

# Kapitel 3

## Modellierung des Produktsystems

### Inhaltsverzeichnis

3.1 Ziel und Untersuchungsrahmen .....	11
3.2 Sachbilanz .....	15

Aufbauend auf der ISO 14044 [10] wird das zu untersuchende Produktsystem modelliert. Im Folgenden werden die damit verbundenen Schritte kurz erläutert. Um mehr Informationen zur Erstellung von Ökobilanzen zu erhalten, können weitere Quellen herangezogen werden [10], [11], [12].

### 3.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

In einem ersten Schritt werden das Ziel (beabsichtigte Anwendung) sowie der Untersuchungsrahmen mit den Systemgrenzen, die funktionelle Einheit und der Referenzfluss<sup>1</sup> festgelegt. Darüber hinaus werden die Gründe für die Durchführung sowie das Zielpublikum bestimmt. Die ESSENZ-Methode zur Bewertung der Ressourceneffizienz hat zum Ziel, den Einsatz von Ressourcen über den Lebensweg eines Produktes effizienter zu gestalten, und dient zur Analyse des eigenen Produktportfolios.

Zur Veranschaulichung wird an dieser Stelle ein fiktives Beispiel eingeführt, welches im weiteren Verlauf des Leitfadens erneut aufgegriffen wird. Es umfasst grau hinterlegte Texte und Abbildungen und dient dazu, die verschiedenen Schritte der ESSENZ-Methode besser zu erläutern. Das Beispiel wurde daher entsprechend in seiner Komplexität soweit verringert, dass es gut nachvollziehbar ist. Für das

---

<sup>1</sup> Der Referenzfluss ist ein Maß für die Outputs von Prozessen eines vorhandenen Produktsystems, die zur Erfüllung der Funktion notwendig sind [10].

Verständnis der Methode ist es nicht zwingend erforderlich, das Beispiel zu lesen. Es kann bei Bedarf übersprungen werden.

Das Ziel lässt sich beispielsweise wie folgt formulieren: Vergleich eines Silber- und Aluminiumkabels in der Elektronik eines Soundsystems.

Die Nutzengleichheit im Beispiel ist insofern gegeben, da beide Kabel zur Übertragung von elektrischer Energie dienen, ohne dass eine eingeschränkte Qualität in der Funktion zu erwarten ist. Würde sich zum Beispiel das Aluminiumkabel nicht für den Einsatz in einem Soundsystem eignen, wäre der Vergleich der beiden Kabel nicht zielführend.

In den Zielen wird festgelegt, ob es sich um eine vergleichende Analyse oder die Betrachtung eines einzelnen Produktes handelt. Bei einer vergleichenden Analyse muss sichergestellt werden, dass die zu untersuchenden Systeme die gleichen Funktionen und damit den gleichen Nutzen erfüllen.

Die Definition des Nutzens eines Produktes ist wichtig, da der Nutzen als ein entscheidender Parameter in die Ressourceneffizienzbewertung eingeht. Die Quantifizierung des Nutzens erfolgt über die funktionelle Einheit. Der Nutzen und die funktionelle Einheit werden nach ISO-Hierarchie in ESSENZ bevorzugt physikalisch abgebildet. Dabei muss sowohl der Nutzen als auch die funktionelle Einheit spezifisch für das untersuchte Produktsystem definiert werden. Es besteht aber auch die Option, wirtschaftliche Kenngrößen zu verwenden.

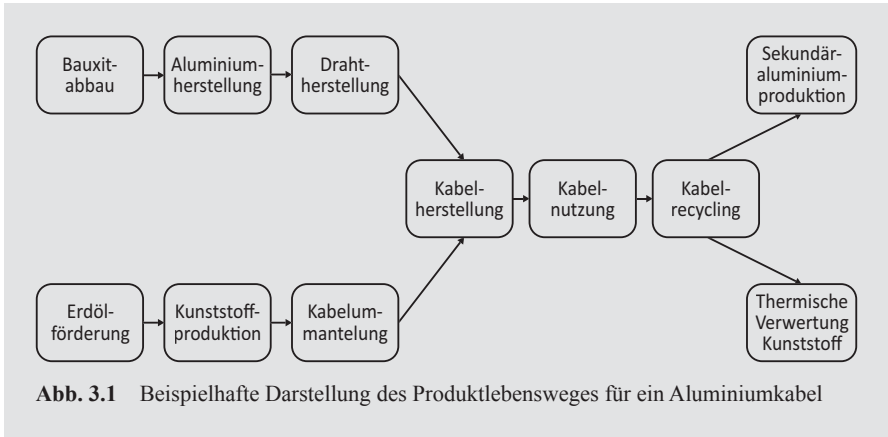
Des Weiteren erfolgt eine Beschreibung des Produktlebenswegs, die dabei unterstützen kann, keine relevanten Lebenswegabschnitte und deren Belastungen zu vernachlässigen. Zum besseren Verständnis ist dabei die Anfertigung einer einfachen Skizze empfehlenswert.

Vergleich eines Silber- und Aluminiumkabels in der Elektronik eines Soundsystems:

Funktionelle Einheit: Übertragung von 0,06 kWh elektrischer Energie bei gleichem Spannungsabfall über 5 m (0,012 kWh/m)

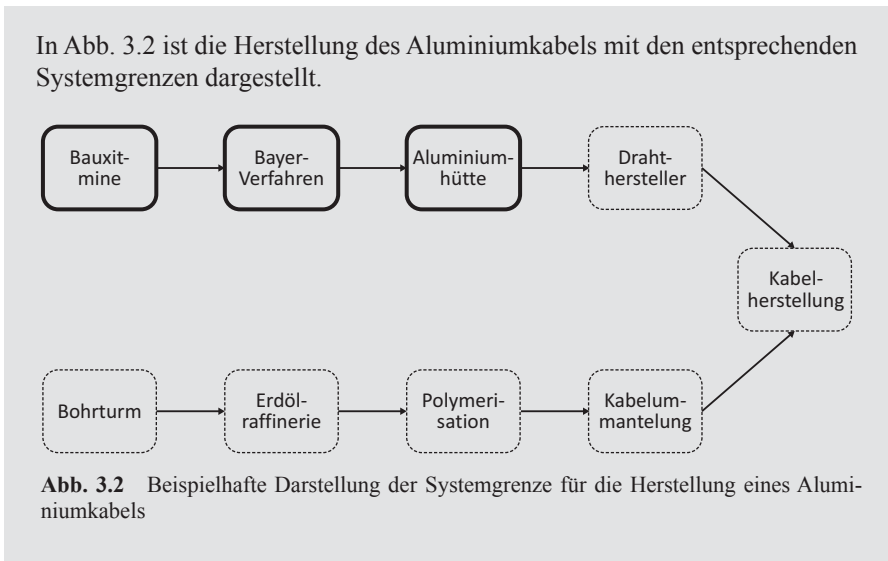
Referenzfluss: 0,44 kg Silberkabel und 0,24 kg Aluminiumkabel (mit je 0,06 kg Kunststoffummantelung)

In Abb. 3.1 ist der Lebensweg eines Aluminiumkabels grob dargestellt. Dieser umfasst den Abbau des Bauxits zur Herstellung des Rohstoffes Aluminium zur Fertigung des Drahts sowie die Förderung von Erdöl, welches als Rohstoff zur Herstellung von Kunststoff für die Kabelummantelung benötigt wird. Durch die Zusammenführung von Draht und Kabelummantelung entsteht schließlich ein Kabel für Soundsysteme. Die Kabelnutzung umfasst den Einsatz im Soundsystem. Am Ende des Lebensweges steht das Kabelrecycling, welches die stoffliche Rückgewinnung von Aluminium und die thermische Verwertung von Kunststoff umfasst.



**Abb. 3.1** Beispielhafte Darstellung des Produktlebensweges für ein Aluminiumkabel

Im nächsten Schritt werden die Systemgrenzen und Abschneidekriterien definiert. Die festgelegten Systemgrenzen spezifizieren, welche Abschnitte des Produktlebensweges und welche der darin auftretenden Prozesse (z. B. Rohstoffgewinnung, Transport, Verarbeitungs- bzw. Herstellungsprozesse, Herstellung von Betriebsstoffen, Recycling) Berücksichtigung finden. Prozesse und Verfahren, die zur Ressourceneffizienz beitragen, werden dabei ebenfalls betrachtet. Diese umfassen zum einen mögliche Optimierungsoptionen von Prozessen (z. B. ein verringerter Energieverbrauch), unter die auch das Recycling von Rohstoffen am Ende des Lebensweges fällt, sowie die Substitution von Materialien (Abb. 2.1). Bei vergleichenden Analysen können übereinstimmenden Lebenswegabschnitte abgeschnitten und somit erhebliche Vereinfachungen bei der Modellierung erreicht werden.



**Abb. 3.2** Beispielhafte Darstellung der Systemgrenze für die Herstellung eines Aluminiumkabels

Aufgrund der Symmetrien im Herstellungsprozess des Silber- und Aluminiumkabels können Prozessschritte wie beispielsweise die Ummantelung des Drahtes (aufgrund gleicher Massen) sowie die Drahtherstellung abgeschnitten werden. Letzteres ist allerdings nur dann möglich, wenn bei der Drahtherstellung beider Kabel gleich viel Energie benötigt wird und die Mengenunterschiede bei den Metallen keine prozesstechnischen Unterschiede bedingen. Diese Prozesse sind mit hell umrandeten Kästchen gekennzeichnet. Die aluminiumspezifischen Prozesse, die dunkel umrandete Kästchen haben, sind für die Herstellung des Aluminiumkabels maßgebend und können bei einem Vergleich der Kabel nicht abgeschnitten werden. Für das gewählte Beispiel wurde die Drahtummantelung jedoch weiterhin einbezogen, um den Anwendungsfall der Hotspotanalyse eines Produkts aufzeigen zu können und zu erläutern, wie die Bewertung (Kap. 4), Berechnung (Kap. 5) und Interpretation (Kap. 6) für ein Produkt vorgenommen wird.

Zur Verringerung des Aufwandes beim Erstellen einer Ökobilanzstudie dienen die sogenannten Abschneidekriterien. Diese ermöglichen es, Prozesse oder Stoffströme auch innerhalb der Systemgrenzen zu vernachlässigen. Diese können z. B. über die Masse definiert sein. Dabei wird festgelegt, dass Stoffstrommengen aufgrund ihrer geringen Masse (z. B. weniger als 3 % der Produktmasse) nicht zu bilanzieren sind. In der Gesamtbetrachtung dürfen jedoch nicht mehr als 10 % der Produktmasse abgeschnitten werden. Als Abschneidekriterium kann neben der Masse auch der Umweltwirkungsbeitrag oder Energiegehalt dienen [10]. In der Praxis hat sich allerdings das Massenkriterium bewährt. Es ist jedoch darauf zu achten, dass Komponenten mit einer signifikanten Wirkung in den Teildimensionen „Physische Verfügbarkeit“, „Sozio-ökonomische Verfügbarkeit“, und den Dimensionen „Gesellschaftliche Akzeptanz“ oder „Umweltauswirkungen“ nicht abgeschnitten werden dürfen.

Der Untersuchungsrahmen legt auch fest, welche Wirkungskategorien Betrachtung finden, damit bei der Erstellung der Sachbilanz die Erhebung der entsprechenden Elementarflüsse berücksichtigt wird. Für die ESSENZ-Methode werden als Standard die folgenden Kategorien festgelegt. Die Teildimension „Physische Verfügbarkeit“ umfasst die Kategorie Abiotischer Ressourcenverbrauch. Die in der Teildimension „Sozio-ökonomische Verfügbarkeit“ betrachteten Kategorien sind Konzentration der Reserven, Konzentration der Produktion, Unternehmenskonzentration, Minenkapazität, Realisierbarkeit von Explorationsvorhaben, Handelshemmnisse, Koppelproduktion, politische Stabilität, Preisschwankungen, Nachfragerwachstum und Primärmaterialeinsatz. Die Dimension „Gesellschaftliche Akzeptanz“ umfasst die Kategorien „Einhaltung sozialer Standards“ und „Umweltstandards“ (Kap. 4). Die Bewertung der Dimension „Umweltauswirkungen“ erfolgt mithilfe der Kategorien Klimawandel, Versauerung, Eutrophierung, Abbau der Ozonschicht und Bildung photochemischer Oxidantien.

## 3.2 Sachbilanz

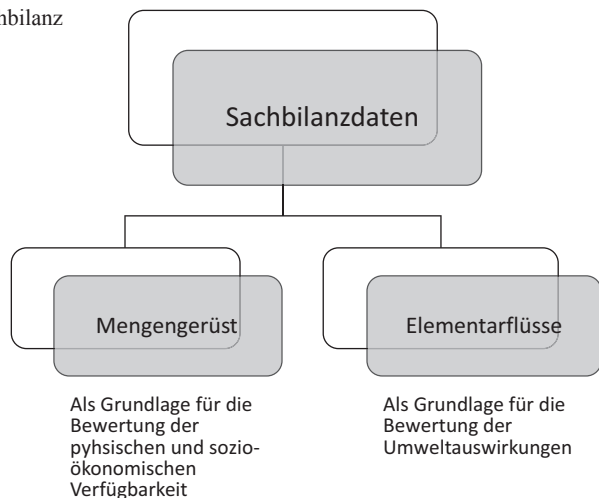
Ziel der Erstellung der Sachbilanz ist die Erfassung aller, die Systemgrenze überschreitenden Input- (Rohstoffe, Energie- und Wasserverbrauchsdaten) und Outputgrößen (Emissionen in Luft, Wasser, Boden) bezogen auf die funktionelle Einheit des zu untersuchenden Produktsystems. Diese Elementarflüsse bilden die Grundlage für die Bewertung der Dimension „Umweltauswirkungen“ (Abb. 3.3). In der ESSENZ-Methode umfasst die Sachbilanz zusätzlich die Inventardaten des Mengengerüsts des Produktes. Diese dienen als Grundlage für die Bewertung der Teildimensionen „Physische Verfügbarkeit“, „Sozio-ökonomische Verfügbarkeit“ und der Dimension „Gesellschaftliche Akzeptanz“.

Optimal wäre es, alle verwendeten Metalle und fossilen Rohstoffe über den Lebensweg eines Produktes einzubeziehen, um eine umfassende Bewertung des betrachteten Produktsystems zu gewährleisten und unerwünschte Verschiebung von Belastung zu vermeiden. *Diese Angaben aus bestehenden Ökobilanzdatenbanken zu bekommen, ist derzeit nicht möglich, was solch eine Analyse erschwert. Daher wird in einem ersten Schritt nur das Mengengerüst des untersuchten Produktes betrachtet. Sollten dem Anwender weitere Daten zur Lieferkette vorliegen, sollten diese unbedingt integriert werden.*

*Zudem ist es erforderlich, bei der Modellierung eine klare Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen vorzunehmen. Die Wieder- und Weiterverwendung von Metallen ist ein wichtiger Beitrag für die Verringerung der Umweltauswirkungen sowie der Aufzehrung von Ressourcen und muss daher bei der Modellierung berücksichtigt werden. Derzeit sind keine Charakterisierungsfaktoren für Sekundärrohstoffe zur Bewertung der Teildimension „Sozio-ökonomische Verfügbarkeit“ vorhanden.*

Dennoch sollte auch im Mengengerüst eine Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärrohstoff vorgenommen werden. Bei der detaillierteren Analyse des

**Abb. 3.3** Gliederung der Sachbilanz



potenziellen Risikos einer eingeschränkten Verfügbarkeit muss eine solche Information einbezogen werden.

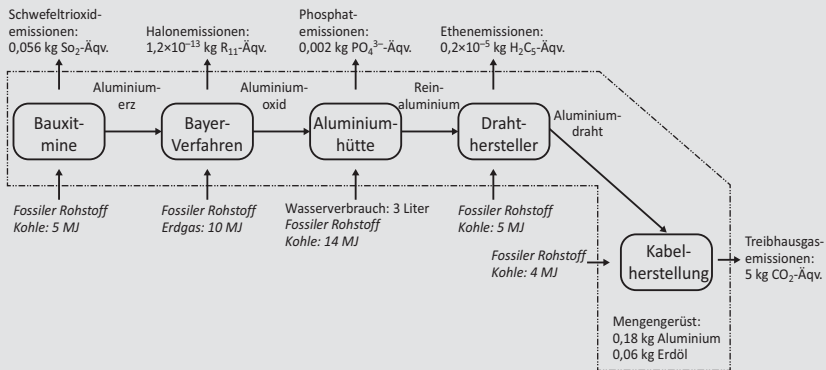
Die Ermittlung der Mengen an Silber, Aluminium und Erdöl für das Produktsystem erfolgt über das Mengengerüst. Unter der Annahme, dass für 1 kg Kunststoff 1 kg Erdöl benötigt wird, ergibt sich im Mengengerüst eine Masse von 0,06 kg Erdöl für die Kunststoffummantelung.

Mengengerüst: 0,38 kg Silber, 0,18 kg Aluminium, 0,06 kg Erdöl

Elementarflüsse: bezogen auf den Lebensweg des Silberkabels z. B. 60 kg CO<sub>2</sub> und des Aluminiumkabels z. B. 0,9 kg CO<sub>2</sub>

Für die Bewertung der Umweltauswirkung werden die Elementarflüsse (z. B. CO<sub>2</sub>) laut ISO 14044 [10] über den Lebensweg eines Produktes identifiziert.

Wie in Abb. 3.4 beispielhaft für die Herstellung des Aluminiumkabels dargestellt, werden für jeden Prozess die eingesetzten Materialien als auch die entstehenden Emissionen sowohl im Vordergrundsystem als auch über den Lebensweg identifiziert.



**Abb. 3.4** Beispielhafte Darstellung der Erhebung der Sachbilanzdaten am Beispiel des Aluminiumkabels

Bei der Erhebung des Inventars können verschiedene Datenquellen mit unterschiedlicher Qualität zur Verfügung stehen. Dabei sollten zuerst Primärdaten (z. B. von Produzenten über Berechnungen, Messungen, Datenerfassungssysteme der Prozesssteuerung, des Umweltmanagements oder des Enterprise-Resource-Plannings) und dann Sekundärdaten (z. B. Ökobilanzdatenbanken, vorangegangene Studien, Emissionsdatenbanken, Umweltstatistiken) verwendet werden. Im Fall von Datenlücken kann auf physikalische bzw. chemische Berechnungen (z. B. Energiebedarf, stöchiometrische Verhältnisse) und, wenn nicht anders möglich, auf quantitative Schätzungen (z. B. Abschätzung anhand ähnlicher Prozesse) zurückgegriffen werden.

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung-Nicht kommerziell 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche für nicht kommerzielle Zwecke die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, ein Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Etwaige Abbildungen oder sonstiges Drittmateriale unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende oder der Quellreferenz nichts anderes ergibt. Sofern solches Drittmateriale nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht, ist eine Vervielfältigung, Bearbeitung oder öffentliche Wiedergabe nur mit vorheriger Zustimmung des betreffenden Rechteinhabers oder auf der Grundlage einschlägiger gesetzlicher Erlaubnisvorschriften zulässig.