zu Leitfrage IV weitere direkte THG-Emissionen angegeben werden, die beispielsweise aus chemischen Prozessen resultieren. Sie gehören ebenfalls der Kategorie Scope-1 an.

Die eingesparten THG-Emissionen werden direkt in t pro Jahr angegeben. Im Auswahlfeld können die wichtigsten Treibhausgase ausgewählt werden. Sie werden mit den entsprechenden Faktoren (GWP 100 nach IPCC 2014, AR5) gewichtet. Diese Faktoren sind kompatibel zu den ermittelten Carbon Footprints für die Materialien.

Beispiel:

Es werden durch eine Maßnahme direkte Emissionen (nicht aus der Verbrennung von Energieträgern!) in Höhe von 10 t Methan, 30 t CO₂ und 5 kg SF₆ eingespart.

Eingesparte Menge pro Jahr (positiv) Zusätzliche Mengen (negativ)	Treibhausgas [t]	CO ₂ -Äquivalente (GWP100) [t CO ₂ e/t]	Verteilungsfaktor bei einmaligen Einsparungen	THG-Emissionen [t CO ₂ e]
CH ₄	10,0	28,000	1	280,00
CO ₂	30,0	1,000	1	30,00
SF ₆ (Schwefelhexafluorid)	0,005	23500,000	1	117,50

Die eingesparten Emissionen betragen zusammen 427,50 t CO₂e pro Jahr.

3.6 Leitfrage VI: Menge bezogener Energie

Verändert sich die eingesetzte Menge an bezogener Energie?

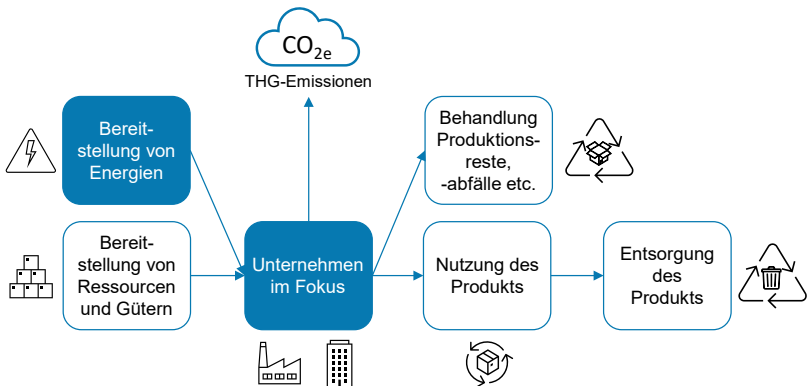


Abbildung 9: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Diese Frage zielt in erster Linie auf veränderte Bezugsmengen an elektrischem Strom ab und betrifft Emissionen, die außerhalb des Unternehmens durch den Energiebezug erfolgen. Sie entsprechen den sogenannten Scope-2-Emissionen und enthalten ggf. auch die damit verbundenen Scope-3.3-Emissionen. Es wird hierbei von dem jeweils aktuell verfügbaren

Emissionsfaktor für den nationalen Strommix in Deutschland ausgegangen. Das bedeutet, es wird keine Unterscheidung nach „normalem“ Strom aus dem Netz, „grünem“ Strom oder Strom aus regenerativen Quellen vorgenommen. Betreibt ein Unternehmen eigene regenerative Erzeugungsanlagen für Elektrizität, so sind die Mengen hier nicht anzugeben.

Beispiel:

Das Unternehmen spart durch eine Maßnahme pro Jahr 15 MWh Strom ein, die es weniger aus dem nationalen Netz beziehen kann.

Eingesparte Menge pro Jahr (positiv) Zusätzliche Mengen (negativ)	THG-Emissionen (Verbrennung und Vorkette)	Verteilungsfaktor bei einmaligen Einsparungen	THG-Emissionen
Energiebezug [MWh]	[t CO _{2e} /MWh]		[t CO _{2e}]
Strommix D 2021 15,0 *	0,485	1	7,28

Die Einsparungen betragen 7,28 t CO_{2e} pro Jahr.

3.7 Leitfrage VII: Entsorgung von Produkten

Verändert sich die Menge der am Lebensende zu entsorgenden Materialien in Produkten oder verändert sich das Entsorgungsverfahren dieser Materialien?

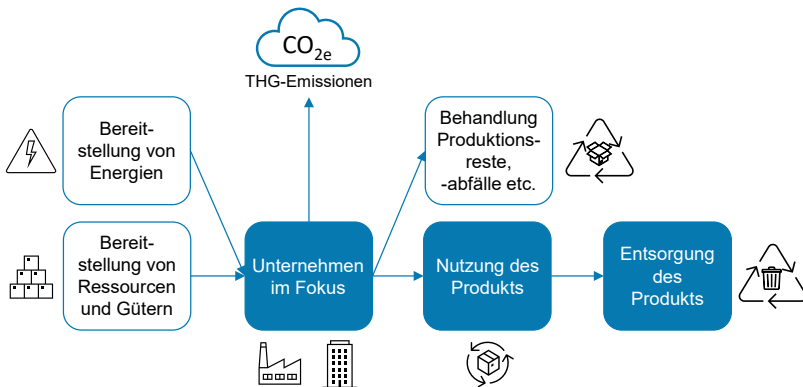


Abbildung 10: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Materialeffizienz-Maßnahmen können sich nicht nur auf die Produktionsphase im Unternehmen auswirken, sondern auch auf die Entsorgung der Produkte nach deren Lebensende. Analog zur Nutzungsphase ist ebenso die Entsorgung in Bezug auf die Methodik und die benötigten Daten sowie Informationen komplexer als die Bilanzierung von Maßnahmen innerhalb der Produktion. Beide Phasen können im ESTEM-Tool nur vereinfacht berücksichtigt werden. Detaillierte Analysen bleiben dem LCA nach ISO EN DIN 14040/44 bzw. dem Carbon Footprint nach ISO EN DIN 14067 vorbehalten.

Bei der Leitfrage VII wird davon ausgegangen, dass ein veränderter Materialeinsatz beim Produkt (der auf der Inputseite des Unternehmens schon unter Leitfrage I berücksichtigt wurde) auch zu einer Veränderung der Menge der nach der Nutzungsphase zu entsorgenden Produktabfälle führt.

Die Materialien eines Produktes können am „Lebensende“ entweder durch die allgemeinen Verfahren der Abfallentsorgung/-beseitigung, insbesondere die chemisch-physikalische Behandlung, die Verbrennung oder die Deponierung, entsorgt werden. Alternativ können sie wieder- oder weiterverwendet bzw. energetisch verwertet oder stofflich verwertet werden. Aus methodischen Gründen wird beim ESTEM-Tool das Recycling nur auf der Inputseite durch den Ersatz (Substitution) von Primär- durch Sekundärmaterial abgebildet (siehe Leitfrage Ic).

Deshalb wird auf der Outputseite lediglich die Beseitigung, nicht aber eine Verwertung berücksichtigt. Damit werden Doppelzählungen in der Emissionsbilanz vermieden. Bei Leitfrage VII dürfen nur jene eingesparten Produktmengen gezählt werden, die tatsächlich beseitigt werden. Energetisch genutzte oder recycelte Mengen sind abzuziehen.

Demnach werden durch die Leitfrage VII zwei Maßnahmen erfasst:

- die Verringerung der Menge von zu beseitigenden End-of-Life-Produkten durch Verringerung der Materialmengen des Produkts,
- die Umstellung der Entsorgung von einer Beseitigung auf ein Recycling

Beispiel:

Das Unternehmen kann den Materialeinsatz in seinen Produkten um 1.000 t jährlich senken, z. B. durch eine „Dematerialisierung“. Das hat zur Folge, dass auch weniger Produktabfälle entsorgt werden müssen. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass 30 % der Produktabfälle durch Sortierung recycelt werden. Es verbleiben also 700 t, die weniger beseitigt werden müssen.

Eingesparte Menge pro Jahr (positiv) Zusätzliche Mengen (negativ)	THG-Emissions- faktor der Abfall- behandlung/ Entsorgung	Verteilungsfaktor bei einmaligen Einsparungen	THG- Emissionen
Entsorgung [t]	[t CO ₂ e/t]		[t CO ₂ e]
Deponie, Hausmüll 700,0 *	2,180	1	1.526,00

Die Einsparungen durch die geringeren Produktabfälle betragen 1.526 t CO₂e pro Jahr.

Obwohl die Entsorgung von Produktabfällen zeitverzögert auftreten kann, wird sie für das gleiche Jahr angenommen, für das die Emissionsbilanz erstellt wird.

Weiterhin können, falls relevant, auch die Transporte bei der Entsorgung mitberücksichtigt werden. Dies erfolgt analog zur Leitfrage I.

Die Emissionen aus dieser Leitfrage fallen in die Kategorien Scope 3.9, 3.10 und 3.12 des Greenhouse Gas Protocols.

3.8 Leitfrage VIII: Entsorgung von produktionsspezifischen Abfällen

Verändert sich die Menge der anfallenden produktionsspezifischen Abfälle oder deren Entsorgung?

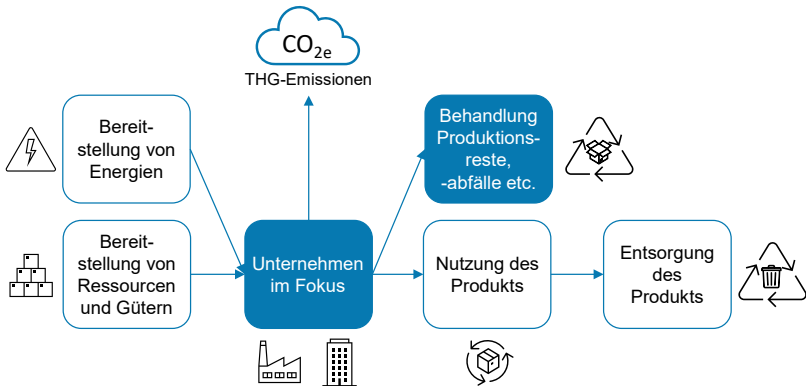


Abbildung 11: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Mit dieser Leitfrage werden unterschiedliche Herkunftsbereiche von produktionsspezifischen Abfällen erfasst: der Verlust von Materialien bei der Herstellung von Produkten (z. B. Verschnitt), Reststoffen aus der Produktion (z. B. Schlacken, Rückstände aus der Reinigung) und die verbrauchten Betriebsstoffe (z. B. Lösemittel, Kühlschmierstoffemulsionen).

Wie schon bei der Leitfrage VII gesagt, wird die Verwertung (Recycling) von produktionsspezifischen Abfällen nicht berücksichtigt. Sie ist quasi implizit auf der Inputseite (siehe Leitfrage I und II) durch die Unterscheidung nach Primär- und Sekundärmaterialien enthalten.

Es werden deshalb nur jene Materialmengen berücksichtigt, die durch eine Materialeffizienz-Maßnahme einem allgemeinen Verfahren der Abfallentsorgung bzw. -beseitigung weniger zugeführt werden. Hierbei wird nicht nach der Art des Materials, sondern nur nach Beseitigungsverfahren differenziert.

Beispiel:

Das Unternehmen spart jährlich 300 t Schlacke ein, die auf einer Deponie beseitigt werden musste, außerdem 10 t hausmüllähnlichen Abfall.

Eingesparte Menge pro Jahr (positiv)	Zusätzliche Mengen (negativ)	THG-Emissionsfaktor der Abfallbehandlung/Entsorgung	Verteilungsfaktor bei einmaligen Einsparungen	THG-Emissionen
Entsorgung [t]		[t CO _{2e} /t]		[t CO _{2e}]
Deponie, Schlacke	300,0 *	0,004	:	1,18
Deponie, Hausmüll	10,0 *	2,180	:	21,80

Die Einsparungen betragen 22,98 t CO_{2e} pro Jahr.

Analog zur Leitfrage VII werden auch hier zwei Maßnahmen erfasst: die Verringerung zu beseitigender Mengen durch Einsparungen beim Einsatz und die Umstellung der Entsorgung von einer Beseitigung auf ein Recycling.

Bei dieser Leitfrage können zusätzlich wieder die Transporte bei der Entsorgung berücksichtigt werden (siehe Leitfrage I).

Die Emissionen aus dieser Leitfrage fallen in die Kategorien Scope 3.5 und 3.10 des Greenhouse Gas Protocols.

3.9 Leitfrage IX: Betriebsstoffe/Verbrauchsmaterialien in der Produktnutzung

Verändert sich in der Nutzungsphase des Produkts der Verbrauch von Betriebsstoffen?

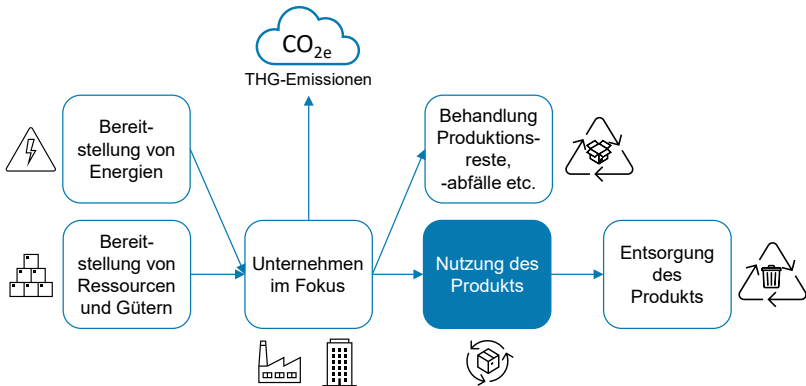


Abbildung 12: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Ein verändertes Produktdesign kann nicht nur Auswirkungen auf die Menge an eingesetztem Material haben (mittels Leitfragen I und VII abgedeckt), sondern es können auch Materialströme während der Nutzungsphase des Produktes betroffen sein, z. B. Betriebsstoffe wie Motoröl oder Verbrauchsmaterial wie z. B. Staubsaugerfilterbeutel oder Druckerpatronen. Noch relevanter können solche Einsparungen bei Produkten im gewerblichen Einsatzbereich sein.

Diese Materialeinsparungen werden von der Leitfrage IX adressiert. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass es auch langlebige Produkte gibt, die über viele Jahre zu Materialeinsparungen führen können. Entsprechende Annahmen über die Nutzungsdauer, Nutzungsintensität und den damit verbundenen Anfall von Verbrauchsmaterialien könnten zu schwer belegbaren Annahmen über die damit verbundenen Materialeinsparungen führen. Deshalb

wird bei langlebigen Produkten maximal die Materialeinsparung in drei Jahren berücksichtigt.

Beispiel:

Durch ein verändertes Produktdesign eines Druckers werden bei gleicher Leistung in der Nutzungsphase weniger Druckerpatronen benötigt. Gemessen an dem jährlichen Produktabsatz und dem typischen Bedarf an Druckerpatronen wird geschätzt, dass dadurch 100 t weniger Kunststoffe für Druckerpatronen jährlich benötigt werden. Da ein Drucker als langlebig angenommen wird, werden die Einsparungen über drei Jahre hinweg berücksichtigt.

Eingesparte Menge pro Jahr (positiv) Zusätzliche Mengen (negativ)		THG- Emissionsfaktor	Nutzungs- skalierungsfaktor bei langsam drehenden Produkten	THG-Emissionen
Werkstoff [t]		[t CO ₂ e/t]		[t CO ₂ e]
Polypropylen (PP)	100,0 *	1,906 *	3	= 571,89

Die zu berücksichtigenden Einsparungen betragen 571,89 t CO₂e.

Die Emissionen aus dieser Leitfrage fallen in die Kategorien Scope 3.10 und 3.11 des Greenhouse Gas Protocols.

3.10 Leitfrage X: Energie in der Produktnutzung

Verändert sich in der Nutzungsphase des Produkts der Energieverbrauch?

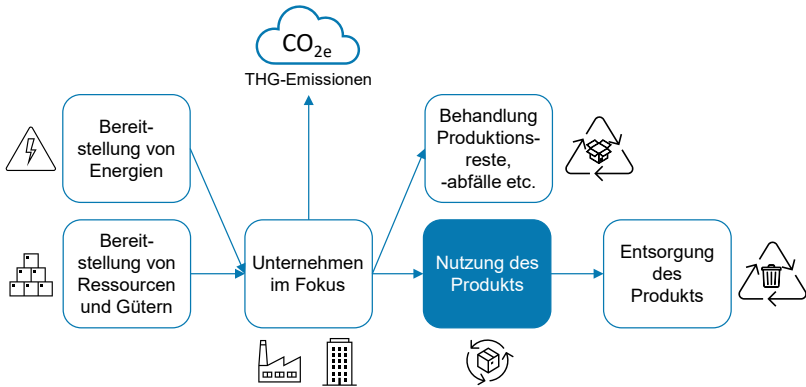


Abbildung 13: Visualisierung der verschiedenen Lebenszyklusphasen sowie derer, die im Rahmen der Leitfrage betroffen sind (in Blau) (eigene Darstellung)

Eine Materialeffizienz-Maßnahme kann einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch während der Nutzungsphase des Produktes haben. Ein typisches Beispiel ist die Verwendung leichter Materialien im Karosseriebau von Pkw, woraus sich Treibstoff-Einsparungen ergeben.

Die Leitfrage ist hinsichtlich der Berücksichtigung von Einsparungen bei langlebigen Produkten analog zu Leitfrage IX zu betrachten. Auch hier sind Einsparungen von maximal drei Jahren einzubeziehen.

Beispiel:

Ein Unternehmen setzt pro Jahr 1000 Fahrzeuge ab, die durch den Einsatz alternativer Werkstoffe leichter sind und bei durchschnittlicher Nutzung zu einer Einsparung von 100 l Diesel pro Fahrzeug und Jahr führen. Das macht pro Jahr 100 m³ Diesel bzw. 996 MWh (siehe Tabelle 2).

Energieträger [MWh _H] bzw. [MWh]	[t CO ₂ e/MWh _H] bzw. [t CO ₂ e/MWh]				[t CO ₂ e]
Heizöl leicht/Diesel 996,0 *	0,266 *		3	=	794,81

Es werden die Einsparungen für drei Jahre in Höhe von 794,81 t CO₂e berücksichtigt.

Die Emissionen aus dieser Leitfrage fallen in die Kategorien Scope 3. 9, 3.10 und 3.11 des Greenhouse Gas Protocols.

4 BEISPIELHAFTE ANWENDUNG DES ESTEM-TOOLS

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.

4.1 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 Gefügestruktur 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 Leichtbaumutter 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 14 dargestellt.

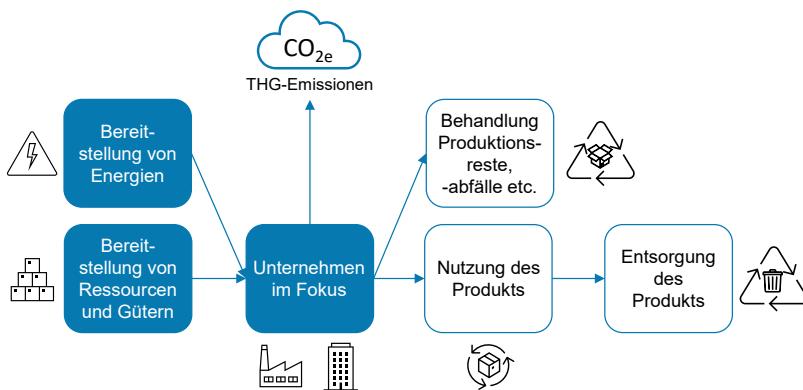


Abbildung 14: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Leichtbau“ (in Blau)

Vorgehen bei der Berechnung

Pro Jahr werden 260 t Elektro Stahl (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

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 der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse für das Fallbeispiel „Leichtbau“

Maßnahmen	Scope gem. GHG-Protokoll	THG-Emiss. [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

4.2 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 15 zeigt die betroffenen Lebenszyklusphasen für das beschriebene Beispiel.

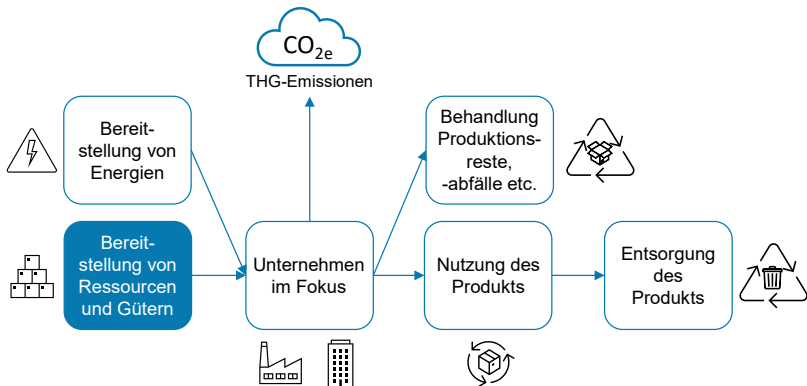


Abbildung 15: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Einsatz von Recyclingmaterial“ (in Blau)

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 Polyethylen-terephthalat (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 kann eine gesamte Einsparung von 31 t CO_{2e}/Jahr erzielt werden.

4.3 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 16). In der Praxis sollte allerdings geprüft werden, ob durch die Umsetzung der Maßnahme auch andere Lebenszyklusphasen betroffen sind, welche in dem Fall in der Berechnung entsprechend berücksichtigt werden sollten.

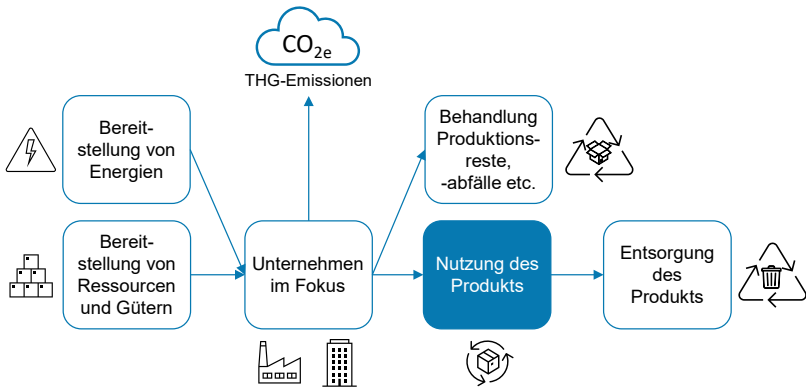


Abbildung 16: Betroffene Lebenszyklusphasen beim Fallbeispiel „Nutzungsphase“ (in Blau)

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 CO₂e eingespart werden. Die Emissionen sind in Tabelle 4 aufgeschlüsselt. Zur transparenten Darstellung werden die Ergebnisse einmal mit und einmal ohne den Nutzungsskalierungsfaktor von drei angegeben.

Tabelle 4: Ergebnisse für das Fallbeispiel „Nutzungsphase“

Frage	Maßnahme	THG-Emissionen [t CO ₂ e] ohne Nutzungskalierungsfaktor	THG-Emissionen [t CO ₂ e] mit Nutzungskalierungsfaktor 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.

4.4 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 17 dargestellten Lebenszyklusphasen aus.

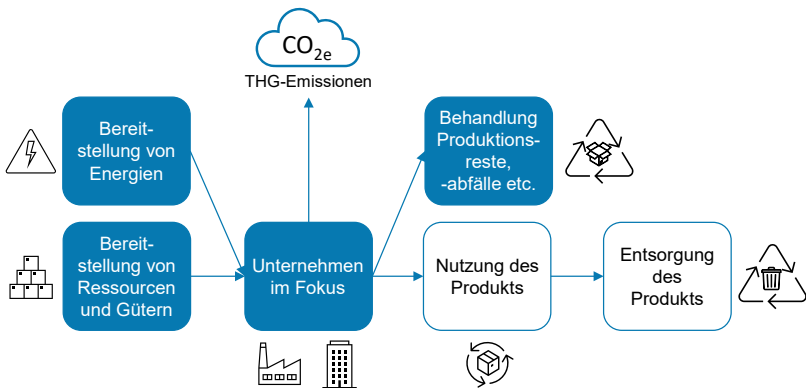


Abbildung 17: Betroffene Lebenszyklusphasen beim Fallbeispiel „Verminderter Materialeinsatz im Prozess“ (in Blau)

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 5 dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse des Fallbeispiels „Verminderter Materialeinsatz im Prozess“

Maßnahmen	Scope gem. GHG-Protokoll	THG-Emissionen [t CO ₂ e]
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

4.5 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 18 dargestellt.

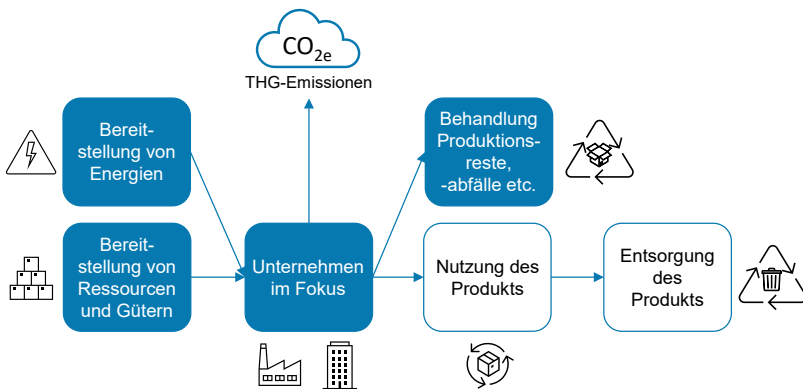


Abbildung 18: Betroffene Lebenszyklusphasen im Fallbeispiel „Investitionsmaßnahme“ (in Blau)

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 6 zu finden.

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.

Tabelle 6: Ergebnisse für die Berechnung des Fallbeispiels „Investitionsmaßnahme“ für eine Abschreibungsdauer von drei Jahren

Maßnahmen	Scope gem. GHG-Protokoll	THG-Emissionen [t CO ₂ e]
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

4.6 Fallbeispiel 6: Kreislaufwirtschaftliche Maßnahme

Ausgangssituation

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.

Beschreibung der Maßnahme

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.

LITERATURVERZEICHNIS

BAFA (2021): Informationsblatt CO₂-Faktoren. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft, Eschborn [abgerufen am: 25.08.2022], verfügbar unter https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2021.html.

EU Kommission (2021): Empfehlung 2021/2279 der Kommission „zur Anwendung der Methoden für die Berechnung des Umweltfußabdrucks zur Messung und Offenlegung der Umweltleistung von Produkten und Organisationen entlang ihres Lebenswegs“ vom 15. Dezember 2021. Amtsblatt der Europäischen Union L 471/1 (30.12.2021).

ISO DIN EN 14040:2020: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, Beuth-Verlag, Berlin, 2021.

ISO DIN EN 14044:2020: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, Beuth-Verlag, Berlin, 2021.

ISO DIN EN 14064:1:2018: Treibhausgase - Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene, Beuth-Verlag, Berlin, 2019.

ISO DIN EN 14067:2018: Treibhausgase - Carbon Footprint von Produkten - Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung, Beuth-Verlag, Berlin, 2019.

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

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

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

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

