

Masterarbeit

Material- und Energiebilanzierung eines OSR ShuttleTM

Ulrich Pammer

Mai 2013

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Vorbach
Begutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Vorbach

Technische Universität Graz
Institut für Unternehmungsführung und Organisation



Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date

.....
(signature)

Danksagung

Eine Sachbilanzierung fordert Know-How in den verschiedensten Bereichen der Technik und Wirtschaft. Zahlreiche Themenbereiche aus meinem Studium fanden sich in den Analysen wieder. Ich möchte mich bei den verantwortlichen Personen der KNAPP AG für die Möglichkeit mich mit dieser Arbeit zu beweisen bedanken. Das Projekt forderte intensiven Zeiteinsatz. Viele neue Kontakte in der KNAPP AG ermöglichten es mir, die gewünschten Ergebnisse zu erarbeiten.

An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich bei allen Mitarbeitern der KNAPP AG, mit denen ich in Kontakt gekommen bin, bedanken und betonen, dass mir alle Personen sehr freundlich und hilfsbereit entgegengekommen sind. Es bereitete mir Spaß in so einem Umfeld zu agieren. Besonders hervorheben möchte ich meine Betreuerin Frau Mag. Katrin Pucher und Herrn DI(FH) Roman Schnabl, die mich beide tatkräftig unterstützt haben. Mit ihrer Hilfe konnte die Arbeit in einem entsprechenden Rahmen ausgeführt werden.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Stefan Vorbach, der mir vor allem bezüglich des theoretischen Hintergrunds zur Seite stand und mich mit Hinweisen und Tipps auf der richtigen Spur hielt.

Abschließend möchte ich noch einen ganz besonderen Dank an meine Familie richten, die mir nicht nur während der Masterarbeit, sondern durch das gesamte Studium den Rücken stärkten, mich vorantrieben und mir den erfolgreichen Ablauf des Studiums erleichterten.

Kurzfassung

Das Thema Nachhaltigkeit hält immer stärkeren Einzug in österreichische Unternehmen. Neben gesetzlichen Vorgaben werden häufiger auch Projekte, Analysen und Verbesserungen aus Eigeninitiative umgesetzt. Mit Hilfe dieser Arbeit sollen zwei unterschiedliche Konzepte zur Lagerung von Gütern in Regallagern hinsichtlich ihrer Ressourcenintensität untersucht werden. Ziel ist es, eine möglichst ganzheitliche Analyse zu erstellen. Der Fokus soll über die Betriebsphase hinausgehen.

Die Untersuchung wird mittels einer Material- und Energieaufwandsanalyse durchgeführt. Dabei sollen alle produktbezogenen Material- und Energieflüsse über den gesamten Produktlebenszyklus aufgedeckt werden. Verschiedene Organisationen bieten einen Leitfaden zur Ausführung einer Sachbilanz. Das Projekt wird an diesen ausgerichtet, jedoch lassen diese in den detaillierten Bereichen meist reichlich Spielraum in der Durchführung. Die umfassende Thematik fordert verschiedene Instrumente, die in den einzelnen Untersuchungsbereichen zum Einsatz kommen (z. B. ABC-Analyse, Szenarioanalyse, Plausibilitätsprüfung etc.). Im Endeffekt hat die Sachbilanz für solch komplexe Produktsysteme einen sehr individuellen Charakter.

Besonders für vergleichende Studien müssen strenge Regeln befolgt werden. Schlussendlich soll ein gültiger Vergleich der Produktsysteme herauskommen. Um das zu garantieren, ist es eminent wichtig eine gemeinsame Basis der Systeme zu schaffen, auf der die Analyse aufbaut. Das geschieht in Form der funktionalen Einheit. Diese stellt die Grundperformance des Systems dar. Die Äquivalenz der funktionalen Einheit und der Referenzflüsse sichert auch einen vorzeigbaren Vergleich der Studie.

In der Analyse werden alle Schnittstellen vom Produkt in die Umwelt zuerst festgelegt und dann untersucht. Dabei werden alle Material- und Energieflüsse aufgedeckt und bilanziert. Im Endeffekt bietet sich eine Auflistung an verbrauchter Energie, verbrauchtem Material, getätigter Transporte und verursachter Emissionen, die durch die Wirkungsabschätzung in der Ökobilanz hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Umwelt bewertet werden.

In einigen Bereichen überraschten die Resultate. Prinzipiell stellte sich heraus, dass ab der Betriebsphase das OSR ShuttleTM im Vorteil ist. In der Produktion hingegen bietet das RBG-System die ressourcenschonendere Lösung. Dieser Unterschied wird in der Wirkungsabschätzung (LCIA) ausschlaggebend sein. Durch die Bewertung des Material- und Energieaufwands hinsichtlich Umweltbelastungen wird sich herausstellen, ob das OSR ShuttleTM 35b den größeren Ressourcenaufwand in der Produktion durch den umweltfreundlichen Betrieb kompensieren kann.

Abstract

Sustainability has become a main issue throughout the last decade. Many corporations started even without governmental pressure to realize environmental projects or improvements on their own initiative. The intention of the conducted study is to create a comparative analysis of two product systems from the same industrial sector. The considered products are different storage systems of warehouses. The target is to produce an integral analysis of the entire product life cycle.

A material- and energy examination is going to be accomplished. Therefore the systems need to be separated from its environment. The detachment creates interfaces between product and environment. These interfaces must be explored carefully to reveal all material- and energy flows. Many different organizations provide frameworks for such investigations. But in complex cases like this there is still a lot of space for interpretation. Moreover additional tools are necessary for realizing the study. Those could be instruments like ABC-analysis, validity check or something like that.

Comparative Analyses require more rigorous rules than other examinations. It is very important that the fundamental base for the comparison between both product systems is consistent. Therefore the functional unit must be defined clearly. The functional unit is kind of the basic performance of a system. If the concerned products deliver an equal performance and equal reference flows the comparison should be valid.

The final target is to record all material- and energy flows and aggregate them to few categories, which can be assessed in the following life cycle impact assessment (LCIA) phase. The LCIA is not part of this work anymore, but there will follow another master thesis to finish the started effort. In the end there will exist a couple of categories for the life cycle phases. These categories will be mass of materials stated in kg, use of energy stated in kWh, transports stated in tkm and direct emissions also stated in kg. Of course there must be considered different boundary conditions when continuing the work with the collected data.

In some fields the results have been quite surprisingly. Basically the conclusion shows the big advantage of the OSR ShuttleTM 35b in the phases of operation as well as service and maintenance. The strength of the ASRS is its efficiency in resource exploitation and hence lower resource intensity over the entire production and transport phases. Thus the main topic in the LCIA will be, if the OSR-system can compensate the production disadvantages compared to the ASRS-system across the period of use.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Einführung | 1 |
| 1.1. Die KNAPP AG | 2 |
| 1.2. Ausgangssituation | 3 |
| 1.3. Problem- und Aufgabenstellung | 3 |
| 1.4. Aufgaben- und Zeitplanung | 4 |
| 2. Standards und Ansätze im Umweltmanagement | 7 |
| 2.1. Allgemeines | 7 |
| 2.1.1. Konzepterläuterungen | 8 |
| 2.1.2. Instrumente zur Realisierung der Ideen | 9 |
| 2.2. ISO 14000 ff - Environmental Management | 11 |
| 2.2.1. ISO 14040 Ökobilanzierung - Prinzipien und Gerüst | 12 |
| 2.2.2. Sachbilanz nach ISO 14040 und 14044 | 13 |
| 2.3. Ergänzende Fachliteratur | 14 |
| 3. Festlegung der Ziele | 15 |
| 3.1. Theoretische Vorgehensweise zur Zieldefinition | 15 |
| 3.2. Festgelegtes Projektziel | 15 |
| 4. Untersuchungsrahmen - Theoretische Vorgangsweise | 17 |
| 4.1. Bilanztypen | 17 |
| 4.2. Produktsystem | 19 |
| 4.3. Systemgrenze | 20 |
| 4.3.1. Technische Systemgrenze | 20 |
| 4.3.2. Geografische Systemgrenze | 21 |
| 4.3.3. Zeitliche Systemgrenze | 21 |
| 4.4. Funktionale Einheit und Referenzfluss | 22 |
| 4.5. Äquivalenz | 25 |
| 4.6. Datentypen, Datenquellen, Datenverfügbarkeit | 25 |
| 5. Festlegung des Untersuchungsrahmens | 27 |
| 5.1. OSR Shuttle TM - Produktsystem 1 | 27 |
| 5.2. Regalbediengerät - Produktsystem 2 | 30 |
| 5.3. Systemgrenze | 32 |
| 5.4. Funktionale Einheit | 34 |
| 5.5. Die gewählten Anlagen | 37 |
| 5.6. Datenverfügbarkeit und Datenquellen | 38 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6. Stoff- und Energiebilanzierung | 40 |
| 6.1. Datenerhebung | 41 |
| 6.2. Datenbezug zu Prozessmodulen und funktionaler Einheit | 43 |
| 6.3. Allokation und Systemerweiterung | 44 |
| 6.3.1. Systemerweiterung | 44 |
| 6.3.2. Allokation | 45 |
| 6.3.3. Allokation im Recycling | 46 |
| 6.4. Energieanalyse | 47 |
| 7. Ausführung der Sachbilanzierung | 49 |
| 7.1. Lieferant | 50 |
| 7.1.1. Methodik und Vorgehensweise | 50 |
| 7.1.2. Ergebnisse | 52 |
| 7.1.3. Schlussfolgerungen | 54 |
| 7.2. Produktion | 55 |
| 7.2.1. Methodik und Vorgehensweise | 55 |
| 7.2.2. Materialbilanz in der Produktion | 57 |
| 7.2.3. Ergebnisse - Materialbilanz | 60 |
| 7.2.4. Energiebilanzierung der Produktion in Hart bei Graz | 65 |
| 7.2.5. Schlussfolgerungen Produktion | 68 |
| 7.3. Transportbilanz | 69 |
| 7.3.1. Verpackungsmaterial | 70 |
| 7.3.2. Transport | 72 |
| 7.3.3. Schlussfolgerungen Transport und Verpackung | 75 |
| 7.4. Betrieb | 75 |
| 7.4.1. Methodik und Vorgehensweise | 75 |
| 7.4.2. Inbetriebnahme | 76 |
| 7.4.3. Energieaufwand im Betrieb der Anlage | 78 |
| 7.4.4. Service und Wartung | 79 |
| 7.4.5. Schlussfolgerungen aus der Teilbilanz Betrieb | 81 |
| 8. Vergleich OSR ShuttleTM 35b vs. RBG - Smart Storage in den Teilbilanzen | 83 |
| 8.1. Material- und Energieflüsse in der SC im Vergleich | 83 |
| 8.2. Material- und Energieaufwand in der Herstellung | 85 |
| 8.2.1. Materialbilanzierung im Vergleich | 85 |
| 8.2.2. Energiebilanzierung im Vergleich | 88 |
| 8.3. Transport und Verpackungsmaterial im Vergleich | 90 |
| 8.3.1. Verpackungsmaterial | 90 |
| 8.3.2. Transporte | 90 |
| 8.4. Betrieb der Anlagen im Vergleich | 91 |
| 8.4.1. Inbetriebnahme | 91 |
| 8.4.2. Energieaufwand der Anlagen im Betrieb | 92 |
| 8.4.3. Service und Wartung im Vergleich | 95 |
| 8.5. Erstellen der Gesamtbilanz und abschließender Vergleich | 96 |
| 9. Fazit und Ausblick | 100 |

| | |
|---------------------------------------------------------|------------|
| A. Begriffsdefinitionen | A 1 |
| B. Ergänzende Information zur Sachbilanz | A 6 |
| B.1. Lieferant | A 6 |
| B.2. Produktion | A 11 |
| B.2.1. Materialanalyse verschiedener Produkte | A 11 |
| B.2.2. Energieanalyse | A 22 |
| B.3. Betrieb | A 25 |
| B.4. Gesamtbilanz | A 27 |
| B.5. Kontakte | A 27 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Ablaufplan | 5 |
| 1.2. Zeitplan | 6 |
| 2.1. Konzepte Umweltmanagement | 7 |
| 2.2. Vereinfachter Lebensweg eines Produkts | 10 |
| 2.3. Aufbau einer Ökobilanzierung | 13 |
| 2.4. Aufbau einer Sachbilanzierung | 14 |
| 4.1. Funktionale Einheit und Referenzflussermittlung | 23 |
| 4.2. Praxisorientierte Detailschärfe der Ökobilanzierung | 26 |
| 5.1. Das Produktsystem | 28 |
| 5.2. Ein-/Auslagerprozess eines verdeckten Behälters im OSR Shuttle TM | 29 |
| 5.3. Ein-/Auslagerprozess im RBG-System mit Einzelaufnahme | 31 |
| 5.4. Die Systemgrenze verglichen zum Produktsystem | 33 |
| 5.5. Definition der funktionalen Einheit | 34 |
| 5.6. Bilanzraum im Wertschöpfungskettendiagramm | 39 |
| 6.1. Ablauf der Sachbilanzierung | 40 |
| 6.2. In-/Outputs eines Prozessmoduls | 42 |
| 7.1. Vorgehensweise zur Analyse der Lieferanten | 50 |
| 7.2. Material-, Energieaufwand und direkte Emissionen bei den Lieferanten | 54 |
| 7.3. Material- und Energieintensität bei der Regalproduktion | 54 |
| 7.4. Fließbild vom Herstellungsprozess in Hart bei Graz | 56 |
| 7.5. Produktion - Materialbilanz und Energiebilanz | 57 |
| 7.6. Kategorisierung Materialbilanz | 59 |
| 7.7. Aufteilung der Materialien im OSR Shuttle TM 35b | 60 |
| 7.8. Umweltrelevante Stoffe im OSR Shuttle TM 35b | 62 |
| 7.9. Ursprung der Stahlkomponenten im OSR Shuttle TM 35b | 63 |
| 7.10. Ursprung der Aluminiumkomponenten im OSR Shuttle TM 35b | 63 |
| 7.11. Stahlhalbzeuge und deren Verschnitt für das OSR Shuttle TM 35b | 64 |
| 7.12. Al- und legierte ST-Halbzeuge und deren Verschnitt für das OSR Shuttle TM 35b | 65 |
| 7.13. Unterschiede bezüglich Nutzung der Lohnfertigung | 66 |
| 7.14. Energieaufwand in der Fertigung OSR Shuttle TM 35b | 67 |
| 7.15. Ermittlung des Verpackungsmaterials | 71 |
| 7.16. Aufgewendetes Verpackungsmaterial für das OSR Shuttle TM 35b | 72 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 7.17. Methodik Transport | 73 |
| 7.18. Transportmittelanteile in den verschiedenen Bereichen beim OSR Shuttle TM 35b | 74 |
| 7.19. Methodik Betrieb | 76 |
| 7.20. Materialaufwand in Service und Wartung für das OSR Shuttle TM 35b | 80 |
| 7.21. Seltene Erden verbraucht durch Service & Wartung | 81 |
| | |
| 8.1. Vergleich Regal und Lohnfertigung der beiden System | 84 |
| 8.2. Materialzusammensetzung der Systeme im Vergleich | 86 |
| 8.3. Die wichtigsten Materialien in Zahlen | 87 |
| 8.4. Umweltrelevante Materialien im Vergleich | 87 |
| 8.5. Energieverbrauch in der Produktion im Vergleich beider Systeme | 88 |
| 8.6. CO ₂ -Ausstoß in der Beschichtung im Vergleich | 89 |
| 8.7. Die Transportbilanzen zu beiden Anlagen im Vergleich | 91 |
| 8.8. Energievergleich im Betrieb der Anlagen | 95 |
| 8.9. Materialverbrauch durch Service und Wartung im Vergleich | 95 |
| 8.10. Aufwand Seltener Erden verursacht in Service und Wartung | 96 |
| 8.11. Materialaufwand über alle Lebenszyklusphasen im Vergleich | 97 |
| 8.12. Energieaufwand über alle Lebenszyklusphasen im Vergleich | 98 |
| 8.13. Transportbelastung für OSR Shuttle TM 35b und RBG - Smart Storage im Vergleich | 99 |
| 8.14. Transportbelastung den Verursachern zugeordnet | 99 |
| | |
| B.1. Materialbilanz der Lieferanten OSR Shuttle TM 35b | A 7 |
| B.2. Materialbilanz der Lieferanten RBG - Smart Storage | A 8 |
| B.3. Energiebilanz der Lieferanten | A 9 |
| B.4. Direkte Emissionen der Lieferanten | A 10 |
| B.5. Kontakte im Unternehmen KNAPP AG | A 30 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5.1. Gewählte Anlagen für die Sachbilanzierung | 37 |
| 6.1. Strommix einiger Staaten aus dem Jahr 2005 | 43 |
| 6.2. Vor- und Nachteile von Allokationsregeln | 46 |
| 7.1. Von Lieferanten zur Verfügung gestellte Daten | 53 |
| 7.2. CO ₂ -Ausstoß in der Beschichtungsanlage für OSR Shuttle TM 35b | 68 |
| 7.3. Absolutbilanz Transporte OSR Shuttle TM 35b | 74 |
| 7.4. Ressourcenbelastung durch Personaltransport für die Inbetriebnahme einer Gasse OSR Shuttle TM 35b in tkm | 77 |
| 8.1. Verpackungsmaterialverbrauch - Zahlen und Fakten im Vergleich | 90 |
| 8.2. Personaltransport in der Inbetriebnahmephase im Vergleich | 92 |
| 8.3. Vergleich des Energieaufwandes im Betrieb der Anlagen | 93 |
| B.1. Formular zur Datenanfrage beim Lieferanten | A 6 |
| B.2. Standardzusammensetzung einer bestückten Leiterplatte | A 12 |
| B.3. NE-Metalle in Elektro- und Elektronikgeräten | A 13 |
| B.4. Kunststoffe in Elektro- und Elektronikgeräten | A 15 |
| B.5. Sonstige Materialien in Elektro- und Elektronikgeräten | A 16 |
| B.6. Auflistung von Abkürzungen zu Kunststoffen, Flammschutzmitteln etc. | A 17 |
| B.7. Auflistung von Abkürzungen zu NE-Metallen und sonstigen Materialien | A 18 |
| B.8. Materialien in Servomotoren | A 18 |
| B.9. Zusammensetzung von Permanentmagneten | A 19 |
| B.10. Materialien in Asynchronmotoren | A 19 |
| B.11. Materialien in Sensoren, Motorschütze etc. | A 21 |
| B.12. Ermittlung des durchschnittlichen Verschnitts für Stahlbleche | A 22 |
| B.13. Ermittlung des durchschnittlichen Verschnitts für Aluminiumbleche | A 22 |
| B.14. Durchschnittlicher Energieverbrauch der Produktionsanlagen | A 23 |
| B.15. Propangasverbrauch in der Beschichtungsanlage | A 23 |
| B.16. Durchschnittliche Beschichtungsleistung | A 23 |
| B.17. Energieverbrauch der einzelnen Bearbeitungsverfahren | A 24 |
| B.18. Energieverbrauch in der Lohnfertigung beim OSR Shuttle TM 35b | A 24 |
| B.19. Energieverbrauch in der Lohnfertigung beim RBG - Smart Storage | A 25 |
| B.20. Energieverbrauch durch Lagermaterial beim OSR Shuttle TM 35b | A 25 |
| B.21. Einsparungspotential durch kürzere Konstantfahrten | A 26 |
| B.22. Teil 1 Gesamtbilanz des OSR Shuttle TM 35b | A 28 |
| B.23. Teil 2 Gesamtbilanz des OSR Shuttle TM 35b | A 29 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------|-----------------------------------------------|
| AG | Aktiengesellschaft |
| AKL | Automatisches Kommissionier Lager |
| Al | Aluminium |
| ASRS | Automated Storage and Retrieval System |
| CSR | Corporate Social Responsibility |
| Cu | Kupfer |
| DecaBDE | Decabromdiphenylether |
| EBG | Ebenenbediengerät |
| EC | European Commission |
| EU | Europäische Union |
| FCKW | Fluorchlorkohlenwasserstoff |
| F&E | Forschung und Entwicklung |
| HBCD | Hexabromcyclodecan |
| ISO | International Organization of Standardization |
| KST | Kunststoff |
| kWh | Kilowattstunde(n) |
| LAM | Lastaufnahmemittel |
| LCA | Life Cycle Assessment |
| LCI | Life Cycle Inventory Analysis |
| LCIA | Life Cycle Impact Assessment |
| LDPE | Low Density Polyethen |
| MA | MitarbeiterInnen |

| | |
|--------------|---------------------------------------------------|
| MWh | Megawattstunden |
| NE | Nichteisen |
| PA | Polyamid |
| PE | Polyethen |
| PM | Prozessmodul |
| PP | Polypropen |
| PU | Polyurethan |
| PVC | Polyvinylchlorid |
| OEM | Original Equipment Manufacturer |
| OSR | Order Storage and Retrieval |
| RBG | Regalbediengerät |
| SC | Supply Chain |
| SETAC | Society of Environmental Toxicology and Chemistry |
| SoP | Systems of Provision |
| ST | Stahl |
| TBBPA | Tetrabrombisphenol A |
| TU | Technische Universität |
| UFO | Unternehmensführung und Organisation |
| UNEP | United Nations Environment Programme |

1. Einführung

In den letzten Jahrzehnten kam es zu einer deutlichen Weiterentwicklung des Bewusstseins bezüglich Umweltbelangen, die Einstellung wurde deutlich kritischer. Zahlreiche Naturkatastrophen und ständige Diskussionen über Treibhauseffekt und globale Erderwärmung schürten einerseits Unsicherheit, andererseits aber auch das Gewissen, dass der Umgang mit der Umwelt besser sein könnte. Die Ursache des sorglosen Umgangs sieht el Hagggar (2007) in der Gedankenlosigkeit des Handelns im 20. Jahrhundert. Im Detail ist der Abbau, das Prozessieren und Nutzen von Ressourcen ohne eine Idee über die Rückführung in die Natur gemeint. Dieser Effekt wurde durch wissenschaftliche und technologische Weiterentwicklung und die daraus folgende steigende Leistungsfähigkeit verstärkt. Viele dieser Ressourcen enden auf Deponien oder in Verbrennungsanlagen und können durch ein sogenanntes “cradle-to-grave” Szenario beschrieben werden. Die Thematik der Nachhaltigkeit fordert einen Wandel zu einem “cradle-to-cradle” Szenario, in dem solche Verschwendung durch neue Technologien vermieden und Ressourcen in einen zyklischen Prozess eingebracht werden. (el Hagggar, 2007, S.XIII)

Mittlerweile sind es längst nicht nur mehr Umweltorganisationen, die sich für eine “grünere” Politik einsetzen. Die Problematik Umweltschutz kann als Jahrhundertaufgabe der Gesellschaft betrachtet werden (Hennicke, 2007). Hinterlegt wird dies durch die ununterbrochen, immer wieder auftretenden umweltbezogenen Katastrophen und Probleme in den letzten Jahren und Jahrzehnten. Eine Konsequenz, die daraus resultierte, ist die Veränderung der Einstellung von Konsumenten, die kritischer in ihrer Auswahl werden und Wert auf nachhaltige Produkte legen (von Hauff, 2012, S.75). Aber auch immer mehr Unternehmen versuchen nachhaltig zu arbeiten und zu wirtschaften. Es wird versucht, diesen Ansprüchen von Konsumenten und Mutter Natur gerecht zu werden. Die Wissenschaft bedient sich mehrerer Perspektiven, um die divergierenden Anforderungen zu beschreiben bzw. zu kombinieren. Unter Berücksichtigung von Ökologie, Soziales und Ökonomie wird versucht, alle Bereiche abzudecken. (Schaltegger et al., 2002, S.6) Diese Dimensionen beinhalten Probleme wie Ressourcenknappheit, strengere Auflagen im Umweltschutz oder ökologieorientiertes Konsumverhalten (von Hauff & Kleine, 2009, S.15ff). Aufgrund der teilweise gegensätzlichen Zusammenhänge und Ziele ist deren Integration eine weitere Herausforderung. Für die Erreichung solcher Ziele sind bereits eine große Anzahl an Instrumenten entwickelt worden. Die Ökonomie ist bei weitem nicht mehr der einzige Punkt, der von Bedeutung ist. Effizienz und Effektivität

in Nachhaltigkeitsangelegenheiten sind ein wirksames Rezept, um Wettbewerbsvorteile zu erlangen. (Schaltegger et al., 2002, S.6)

Umweltcontrolling ist ein Führungssubsystem, das helfen kann, solche Hindernisse zu überwinden. Es umfasst viele verschiedene Methoden und Instrumente zum Setzen und Erreichen von umweltrelevanten Zielen. Dabei wird auf systematische Kontrolle von Ist- und Sollzuständen zurückgegriffen, um bei etwaigen Abweichungen eingreifen zu können. Eine dieser Methoden ist das Stoffstrommanagement, das auch zentrales Thema dieser Arbeit sein wird. (Tschandl & Posch, 2012, S.5) Im Theorieteil wird dieses Instrument im Detail ausgeführt und später in der Praxis zur Anwendung kommen.

1.1. Die KNAPP AG

Die KNAPP AG ist eine internationale Unternehmung in der Branche Lagerlogistik und Lagerautomation und zählt in diesen Bereichen auch zu den Weltmarktführern. Die Firmen TGW aus Wels, SSI Schäfer Peem aus Graz oder LTW aus Wolfurt stellen ebenfalls starke Unternehmen in der Logistikbranche dar. Die Gründung der KNAPP AG erfolgte 1952 in Graz. In Hart bei Graz befindet sich auch heute noch der Hauptsitz des Unternehmens. Die KNAPP AG beschäftigt rund 2000 Mitarbeiter, davon ca. 1400 in Graz. Mit dem Neubau bzw. der Erweiterung der Konzernzentrale in Hart bei Graz wurde ein Bekenntnis an den Standort abgegeben, auch wenn es aus Kostengründen sicher lukrativere Regionen gibt. Weitere Standorte der Unternehmung sind weltweit verteilt. So gibt es 32 Niederlassungen und Repräsentanzen von Sydney bis Buenos Aires. Die Unternehmung bietet intralogistische Komplettlösungen sowie automatisierte Lagersysteme und fungiert als Generalunternehmer. Typische Branchen, die bedient werden, sind Pharma, Fashion, Cosmetics Retail, Tools & Spares und viele mehr. Die KNAPP AG erwirtschaftete im Wirtschaftsjahr 2011/2012 einen Umsatz von 326,9 Mio. Euro (KNAPP AG Umsatz, 2013). Weiters weist die Unternehmung eine Exportquote jenseits von 98 % auf. Im kommenden Jahr läuft das Projekt für das größte Shuttle System weltweit an. Der Auftrag wird in Deutschland realisiert. (Knapp AG Company, 2012)

Die KNAPP AG und ihre Mitarbeiter wollen die gelebten Werte von Mut, Zuverlässigkeit, Offenheit, Wertschätzung und Kreativität vermitteln. Durch Anwendung dieser Tugenden soll das Unternehmensziel „Mach KNAPP zum Inbegriff der Logistik“ realisiert werden. (Knapp AG Philosophie, 2012) Die oben genannten Werte bilden auch die Basis für die weiterführende Umweltpolitik der Unternehmung. Die KNAPP AG legt großen Wert auf Nachhaltigkeit und versucht, in diesem Bereich aktiv und intensiv Fortschritte zu forcieren. Dabei werden die Mitarbeiter verstärkt in die Definition und Umsetzung von Zielen eingebunden. Aber die Aktivitäten gehen weit über die Unter-

nehmensgrenzen hinaus. So werden fortschrittliche Lieferanten besonders unterstützt, behördliche Anordnungen eingehalten und die öffentliche Meinung erwünscht und respektiert. Weiters stehen Themen wie Ressourcenschonung, Energieeffizienz, Emissions- und Risikobegrenzung im Mittelpunkt. (Knapp AG Nachhaltigkeit, 2012)

1.2. Ausgangssituation

Die KNAPP AG hat in Sachen Umweltschutz bereits Initiative ergriffen und so ist diese Arbeit eine Intensivierung der Absicht umweltfreundlich zu produzieren. Die KNAPP AG bietet grundsätzlich zwei verschiedene Systeme zur Realisierung von Ein- und Auslagerungsvorgängen in Hochregallager. Der Grundgedanke dieses Projekts ist der Vergleich beider Systeme bezüglich Energie- und Ressourcenverbrauch. Dazu wird eine Sachbilanz in Anlehnung an die gültige ISO Norm 14040 und 14044 aus dem Jahr 2006 erstellt. Allerdings werden auch Methoden, Instrumente oder Schritte anderer Ansätze bzw. von Autoren mit ähnlichen Ansätzen integriert. Der Fokus liegt auf dem neueren OSR ShuttleTM, aber auch das zu vergleichende klassische Automatische Kommissionier Lager (AKL) muss mit gleicher Intensität untersucht werden. Für den Vergleich wäre es prinzipiell zulässig, nur jene Bereiche der Systeme zu betrachten, welche sich auch unterscheiden. Im Sinne der Vollständigkeit und um eventuelle weitere Vergleiche oder Ähnliches zu ermöglichen, wird aber versucht, die Bilanz so weit zu detaillieren wie möglich und sinnvoll. Die Bilanzen sollen letztendlich die Ressourcenintensität nicht nur hinsichtlich des Betriebs, sondern über den gesamten Produktlebenszyklus darstellen. Die Ergebnisse sollen ein Verkaufsargument für das ökofreundlichere System liefern. Da es bereits eine Arbeit über den Betrieb eines OSR ShuttlesTM gab, wird erwartet, dass sich die Resultate der Ressourcen- und Energiesparsamkeit des OSR ShuttlesTM wiederholen bzw. diese bestätigt werden. Diese Annahme erfolgt durch die Einschätzung, dass der Betrieb der energieintensivste Lebensabschnitt ist.

1.3. Problem- und Aufgabenstellung

Das Thema Stoff- und Energiebilanzierung für einen OSR ShuttleTM hat das Ziel, einen Vergleich hinsichtlich der Ressourcenintensität zwischen dem OSR ShuttleTM Konzept und einem klassischen Automatischen Kommissionier Lager (AKL) zu ziehen. Ziel ist es, eine Sachbilanz in Anlehnung an ISO 14040 zu erstellen. Die zu bewerkstellenden Aufgaben werden folgende sein:

1. Erhebung bestehender Ansätze der Stoff- und Energiebilanzierung, insbesondere der Sachbilanz nach ISO 14040

2. Durchführung der Strukturanalyse und Ausweisung der Bilanzräume
3. Erstellung von Teilbilanzen und Zusammenführung zu einer Gesamtbilanz
4. Interpretation der Bilanzen und Ableitung von Handlungsempfehlungen

1.4. Aufgaben- und Zeitplanung

Der erstellte Zeitplan ist ein rein theoretischer Plan, der nur im Groben einen Anhalt über die aktuellen Tätigkeiten geben soll. Jedoch wird die Literaturrecherche nicht in einem Block abgeschlossen werden, sondern immer wieder notwendig sein. Weiters hat sich auch relativ schnell herausgestellt, wie auch in annähernd jeder Literatur beschrieben, dass die Datenerhebung der aufwendigste Prozessschritt sein sollte und sich dementsprechend langwierig gestalten kann. Außerdem war anfangs nicht ersichtlich, welche Daten zur Verfügung stehen und welche erhoben werden müssen. Dennoch ist ein Überblick gut möglich. Um eine Verwirrung zu vermeiden, wurden auch iterative Schritte und rückwirkende Schleifen vernachlässigt. Die dem Projekt zu Grunde liegende Theorie ist zyklisch aufgebaut und somit auch das Projekt. Um die daraus resultierende Saat an Pfeilen zu vermeiden, wird das an dieser Stelle schlicht und einfach erwähnt.

Das Kick-Off des Projektes startet mit einer Besprechung zur Klarstellung der Problem- und Aufgabenstellung. Aus dieser erfolgt die Definition der Ziele, die Abgrenzung des Systems bzw. des Rahmens der Studie und die Abschätzung des Zeithorizonts. Nach Festlegung der Rahmenbedingungen ist das Einlesen bzw. Studieren des Standards der ISO zur Durchführung einer Sachbilanz notwendig. Parallel werden auch noch alternative Ansätze analysiert und hilfreiche Features für die Studie aufgenommen. Verzögert zur Analyse der Literatur soll, wenn möglich, auch die Prüfung der Datenverfügbarkeit bereits beginnen. Aus der Literaturrecherche werden die funktionale Einheit und grobe theoretische Grundzüge der (Teil-)Bilanzen ermittelt und folglich auch, welche Daten erhoben werden sollen. Anschließend erfolgt aus den gesammelten Daten die tatsächliche Erstellung der Teilbilanzen und das Zusammenfügen eben dieser zu einer Gesamtbilanz. Der Abschluss gestaltet sich durch die Ergebnisanalyse, welche hoffentlich bereits Schlussfolgerungen zulässt. Parallel zur gesamten Arbeit wird bereits die Dokumentation erstellt. Nach Ausführung etwaiger Korrekturen, resultierend aus den Absprachen mit sämtlichen Betreuern und Beteiligten, sollte die Arbeit für das Binden und Einreichen bereit sein.

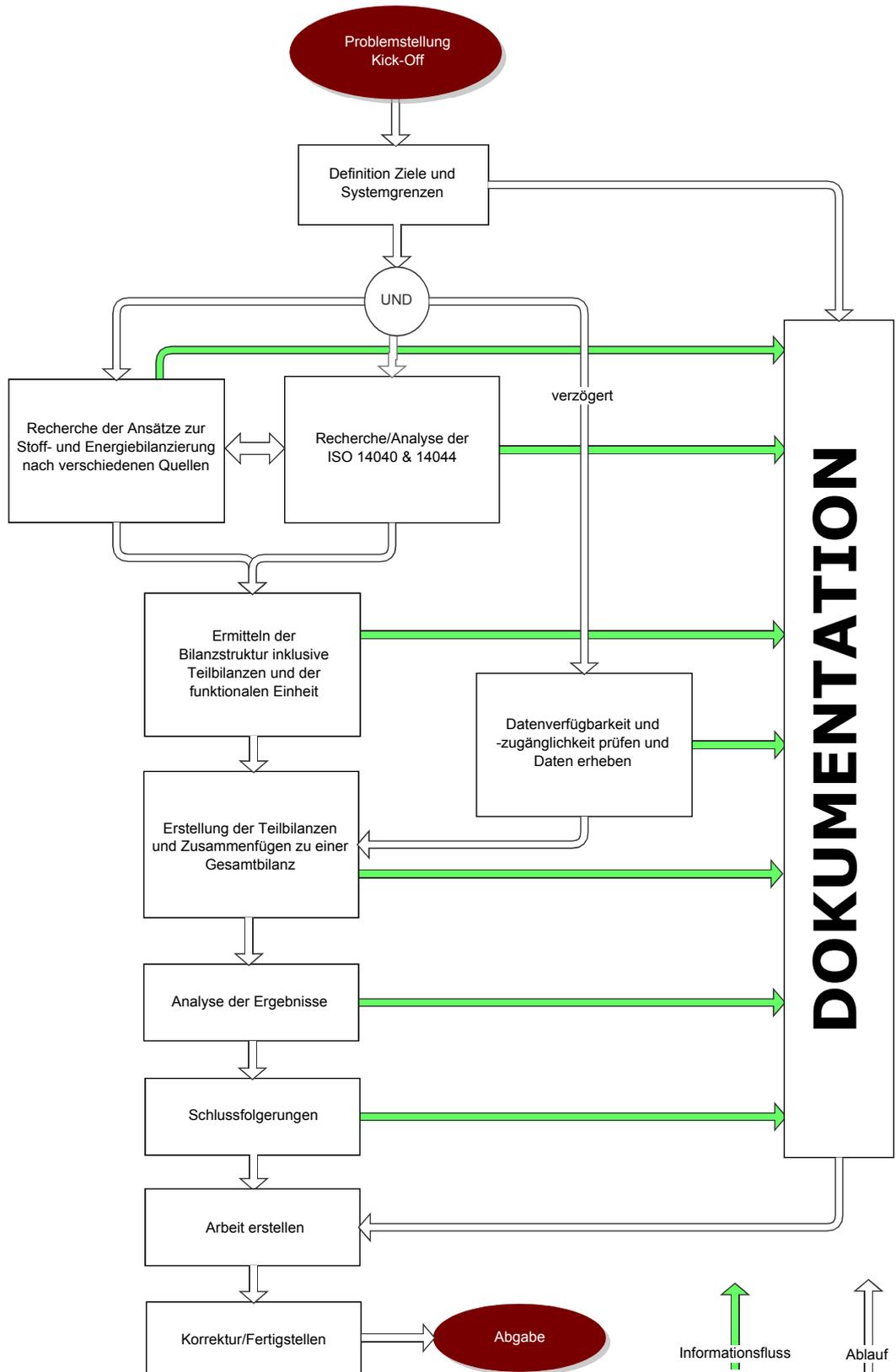


Abbildung 1.1.: Ablaufplan

| | September | | | | Oktober | | | | November | | | | Dezember | | | | Jänner | | | | Februar | | | | März | | | |
|------------------------------------------------|-----------|------|------|------|---------|------|------|------|----------|------|------|------|----------|------|------|------|--------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|--|--|
| | KW37 | KW38 | KW39 | KW40 | KW41 | KW42 | KW43 | KW44 | KW45 | KW46 | KW47 | KW48 | KW49 | KW50 | KW51 | KW52 | KW01 | KW02 | KW03 | KW04 | KW05 | KW06 | KW07 | KW08 | KW09 | KW10 | | |
| Zieldefinition und Kick-Off | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Recherche Ansätze Sachbilanz (ISO & andere) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Analyse OSR Shuttle™ & AKL (Funktionseinheit) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Verfügbarkeit erforderlicher Daten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ermittlung der Teil-bilanzen & Bilanzstruktur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Erstellung der Bilanz in der Theorie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Erstellung Teilbilanzen für OSR Shuttle™ & AKL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zusammenfügen zu Gesamtbilanz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Analyse der Ergebnisse | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Verbesserungsmöglichkeiten herausfiltern | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Empfehlungen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Korrektur/Fertigstellen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DOKUMENTATION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 1.2.: Zeitplan

2. Standards und Ansätze im Umweltmanagement

2.1. Allgemeines

UNEP/SETAC bietet einen Überblick über vorhandene Konzepte und Methoden, die im Umweltmanagement Anwendung finden. Die Konzepte bieten einen Rahmen und unterstützen sowohl die Analyse als auch die Ausführung in den Unternehmen. Bei allen Konzepten handelt es sich um Ansätze, die sich mit dem gesamten (Produkt-) Lebenszyklus beschäftigen. (Helias et al., 2005) Da Produkte und Services in der Entstehung, während der Nutzung und in der Entsorgung Umweltbelastungen verursachen, ist diese Betrachtung absolut sinnvoll.

| Konzepte/Ideen | | |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| - Nachhaltige Entwicklung | | - Vorsorgeprinzip |
| - Life Cycle Management | | - Risikoprinzip |
| - Industrial Ecology | | - Verschmutzungsprinzip |
| - Eco-Efficiency | | - Dematerialisierung |
| Analysen | | Ausführung in Unternehmen |
| - Ökobilanzierung | - Material Flow Accounting | - Ökomanagement (Life Cycle Management) |
| - Substanzflussanalyse | - Umwelt Input/Output Analysen | - Supply Chain Management (SCM) |
| - Umweltrisikomanagement | - Life Cycle Costing | - Social Corporate Responsibility (SCR) |
| - Cost Benefit Analysis | - Systems of Provision | - integriertes Materialmanagement |
| - Ecological Footprint | - etc. | - End-of-Life Management |
| | | - etc. |

Abbildung 2.1.: Konzepte Umweltmanagement (in Anlehnung an Helias et al., 2005, S.20ff)

Die oben genannten Konzepte stellen prinzipielle Leitfäden zum Einsatz von Produktlebenszyklusansätzen dar und werden im Folgenden kurz erläutert.

2.1.1. Konzepterläuterungen

Die Grundideen der Konzepte sind ähnlich, auch die verwendeten Analysetools und Umsetzungsstrategien in Unternehmen können die gleichen sein. Allerdings können je nach Fokus des Interesses und der Blickrichtung auf das Problem, die Interpretation der Idee und die Auswahl der Instrumente sehr unterschiedlich sein.

Nachhaltige Entwicklung

1987 erschien im sogenannten Brundtland-Bericht zum ersten Mal die äußerst bekannte Definition nachhaltiger Entwicklung.

„Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without comprising the ability of future generations to meet their own needs.“ (Brundtland Bericht, 1987)

Umschrieben bedeutet es, den Fokus nicht nur auf die Gegenwart zu richten, sondern auch mit Rücksicht auf kommende Generationen und deren Wohl zu wirtschaften. Um dieses Grundprinzip zu erfüllen, sind vier Regeln zu befolgen: (Feess & Klein, 2012)

- Die Nachwuchsrate/Regenerationsrate erneuerbarer Ressourcen muss deren Verbrauch tragen können.
- Die Stoffrückführung in die Umwelt darf deren Belastbarkeit nicht überschreiten.
- Die Nutzung erneuerbarer Ressourcen darf nur in jenem Maß erfolgen, in dem auch gleichwertiger Ersatz durch erneuerbare Ressourcen oder effizientere Nutzung der nicht erneuerbaren Ressourcen ermöglicht wird.
- Das Verhältnis zwischen der Zeit menschlichen Eingreifens in die Umwelt und deren Reaktionszeit muss ausgewogen sein.

Erst in jüngerer Vergangenheit gewannen umweltpolitische Kriterien mehr an Bedeutung (Feess & Klein, 2012). Nachhaltige Entwicklung wird als die Mutter aller Ziele in der Life Cycle Theorie angesehen (Helias et al., 2005, S.21).

Lebenszyklusbetrachtung

Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus ist ein mittlerweile weit verbreiteter Ansatz. Dabei wird ein Produkt, Prozess, Service von der „Wiege bis zur Bahre“ (cradle-to-grave) analysiert und bewertet. (Helias et al., 2005) In Bezug auf Umweltbelastung und Umweltmanagement impliziert diese Betrachtung die Umwelteinflüsse, angefangen von der Rohstoffgewinnung bis zu deren Rückführung in die Natur (Entsorgung) (Beck et al., 1993).

Industrial Ecology

Die große Stärke der Industrial Ecology ist die Zusammenfassung und Nutzung einiger individueller Forschungsbereiche wie Life Cycle Assessment und Material Flow Analysis. Aber auch länder- und branchenweite Stoffflüsse sowie dynamische Systemmodellierung finden ihren Platz im Konzept der Industrial Ecology. Die Industrial Ecology versucht dabei sich nicht nur auf Energie- und Ressourceneffizienz sowie auf die begrenzte Aufnahmefähigkeit der Umwelt an Schadstoffen zu fokussieren, sondern die Perspektive zu wechseln. Das bedeutet, es wird versucht, Prozesse, Abläufe bzw. das Wirtschaften der Natur als Vorbild für das Management zu betrachten. (von Hauff, 2012, S.18)

Eco-Efficiency

Eco-Efficiency ist eine Management Philosophie. Wie der Name schon sagt, zielt es auf die effiziente Nutzung von Ressourcen ab. Folglich sollen die implementierten Umweltverbesserungen auch einen wirtschaftlichen Vorteil bringen. Im Vordergrund steht die Förderung von Innovation zur Sicherung von Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit. Unternehmen sollen in der Lage sein, Verantwortung in Umweltbelangen zu übernehmen und dabei profitabel bleiben bzw. die Profitabilität weiter steigern. Auch dieses Konzept ist am gesamten Lebenszyklus ausgerichtet. Während Wirtschaftsleistung und Lebensqualität gesteigert werden, sollen Umweltbelastungen und Ressourcenintensität reduziert werden. (Lehni, 2000, S.4ff)

2.1.2. Instrumente zur Realisierung der Ideen

An dieser Stelle sollen noch kurz einige Tools zur Umsetzung von Umweltverbesserungsideen vorgestellt werden. Je nach der aktuellen Thematik, den zu verfolgenden Zielen

und den verfügbaren Ressourcen sind Instrumente besser oder schlechter geeignet. Einige davon ähneln sich, andere sind Kombinationen verschiedener Ansätze, wieder andere sind aus fremden Bereichen adaptiert. Drei gängige, aber sehr unterschiedliche Ansätze sind:

Ökobilanzierung – Life Cycle Assessment

Die englische Bezeichnung beschreibt dieses Tool eindeutig besser. Dennoch hat sich die Bezeichnung Lebenszyklusanalyse im Deutschen nicht durchgesetzt. Die Ökobilanz fokussiert sich ausschließlich auf einen separaten Pfad der Nachhaltigkeit – den ökologischen. Auch wenn für eine nachhaltige Entwicklung Soziales und Ökonomie nicht vernachlässigt werden dürfen, sind diese in der Ökobilanz nicht berücksichtigt. Der Zweck dahinter ist, nicht eine überkomplexe unlösbare Aufgabe zu generieren. Grundlegend betrachtet die Ökobilanz den gesamten Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre (cradle-to-grave) eines Produktes, Prozesses, einer Dienstleistung oder Aktivität. 2.2 zeigt den vereinfachten Lebensweg eines Produktes von der Gewinnung der Rohstoffe bis hin zur Entsorgung und Verwertung. Ein realer Prozess wird sich allerdings um einiges komplexer und umfangreicher darstellen. Der Herstellungsprozess wird aus mehreren Teilprozessen bestehen, die Teilschritte, die sogenannten Prozessmodule, werden durch Transportprozesse verbunden sein, und vieles mehr. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.2)



Abbildung 2.2.: Vereinfachter Lebensweg eines Produkts
(in Anlehnung an Klöpffer & Grahl, 2009, S.3)

Input/Output-Analysis

Während die Ökobilanz eine Prozessanalyse darstellt und „Bottom-Up“ durchgeführt wird, folgt die Input/Output-Analyse dem „Top-Down“ Prinzip. Grundlegend sieht man alle Prozesse einer Wirtschaft als direkt oder indirekt verbunden. Das würde bedeuten, dass jede Prozessanalyse bestimmte Vernachlässigungen zu Grunde legt, da die Datenerhebung für die gesamte Wirtschaft nicht durchführbar ist. Das Input/Output-Modell betrachtet dazu die Finanzflüsse zwischen den Industrien einer Nation. Anhand der Finanzflüsse werden die Verbräuche (an Outputs anderer Industrien) eines Industriezweigs abgeschätzt. Die Annahme, die erzeugten Umwelteinflüsse seien proportional zu

den verbrauchten Outputs, lässt eine rasche Schlussfolgerung zu. Allerdings müssen zu dieser Art Analyse die nötigen nationalen und internationalen Daten, die I/O-Tabellen, vorhanden sein. Oftmals wird die Methode genutzt, um wichtige umweltbelastende Pfade eines Industriezweigs zu ermitteln und bei einer Prozessanalyse nicht aus den Augen zu verlieren. (Suh & Huppel, 2005, S.690f)

Systems of Provision

Während in Ökobilanzen, welche auch in der Industrial Ecology Anwendung finden, die Stoff- und Energieflüsse im Zentrum des Blickes liegen, sind in „Systems of Provision“ die Akteure des Systems im Fokus. Das bedeutet, die Akteure, sprich Personen, werden hinsichtlich ihres Konsumverhaltens, ihrer persönlichen Einstellung und ihres alltäglichen Lebens analysiert. Diese Betrachtungen werden in Studien zum klassischen Konsum bereits durchgeführt. Zusätzlich kommt im SoP noch die Analyse der Verbindungen zu den „Produktakteuren“ hinzu. Anstatt die materiellen Flüsse zu analysieren, werden die Akteure im System, deren jeweilige Zusammenstellung und deren Handeln oder Nicht-handeln unter die Lupe genommen. Ziel ist es, die Umwelteinflüsse sozialer Praktiken bewerten zu können. Der Verweis auf Industrial Ecology ist deswegen angeführt, da diese eine „Toolbox“ ist und Versuche unternommen werden SoP zu integrieren. (von Hauff, 2012, S.80ff)

Dieses Projekt wird mithilfe einer Ökobilanzierung bzw. mit Elementen daraus realisiert. Die Darstellung relevanter umweltbelastender Pfade mittels I/O-Analyse klingt prinzipiell interessant, aufgrund der zeitlichen Beschränkung kann aber leider nicht näher darauf eingegangen werden. Ohnehin erscheint der Aufbau und die Aggregation (nur eine allgemeine Sparte Maschinenbau ist vorhanden) in den österreichischen I/O-Tabellen (Statistik Austria, 2010, S.21) für eine Ableitung der Material- und Energieströme im Logistikbereich zu ungenau. Generell limitiert die zeitliche Begrenzung der Masterarbeit die Möglichkeiten, um Alternativen zu testen. Es existieren einige Standards bzw. Ansätze zu Ökobilanzen, welche kurz vorgestellt werden und später auch in der Entwicklung und Realisierung des Projekts Anwendung finden.

2.2. ISO 14000 ff - Environmental Management

Die Reihe ISO 14000 und folgend der International Organization for Standardization behandelt verschiedene Themen und Aspekte im Umweltmanagement. Die Standards sollen Unternehmen mittels Bereitstellung von Methoden und Instrumenten helfen, deren relevante Umwelteinflusszonen zu ermitteln und zu kontrollieren. Im Weiteren bie-

ten verschiedene Werkzeuge, die Möglichkeit die Umweltbelastungen systematisch zu verbessern. ISO 14000ff beinhaltet Umweltmanagementsysteme, Life Cycle Analysis, Kommunikation und Auditing. (ISO, 2012)

Die ISO 14040 und 14044 bieten ein vollständiges Gerüst des Life Cycle Assessment bzw. der Ökobilanzierung. Im Jahr 2006 ersetzten diese die Standards ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 und ISO 14043:2000. (ISO 14040, 2006, S.iv) Allerdings war bei dieser Revision beabsichtigt, die Inhalte der Standards nicht zu verändern. Sie diene der besseren Aufbereitung und Präsentation des Dokuments. Jene wenigen Änderungen, die den Inhalt betreffen, behandeln überwiegend die kritische Prüfung. Dabei wurden lediglich die Definitionen verfeinert und genauer detailliert. Die beiden revidierten Standards von 2006 sind verpflichtend miteinander verbunden. (Klöpffer, 2012, S.1089) Das soll heißen, entscheidet man, eine Sach- oder Ökobilanz nach dem Rahmen der ISO 14040 durchzuführen, muss den Anforderungen und Richtlinien der ISO 14044 Folge geleistet werden (ISO 14040, 2006, S.1). In der englischen Version kann das aber leicht falsch verstanden werden, da der Satz mit “shall” aufscheint und daher leicht falsch interpretiert werden kann (Klöpffer, 2012, S.1089) (ISO 14040, 2006, S.11).

2.2.1. ISO 14040 Ökobilanzierung - Prinzipien und Gerüst

Die Ökobilanzierung besteht grundlegend aus vier Phasen: (ISO 14040, 2006, S.7):

1. Definition der Ziele und des Untersuchungsrahmens - Goal and Scope Definition
2. Sachbilanzierung - Life cycle inventory analysis (LCI)
3. Wirkungsabschätzung - Life cycle impact assessment (LCIA)
4. Schlussfolgerung - Interpretation

Das ganze Rahmenwerk ist iterativ aufgebaut, wie auch in Abbildung 2.3 auf Seite 13 angedeutet ist. Die Phasen nutzen Ergebnisse der anderen Schritte, sowohl aus den davor liegenden als auch aus folgenden Prozessen. Erst durch dieses zyklische Prozedere liefert die Studie umfassende und durchgehende Ergebnisse. (ISO 14040, 2006) Der mehrmalige Durchlauf der einzelnen Phasen führt aber auch dazu, dass sich Parameter durch die neu verfügbaren Informationen ändern bzw. man dazu gezwungen ist diese anzupassen. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.27)

Eine Ökobilanzierung hat zahlreiche Eigenschaften und Facetten. Wie die englische Bezeichnung “Life Cycle Assessment” verdeutlicht, wird der gesamte Lebenszyklus eines

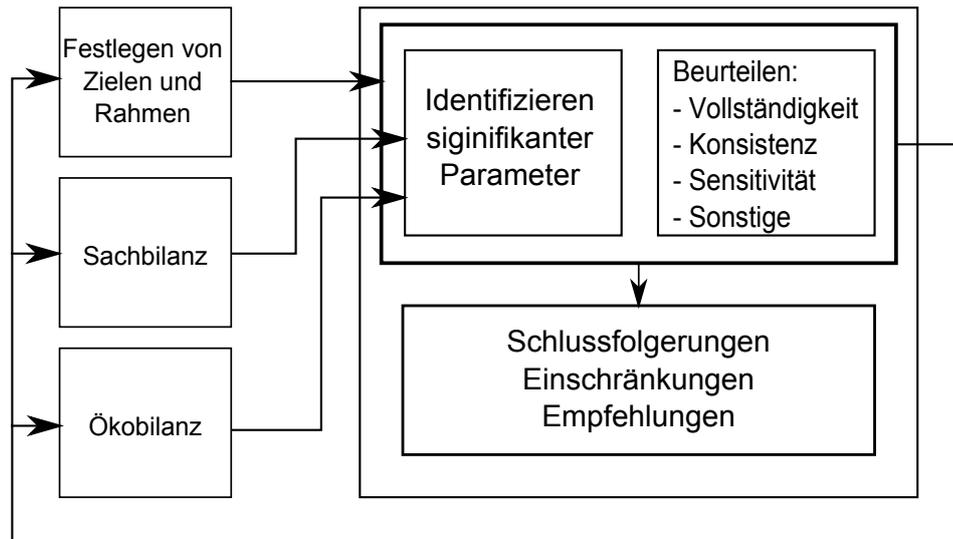


Abbildung 2.3.: Aufbau einer Ökobilanzierung
(in Anlehnung an ISO 14044, 2006, S.24)

Produktsystems vom Rohmaterialbezug bis zur Entsorgung analysiert und das in einer systematischen Herangehensweise. Es wird von Produktsystem gesprochen, da es aus mehreren Prozessen bzw. Prozessmodulen besteht. Prozessmodule sind die kleinste Einheit im betrachteten System, für die In- und Outputs bemessen werden. Die Bilanzierung kann sehr unterschiedlich und auf verschiedenen Wegen durchgeführt werden. Je nach Detailschärfe wird auch der benötigte Zeithorizont stark variieren. Die Ökobilanzierung ist eine vergleichende Methode und nutzt dazu eine funktionelle Einheit als Vergleichsbasis. Für die Analyse nach ISO können verschiedenste Techniken angewendet werden, welche nicht vorgeschrieben sind. Erst die Wirkungsabschätzung liefert Ergebnisse zu Umweltbelastungen. Da eine Bilanzierung auch nur als Sachbilanz ausgeführt werden kann, werden dort folglich nur Massen-, Energieströme und direkte Emissionen dargestellt. Eine ganzheitlich bewerkstelligte Ökobilanz bietet einen umfassenden Blick auf Umwelt- und Ressourcenbelastung für ein bzw. mehrere Produktsystem(e). Die Resultate können allerdings nicht zu einer einzigen Kennzahl aggregiert werden, die das System beurteilt. Allerdings kann durchaus eine Kategorisierung der Elemente für den Vergleich zweier Produkte bzw. Services durchgeführt werden. (ISO 14040, 2006, S.7ff)

2.2.2. Sachbilanz nach ISO 14040 und 14044

Wie bereits in Kapitel 1.3 auf Seite 3 angeführt, handelt es sich bei dieser Arbeit um die Erstellung einer Material- und Energiebilanzierung. Das bedeutet, dass der Zweig der Wirkungsabschätzung nicht ausgeführt wird (vergleiche Abbildungen 2.3 auf Seite

13 und 2.4 auf Seite 14) (ISO 14044, 2006, S.6). Folglich besteht die Analyse eigentlich nur mehr aus drei Phasen. Die Erstellung einer reinen Sachbilanz bzw. Material- und Energieflussanalyse wird im Englischen als “Life Cycle Inventory Analysis” bezeichnet und mit LCI abgekürzt. Die International Organization of Standardization empfiehlt, Sachbilanzen (ohne Wirkungsabschätzung) nicht für vergleichende Studien, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, zu verwenden. (ISO 14044, 2006, S.6)

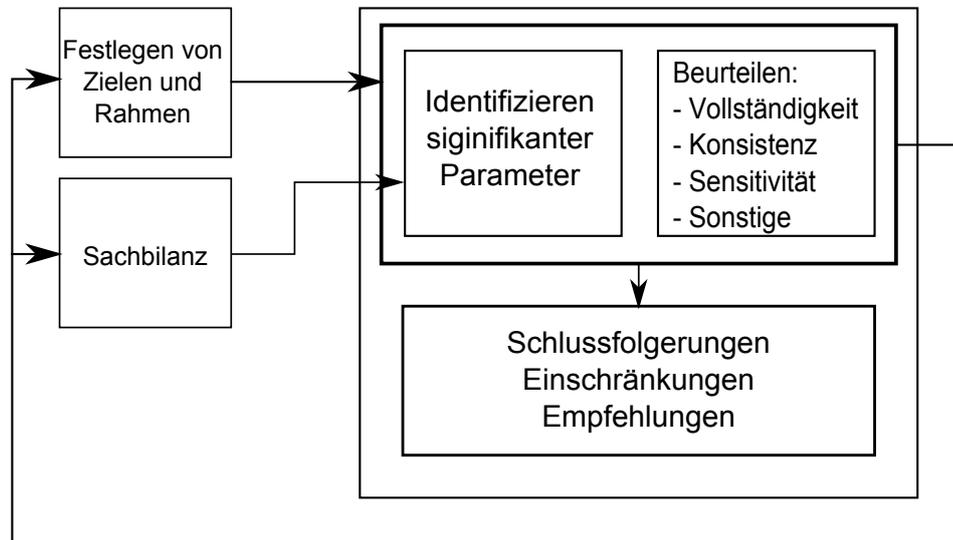


Abbildung 2.4.: Aufbau einer Sachbilanzierung
(in Anlehnung an ISO 14044, 2006, S.24)

2.3. Ergänzende Fachliteratur

Das von der International Organization of Standardization gebotene Rahmenwerk wurde bereits vielfach kritisch betrachtet, aber auch adaptiert und in abgewandelter Form als neue Grundlage zur Verfügung gestellt. Einige dieser Ansätze dienen als Ergänzung für dieses Projekt. Unter anderem zählen dazu die Werke der Europäischen Kommission, UNEP/SETAC sowie Fachbücher und Journale (Klöpffer, Graedel, Tschandl & Posch, etc.). Erstere bieten neben teilweise von der ISO adaptierten Bilanzierungsmethoden auch Datenbanken zur Hilfestellung bei Entscheidungen bezüglich der Sachbilanzierung und Umweltabschätzung (European Commission, 2010). Für alle gilt, dass das zentrale Thema, wie auch in ISO 14040 f, die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus ist.

3. Festlegung der Ziele

3.1. Theoretische Vorgehensweise zur Zieldefinition

Die Definition der Ziele zu Beginn hat bedeutenden Einfluss auf die Transparenz und Nachvollziehbarkeit. Dabei wird das Erkenntnisinteresse festgelegt. (Ankele, 1994) Abhängig von der Quelle werden mehrere Charakteristika angeführt, die in diesem Schritt definiert werden sollen. ISO 14044 (2006), Klöpffer & Grahl (2009) und die European Commission (2010) definieren in ihren Arbeiten folgende vier Punkte:

- WAS? - den zu untersuchenden Anwendungsbereich
- WARUM? - den Zweck der Erstellung der Öko- bzw. Sachbilanz
- FÜR WEN? - die Zielgruppe, für die die Bilanzierung durchgeführt wird
- PUBLIKATION? - gibt es vergleichende Aussagen zur Darlegung für die Öffentlichkeit

Die European Commission (2010) fordert zusätzlich noch die Ausweisung von Einschränkungen, die durch die Methoden oder Annahmen entstehen bzw. die Reichweite der Auswirkungen. Weiters müssen der für die Studie Verantwortliche sowie weitere Personen, die auf die Bilanzierung Einfluss haben, festgehalten werden. Es gibt auch noch weitere Einflussgrößen, welche die Vorgaben für die Methoden betreffen. Abhängig davon, ob nun Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit oder eine vergleichende Aussage im Vordergrund steht, sind strikere oder flexiblere Ausführungen der Ansätze vorteilhaft. (European Commission, 2010)

3.2. Festgelegtes Projektziel

Aus der Problemstellung in Kapitel 1.3 auf Seite 3 ergibt sich bereits eine Vorlage der Zieldefinition. Folglich ist eine vergleichende Studie zweier Logistiksysteme der Firma

KNAPP AG hinsichtlich deren Ressourcenintensität und Energieverbrauch über den Lebenszyklus durchzuführen. Bei den Systemen handelt es sich einerseits um die relativ junge (ca. 10 Jahre) Technologie der OSR ShuttleTM und andererseits um die klassischen Automatischen Kommissionier Lager (AKL). Eine vergleichende Bilanzierung würde generell die Vernachlässigung äquivalenter Bereiche erlauben, dennoch wird versucht, die Analysen möglichst detailliert zu verfassen. Das dient dem Hintergrund, dass die Bilanzen auch absolut betrachtet werden können und später eventuell eine Gegenüberstellung zu einem anderen Vergleichspartner/System erfolgen kann.

Mit der Sachbilanzierung sollen die Energie- und Materialflüsse der Produktsysteme visualisiert und quantifiziert werden. Das dient der Schaffung einer geeigneten Grundlage für eine aufbauende Wirkungsabschätzung hinsichtlich umweltlicher Belange. Durch die Bewertung der Umwelteinflüsse erfolgt auch die Fertigstellung einer vollständigen Ökobilanzierung. Dieser Schritt wird allerdings in einem separaten Projekt ausgeführt. Aus diesem Grund ist auch ganz besonderer Wert auf Nachvollziehbarkeit und Transparenz zu legen. Soweit möglich werden bereits aus der Ergebnisanalyse der Stoff- und Energieflüsse Schlussfolgerungen und Empfehlungen aufbereitet. Auch wenn das im Hinblick auf Umweltbelastungen noch nicht realisierbar ist, können höchstwahrscheinlich zumindest ressourcenintensive Pfade/Bereiche identifiziert werden und als Fokus für tiefer gehende Analysen definiert werden. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen die Ergebnisse auch als Argument für ökologisch orientierte Kunden eingesetzt werden. Einerseits wird so die ökologische Nachhaltigkeit des Systems vermarktet, andererseits präsentiert sich die KNAPP AG auch selbst als Aktivist der nachhaltigen Entwicklung.

Einfluss tragende Personen:

- Ulrich Pammer (Ersteller)
- Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Stefan Vorbach (Betreuer TU-Graz, UFO-Institut)
- Mag. Katrin Pucher (Betreuer KNAPP AG, CSR)
- DI(FH) Roman Schnabl (KNAPP AG, Produktmanager Storage Systems)

4. Untersuchungsrahmen - Theoretische Vorgangsweise

Im Zuge der Festlegung des Untersuchungsrahmens sind die Grundzüge der Studie zu definieren. Aufgrund der iterativen Natur der Sachbilanzierung ist die Notwendigkeit der Neudefinition bzw. Abänderung des Untersuchungsrahmens durchaus üblich. Der Untersuchungsrahmen umfasst unter anderem die Definition des Produktsystems, der Funktionen der Systeme und der funktionalen Einheit, Systemgrenzen und Allokationsmethoden. (ISO 14044, 2006, S.7) Aber auch Anforderungen an die auszuführenden Methoden, an Datenqualität, Berichterstattung und Review werden festgelegt. Die Ableitung des Untersuchungsrahmens erfolgt anhand der bereits definierten Ziele und muss schlussendlich auch mit diesen konform sein. (European Commission, 2010, S.51) Graedel (1998) betont besonders das Level der Detaillierung. Auch LCA's, die Annahmen und Vernachlässigungen zu Grunde legen, können durchaus nützliche Ergebnisse liefern. Ein höherer Detaillierungsgrad bringt nicht zwingend bessere Resultate. Mit steigender Komplexität wächst auch der Zeitaufwand und die Effizienz sinkt. Um nicht ein zu extensives Projekt zu erschaffen, muss der Studie und dem System ein klar definierter und abgegrenzter Rahmen verpasst werden. Eventuelle Nachbesserungen werden im Laufe des Projektes sicherlich fällig werden, stellen aber keine größeren Probleme dar. (Graedel, 1998, S.29f) Die European Commission (2010, S.54ff) zeigt zusätzlich zahlreiche Typen von Sach- und Ökobilanzen auf und fordert die Bestimmung des auszuführenden Bilanztyps.

4.1. Bilanztypen

Hervorgerufen durch die unterschiedlichen Zielsetzungen von Stoff- und Energiebilanzen, existieren verschieden Ausprägungstypen der Bilanzierung (Tschandl & Posch, 2012, S.59f). Abhängig vom betrachteten Bezugsobjekt unterscheidet Beck et al. (1993, S.117) vier Typen, welche jeweils auch als vergleichende Bilanz ausgeführt werden können:

- **Standortbilanz** - In der Standortbilanz finden auch nur sehr schwer zuordnenbare Gegenstände und Bereiche ihren Platz. Organisationseinheiten wie die Verwal-

tion und alle verbrauchten Materialien an dieser Stelle oder nicht in der Betriebs- und Prozessbilanz erfasste Lehrwerkstätten, Energieversorgungs- oder Abwasseranlagen werden mit diesem Bilanztyp abgedeckt. Auch externe Dienstleistungen (Reinigung, outgesourcte Abteilungen etc.), Fuhrparks, MA-Verkehrsmittel und Grundstücke sind Bestandteil der Standortbilanz.(Beck et al., 1993, S.129f)

- **Betriebsbilanz** - Die Betriebsbilanz ist eine Materialflussanalyse des gesamten Produktionsprozesses. Berücksichtigt werden alle In- und Outputs von Materialien und Energie sowie Material- und Energieverluste, Abfall, Abwasser, Abwärme und Abgase. Die Prozesse an sich werden als Black Box betrachtet. Daraus folgt, Verfahren und Maschinen befinden sich nicht in der Bilanz. Bestände bzw. Bestandsveränderungen und direkter Handel hingegen sind sehr wohl Teil der Betriebsbilanz.(Beck et al., 1993, S.123f)
- **Prozessbilanz** - Eine Prozessbilanz ist die Analyse eines Verfahrensablaufes. Unter Berücksichtigung aller Lager zwischen den Fertigungsschritten werden In- und Outputs bilanziert und hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen bewertet. Die Prozessbilanz stellt eine Ergänzung bzw. eine weitere Detaillierung der Betriebsbilanz dar. Eine wesentliche Eigenschaft ist die Aussage über die Umweltverträglichkeit von Maschinen und Prozessen, wobei die Anlage selbst nicht in die Bilanz eingeht, Emissionen aus dem Betrieb jedoch schon. Das steht mit der Zeitspanne des zyklischen Auftretens in Zusammenhang (kurz- bzw. langfristig).(Beck et al., 1993, S.125f)
- **Produkt(linien)bilanz** - Die Produktbilanz untersucht ein Produkt oder eine Dienstleistung inklusive aller vor- und nachgelagerten Prozesse (Beck et al., 1993, S.127). (für detailliertere Informationen siehe Anhang A, S. A 3)

Zwischen den Bilanzen lassen sich einige Gemeinsamkeiten finden. Die Ökobilanzen sind modular aufgebaut und können aggregiert werden, um eine vollständige Analyse zu ermöglichen. (Beck et al., 1993, S.122) Die Grenzen sind teilweise Grauzonen und so treten Überschneidungen zwischen den Bilanzen auf. Daraus folgt, dass im Falle einer Gesamtbilanzierung auf die Vermeidung von Doppelerfassung besonders geachtet werden muss. Eine weitere Gemeinsamkeit sind die zwei wesentlichen Grundgesetze der Bilanzierung, die für alle Bilanztypen gelten: (Schnitzer, 2012, S.37ff)

- **Massenerhaltung** - Masse kann nicht erzeugt oder vernichtet werden. Einzige Ausnahme wäre die Umwandlung von Masse in Energie bei Geschwindigkeiten in der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit (ca. 300.000 km/s). Bei kleineren Geschwindigkeiten der chemischen Umwandlung ist die Auswirkung auf die Masse sehr gering. Finden zusätzlich zur niedrigen Umwandlungsgeschwindigkeit auch keine Kernreaktionen statt, lässt sich folgendes Gesetz aufstellen:

Σ eintretende Massenströme = Σ austretende Massenströme + Massenanreicherung im System

Die Massenanreicherung im System wäre eine Bestandserhöhung an Material. In kontinuierlichen Prozessen sollen Schwankungen vermieden werden, d.h. der Anreicherungs-Term ist gleich null. Das wiederum würde bedeuten, der Prozess verläuft stationär und somit unabhängig von der Zeit. (Schnitzer, 2012, S.39f)

- **Energieerhaltung** - Der erste Hauptsatz der Thermodynamik besagt, Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Lediglich eine Umwandlung zu anderen Energieformen ist möglich. Hier gilt das sogenannte Energieerhaltungsgesetz für offene Systeme (Schnitzer, 2012, S.44):

Σ eintretende Energieströme = Σ austretende Energieströme + Zunahme des Energieinhalts im System

4.2. Produktsystem

Vorneweg wird eine detailgetreue Beschreibung des Produktsystems bzw. der Produktsysteme für eine vergleichende Aussage verlangt. Auch wenn die Informationen noch spärlich sind, ist das Verständnis des zu behandelnden Produktsystems von Bedeutung. Nur so können gravierende Fehlentscheidungen und Fehldefinitionen vermieden werden und ersparen somit zusätzlichen Aufwand für nachfolgende Korrekturarbeiten. Zur Beschreibung eignen sich verschiedene Visualisierungsverfahren. In diesen Fließbildern finden sich normalerweise die Prozessmodule wieder. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.28f) Abhängig vom darzustellenden Prozess können Wertschöpfungskettendiagramme (WKD), Systemfließbilder oder auch Flow Charts verwendet werden. Die ISO 14044 (2006) empfiehlt eine Modellierung, sodass es sich bei ersichtlichen In- und Outputs um Produkt- und Elementarflüsse (Begriffsdefinitionen, siehe Anhang A) handelt.

Vergleichende Studien, die nebenbei bemerkt die Mehrzahl der Fälle darstellen, bieten die Möglichkeit absolut identische Prozessmodule auszuschließen. Vorsicht ist hingegen beim Vernachlässigen kleiner, scheinbar unrelevanter Bereiche geboten, da diese hinsichtlich der Umweltwirkungen trotzdem kritisch sein können. Basierend auf beiden Begründungen wird eine Abschätzung der Relevanz der Abschnitte auf jeden Fall empfohlen. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.29)

4.3. Systemgrenze

Durch die Beschreibung des Produktsystems erfolgt bereits eine vage Bestimmung der Systemgrenze. Im nächsten Schritt muss diese nun exakt definiert werden. Folglich werden auch die Schnittstellen mit der Umwelt erzeugt. An diesen Schnittstellen werden später die eintretenden und austretenden Material- und Energieflüsse ermittelt. Für den Produktvergleich ist die Übereinstimmung der Systemgrenzen ein entscheidender Faktor. Abweichungen liefern ein verfälschtes Ergebnis. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.30) Klöpffer & Grahl (2009) beschreiben für die Bestimmung drei Eigenschaften der Systemgrenze, die berücksichtigt werden müssen:

- Technische Systemgrenze
- Geografische Systemgrenze
- Zeitliche Systemgrenze (Zeithorizont)

4.3.1. Technische Systemgrenze

Wichtig für die Identifizierung der Systemgrenze ist eine geeignete Beschreibung des Produktsystems. Aber nicht nur das Gesamtsystem, auch die Prozesseinheiten mit ihren Verbindungen müssen betrachtet werden. Dazu gehören Informationen zum Startpunkt (wo betreten Zwischenprodukte und Rohmaterial den Prozess) bzw. Endpunkt (wo verlassen Zwischenprodukte und Rohmaterial den Prozess) des Prozesses sowie über die vorliegenden Transformationen des Produkts. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.30ff) Die durch die Systemgrenze erzeugten Schnittstellen lassen querende In- und Outputs sichtbar werden (Tschandl & Posch, 2012, S.71). Welche der grenzüberschreitenden Flüsse bis zur Umweltwirkung ermittelt werden, erfolgt ebenfalls iterativ. Für alle Prozessmodule werden die zugehörigen Material- und Energieflüsse erhoben. Das Ziel ist im Endeffekt die signifikanten In- und Outputs zu identifizieren. (ISO 14044, 2006; Klöpffer & Grahl, 2009) Als Entscheidungshilfe, welche Flüsse in die Bilanz aufgenommen werden, nutzt man sogenannte Abschneideregeln. Im Standard der International Organization of Standardization ISO 14044 (2006) werden die drei Kriterien dieser Regeln erläutert:

- **Masse** - alle Elemente, die einen bestimmten Prozentsatz am Beitrag der Gesamtmasse unterschreiten, können vernachlässigt werden
- **Energie** - alle Elemente, die einen bestimmten Prozentsatz am Energieaufwand unterschreiten, können vernachlässigt werden

- **Umweltrelevanz** - dieses Kriterium soll verhindern, dass gefährliche Elemente aufgrund ihres eventuell geringen Massenanteils vernachlässigt werden

In der ISO 14044 (2006) an sich findet man keine Quantifizierung der Abschneideregeln. Im zugehörigen Technischen Report ISO/TR 14049 (2000) findet sich ein Beispiel zu Abschneideregeln. In diesem Beispiel werden 1 % an der Gesamtmasse oder 5 % Anteil in der Prozesseinheit angeführt. Für die Energie wurde festgelegt, die kumulative Summe der berücksichtigten Elemente muss schlussendlich mehr als 99 % des Gesamtaufwands ergeben. Um nicht Stoffe, welche auch in geringen Mengen eine signifikante Umwelteinwirkung erwarten lassen, zu vernachlässigen, werden jene Materialien zusätzlich in die Studie inkludiert. (ISO/TR 14049, 2000, S.16) Klöpffer & Grahl (2009) erwähnen 1 % Masse/Energie am Gesamtsystem als übliches Abschneidekriterium. Dabei darf ein Element wie auch im Report der ISO die 5 % Massen-/Energieanteil im Prozessmodul nicht unterschreiten und zusätzlich findet auch das Kriterium Umweltrelevanz Anwendung (Klöpffer & Grahl, 2009, S.31).

4.3.2. Geografische Systemgrenze

In Zeiten der Globalisierung wird die geografische Systemgrenze meist sehr weit zu fassen sein. Selbst wenn Produktions- und Betriebsort nahe beisammen liegen, so sind meist zahlreiche, weltweit verstreute Lieferanten involviert. Entscheidend ist das in dem Sinne, dass die Umwelteinflüsse jenen Regionen zugerechnet werden müssen, wo sie auch tatsächlich auftreten. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.35f) Auch können sich die Umwelteinflüsse selbst sehr unterschiedlich ausbreiten. So beeinflusst Feinstaub üblicherweise nur lokale Bereiche, während Stickoxide sich in Form von saurem Regen über mehrere hundert Kilometer erstrecken können und FCKW wiederum wirkt sich überhaupt auf die Ozonschicht in der Stratosphäre aus. (Graedel, 1998; Tschandl & Posch, 2012) Im Falle geografisch unterschiedlich positionierter Kunden würde sich ein Unterschied im Transport ergeben, welcher als Bonus für das mehr belastete System oder als Zusatzlast für das minder belastete System ausgeglichen werden muss (Graedel, 1998, S.69f). Bei Betrachtungen, die zum privaten Konsum führen, kann das sehr komplex werden (von Hauff, 2012, S.96ff). Prinzipiell ist die Definition der geografischen Grenzen allerdings unproblematisch (Klöpffer & Grahl, 2009, S.36).

4.3.3. Zeitliche Systemgrenze

Die zeitliche Systemgrenze ist etwas schwieriger zu erfassen als die geografische. Sie weist verschiedene Einflusskriterien auf. Einerseits ist die Produktlebenszeit ein entscheidender Faktor, vor allem seitdem die Ökobilanz auch für Produkte mit steigender

Lebensdauer durchgeführt wird. Das wirkt sich vor allem auf jene Phasen aus, die in der Zukunft liegen. Die Methoden in der Entsorgung und Verwertung können sich in den nächsten Jahrzehnten grundlegend ändern. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.36) Andererseits gibt es auch in temporaler Hinsicht Umweltbelastungen, die sehr kurzfristig wirken und andere, die auf einen wesentlich längeren Zeitraum beobachtet werden müssen. So kann ein Phänomen wie Ozonsmog binnen ein oder zwei Tagen auftreten, während für den Treibhauseffekt ein Einfluss von 100 Jahren oder sogar Jahrhunderten berücksichtigt wird. (Graedel, 1998, S.32)

4.4. Funktionale Einheit und Referenzfluss

Die funktionale Einheit stellt vor allem im Bereich der vergleichenden Studien den Mittelpunkt in der Konzeptentwicklung dar. Aufbauend auf den für das Produktsystem abgeleiteten Funktionen stellt die funktionale Einheit eine Grundperformance dar, die von den Systemen erfüllt wird. Die Erörterung erfolgt im Einklang mit den definierten Zielen und dem Untersuchungsrahmen. (ISO 14044, 2006, S.8) Durch den iterativen Aufbau der Sachbilanzierung macht diese Aussage durchaus Sinn, auch wenn die funktionale Einheit selbst zur Definition des Untersuchungsrahmens zählt. Im mathematischen Sinne fungiert eine klar definierte und messbare funktionale Einheit als Referenz für In- und Output Daten (ISO 14044, 2006). Die Ermittlung der funktionalen Einheit ist für komplexe Produkte im Allgemeinen kompliziert. Es benötigt Wissen über die Verwendung des Produkts, Materials und Service sowie die zu erfüllende Funktion. Eine geeignete Wahl ist für die Resultate der Studie absolut entscheidend. (Graedel, 1998, S.34) Nur erwähnt sei an dieser Stelle das Auftreten von Zusatz- und Ergänzungsnutzen (Fleischer & Hake, 2002, S.13) bzw. vernachlässigbaren und nicht vernachlässigbaren Zusatznutzen (Klöpffer & Grahl, 2009, S.42f).

Die Bestimmung der funktionalen Einheit und des Referenzflusses folgt einem im technischen Bericht ISO/TR 14049 (2000) erläuterten Schema, das einige wesentliche Schritte aneinander reiht (siehe Abbildung 4.1). Im Folgenden werden die vier wesentlichen Prozessschritte näher erläutert (ISO/TR 14049, 2000):

1. Identifizierung der Funktionen

Der erste Schritt besteht darin, die Leistung des zu untersuchenden Produktsystems zu bestimmen. Anders gesagt, das Produktsystem erfüllt ein Ziel. Um dieses Ziel auch zu erreichen, besitzt das Produktsystem bestimmte Funktionen. Diese Funktionen sind Gegenstand der Startphase zur Ermittlung der funktionalen Einheit und der Referenzflüsse. Der Ausgangspunkt für die Untersuchung kann

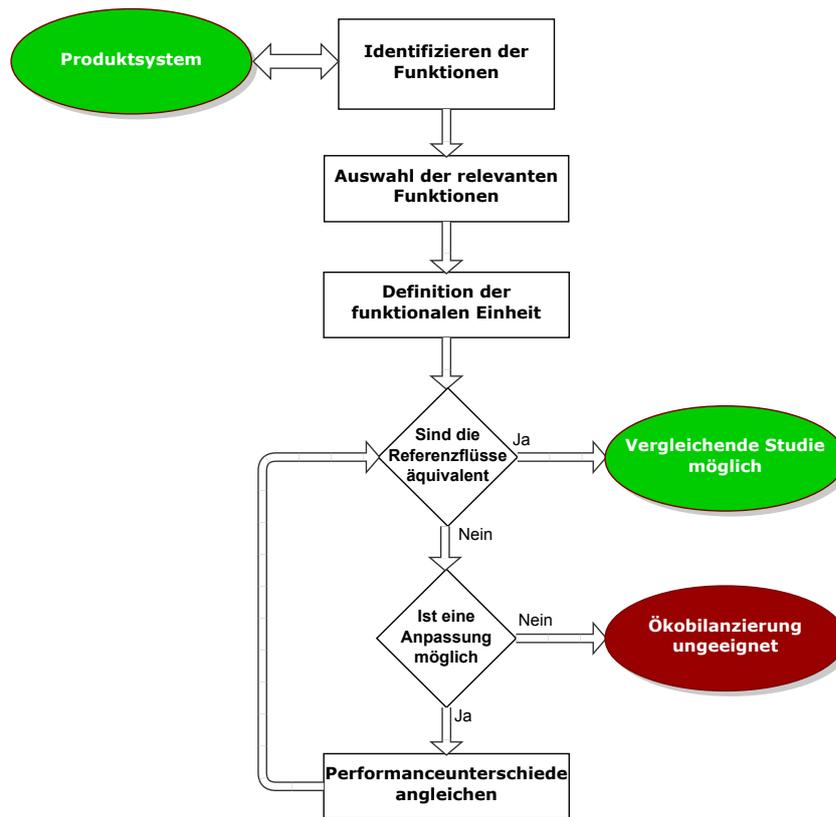


Abbildung 4.1.: Funktionale Einheit und Referenzflussermittlung für vergleichende Studien (in Anlehnung an ISO/TR 14049, 2000, S.7)

sowohl das Produkt als auch der erfüllte Zweck sein. (ISO/TR 14049, 2000, S.4)
Dieser Schritt sollte mit der Produktsystemdefinition bereits abgefolgt sein.

2. Auswahl relevanter Funktionen

Im nächsten Schritt werden die entscheidenden Funktionen für die Kalkulation ausgewählt. Nicht alle Funktionen des Systems sind von Relevanz. In die funktionale Einheit werden nur jene aufgenommen, die für den Hauptnutzen bedeutend sind. Trotzdem gilt, für komplexe Systeme lassen sich meist mehrere Funktionen identifizieren. Oft stehen diese auch in Zusammenhang. (ISO/TR 14049, 2000, S.5) Sekundäre Funktionen sowie die Umrechnung von unterschiedlichen Bezugseinheiten können vorerst vernachlässigt werden. Eine Justierung kann später mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden. Wird auf eine gemeinsame Einheit zu Beginn verzichtet, kann das schwerwiegende Folgen haben. Die Definition der

funktionalen Einheit gewährleistet auch die Eignung der Ökobilanz als Analyseinstrument. Das bedeutet, diese Einsparung könnte sich in nutzlosem Zeitaufwand niederschlagen. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.38)

3. Definition der funktionalen Einheit

In dieser Phase ist die tatsächliche quantitative Festlegung der funktionalen Einheit das Ziel. Die gewählten Funktionen werden mit Zahlen und Fakten hinterlegt. (ISO/TR 14049, 2000) Folglich wird die Verwendung realitätsnaher Daten empfohlen. Abhängig vom untersuchenden Organ und dem Zweck der Studie kann die Wahl der funktionalen Einheit variieren. Für langlebige Produkte ist es von Bedeutung eine Zeitdauer mit aufzunehmen. Die funktionale Einheit bildet anschließend das Ziel für die Referenzflüsse. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.38f)

4. Identifizierung des Produktnutzens (Performance) und der Referenzflüsse

In einem multifunktionalen Prozess, welcher meist vorliegt, existieren üblicherweise mehrere Referenzflüsse. Diese Referenzflüsse realisieren die funktionale Einheit. Alle weiteren Flüsse bzw. In- und Outputs korrelieren mit den Referenzflüssen. (European Commission, 2010, S.60) Um aber die Referenzflüsse bestimmen zu können, muss zunächst Klarheit über die Performance des Produkts vorherrschen. Der Produktnutzen leistet seinen Beitrag zur Erfüllung der funktionalen Einheit. Die Relation zwischen Performance und Referenzfluss ist nun der Verbrauch an Produkten zur Realisierung der funktionalen Einheit. (ISO/TR 14049, 2000, S.5f) Ein Beispiel: Man stelle sich vor, die funktionale Einheit sei eine bestimmte Performance über 15 Jahre. Ein Produkt A liefert genau diese Performance, allerdings beträgt die Lebensdauer nur fünf Jahre. Das Resultat, gleich dem Referenzfluss, wäre, es werden drei solcher Produkte benötigt um die funktionale Einheit zu realisieren. (in Anlehnung an ISO/TR 14049, 2000; Klöpffer & Grahl, 2009) Vergleiche dazu allerdings Abschnitt 4.5.

Weitaus komplexer kann sich der Fall gestalten, wenn die Performance nicht übereinstimmt. Solche Nutzenunterschiede müssen ausgeglichen werden. Das kann am realen Produkt geschehen, durch Produktmodule oder Anknüpfung anderer Produkte zur Ergänzung der Eigenschaften. Beim Vergleich existierender Produkte im Einsatz ist das eher unwahrscheinlich. Außer es betrifft zum Beispiel eine zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit notwendige Funktion. Die zweite Möglichkeit ist ein rechnerischer Angleich (als Bonus oder Last für eines der beiden Systeme). In diesem Fall handelt es sich um einen nicht vernachlässigbaren Zusatznutzen. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.42f) Dieser Zustand wird von Fleischer & Hake (2002, S.13ff) und auch Klöpffer & Grahl (2009, S.44) als Nutzengleichheit bezeichnet.

Um die Vergleichbarkeit zweier Systeme zu verbessern, werden teilweise qualitative Charakteristika hinzugezogen. Die Berücksichtigung solcher Eigenschaften findet vor allem bei Betrachtungen aus der Endkonsumenten-Perspektive Anwendung. Eine genaue Dokumentation der qualitativen Aspekte ist in solchen Fällen unbedingt notwendig. (European Commission, 2010, S.62f)

4.5. Äquivalenz

Wie in der Ableitung der funktionalen Einheit und des Referenzflusses (Abschnitt 4.4) bereits beschrieben, treten Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Systemen auf. Die Äquivalenz des Zieles und der Referenzflüsse wurde bestimmt. Folglich wurde die technische Vergleichbarkeit festgestellt. Allerdings gibt es noch andere Faktoren, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Bei langlebigen Produkten kann ein eklatanter Unterschied (z.B.: 10 vs. 20 Jahre) in der Lebensdauer zu Schwierigkeiten führen. Eine Umrechnung kann zwar leicht durchgeführt werden, aber während der ersten zehn Jahre könnten wesentliche technologische Fortschritte auftreten, welche nicht einfach vernachlässigt werden dürfen. Genauso stellt sich die Frage, ob es zulässig ist, kombinierte Funktionen eines Produkts durch die Kombination von Produkten zu vergleichen. Die Vergleichbarkeit ist so gesehen oft eine Frage der Perspektive. Häufig bestimmt der Nutzer, ob die Äquivalenz gegeben ist oder nicht. In diesen Fällen sind meist Faktoren wie der Preis beeinflussend. Zusätzliche Informationen wie räumliche Ausbreitung oder Umweltbelastung dienen auch als Entscheidungsfaktoren. Eine Ökobilanzierung, angewendet zur Produktentwicklung oder für strategisches Management, kann auch einen Systemvergleich von Produkten, die aus Nutzerperspektive unterschiedlicher Natur sind, plausibel begründen. (ISO/TR 14049, 2000, S.8f)

4.6. Datentypen, Datenquellen, Datenverfügbarkeit

Daten können von verschiedensten Quellen stammen. In der Praxis werden sowohl Messungen, Berechnungen, Simulationen als auch Schätzungen aus Erfahrung verwendet (ISO 14044, 2006, S.9) und alle Möglichkeiten besitzen absolut ihre Berechtigung. Oftmals übertreffen gute Erfahrungswerte in puncto Genauigkeit Mess- oder Rechenwerte, da diese Messfehler falsche oder ungenaue Annahmen und andere Unsicherheiten beinhalten.

Die Datenerhebung und somit die Verfügbarkeit und Qualität der Daten ist Teil der Sachbilanz. Im Untersuchungsrahmen sollen nur sehr allgemeine Informationen festgehalten werden. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.45) Dabei wird vorerst im Groben erfasst,

welche Daten überhaupt verfügbar sein werden, darauf folgend für welche Prozessmodule diese Primärdaten schließlich erhoben werden, wo bereits Daten vorhanden sind und für welche Daten Schätzungen notwendig sein werden. Hier spielen auch die bereits erwähnten Abschneideregeln eine Rolle (siehe Abschnitt 4.3.1). Angewendet auf die verfügbaren Daten kann der Fokus direkt auf relevante Inputs für das Produktsystem gerichtet werden. (ISO/TR 14049, 2000, S.10)

Die Datenverfügbarkeit begrenzt auch die machbare Detaillierung der Studie. In dieser Hinsicht gibt es zwei Abstufungen der Ökobilanzierung. Eine Überblicks-Ökobilanz (Screening LCA) und eine vereinfachte Ökobilanz (Streamlined LCA). In der Praxis werden die Begriffe oft synonym gebraucht. Die Unterschiede sind geringfügig. Beide nutzen leicht zugängliche, oft auch geschätzte Daten zur Bilanzerstellung. Selbst ganze Lebenswegphasen werden vernachlässigt. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.45) Die Durchführung solcher, vereinfachter Methoden ist nicht nur durch eingeschränkte Datenverfügbarkeit begründet, auch Kosten und Zeitaufwand sind oft ein Hemmnis zur Ausführung einer umfassenden Ökobilanz. Genau genommen hat und wird es nie eine ganzheitliche LCA geben, da immer Einschränkungen vorhanden sind (siehe Abbildung 4.2). Gleich den ökonomischen Kosten eines Produkts können auch die Umweltbelastungen (oder ökologische Kosten) der Pareto-Regel unterworfen werden, d.h. 80 % der Umweltwirkungen werden bereits in der Planungs- und Entwicklungsphase festgelegt. In so einer frühen Phase sind nur sehr wenige Daten vorhanden. Daher besteht schon von Beginn an nur die Chance, Annahmen, Kalkulationen und Simulationen zu Hilfe zu nehmen, um eine vereinfachte Ökobilanz zu erstellen. (Graedel, 1998, S.87)

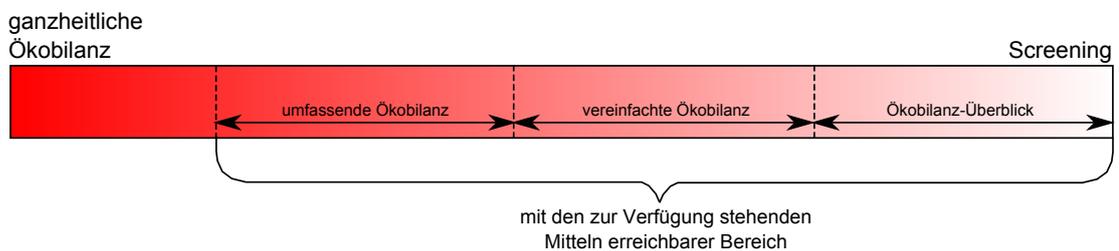


Abbildung 4.2.: Praxisorientierte Detailschärfe der Ökobilanzierung (in Anlehnung an Graedel, 1998, S.88)

5. Festlegung des Untersuchungsrahmens

Die grundlegende Festlegung zu Beginn des Projekts ist jene des Bilanztyps. Ist ein Vergleich zweier Logistiksysteme gefordert, ist der Bilanztyp nach der European Commission (2010) festgelegt. Die zwei Lagersysteme entsprechen den zu analysierenden Produktsystemen und müssen daher im Weiteren genauer definiert werden. Implizit wurde mit dieser Aussage der Bilanztyp auch bereits konkretisiert. Es wird eine Produktbilanz erstellt.

5.1. OSR ShuttleTM - Produktsystem 1

Bei dem der Untersuchung zu Grunde liegenden Objekt oder Produktsystem handelt es sich um das sogenannte Order Storage Retrieval (kurz OSR) ShuttleTM. Das OSR ShuttleTM ist ein halbautomatisiertes, hochleistungsfähiges Lager- und Kommissioniersystem. Seit zehn Jahren finden diese relativ jungen Systeme Anwendung in der Intralogistik und bieten die Möglichkeit für vielfältigen Einsatz. In Waren- bzw. Lagerhäusern müssen Güter verschiedenster Art aufbewahrt werden. Dazu sind Regale in bestimmten Dimensionen (Länge x Höhe x Tiefe) verfügbar. In diesen Regalen werden Behälter mit den betroffenen Gütern gelagert. Werden für einen Auftrag Güter benötigt, müssen diese Behälter aus den Regalen zu einer Kommissionierstelle geschafft werden. Die KNAPP AG ist ein Komplettanbieter von Systemen, die diesen Vorgang bewerkstelligen. Komplettanbieter bedeutet, dass KNAPP alle Komponenten bereitstellt, beginnend von den Regalen über die Bediengeräte für die Lager bis zur Flurfördertechnik und den abschließenden Kommissionierstellen.

Ein OSR ShuttleTM und ein AKL arbeiten nach unterschiedlichen Prinzipien, folglich sind auch die Ein- und Auslagerungsvorgänge verschiedenartig. Wie der Name bereits verrät, existieren in diesem System mehrere Shuttles. Diese werden auch mit dem Begriff Ebenenbediengerät (EBG) bezeichnet. Das bedeutet, für jede Ebene oder jedes Level gibt es ein Shuttle, das die Behälter in dieser Reihe ein- und auslagert. Die Shuttles können sich nur in horizontaler Richtung bewegen. Folglich ist ihre Aufgabe einfach das Abholen der gewünschten Behälter an deren Lagerpositionen und das Abliefern in einem Puffer an der Stirnseite des Regals. Von der Pufferstation legen die Behälter

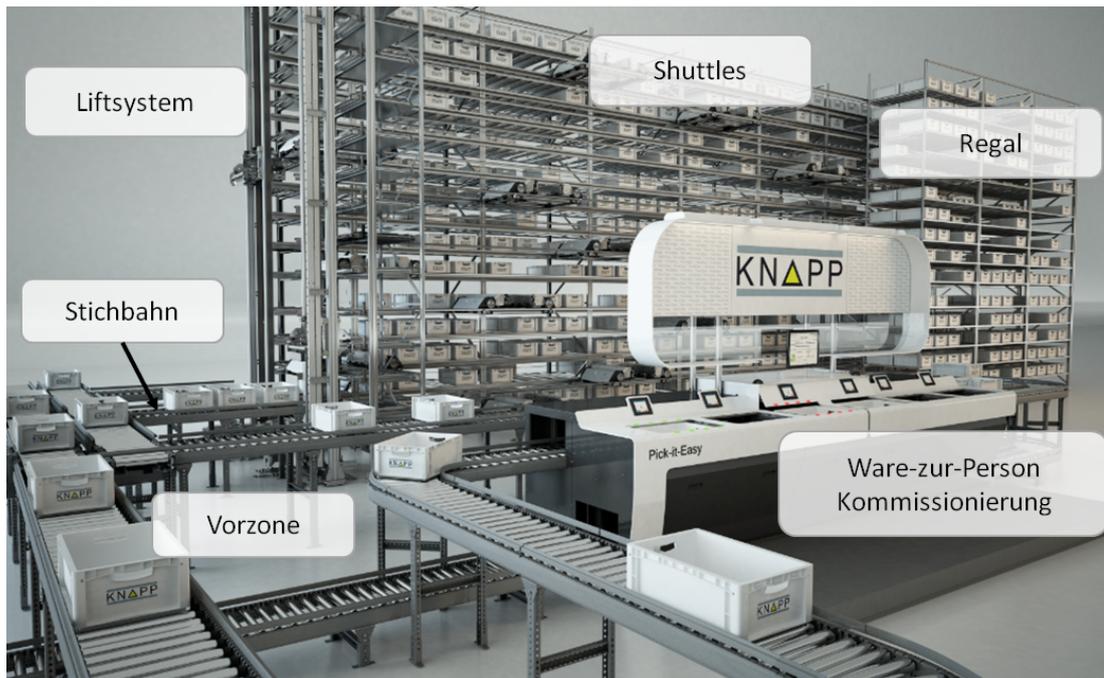


Abbildung 5.1.: Das Produktsystem (adaptiert von KNAPP AG, 2012)

die vertikale Bewegung mittels Lift zu den Flurfördergeräten zurück. Die Puffer sind deshalb notwendig, da der(die) Lift(e) besetzt sein könnte(n) und somit eine gewisse Wartezeit auftreten kann. Das Shuttle kann in der Zwischenzeit bereits das folgende Lagerspiel starten. Da sich an der Stirnseite meist zwei Lifte befinden, kann ein weiterer einzulagernder Behälter für ein Doppelspiel bereit gestellt werden. Der Lift übergibt die Behälter samt Gut an die Stichbahnen, welche die Verbindung zur Fördertechnik darstellen. Diese müssen sich nicht zwangsweise auf dem untersten Level befinden. Aus konzeptionellen oder bautechnischen Gründen können die Übergabepunkte auch auf einem höheren Niveau liegen. Ein- und Ausgabepunkt können getrennt sein oder es können mehrere Eingabepositionen existieren. Sogar die Lage inmitten des Regals ist möglich. (Arnold & Furmans, 2009, s.211) Je nach Gut und Behältnis kann die anschließende Flurfördertechnik variieren (z.B. Rollenförderer oder Gurtförderer). Mittels der verschiedenen Fördermittel werden die Güter dann zu den Kommissionierstellen bewegt, wo die gewünschte Menge von den Mitarbeitern entnommen wird. Die verbleibenden Güter werden in ihrem Behälter wieder im Regal eingelagert. Einzulagernde Behälter können aber auch aus der Anlieferung kommen. Auf beide Arten können jedenfalls die erwähnten Doppelspiele entstehen. In Abbildung 5.2 auf Seite 29 kann der sequentielle Prozess einer Ein- und Auslagerung anhand eines fiktiven Beispiels verfolgt werden. Ist eine Auslagerung erforderlich und kein Behälter zur Einlagerung auf dem akuten Level zur Verfügung, dann erfolgt ein sogenanntes Einzelspiel mit einer Leerfahrt zur Regalposition. Das Gleiche gilt selbstverständlich auch umgekehrt, sollte eine Einlagerung

notwendig sein und kein Auslagervorgang bevorstehen.

In der Lagertechnik spricht man immer von einer Gasse, in welcher die Shuttles oder auch die Regalbediengeräte arbeiten. Die Bezeichnung Gasse folgt aufgrund der beidseitigen Anordnung der Regale. Zusätzlich zur beidseitigen Anordnung können die Behälter auch noch zweireihig bzw. doppeltief angeordnet sein. Während die beidseitige Anordnung nur geeignete Lastaufnahmemittel fordert, beeinflusst die doppeltiefe Lagerung sowohl die Prozedur des Lagervorgangs als auch die Konstruktion der Regale. Soll nämlich der hintere der beiden Behälter ausgelagert werden, muss zuerst der vorne liegende Behälter in eine freie Lagerposition geschafft werden. Erst dann kann der zweite Behälter zum Puffer befördert werden. Dieses Zwischenspiel ist aufgrund der Einfachlastaufnahme des Shuttles notwendig. Auf der Habenseite kann dafür eine Platzeinsparung verbucht werden, da die benötigte Gasse schmaler gebaut werden kann. OSR ShuttlesTM existieren nur in Ausführung mit einfacher Lastaufnahme.

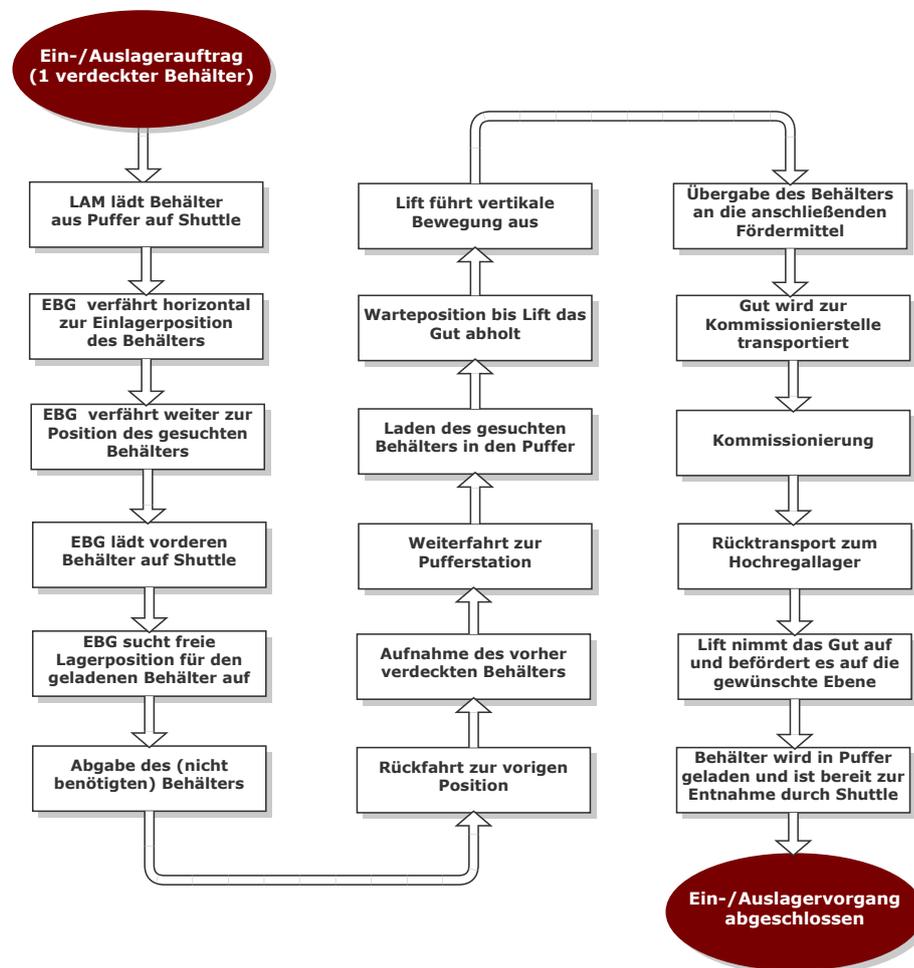


Abbildung 5.2.: Beispielhafter Ein- und Auslagerprozess im OSR ShuttleTM

5.2. Regalbediengerät - Produktsystem 2

Der prinzipielle Aufbau des Gesamtsystems ist ähnlich zum OSR ShuttleTM (siehe Abschnitt 5.1). Der wesentliche Unterschied liegt in der Bedienung der Behälter im Regal. Das Regalbediengerät besteht aus einem großen Masten mit Fahrwerk, welches die horizontale Bewegung ausführt. Auf dem Masten ist der Hubwagen samt Lastaufnahmemittel (LAM) montiert. Das LAM selbst führt auch in diesem Fall die Greiftätigkeit und somit die direkte Ein- und Auslagerung ins/vom Regal aus, der Hubwagen sorgt für die vertikale Bewegung. Am Regal selbst liegen auch einige systemspezifische Unterschiede vor. Diese halten sich aber eher in kleinem Rahmen, wenn z.B. je nach System unterschiedliche Lagerplatzhöhen und -breiten notwendig sind. Die Stichbahnen sowie die anschließende Fördertechnik und die Kommissionierplätze können hingegen völlig ident realisiert werden. Die Stichbahn- und die Vorzonengestaltung wird meist nur durch die lokalen baulichen Gegebenheiten (z.B. Säulen in den Lagerhallen) beeinflusst.

Eine weitere grundlegende Differenz gibt es bei den Lastaufnahmen der Systeme. Regalbediengeräte verwenden im Normalfall zweifache LAM. Das erleichtert die Auslagerung eines verdeckten Behälters (Behälter aus der zweiten Reihe). Denn so können beide Behälter auf einmal aufgeladen werden und der nicht benötigte wird einfach auf der gegenüberliegenden Gassenseite in ein freies Fach eingelagert. Handelt es sich bei beiden auszulagernden Behältern um verdeckte, so besitzt das RBG den Vorteil, dass die Suche nach einer freien Lagerstelle nicht auf ein Level begrenzt ist. Die ausgeführten Zwischenlagerschritte werden nicht rückgängig gemacht. Die umgelagerten Behälter verbleiben in den neuen Lagerpositionen. Man nennt diese Erlaubnis der Umlagerungen "chaotische Steuerung". Diese ist aber absolut üblich. Auch beim OSR ShuttleTM ergibt sich diese durch die Umlagerschritte. Ein Nachteil des RBG ist allerdings die benötigte Gassenbreite. Aufgrund der doppelten Lastaufnahme muss diese breiter ausgeführt werden.

Ein Beispiel für die Prozedur eines Ein- und Auslagervorgangs kann aus dem Prozessabbild 5.3 (Seite 31) nachvollzogen werden. Der Ablauf der Ein- und Auslagerungen beim RGB System existiert in weitaus mehr Varianten verglichen mit dem OSR ShuttleTM System. Das resultiert aus der zweifachen Lastaufnahme und der Möglichkeit, sowohl horizontal als auch vertikal zu verfahren. So kann die am nächsten liegende freie Einlagerstelle für einen verdeckenden Behälter auch im vertikalen Umkreis gesucht werden. Die zweifache Lastaufnahme ermöglicht das gleichzeitige Aufnehmen von zwei Behältern. Das bedeutet, ein verdeckter Behälter kann bei leerem Hubwagen ohne vorherige Umlagerung aufgenommen werden. Der nicht benötigte, aufgenommene Behälter wird danach in einer anderen Lagerposition entsorgt. Zweifach- bzw. Mehrfachlastaufnahmen sind entweder mit mehreren Einzellastaufnahmen oder mit einer Aufnahme, die mehrere Behälter aufnehmen kann, ausgestattet (Arnold et al., 2004, S.666).

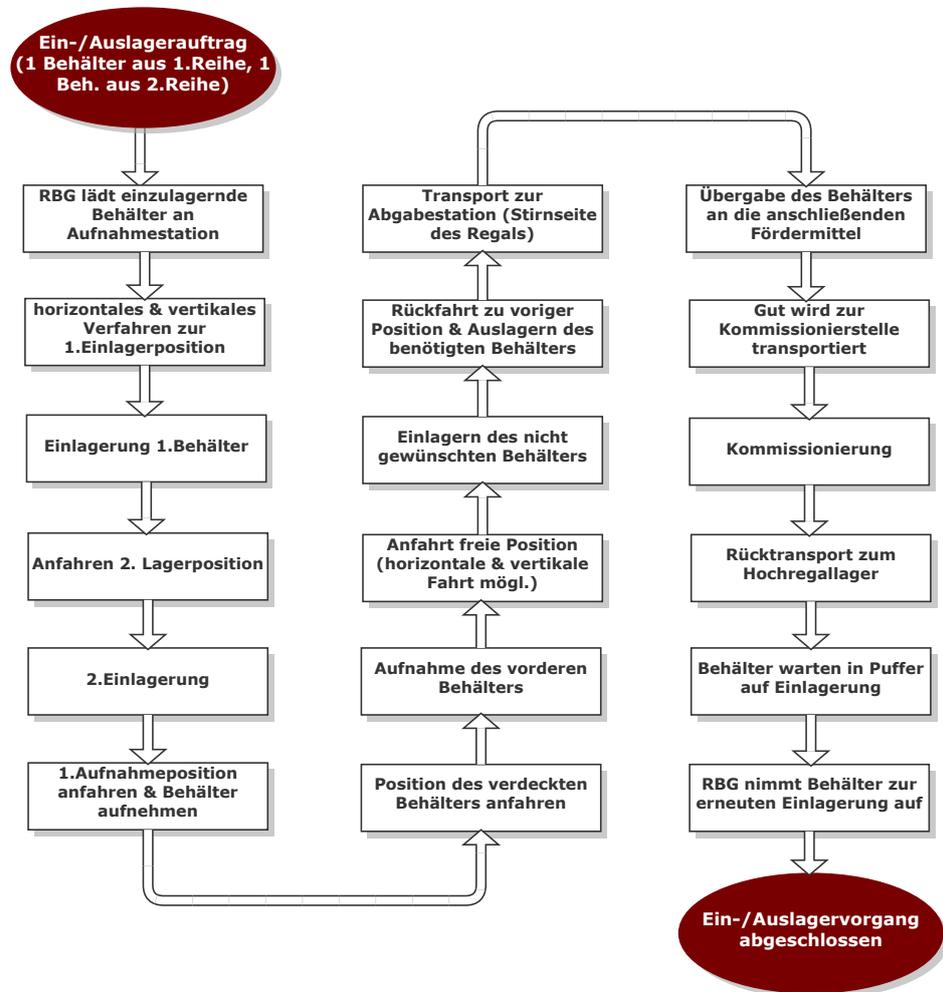


Abbildung 5.3.: Beispielhafter Ein- und Auslagerprozess im RBG-System mit Einzelaufnahme

5.3. Systemgrenze

Durch die Definition der Systemgrenze wird der Betrachtungsraum weiter eingeschränkt. In diesem Projekt ist der entscheidende Faktor mit Sicherheit die **technische** Systemgrenze. Aus dieser Perspektive ist vor allem der Hintergedanke wichtig, dass ein Vergleich zwischen einem OSR- und einem RBG-System erstellt werden soll. Somit werden die Bereiche Vorzone und Kommissionierstellen ausgegrenzt und erscheinen daher in Abbildung 5.4 rot. Diese nehmen prinzipiell keinen Einfluss auf die Lagergasse. Außerdem würde sich der Vergleich zweier Systeme weitaus komplexer darstellen, da diese beiden Bereiche eigentlich immer individuell an das Umfeld angepasst werden. Die Ermittlung einer einheitlichen Vergleichsbasis scheint nahezu unmöglich. Aus der ersten Definition der Systemgrenze ergeben sich folgende Prozessmodule:

- Regal
- Shuttles
- Zwischenpuffer
- Lifte
- Gassenausrüstung
- Elektronik und Hardware
- Stichbahnen

Während die ersten vier Module sich offensichtlich darbieten, unterliegen die letzteren kleinen Besonderheiten. Das Prozessmodul Gassenausrüstung setzt sich aus Materialien und Komponenten, die ergänzend für die gesamte Gasse benötigt werden, zusammen. Es kann somit als übergeordnetes verbindendes Element zur Gewährleistung der Funktion des Gesamtsystems gesehen werden. Das PM-Elektronik musste durch die Gegebenheiten der Datenaufbereitung bei KNAPP in die Liste aufgenommen werden, da Elektronikkomponenten separat geführt werden. Das PM-Stichbahnen ergab sich durch das iterative Vorgehen der LCI. Im Zuge der Analyse der Energieaufwandserhebung stellte sich heraus, dass die Schnittstelle für die Energiemessungen zwischen Vorzone und Stichbahnen liegt. Das bedeutet, die Stichbahnen befinden sich zumindest energie-seitig innerhalb der Systemgrenze. Um eine konsistente Bilanzierung zu gewährleisten, wurden die Stichbahnen verspätet auch materialeitig aufgenommen. Anhand der Prozessmodule können nun auch die weiteren Grenzen und Teilbilanzen definiert werden.

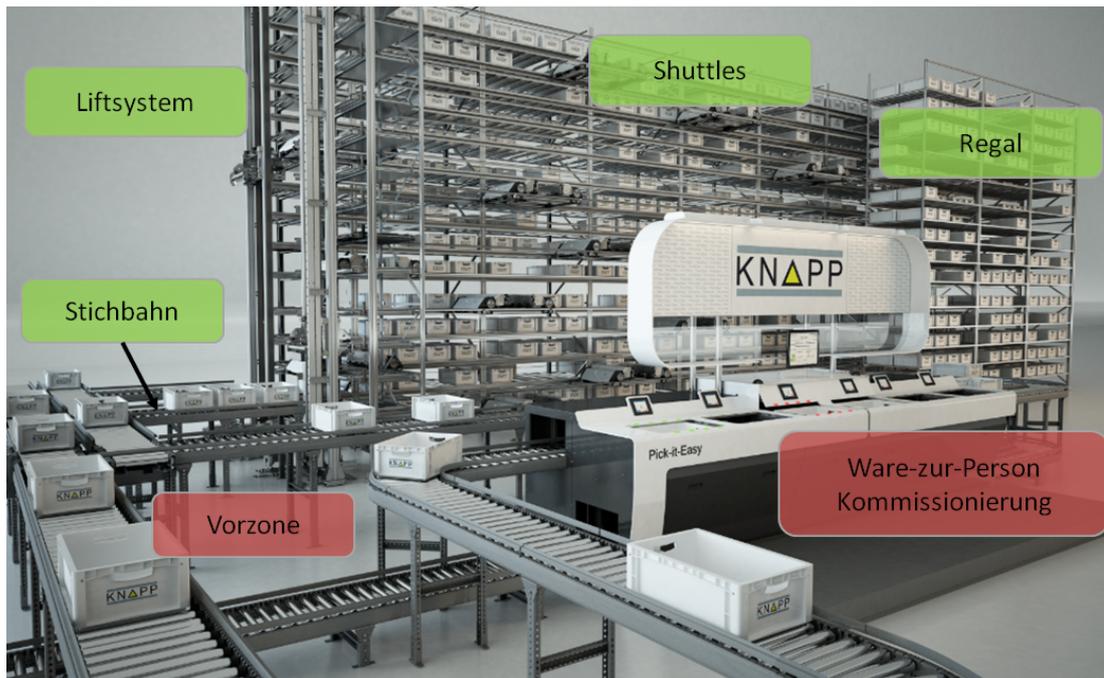


Abbildung 5.4.: Die Systemgrenze verglichen zum Produktsystem (KNAPP AG, 2012)

Die **zeitliche und geografische** Systemgrenze ist durch die Unternehmung eigentlich vordefiniert. Dennoch müssen bei nochmaliger Betrachtung des Produktlebensweges (siehe S. 10, Abbildung 2.2) hinsichtlich der Datenakquisition Einschränkungen gemacht werden. Die Chance, Daten von Sublieferanten, sprich aufwärts der SC bis zur Rohstoffgewinnung, zur Verfügung gestellt zu bekommen, erscheint zu gering. Folglich wird die Grenze enger gezogen und der Aufnahmeprozess startet bei den direkten Lieferanten und deren Ressourcenverbrauch. Am anderen Ende des Lebensweges scheint die Datenaufnahme nicht einfacher. Daten über Entsorgung gesamter oder Teile der Anlagen sind nicht verfügbar und auch schwer zugänglich. Die KNAPP AG schließt Wartungsverträge prinzipiell auf 15 Jahre ab. Abgesehen von etwaigen Verlängerungen dieser Verträge bietet das eine solide Basis für den zu beurteilenden Zeitraum. Einschränkend kann allerdings von Anfang an aufgezeigt werden, dass noch kein OSR ShuttleTM System über diesen Zeitraum in Betrieb ist. Somit muss die Analyse mit Erwartungsprognosen leben. Seitens des RBG-Systems sollten die Daten genauer zutreffen, da umfangreichere Erfahrungen vorliegen. Die zeitliche Systemgrenze wird also auf 15 Jahre festgelegt und schließt die Bereiche Inbetriebnahme, Betrieb sowie Service und Wartung mit ein. Die geografischen Aspekte sind durch die Lieferanten und den Kunden vorgegeben. Einzige Limitation in dieser Hinsicht ist die Auswahl einzelner Hauptlieferanten, von welchen eine Analyse durchgeführt werden soll.

Alle Aktivitäten, die zwischen den bereits definierten Enden der Kette liegen, werden bestimmten Teilbilanzen zugeordnet. Somit ergeben sich zwei Bilanzen für den Transport. Einmal von den jeweiligen Lieferanten zur KNAPP AG und einmal von Hart bei Graz zum Kunden an die Betriebsstätte. In die Transportbilanz sollen auch die Verpackungsmaterialien eingegliedert werden. Schließlich steht nur noch eine Teilbilanz aus. Diese umfasst den Herstellungsprozess bei KNAPP vor Ort. Von diesem Prozessschritt sollten viele Daten zur Verfügung stehen und die Analyse folglich eine entsprechende Detailschärfe ermöglichen.

5.4. Funktionale Einheit

Um eine entsprechende funktionale Einheit zu definieren, wurde ähnlich der Szenarioanalyse vorgegangen. Es wurden mehrere Varianten erarbeitet und schlussendlich die beste ausgewählt. Das sehr komplexe Produktsystem bietet zahlreiche Möglichkeiten für Unstimmigkeiten und Komplikationen. Dabei ist es unausweichlich, Kompromisse zu treffen und bereits bei der Definition der funktionalen Einheit in Kauf zu nehmen, dass ausgleichende Berechnungen oder Schätzungen durchgeführt werden müssen.

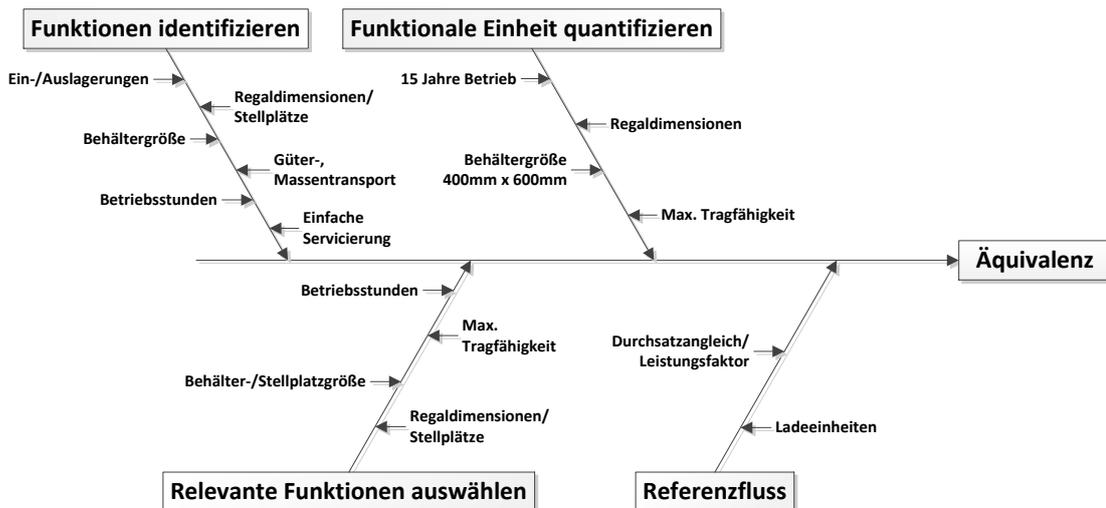


Abbildung 5.5.: Definition der funktionalen Einheit in Anlehnung an ISO/TR 14049 (2000)

Die Definition der funktionalen Einheit stellt in diesem Fall noch nicht fertige quantifizierte Eigenschaften dar, sondern zeigt eher die Basis auf der die zu vergleichenden Anlagen ausgewählt werden. Erst durch das Festlegen eines OSR ShuttlesTM und eines RBG-Systems werden die Parameter auch quantifiziert. Die zentrale Funktion beider Systeme ist das Ein- und Auslagern von Gütern bzw. der Behältnisse, in denen sich die

Güter befinden. Allerdings lassen sich diese auf unterschiedliche Weise festlegen und erfassen. So können über eine bestimmte Betriebsdauer die Anzahl der Lagerspiele erfasst werden. Aber auch der entgegengesetzte Weg wäre möglich. Mit Sicherheit muss jedenfalls die Differenz in der Leistung beider Systeme berücksichtigt werden. Um möglichst realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten, ist die Messung des Energieaufwands im täglichen Betrieb notwendig. Der Energieverbrauch lässt sich auch anhand von Erfahrungswerten sowie Motorleistungen etc. abschätzen. Allerdings ergibt sich daraus eine sehr umfangreiche und komplizierte Aufgabe, da das zu untersuchende Produkt dementsprechend komplex und umfassend ist. Auf der anderen Seite muss eine entsprechende Messeinrichtung vorhanden sein, um die Daten aus dem operativen Betrieb erheben zu können. Sind jedoch die genannten Anforderungen erfüllt, bietet die Aufzeichnung des Realbetriebs wesentliche Vorteile. Es kann wirklich auf einen praxisbezogenen Wert zurückgegriffen werden, ohne dass grobe Vernachlässigungen wie Reibungsverluste und ähnliche Widerstände in Kauf genommen werden müssen.

Der Energieverbrauch der zu analysierenden Anlage muss direkt erhoben werden. Ein zentralisierter Energiezähler für das gesamte Gebäude wäre völlig unzureichend, da allein der Verbrauch der Anlage bestimmt werden soll. Äußere Einflüsse durch weiterführende Logistikzonen, Beleuchtung oder überhaupt andere eigenständige Produktsysteme müssen eliminiert werden. Weiters müssen die Schnittstellen der beiden Systeme übereinstimmen, um sicher zu stellen, dass der gemessene Energieaufwand der Erfüllung der gleichen Funktion entspricht. Konkret für die gewählten Anlagen muss das bedeuten, die Vorzone und Kommissionierplätze dürfen in den Messungen nicht aufscheinen. Die in Kapitel 5.3 angesprochene Einbindung der Stichbahnen stellt ein Beispiel dieser Problematik dar.

Einen weiteren Faktor stellt das Regal mit seinen Dimensionen dar. Ein Regal bestimmter Größe bietet eine bestimmte Anzahl Lagerplätze. Somit ist diese Funktion als bestimmende Größe zu berücksichtigen. Aus der Kundenperspektive bieten sich zwei Anforderungsprofile an. Es steht eine Halle zur Verfügung und folglich auch eine maximale Dimensionierung der Regalabmessungen. Das begrenzt im Weiteren auch die Anzahl der Lagerplätze. Die zweite Möglichkeit stellt sich umgekehrt ein. Der Kunde benötigt eine bestimmte Anzahl an Lagerpositionen und die Regalabmessungen sind variabel. Die definierte funktionale Einheit bestimmt, dass die Lagerdimensionen äquivalent sein müssen. Das ist durch den Betrieb beider Anlagen begründet. Von der Materialseite könnten unterschiedliche Regale aufgrund modularer Bauweise noch rechnerisch angepasst und somit verglichen werden. Hinsichtlich des Energiebedarfs gestaltet sich die Situation allerdings schwieriger, da nicht bekannt ist, wie Horizontal- und Vertikalbewegung der Bediengeräte den Energieverbrauch beeinflussen. Beim RBG ist vermutlich die horizontale Bewegung entscheidend, weil der Mast mehrere Tonnen wiegen kann. Der vertikale Hub wird nur vom Hubwagen ausgeführt, der zum Mast vergleichsweise sehr leicht ist. Somit wird eine Umrechnung schwierig. Die Voraussetzung möglichst gleicher Regale

bedeutet die Bedienung gleicher Lagerpositionen, das wiederum gleiche Horizontal- und Vertikalfahrten und somit schlussendlich den gültigen Vergleich in Energiebelangen. Die Thematik der Lagertiefe beeinflusst hingegen beide Bereiche entscheidend. Der Energieverbrauch wird in Bezug auf die Lagerspiele bzw. auf die Umschlagleistung betrachtet. Die Leistung an Lagerspielen beider Strategien ist aber aufgrund von Zwischenfahrten für das Umlagern im doppeltiefen System unterschiedlich. Anhand von Erfahrungswerten bzw. vergleichenden Untersuchungen könnten sicherlich Faktoren zur Gegenrechnung ermittelt werden, dennoch scheint dies einen unnötigen Aufwand darzustellen, da auch die Regalkonstruktion wesentlich von Einfach- und Doppeltieflagerung abhängig ist. Das betrifft wiederum die Materialbilanz. Die Aufstellung eines Vergleichs zum Materialverbrauch ergibt eine komplexe und vor allem aufwendige Aufgabe. Die fiktive Anpassung eines einfachtiefen Regals an ein doppeltiefes verlangt eine Materialergänzung um die verdeckten Reihen. Zusätzlich müsste auf jeden Fall noch ein Energiefaktor berücksichtigt werden und es existieren noch weitere Einflussfaktoren, die durch diese Strategien verkompliziert werden. Für die absolute Bilanzierung eines Systems spielt es allerdings, abgesehen vom unterschiedlichen Ressourcenverbrauch, keine Rolle, ob eine einfach- oder doppeltiefe Lagerung betrachtet wird. Die Übereinstimmung der Varianten für OSR- und RBG-System ist nur für den Vergleich entscheidend.

Der Unterschied der Fahrzeuge inklusive der zusätzlich benötigten Komponenten, um den Transport aus der Gasse zu bewerkstelligen, stellt einen zentralen Punkt der Arbeit dar. Während auf der einen Seite das OSR-System die Lagervorgänge mittels Shuttle inklusive LAM, Zwischenpuffer und Lift durchführt, arbeitet das zweite System (RBG) mit einem Bodenfahrzeug und einem Hubwagen, ausgestattet mit zwei LAM. Die sich dadurch ergebenden produktspezifischen Unterschiede sind erwünscht. Genau diese Unterschiede werden die Resultate der Bilanzierung beeinflussen. Das gilt nicht nur für die Fahrzeuge, auch bei den Regalen stellen diese Unterschiede wichtige Punkte dar. Es existieren aber auch genügend Komponenten, die in gleicher Variante ausgeführt sein können, wie z.B. die Lastaufnahmen, welche mit Greif-, Unterfahrtechnik und anderem ausgestattet sein können. Für solche Komponenten ist es wünschenswert, wenn sie gleich ausgeführt sind. Alle Komponenten der Anlagen spielen schließlich zusammen und haben somit Einfluss aufeinander. Das heißt, nicht der Unterschied der LAM an sich ist ein Problem, sondern die unterschiedliche Beeinflussung der Komponenten rundherum (in dem konkreten Fall z.B. das Regal) könnte einen sich negativ auswirkenden Faktor darstellen. Das könnte in einer unterschiedlichen Regalkonstruktion resultieren, die die Anzahl der Stellplätze massiv beeinflusst (das ist ein fiktives Beispiel, das zur Verdeutlichung der Thematik beitragen soll).

Die Befolgung aller aufgezählten Randbedingungen soll die vergleichbaren Referenzflüsse bieten. Bereits zu diesem Zeitpunkt ist klar, dass angleichende Maßnahmen ergriffen werden müssen. Die Leistungsunterschiede bezüglich Durchsatz der Anlagen sowie die unterschiedliche Anzahl an Stellplätzen in Korrelation mit der Gassenlänge werden An-

passungsmaßnahmen erfordern. Die auftretende Abweichungen müssen kalkulatorisch ausgeglichen werden. Andernfalls ist in einem iterativen Schritt eine Adaption durchzuführen. Die Definition der funktionalen Einheit ist sehr oberflächlich, da es eigentlich nur die Funktionserfüllung der Ein- und Auslagerungen darstellt. Die eine oder andere Anpassung wird sicherlich zu bewerkstelligen sein. Und auch bei auftretendem Zusatznutzen (insbesondere beim Thema Servicierung) muss eine Entscheidung, ob dieser relevant ist und somit dem “Kontra-System” auch angelastet werden muss, getroffen werden.

5.5. Die gewählten Anlagen

Nachdem nun eine Basis geschaffen wurde, auf welcher der Vergleich aufbauen soll, werden zwei Anlagen gewählt, für welche die Bilanzen stellvertretend erstellt werden. Bereits im Voraus ist offensichtlich, dass in mehreren Bereichen aufgrund der Forderungen von Äquivalenz Angleichungen erforderlich sein werden. Bevor diese Bereiche ausgewiesen werden, werden zuerst noch die Anlagen vorgestellt, siehe 5.1.

| Variablen/Funktionen | OSR Shuttle™ | RBG |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| Typ | OSR Shuttle™ 35b | Smart Storage System |
| | eCommerce | eCommerce & Shops |
| | Ware-zur-Person B2C | Übervorrat |
| Ort | Großbritannien | Großbritannien |
| Lagerhöhe (Lift) | 14,50 m | 14,50 m |
| Gassenlänge (inkl. Lift) | 57,50 m | 76,00 m |
| Regallänge | 52,88 m | 68,50 m |
| Anzahl der Gassen | 4 | 13 |
| X-Positionen | 96 | 130 |
| Y-Positionen | 30 | 31 |
| Z-Positionen | 4 | 4 |
| Stellplätze je Gasse | 11.520 | 16.120 |
| Stellplätze gesamt | 46.080 | 209.560 |
| Lagertyp (Einfach, Doppel) | Doppeltief | Doppeltief |
| Lastaufnahme | Greiftechnik | Greiftechnik |
| Betrachtungszeitraum | 15 Jahre | 15 Jahre |
| Max. Durchsatz (Behälter/h) | 1.176 | 252 |
| Energierückführung | ja | ja |

Tabelle 5.1.: Gewählte Anlagen für die Sachbilanzierung

Prinzipiell werden gleiche Eigenschaften der Anlagen als Vorteil gesehen. Einen nicht vernachlässigbaren Unterschied stellen auf jeden Fall die Gassenlängen dar. In diesem Bereich wird auf jeden Fall eine kalkulatorische Angleichung erfolgen müssen. Die Tatsache, dass das RBG - Smart Storage Übervorratslager (Definition siehe Anhang A, S.A 5) für das OSR ShuttleTM 35b ist, bietet gleich mehrere Vorteile. Es bedeutet, dass beide Anlagen die gleichen Behälter befördern. Diese stehen wieder in direktem Zusammenhang mit den verfügbaren Stellplätzen in einer Gasse eines Lagers. Auch wenn nach wie vor Differenzen zwischen der Anzahl an Stellplätzen vorliegen, so sind diese jedoch nicht von den verwendeten Behältern abhängig. Lediglich die Eigenschaften des Systems beeinflussen noch die Größe und Aufteilung der Stellplätze im Regal. Ein weiterer Vorteil, der sich bietet, ist der Transport gleicher Güter und Massen. Dadurch treten keine schwer abzuschätzenden Differenzen in den Bereichen Kinematik, Belastung oder Reibungsverluste auf. Daraus folgt: Die Energieaufwände können aus dieser Perspektive einfach verglichen werden. Die Anzahl der Behälter bzw. Stellpositionen entlang der X-Koordinate (Länge) und entlang der Y-Koordinate (Höhe) lässt darauf schließen, dass das RBG-System bei gleichen Dimensionen mehr Plätze zur Verfügung stellen kann. Dieser Faktor kann schlussendlich auch durch eine simple Kalkulation (Bezug auf eine Ladeeinheit) berücksichtigt werden. Welche Darstellung bzw. welcher Bezug (eine Gasse oder eine Ladeeinheit) schlussendlich bevorzugt wird, kann wie zuvor bereits einmal erwähnt, abhängig von den Kundenanforderungen sein. Besonders wichtige übereinstimmende Punkte sind die der doppeltiefen Lagerung und der gleiche Betrachtungszeitraum. Der Betrachtungszeitraum wurde mit 15 Jahren jener Periode angepasst, die im Allgemeinen auch der Dauer der Serviceverträge entspricht, die nach Verkauf einer Anlage abgeschlossen werden. Wie sich aus dem vorangegangenen Text schließen lässt, befinden sich beide Anlagen bei demselben Kunden, somit muss keine Unterscheidung hinsichtlich geografischer Systemgrenzen getroffen werden. Auch im Bereich der Lieferung von der KNAPP AG zum Kunden, sprich beim Transport nach Großbritannien, müssen keine Ausgleichsrechnungen durchgeführt werden.

5.6. Datenverfügbarkeit und Datenquellen

Bereits in den ersten Besprechungen zur Definition der Prozesskette sowie des Betrachtungs- und Bilanzraumes ergab sich ein vages Bild, in welchen Bereichen Daten verfügbar sein werden und in welchen nicht. Dementsprechend wurde die erste Untersuchungsphase beim direkten Lieferanten angesetzt. Dieser Bereich ist mit einem gewissen Unsicherheitsfaktor behaftet, da nicht bekannt ist, ob bei den Lieferanten entsprechende Daten vorhanden sind, und wenn ja, ob diese überhaupt zur Verfügung gestellt werden. Sollten die Antworten ungenügend sein, ist es später immer noch möglich, im Zuge der Ökobilanz via Datenbanken den Beschaffungsprozess bis hin zur Rohstoffgewinnung mit einzuschließen. In den anderen Bereichen scheint die Verfügbarkeit von Daten besser,

da diese enger im Wirkungsbereich der Firma KNAPP liegen. So können in den meisten Bereichen produktbezogene Daten erhoben bzw. errechnet werden. Mit den verfügbaren Daten ist in den gewählten Bereichen eine detaillierte Analyse möglich. Weiterführend erlaubt dann die Bewertung der Umwelteinwirkungen mit Hilfe von Datenbanken im ganzheitlichen Sinn die Ausführung einer umfassenden Ökobilanzierung nach Graedel (1998).

Die gesamte zu analysierende Prozesskette wurde nach Überblicken der Datenverfügbarkeit in Zusammenhang mit dem gewählten Produktsystem wie folgt definiert:



Abbildung 5.6.: Bilanzraum im Wertschöpfungskettendiagramm

Im Zuge der Analyse wird nahezu von allen erwähnten Quellen Gebrauch gemacht. So werden die Massen der Komponenten auf verschiedene Arten ermittelt. Zu Beginn erfolgte die Massenerhebung vorwiegend anhand von Produktdatenblättern. Für Rohmaterialien wie Bleche, Rundmaterial oder Rohre wurde die Masse über Volumen und Dichte berechnet. Andere Meterware wie Profile, Formrohre oder Sechskantstahl wurde mittels Gewicht je Meter aus Datenblättern berechnet. Im Wareneingang werden die meisten Teile gewogen. Eine Auflistung der Messdaten zu den Artikelnummern aus dem Wareneingang wurde nach einiger Zeit zur Verfügung gestellt, damit konnte der Datenaufnahmeprozess deutlich beschleunigt werden.

6. Stoff- und Energiebilanzierung - LCI

Die Definition des Untersuchungsrahmens dient als Fundament für die Sachbilanzierung (ISO 14044, 2006, S.11). Insbesondere Festlegungen wie die funktionale Einheit bieten bereits spezifische Randbedingungen, welche während der Analyse zu beachten sind. Die ISO 14044 (2006) bietet ein Ablaufschema für die Vorgehensweise zur Datenerhebung und zur Verarbeitung der Daten, siehe Abbildung 6.1.

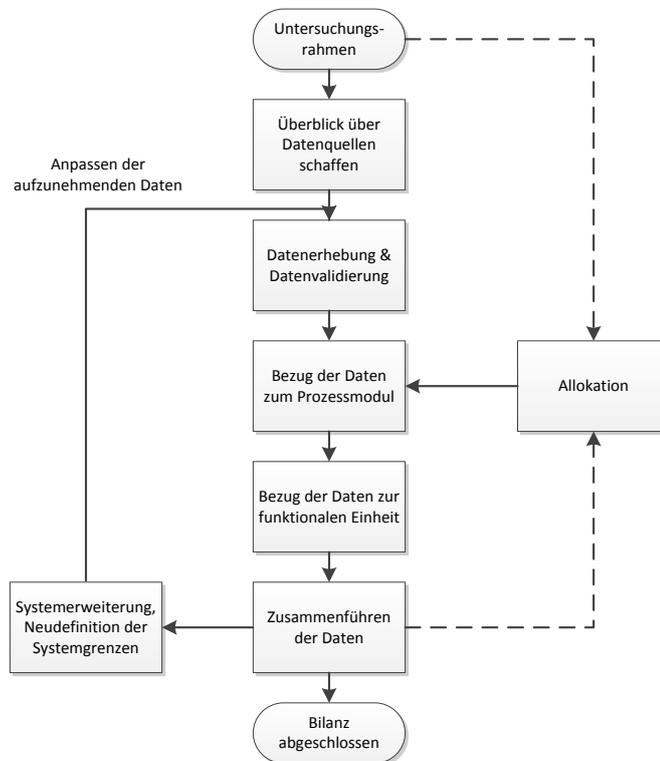


Abbildung 6.1.: Ablauf der Sachbilanzierung nach ISO 14044 (2006, S.12)

Da nicht alle Bereiche direkt mit dem Produkt verknüpft sind, wird das Gesamtsystem gerne in ein Vorder- und Hintergrundsystem unterteilt. Prozesse und Prozessmodule bzw. Teile davon scheinen dann abhängig von der Zugänglichkeit von Informationen im Vorder- oder Hintergrundsystem auf. Zum Hintergrund zählen oft Zwischenproduk-

te, wo fehlende Informationen bezüglich des Ursprungs eines Produkts die Bewertung erschweren. In diesen Bereichen kann oft mittels in Datenbanken gesammelten Informationen Abhilfe geschaffen werden. (Schaltegger et al., 1996, S.39ff) Leider bieten nur wenige Institutionen frei zugängliche Datenbanken an. Doch gerade zur Wirkungsabschätzung kommt man nicht darum herum, solche Quellen zu finden und zu verwenden. Kostenpflichtig erhält man solche Informationen von nahezu allen Anbietern von LCA-Software. Allerdings ist der Zugang meist teuer. Eine der wenigen kostenlosen Datenbanken wird vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt und trägt den Namen GEMIS. Diese Datenbank wird auch in der folgenden Diplomarbeit (Ökobilanzierung eines OSR ShuttleTM) zur Wirkungsabschätzung eingesetzt. Die Verwendung der Datenbank ermöglicht auch die Ermittlung der Umweltbelastungen zurück bis zur Wiege der Wertschöpfungskette - der Rohstoffgewinnung. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.133ff)

6.1. Datenerhebung

Für jeden Einheitsprozess müssen quantitative, aber auch qualitative Informationen erhoben werden. Schlussendlich werden die In- und Outputs zwar lediglich quantifiziert, dennoch unterstützen qualitative Informationen das Verständnis und die Klarheit der harten Fakten. (ISO 14044, 2006, S.11) Außerdem lassen sich getroffene Entscheidungen dadurch oftmals einfacher nachvollziehen. Gewisse Regeln sollen die Datenerhebung möglichst durchsichtig und nachvollziehbar gestalten, so sollen Daten von öffentlichen Quellen referenziert oder die Beschreibung der Prozessmodule festgehalten werden. (ISO 14044, 2006, S.11) Der Beginn der Datenerhebung wird durch grafische Visualisierung des Prozessflusses gemacht. Dieser Schritt soll es ermöglichen, alle Material- und Energieflüsse zu identifizieren und zu quantifizieren. In Abbildung 6.2 kann ein Prozessmodul mit möglichen In- und Outputs in Augenschein genommen werden. In der Sachbilanzierung ist die Definition meist unkompliziert, während in der Bewertung der Umweltwirkungen oft sogar auf qualitative Beschreibungen zurückgegriffen werden muss. Wird Ökobilanzierung im strategischen Management bzw. in der Produktentwicklung eingesetzt, ist es für das Betrachten von Alternativen von Bedeutung das Blickfeld nicht einzugrenzen. So können umweltbelastende (toxische) Materialien durchaus die beste Wahl darstellen, wenn die davon ausgehende Gefahr kontrolliert werden kann. (Graedel, 1998, S.35f)

Nach Klöpffer & Grahl (2009, S.67) sollte für jedes Prozessmodul eine vollständige Bilanzierung durchgeführt werden. Im gleichen Atemzug entkräftet er allerdings diese Aussage durch die Anmerkung der Tatsache, dass der dazu nötige Umfang an Informationen quasi nie zur Verfügung stehen wird. Im Kern soll aber angemerkt werden, dass wenn möglich Primärdaten (Vordergrunddaten) zu bevorzugen sind. Doch eine Validierung kann den Griff zu berechneten Daten durchaus legitimieren. Um ein Pro-

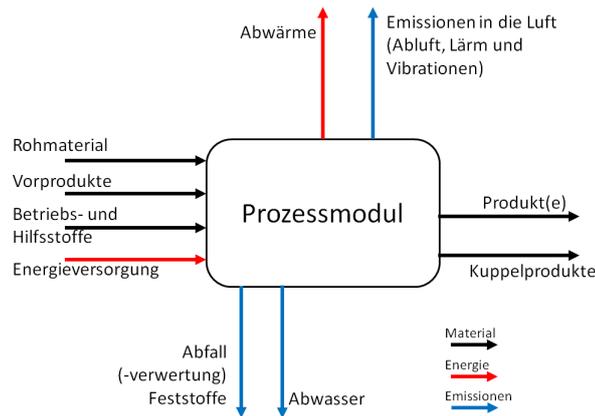


Abbildung 6.2.: In-/Outputs eines Prozessmoduls (adaptiert von Klöpffer & Grahl, 2009, S.67)

zessmodul ganzheitlich zu betrachten, müssten sämtliche Material- und Energieflüsse in die Analyse eingebunden werden. Das hätte zur Folge, dass auch schwer erfassbare (z.B.: Abwärme) und wenig erforschte Bereiche (z.B.: Konsum-/Verhaltensweisen) oder auch nicht industrielle Prozesse (z.B.: Land- und Forstwirtschaft) in die Bilanzierung aufgenommen werden müssen. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.69) Das Resultat wäre eine umfassende Bilanz, zu deren Erstellung der Zeit- und Kostenaufwand erheblich erhöht werden müsste.

Kalkulierte Daten und Datenvalidierung

Um die Nachvollziehbarkeit, Transparenz und Datenqualität zu wahren, ist es von Bedeutung, alle Rechenvorgänge zur Ermittlung von Material- oder Energiedaten zu dokumentieren. Annahmen und Schätzungen müssen ebenso notiert und erklärt werden. Dieses Vorgehen soll während der ganzen Studie einheitlich ausgeführt werden. Damit soll bei den Zielpersonen Verständnis für die getroffenen Entscheidungen geschaffen werden. (ISO 14044, 2006, S.13) In welchen Bereichen kalkulierte Daten verwendet werden müssen, hängt meist bereits vom Auftraggeber der Sachbilanz ab. Erstellt ein Unternehmen eine Sachbilanz eines Produkts, sollten mehr spezifische Daten zur Verfügung stehen. Eine öffentliche Institution hingegen wird größere Hindernisse zur Erhebung produktbezogener Informationen vorfinden. Aber jeder Auftraggeber wird in mehreren Feldern nicht auf Primärdaten zugreifen können bzw. würde der Aufwand solche zu erheben sich nicht lohnen. In diesen Fällen wird wieder auf die schon angesprochenen Hintergrunddaten zurückgegriffen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Verwendung aktueller und lokal bzw. regional zutreffender Informationen. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.125ff) Zur Erhebung von Daten aus der Produktion muss der richtige Produktmix bei

der Analyse herangezogen werden. Die daraus folgende Bewertung des Energieaufwands wird anhand des Strommix der Region bzw. des Landes durchgeführt. (ISO 14044, 2006, S.13) In verschiedenen Staaten setzt sich der Strom üblicherweise aus unterschiedlichen Quellen zusammen, wie in Tabelle 6.1 beispielhaft aufgezeigt.

| Herkunft | EU-27 | Österreich | Deutschland | Frankreich | Schweiz |
|---------------------------------------------|--------|------------|-------------|------------|---------|
| Kernenergie | 30,1% | 0,0% | 26,3% | 78,5% | 39,1% |
| fossile Brennstoffe (Kohle, Erdöl und -gas) | 54,5% | 35,2% | 62,1% | 10,6% | 1,8% |
| Wasserkraft | 10,3% | 58,8% | 4,3% | 9,8% | 55,5% |
| Andere erneuerbare Quellen | 4,1% | 5,1% | 6,3% | 0,6% | 0,4% |
| Sonstige Quellen (Abfall, etc.) | 1,0% | 0,9% | 1,0% | 0,5% | 3,2% |
| Summe | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Tabelle 6.1.: Strommix einiger Staaten aus dem Jahr 2005 (in Anlehnung an International Energy Agency, 2005 in Klöpffer & Grahl, 2009, S.88)

In den meisten Datenbanken kann genau dieser Strommix abgerufen werden (Klöpffer & Grahl, 2009, S.130). Werden generische Daten verwendet, ist es wichtig, die Validität zu prüfen. Instrumente dafür sind Massen- und Energiebilanzen sowie vergleichende Analysen. Während die allgemein gültigen Massen- und Energiebilanzen eine sichere Aussage liefern, stellt die vergleichende Analyse eher eine Plausibilitätsprüfung dar. Es bedarf dabei einer subjektiven Einschätzung, ob die vorliegenden Daten korrekt sein können. Zur Absicherung der Analyse können auch noch weitere Quellen herangezogen werden. Kann die Validität nicht bestätigt werden, müssen entweder alternative Quellen gefunden oder die Daten verworfen werden. (European Commission, 2010, S.247ff)

6.2. Datenbezug zu Prozessmodulen und funktionaler Einheit

Der Bezug zu den Prozessmodulen ist offensichtlich. Für jedes Prozessmodul sollen signifikante Flüsse bestimmt werden. Um die Ermittlung produktbezogen ausführen zu können, ist es oft notwendig, die Information umzurechnen. Daten über Prozessmodule und Produktionsprozesse liegen in der Praxis meist bezogen auf Betriebsstunden oder pro Jahr vor. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.74) Der Referenzfluss verkörpert alle Flüsse zur Realisierung der funktionalen Einheit, somit ergibt sich der Bezug von Material-

und Energieflüssen zur funktionalen Einheit. (ISO 14044, 2006, S.13) Allerdings muss bei Anpassungen der funktionalen Einheit darauf geachtet werden, welche Flüsse von den Veränderungen betroffen sind. Weiters werden eventuell nicht alle In- und Outputs im gleichen Ausmaß beeinflusst.

Sowohl Klöpffer & Grahl (2009, S.73f) als auch die ISO 14044 (2006, S.13) weisen besonders auf die Vorsicht bei der Datenaggregation hin. Gerade beim Zusammenfassen mehrerer Prozessmodule müssen die Substanzen, Materialien, Kategorien etc. übereinstimmen, es dürfen keine Teilergebnisse verloren gehen. Es können mehrere Ergebnisebenen, vom Groben bis ins Detail, entstehen. Die Detaillierung und Aggregation korrespondiert mit den Zielen und dem Untersuchungsrahmen. Weiterführend kann auch die Wirkungsabschätzung noch zusätzliche Level oder Kategorien der Darstellung fordern. (Klöpffer & Grahl, 2009; ISO 14044, 2006) Der Ablauf geht üblicherweise Bottom-Up, also vom Detail ins Grobe. Sprich, es werden zuerst die Teilbilanzen erstellt und dann zu einer Gesamtbilanz zusammengeführt. Insbesondere für Produktbilanzen ist diese Vorgehensweise empfehlenswert, da subjektive Allokationen nahezu unumgänglich sind. (Tschandl & Posch, 2012, S.65)

6.3. Allokation und Systemerweiterung

Durch das Ziehen von Systemgrenzen entstehen Schnittstellen zu anderen Systemen. Es existieren nicht nur ein Start- und ein Endpunkt und somit Vorgänger- und Nachfolgesystem, sondern es entstehen auch Schnittstellen zu parallelen Systemen. An eben diesen Schnittstellen ist mittels Allokation festzulegen, wie mit den Umweltbelastungen verfahren wird. Es ist zu bestimmen, welchem System diese angelastet werden. So kann in einem Prozess entstehender "Abfall" in der Herstellung eines anderen Produkts als Rohstoff oder Vorprodukt dienen. Man spricht dann von einem sogenannten Koppelprodukt. Um im ganzheitlichen Sinne korrekt vorzugehen, darf die Belastung nur einem der beiden Produkte oder beiden zu bestimmten Teilen zugerechnet werden. Eine doppelte Bilanzierung ist jedenfalls unbedingt zu vermeiden. (Graedel, 1998, S.39ff) (Klöpffer & Grahl, 2009, S.94f) Grundsätzlich existieren zwei Wege mit den entstehenden Schnittstellen zu verfahren. Entweder man wendet die Regeln der Allokation an oder man folgt der Systemerweiterung. (ISO 14044, 2006, S.14)

6.3.1. Systemerweiterung

In der ISO Norm 14044 (2006) lautet der erste Schritt in puncto Allokation: „*Allokation soll, wenn möglich, vermieden werden.*“ Ein Weg, das zu realisieren, ist die Systemerwei-

terung. Das bedeutet, es soll an jener Stelle keine Schnittstelle erzeugt werden, sondern es wird der gesamte folgende Prozess bis hin zur Entsorgung des Systems des Koppelprodukts in die Bilanzierung mit aufgenommen. (ISO 14044, 2006, S.14) Würde das an allen Schnittstellen ausgeführt werden, stiege der Aufwand ins Unermessliche. Außerdem stößt man dabei oft schnell an die Grenzen des Möglichen in der Datenerhebung. Handelt es sich um unternehmensinterne Prozesse, so könnte eine Analyse durchgeführt werden. Im Recyclingprozess von Abfällen tritt das gleiche Phänomen auf. Da dieser meist in externen Bereichen abläuft, sind dazu mit hoher Wahrscheinlichkeit keine oder nur wenige Daten verfügbar. Ein Beispiel wäre das Recycling von Schrott. Stahlabfall wird größtenteils wiederverwertet, wo genau und in welchen Mengen Abfälle wieder zum Einsatz kommen, ist allerdings unmöglich zu beantworten. Dennoch kann die Anwendung der Systemerweiterung auch in solchen Fällen Sinn machen, wenn zum Beispiel gesamte Industriebranchen oder makroökonomische Systeme und deren Umweltwirkungen untersucht werden sollen. Bei der Systemerweiterung ergeben sich allerdings einige Nebenwirkungen. Meist muss die funktionale Einheit überarbeitet werden, da durch die Koppelprodukte ein zusätzlicher Nutzen eingebunden wird. Außerdem ergeben sich sehr umfassende unübersichtliche Bilanzräume. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.99ff)

6.3.2. Allokation

Da Allokation prinzipiell vermieden werden soll, muss zuerst identifiziert werden, ob es sich beim vorliegenden Prozess um einen multifunktionalen Prozess handelt. Ein multifunktionaler Prozess kann schließlich noch detaillierter betrachtet werden und somit die Allokation durch weitere Aufteilung der Prozesse vermieden werden. (European Commission, 2010, S.255) Das würde einer Systemverkleinerung entsprechen (Klöpffer & Grahl, 2009, S.101). Im Grunde wurde dabei nur das System bzw. das Prozessmodul zu weitläufig gewählt und es bedarf einer Neudefinition/Verfeinerung der Systemgrenzen. Oftmals ist eine Aufteilung aufgrund von eingeschränktem Datenzugriff nur virtuell möglich. (European Commission, 2010, S.255)

Kann ein Prozess nicht mehr weiter zerlegt werden, bleibt keine andere Wahl als Allokationsregeln anzuwenden. Das erste Kriterium bei der Aufteilung von In- und Outputs ist, diese anhand physikalischer Beziehungen zu begründen. (European Commission, 2010, S.257) Auch diese Variante kann undurchführbar sein. Als weitere Alternative kann sich die Allokation auch auf andere Beziehungen stützen. Zum Beispiel können ökonomische Kennzahlen herangezogen werden, um ein Aufteilungsverhältnis zu ermitteln. (ISO 14044, 2006, S.14) Das Ziel der Allokation ist die "gerechte" Aufteilung der Umweltbelastung zu den entstehenden Produkten und Koppelprodukten. In anderen bekannten Bereichen, wie der Kostenrechnung, existiert dieses Problem ebenso und wird seit vielen Jahren studiert. Man denke dabei an die verursachungsgerechte Zuordnung

von Kosten zu einzelnen Produkten. (Schaltegger et al., 1996, S.28) Die wahrscheinlich gängigste Methode stellt noch immer die Allokation nach der Masse bzw. den Massenanteilen dar. Allerdings basiert diese Aufteilung nicht auf physikalischen Beziehungen, auch wenn es so scheint. (Graedel, 1998, S.39ff) Das Diamanten-Paradoxon zeigt die Limitation der Massenallokation auf. Es werden hunderte Tonnen Gestein abgebrochen, um einige Gramm Diamant zu gewinnen. Das Gestein wird als Koppelprodukt im Straßenbau verwendet. Die Massenaufteilung würde die gesamte Umweltbelastung dem Koppelprodukt zurechnen. Die Diamantenmine existiert aber nur aufgrund der Tatsache, dass Diamanten abgebaut werden sollen. Der Widersinn der Allokation offenbart sich an diesem Beispiel deutlich. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.103)

Schaltegger et al. (1996) definieren einige Stärken und Schwächen bestimmter Bezugsgrößen der Allokation.

| Bezugsgröße | Beispiele | Vorteil | Nachteil |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Physikalische Eigenschaften | Masse, Volumen, Energie etc. | einfach zu definieren; beständige Ergebnisse | stellt nicht die sozioökonomische Realität dar |
| Physikal. Eigenschaften, die industrielle Realität widerspiegeln | Zuckergehalt, Wärmeinhalt, chem. Konzentration etc. | ökonomische Realität abgebildet; beständige Ergebnisse | komplexe Ermittlung (Know- How) |
| Ökonomische Werte/Kennzahlen | Preis, Umsatz, Marktwert etc. | einfach zu definieren und ökonomische Realität wird repräsentiert | Veränderungen im Markt beeinflussen Ergebnis |

Tabelle 6.2.: Vor- und Nachteile von Allokationsregeln (in Anlehnung an Schaltegger et al., 1996, S.31)

Das Feld der Umweltbelastungszurechnung unterliegt zahlreichen Untersuchungen. Wissenschaftlich eindeutige Lösungen existieren aber nicht. Nur die bereits in diesem Abschnitt "Allokation und Systemerweiterung" erwähnten Richtlinien unterstützen die Verfasser in ihrer Tätigkeit. (Graedel, 1998, S.41) (Klöpffer & Grahl, 2009, S.101)

6.3.3. Allokation im Recycling

Closed Loop und Open Loop Recycling stellen auch einen Fall für die Allokation dar. Während der geschlossene Kreislauf und die Wiederverwendung eine eher simple Aufgabe darstellen, wirft der offene Kreislauf ähnliche diffizile Hindernisse wie die zuvor erwähnten Koppelprodukte auf. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.111) Es gibt verschiedene Theorien zur Aufteilung zwischen den betroffenen Systemen. Dabei sollen Einflüsse wie die Veränderung der Materialien durch die Wiederaufbereitung berücksichtigt werden.

(ISO 14044, 2006, S.15) In dieser Arbeit spielt diese Thematik nur geringfügig eine Rolle. Deshalb wird an dieser Stelle nur noch auf eine der wichtigsten Regeln verwiesen, die sogenannte cut-off rule. Diese Regel ermöglicht es, die betroffenen Systeme eigentlich getrennt zu betrachten, denn aus der Materialperspektive wird das erste Produkt abfallseitig und das Folgeprodukt rohstoffseitig entlastet. Die durch die Aufbereitung entstehenden Umweltbelastungen werden nach definierten Schlüsseln aufgeteilt. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.116f) Schaltegger et al. (1996) präsentiert aufgrund der Komplexität der Aufgabe eine rigorosere Methode. In diesem Fall gibt es keine Allokation. Es würden beide Produkte in der jeweiligen Bilanz voll belastet. Dadurch wird allerdings der Bonus Recycling nicht berücksichtigt. (Schaltegger et al., 1996, S.34) Außerdem würde sich in der ganzheitlichen Betrachtung eine doppelte Bilanzierung ergeben.

Es existiert eine Vielzahl von Ansätzen zur rechnerischen Lösung von Sachbilanzen mit deren Allokationsproblemen. Alleine Suh & Huppel (2005) präsentieren in ihrem Artikel sechs verschiedene Vorgehensweisen. Die Methoden reichen von der einfachen Berechnung nach dem Prozess-Flussdiagramm über das Ausdrücken eines Produktsystems in Matrizenform bis zu I/O-Analysen. Um die sechs Ansätze zu komplettieren gibt es noch verschiedene Hybridmodelle von den zuvor genannten Methoden. (Suh & Huppel, 2005, S.1ff)

6.4. Energieanalyse

Neben der Materialflussanalyse stellt der Energiefluss den zweiten wichtigen Untersuchungspunkt in der Sachbilanz dar. Der Energieverbrauch und die Energieversorgung hängen oft direkt mit Problemen in Umweltbelangen zusammen. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.74f) Eine Wirkungskategorie der Ökobilanz ist der Ressourcenverbrauch oder die Naturraumbeanspruchung (Helias et al., 2005, S.57). In Tabelle 6.1 auf Seite 43 ist der Anteil fossiler Brennstoffe in der Stromerzeugung erkennbar. In der EU-27 beträgt dieser im Jahr 2005 über 50 %. Die fossilen Brennstoffe und deren begrenzte Verfügbarkeit heizen seit Jahren immer wieder Diskussionen an. Das stellt einen weiteren Grund dar, weshalb sich der Fokus auf die Energieanalyse verstärkt (Klöpffer & Grahl, 2009, S.75).

Wie bereits erwähnt, zählen die fossilen Brennstoffe zum Bereich Energie. Auch Energieträger wie Flüssiggas, Benzin oder Diesel müssen hierbei berücksichtigt werden. Üblicherweise werden diese Materialien nicht nach deren Masse oder Menge, sondern nach dem Energieinhalt bewertet. Erneuerbare Energien werden nach dem tatsächlich nutzbaren Anteil an Energie bilanziert. Das bedeutet, für Solarzellen werden zum Beispiel die elektrisch eingespeiste Energie sowie die thermal genutzte Energie addiert. Diese Summe entspricht aber nicht der zur Verfügung stehenden solaren Energie. Für Biomasse würde man vom (unteren) Heizwert des trockenen Guts sprechen. (European

Commission, 2010, S.220f)

Im Bereich von OEM's oder produzierenden Betrieben, wo Energie oft größtenteils in Form von elektrischem Strom bezogen wird, muss dieser analysiert und bewertet werden. Dabei folgt die Studie wieder dem Grundprinzip der Ökobilanz - "cradle-to-grave". So interessiert den Verbraucher in seiner Produktion lediglich die Endenergie, die mittels Energiezähler einfach erhoben werden kann. Die Bewertung der Umweltwirkungen erfolgt aber aufgrund der Primärenergie, die zur Bereitstellung der Endenergie beim Verbraucher aufgewendet wird. Im Idealfall umfasst diese Analyse sämtliche Verluste, die zwischen den beiden Stationen auftreten. Folglich werden der Strommix samt Wirkungsgrad zur Elektrizitätserzeugung (abhängig von der jeweiligen Energiequelle), Umspann(Transformations-)verluste und Leitungs(Transmissions-)verluste berücksichtigt. (Klöpffer & Grahl, 2009, S75ff) Folgt man dabei dem Prinzip der Systemerweiterung, müssten auch noch etwaige Transporte im Bereich fossiler Brennstoffe oder Prozessschritte der Entsorgung in die Untersuchung mit eingeschlossen werden. Die Berücksichtigung aller Lebenszyklusphasen ergibt schließlich den kumulierten Energieaufwand. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.78)

Hutter & Köhler (1999, S.2), Klöpffer & Grahl (2009, S.78) oder auch Günther (2013, online) definieren allesamt den kumulierten Energieaufwand in gleicher Weise.

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E$$

KEA_H ... Kumulierter Energieaufwand in der Herstellung

KEA_N ... Kumulierter Energieaufwand in der Nutzung

KEA_E ... Kumulierter Energieaufwand in der Entsorgung

Die Berechnung des kumulierten Energieaufwands kann mit ertragbarem Aufwand mittels Datenbanken, welche eigens für diese Ermittlung geschaffen wurden (Hutter & Köhler, 1999, S.31ff) oder auch Datenbanken, die in Ökobilanzierungssoftware integriert sind, durchgeführt werden.(Günther, 2013) Die Analyse muss dazu "lediglich" alle Informationen zu Materialflüssen und Endenergieaufwänden bereitstellen.

7. Ausführung der Sachbilanzierung

Die Sachbilanz bezieht sich immer auf eine Gasse des OSR ShuttleTM 35b. Sollte das nicht der Fall sein, wird diese Information explizit angeführt. Das gilt für alle Betrachtungsbereiche und in späterer Folge auch für das RBG - Smart Storage. Eine variable Darstellung, z.B. bezogen auf eine Ladeinheit, ist nachträglich einfach möglich, da nur eine Division durch die Anzahl der Behälter durchgeführt werden muss. Die Sachbilanz wird in mehreren Teilschritten ausgeführt. Dabei folgen die Teilbilanzen dem Bilanzraum im Wertschöpfungskettendiagramm, dargestellt in Abbildung 5.6 auf Seite 39. Da aber die Transportphasen zusammengefasst werden, ergeben sich folglich nur mehr folgende vier Teilbilanzen:

- Lieferantenbilanz (Abschnitt 7.1)
- Produktionsbilanz (Abschnitt 7.2)
- Transportbilanz (Abschnitt 7.3)
- Betriebsbilanz (Abschnitt 7.4)

An dieser Stelle können mit Ausnahme der Produktionsbilanz die Teilbereiche als Prozessmodule angesehen werden. Das bedeutet, es müsste keine weitere Zerlegung erfolgen. Im Zuge der Analyse wurde das eine oder andere Modul allerdings noch verfeinert, auch wenn keine Bereiche im Sinne der Systemverkleinerung ausgeschlossen wurden. Dieser Schritt diene nur der Vereinfachung und Klarheit der Untersuchung. Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Studie sollten damit gesteigert werden.

Im kommenden Kapitel werden die Analysen der jeweiligen Phasen und die Ergebnisse präsentiert. Zu diesem Zweck wird für jeden Abschnitt zuerst die Vorgehensweise und Methodik erläutert. Treten wesentliche Unterschiede der Erhebung zwischen OSR ShuttleTM und RBG - Smart Storage auf, werden diese bereits in diesem Kapitel präsentiert. Der eigentliche Systemvergleich folgt aber erst in Kapitel 8. Während der Abschnitte wird auf Probleme, Einschränkungen, Maßnahmen und eventuell aufgegriffene Alternativen hingewiesen. Genauso werden Bereiche, in denen Abschätzungen getroffen werden mussten, ausgewiesen. Einige Bereiche sowie detaillierte Analysen müssen auf-

grund des Platzmangels ausgespart werden, diese werden aber im Anhang ihren Platz finden. Oft beziehen sich Produktuntersuchungen auf spezifische Quellen. In solchen Fällen wird auf die Referenzen hingewiesen. Den Abschluss jedes Abschnitts werden die Ergebnisse und einzelne Schlussfolgerungen zu den Teilbereichen, soweit das möglich ist, bilden. Erst im Folgekapitel 8 ab Seite 83 wird der Vergleich mit dem zweiten Produktsystem, dem RBG - Smart Storage, gezogen. Der Vergleich wird für die Teilbilanzebene als auch für die Gesamtbilanz ausgeführt.

7.1. Lieferant

7.1.1. Methodik und Vorgehensweise

Die erste Phase in der Betrachtungskette ist die Phase der Erzeugung des Vorprodukts des Lieferanten. Zur Bewertung dieser Komponente müssen bei den Lieferanten die entsprechenden Informationen angefragt werden. Da die Datenverfügbarkeit bei den Lieferanten unsicher erscheint, wurde dabei nur auf drei Bereiche fokussiert, siehe Abbildung 7.1.

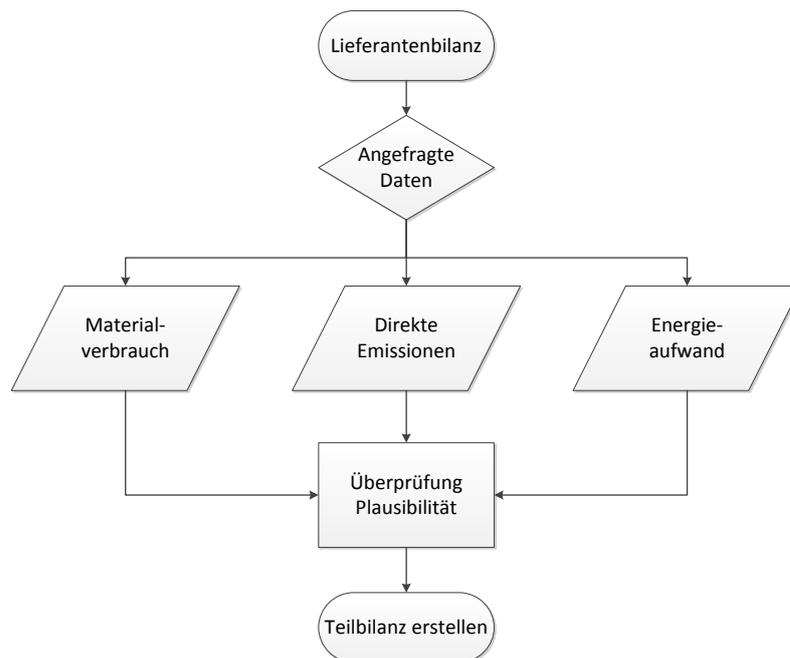


Abbildung 7.1.: Vorgehensweise zur Analyse der Lieferanten

Der Bereich Materialverbrauch teilt sich noch weiter in In-, Output und Abfälle auf.

Wenn auch keine starke Resonanz erwartet wird, werden direkte Emissionen in Wasser und Luft berücksichtigt. Die Anfrage erfolgt mittels eines einfachen Formulars, das dem Lieferanten die Erhebung erleichtern soll. Es kann im Anhang, Abschnitt B.1 auf Seite A 6. eingesehen werden. Das Formular enthält zusätzlich noch zwei weitere Punkte, die allerdings nicht diese Teilbilanz betreffen. Alle drei Bereiche verbindet, dass die Daten auf Plausibilität geprüft werden sollen. Nach Erhalt von Daten muss zumindest abgeschätzt werden, ob diese korrekt sein können. Wenn vergleichbare Informationen vorhanden sind, werden diese für die Bestätigung herangezogen.

Bevor die Daten aber überhaupt angefragt werden können, muss zuerst festgestellt werden, welche Komponenten, Halbzeuge oder Zukaufprodukte entscheidend sind bzw. wer der Lieferant ist. Bei der Vielzahl an Komponenten ist es unmöglich, bei allen Lieferanten separat anzufragen. Als Ziel wurde die 80 % Grenze gesetzt, damit ist der Massenanteil der analysierten Produkte am Gesamtprodukt gemeint. Tatsächlich erreicht wurden über 90 % der Gesamtmasse. Die Antworten beschränken sich allerdings nur auf einen Bruchteil. Man muss dabei berücksichtigen, dass sich viele Teile gemeinsam betrachten lassen, so wird z.B. das Rohmaterial für die Blechteile von einem Lieferanten bereitgestellt. Ein Schluss daraus ist, dass sich auch hier die Pareto Regel anwenden lässt. 20 % der Lieferanten stellen 80 % der Masse des Produktes zur Verfügung.

Die Anfrage von Teilen wurde durch einige Faktoren beeinflusst. Der erste Punkt ist das Erhaltdatum. Die Daten liegen auf zahlreiche Informationsquellen verstreut. Der Aufbau des Kontakts zum Lieferanten sollte aber möglichst bald passieren, da ein entsprechender Zeitraum zur Datenermittlung geboten werden sollte. Weiters wurden die Lieferanten anhand der Prozessmodule ausgewählt, da beim OSR ShuttleTM anfangs nach den Lieferteilern getrennte Bilanzen erstellt wurden. Daraus resultierte, dass der als Ziel festgelegte Anteil von 80 % deutlich überschritten wurde, was aber eine positive Auswirkung darstellt. Schlussendlich ist hinsichtlich des Vergleichs zum RBG noch anzumerken, dass keine RBG-Teile gesondert angefragt wurden. Das gründet sich auf die Tatsachen, dass

- die Daten erst spät zur Verfügung standen
- das Projekt schon mehrere Jahre zurückliegt und zu vielen Lieferanten kein Kontakt mehr besteht
- Halbzeuge und gleiche bzw. ähnliche Komponenten vom OSR ShuttleTM übernommen oder abgeleitet werden können
- das OSR ShuttleTM das zentrale Thema der Bilanzierung darstellt.

Ersteres gilt auch für die Stichbahnen der Anlage. Diese kamen erst durch das iterative

Wesen in die Sachbilanz. Zusätzlich stellte sich auch noch das Auffinden der Datenquelle als Herausforderung dar.

7.1.2. Ergebnisse

Die Antworten und zur Verfügung gestellten Informationen der Lieferanten waren vielfältig und unterschiedlich. Während für einige das Bereitstellen von Daten eine Selbstverständlichkeit darstellte, blockierten andere völlig. Von Hilfsbereitschaft und Wohlwollen bis hin zur Enthaltung einer Antwort war alles dabei. Prinzipiell muss angemerkt werden, dass die Daten mit Sicherheit hinterfragt werden können. Ein Abbild des Herstellungsprozesses aufwärts in der SC ist nicht möglich. Die Daten können aber sehr wohl als Ergänzung zu Datenbanken hilfreich sein. Tabelle 7.1 zeigt eine Aufstellung der Lieferanten bzw. Komponenten und gibt Information darüber, in welchen Bereichen Antworten ausgehändigt wurden. Die Tabelle schließt auch die Bereiche Transport und Verpackung mit ein.

Mit Sternen versehene Angaben verweisen auf modifizierte Lieferanteninformationen, Abschätzungen, die KNAPP-intern getroffen wurden, Daten, die nicht plausibel erschienen bzw. nicht verarbeitet werden konnten, Daten, die alternativ ermittelt werden konnten oder ähnliche Faktoren. Im Sektor AI-Profil bedeutet es, dass mehrere Lieferanten existieren. Einer dieser Lieferanten bot eine zufriedenstellende Antwort. Aufgrund der Ähnlichkeit der Produkte wurden die Profile der anderen Lieferanten gleich bewertet.

Die Schwierigkeit, Lieferanten gezielt in die Bilanz aufzunehmen, liegt darin, dass die Daten unterschiedliche Randbedingungen oder Metadaten aufweisen. Würden Informationen über alle Lieferanten zur Verfügung stehen und alle den gleichen Betrachtungsraum aufweisen (z.B. nur die Herstellung beim direkten Lieferanten), dann könnte die Bilanzierung gewissenhaft durchgeführt werden. Da aber nur teilweise Informationen geliefert wurden und diese nur die Produktion beim Lieferanten behandeln, dann wieder die gesamte SC bis zurück zur Rohstoffgewinnung, ist diese Thematik vorsichtig zu behandeln. Aufgrund dessen wird die Wirkungsabschätzung anhand von Datenbanken durchgeführt. Die Datenbanken werden in einigen Bereichen aber ebenfalls keine Daten zur Verfügung stellen können. Sollte das in den Bereichen AI-Profil und Kabeltassen der Fall sein, so können die von den Lieferanten überstellten Ökobilanzen herangezogen werden, um eine Bewertung zu allgemeinen Konditionen zu vermeiden. Somit kann zumindest ein Beitrag der Lieferanten zur Richtigkeit der Analyse verzeichnet werden. Diese Faktoren gelten auch für die vergleichende Studie, für die die Anforderungen sogar noch erweitert werden müssen.

Für eine absolute Bilanz könnten die Daten durchaus verwendet werden. Da diese aber

| Komponenten | Lieferanten | Energie | Material | Emissionen | Transport | Verpackung |
|-----------------------------------------|-------------|---------|----------|------------|-----------|------------|
| Bleche (ST und Al) | Lieferant A | Ja* | Ja* | Ja* | Ja | Keine* |
| Kettenräder | Lieferant B | Ja | Ja | Ja | Ja | Nein |
| Kabeltassen | Lieferant C | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja* |
| Al-Profile* | Lieferant D | Ja | Ja | Ja* | Nein* | Ja* |
| Teleskopauszug | Lieferant E | Ja | Ja | Keine | Ja | Nein |
| Regal | Lieferant F | Ja | Ja | Nein | Ja | Keine* |
| Kabel | Lieferant G | Ja | Ja* | Nein | Ja | Ja* |
| Lohnfertigung | Lieferant H | Ja | Ja* | Nein | Ja | Nein |
| Riemen | Lieferant I | Nein | Ja | Nein | Ja | Nein |
| Elektronik | Lieferant J | Nein | Ja* | Ja | Nein | Nein |
| Servomotoren + Stirnradgetriebe | Lieferant K | Nein | Nein | Nein | Ja | Nein |
| Antriebsrollen | Lieferant L | Nein | Nein | Nein | Ja | Nein |
| Stromschienen | Lieferant M | Nein | Nein | Nein | Ja | Ja |
| Rohre und Stangen | Lieferant N | Nein | Nein | Nein | Nein* | Nein |
| Schritt-, Schnecken- getriebemotoren | Lieferant O | Nein | Nein | Nein | Nein* | Nein |
| Schalt-schränke, Montageplatten etc. | Lieferant P | Nein | Nein | Nein | Nein* | Nein |

Tabelle 7.1.: Von Lieferanten zur Verfügung gestellte Daten

nicht aussagekräftig sind (es fehlt ein relativer Vergleichswert), wäre die Sinnhaftigkeit zu hinterfragen. Dennoch zeigt Abbildung 7.2 kurz die Gesamtergebnisse und im Anhang, Abschnitt B.1 können die detaillierten Informationen eingesehen werden.

Eine wichtige Position in der Lieferantenbilanz stellt das Regal dar. Dieses geht direkt vom Lieferanten zum Kunden bzw. zur Aufstellungsdestination. Da das Regal im Standort Hart bei Graz nie vorort ist, scheint es in der Produktionsbilanz nicht auf. Da es aber sehr wohl zum Produktsystem gehört, muss es analysiert und bilanziert werden. Die Machbarkeit der Berücksichtigung ist in diesem Fall aber von den Informationen des Lieferanten abhängig. Die Angaben erscheinen korrekt und wurden folglich aufgenommen (Abbildung 7.3, Seite 54).

Das Regal für eine Gasse wiegt knapp über 76 Tonnen und besteht nur aus Stahlkomponenten. Es setzt sich aus einzelnen Modulen zusammen. Zusätzlich zum Regalgrundgerüst sind die Fahrschienen für die Shuttles inkludiert. Diese tragen einen erheblichen

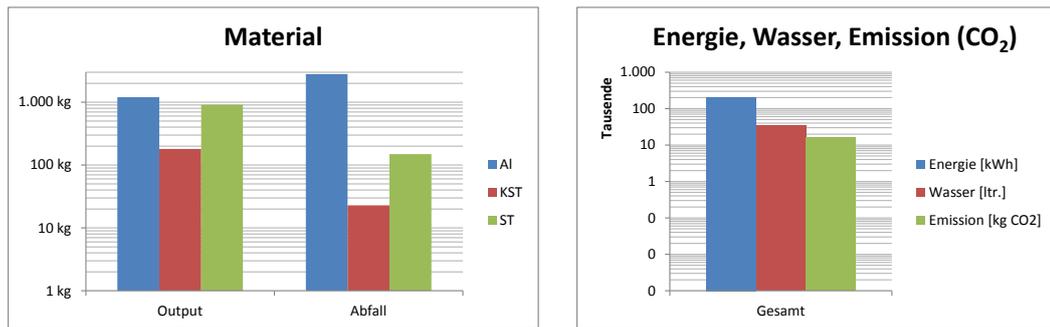


Abbildung 7.2.: Material-, Energieaufwand und direkte Emissionen bei den Lieferanten

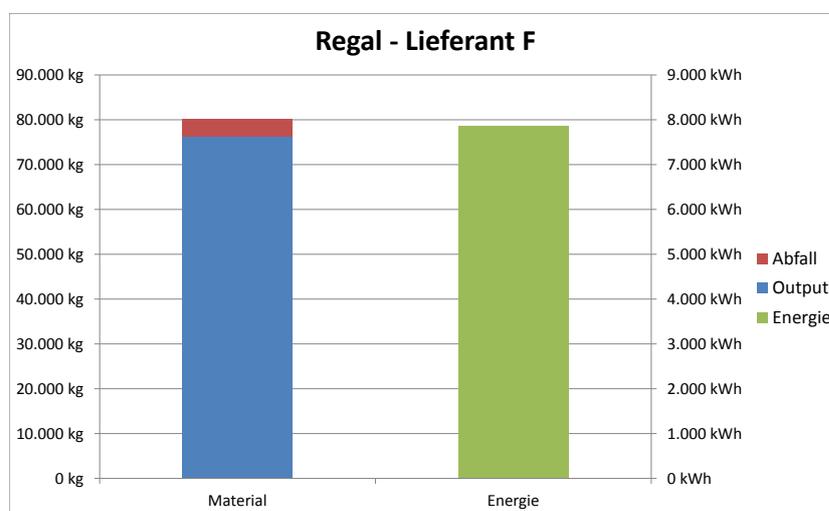


Abbildung 7.3.: Material- und Energieintensität bei der Regalproduktion

Anteil, da sie für jede der 30 Ebenen benötigt werden. Weiters kommen jeweils 5 Servicebühnen am Beginn und am Ende der Gasse sowie die Servicelevels in der Gasse hinzu. Schlussendlich stellen auch noch die Umzäunung und etwaige Türen einen Teil des Regals dar.

7.1.3. Schlussfolgerungen

Grundsätzlich zeigt die Analyse auf, dass nur wenige Lieferanten in der Lage sind, die gewünschten Informationen zur Verfügung zu stellen. Vor allem der Bezug auf ein spezifisches Produkt stellt ein Problem dar. Auch die Schwierigkeiten von Handelsunternehmen waren offensichtlich. Einige konnten trotzdem durchaus plausible Daten liefern,

allerdings waren auch nicht zufriedenstellende, unpräzise Antworten dabei. Weiters ließ sich bei Lieferanten komplexer Produkte die Angst vor dem Verlust von Know-How erkennen. In solchen Fällen kam es relativ schnell zur Blockade des Informationsaustauschs. Eine Tendenz, welche Unternehmen in der Lage und auch willens sind, Informationen zu liefern, ließ sich nicht erkennen. So kam es schon innerhalb eines einzelnen Unternehmens zu unterschiedlichen Handlungsweisen. Während für ein Produkt verwertbare Daten bereitgestellt wurden, blockierte man in einem anderen Bereich völlig. Ebenso kam es im Bereich Riemen zu unterschiedlichen Reaktionen. Beim kleinen Lieferanten wurde wenigstens versucht Daten im Bereich Abfall abzuschätzen. Im Gegensatz dazu deklarierte ein größerer Hersteller die Informationen schlicht als Betriebsgeheimnis.

Trotz der lückenhaften, unsicheren und teilweise nicht verwertbaren Daten befinden sich zwei wichtige Themen, die unbedingt in die Analyse mit einfließen müssen, in der Lieferbilanz. Das ist einerseits das bereits erwähnte Regal und andererseits die Lohnfertigung. Letztere ergab sich durch die iterative Vorgehensweise in der Analyse der Produktion und wird auch in diesem Abschnitt (7.2) näher erläutert. Beide Komponenten sind vor allem für den Systemvergleich wichtig.

7.2. Produktion

7.2.1. Methodik und Vorgehensweise

Der Bereich "Produktion" behandelt Be- und Verarbeitung sowie den Zusammenbau aller Komponenten des Produkts der KNAPP AG am Standort Hart bei Graz. In Abbildung 7.4 lassen sich verschiedene Ströme und Prozesse identifizieren. Materialflüsse werden dabei durch schwarze Linien/Pfeile markiert, während Energieströme rot und Emissionen blau dargestellt werden. Für Propangas gilt, dass es auch als Materialstrom definiert werden könnte, da aber seine thermische Energie aus der Verbrennung genutzt wird, kann es auch sofort der Energiebilanzierung zugerechnet werden. Parallelogramme stehen für Komponenten/Teile und Rechtecke beschreiben die Prozessschritte. Die Definition des Fertigungsprozesses in der Firma unterscheidet sich von jener in Abbildung 7.4, da noch zusätzlich Schritte zur Qualitätssicherung durchgeführt werden. Diese sind für die Analyse aber nicht von Bedeutung. Weiters ist ein separater Prozessschritt das Schweißen von Komponenten. Zu diesem Bereich gibt es aber leider keine produktbezogenen Daten zu Material- und Energieverbrauch, daher können die Schweißarbeiten nicht bilanziert werden und somit werden diese gleich aus der Grafik herausgenommen.

Abbildung 7.5 erläutert die Zusammensetzung bzw. den Aufbau der Bilanz im Bereich

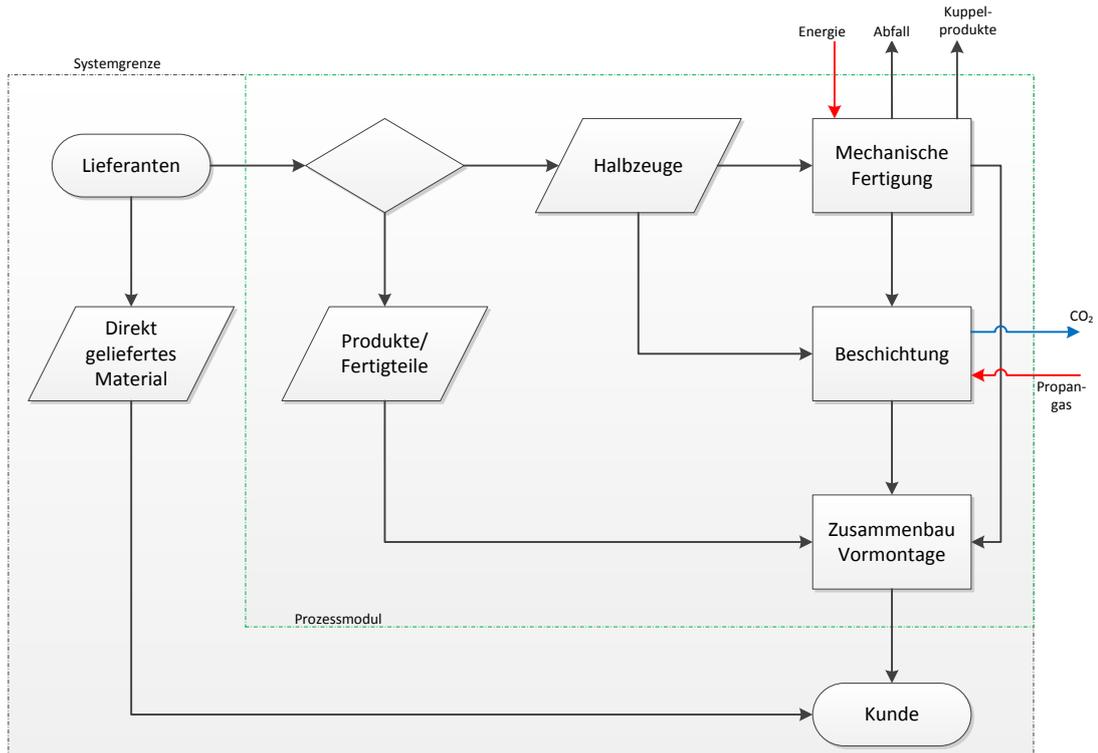


Abbildung 7.4.: Fließbild vom Herstellungsprozess in Hart bei Graz

der Produktion. Wie der vorhergehende Absatz schon andeutete, erfolgt eine Unterteilung zwischen Material- und Energiebilanz. Auf Seiten der Energie ist der Aufbau simpel. Es gibt die beiden Bereiche mechanische Fertigung und Beschichtung, die berücksichtigt werden müssen. Die mechanische Fertigung setzt sich dabei aus mehreren Bearbeitungsverfahren zusammen. Die Datenverfügbarkeit erlaubt es, die Bereiche CNC-Laser sowie Stanz-Laser-Kombination, CNC-Drehen und CNC-Kanten zu berücksichtigen. Im Bereich der Materialbilanzierung erfolgt die Datenerhebung nach detaillierteren Prozessmodulen. Diese wurden bereits im Zuge der Ermittlung der Systemgrenzen definiert und vorgestellt (Abschnitt 5.3). Diese Prozessmodule könnten auch für die Energieanalyse herangezogen werden. Allerdings wird dieser Detaillierungsgrad für die Analyse nicht benötigt. Folglich genügt die Energiebilanzierung auf Ebene des gesamten Produktsystems. Die tatsächliche Datenerfassung erfolgt je Kostenstelle, danach wird auch die Untersuchung ausgerichtet.

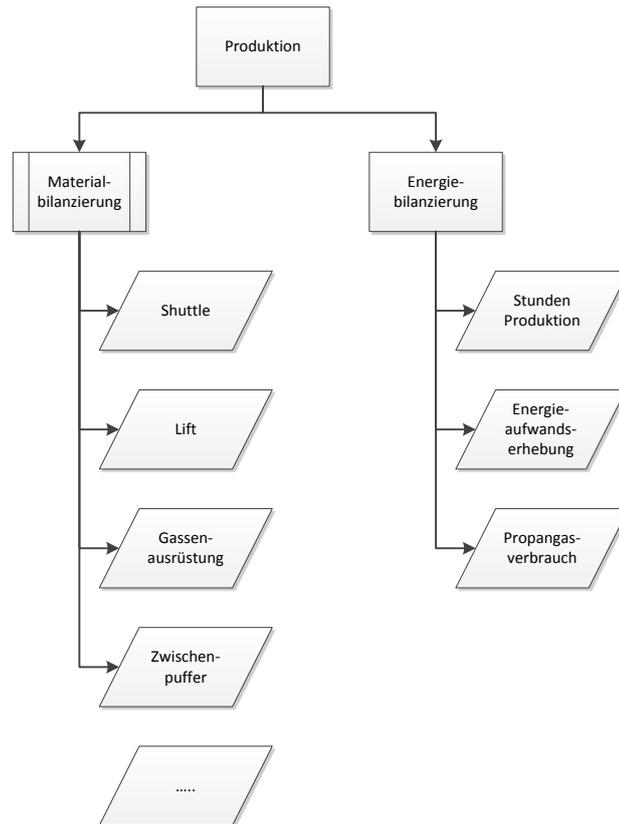


Abbildung 7.5.: Produktion - Materialbilanz und Energiebilanz

7.2.2. Materialbilanz in der Produktion

Auch wenn bereits eine Verfeinerung durch die Einführung der Prozessmodule erreicht wurde, umfassen diese noch immer zahlreiche Komponenten und Teile. Um die Analyse möglichst einfach zu gestalten, werden Kategorien und Subkategorien eingeführt, bis schlussendlich die einzelnen Materialien und Elemente definiert werden können. Diese Verfahrensweise bietet auch den Vorteil, dass im Nachhinein verschiedene Gruppen analysiert werden können. So gibt es zum Beispiel eine Kategorie Antriebstechnik (Servo-, Gleichstrommotoren, Antriebsrollen etc.). Folglich ist es möglich herauszufiltern, welche Menge eines bestimmten Materials durch diese Komponenten aufgebracht werden muss.

Abbildung 7.6 auf Seite 59 zeigt den Ablauf im Groben. Die Kategorien Metalle, Kunststoffe und Kleinteile aus Stahl gestalten sich relativ eindeutig. Die Kategorie Zukaufprodukte hingegen ist eher komplex. Es wird eine Vielzahl von Subkategorien erstellt, welche dann getrennt analysiert werden. Die Kategorien und Subkategorien wirken pro-

zessmodulübergreifend. Da verschiedene Komponenten in gleicher oder ähnlicher Weise in verschiedenen PM's vorkommen, bietet eine gemeinsame Untersuchung einen großen Vorteil. Unter anderen finden sich folgende Kategorien in der Analyse:

- Antriebstechnik
- Sensoren (Unterscheidung nach der Messmethode)
- Kabel
- Leiterplatten
- Leiterplattenbasierte Elektro- und Elektronikgeräte (z.B. WLAN Accesspoints, Motor-, Steuerungsmodule, CPU's etc.)
- Maschinenbauteile
- u.a.

Das Vorgehen in den einzelnen Subkategorien erfolgte unterschiedlich. Maschinenbauteile wurden separat genau untersucht. Auch der Großteil der Kabel wurde detailliert analysiert, der Rest über den Mittelwert an Kupferanteil und eine aus den analysierten Kabeln zusammengestellte Mischung von vorkommenden Kunststoffen errechnet. Für andere Kategorien wie Leiterplatten, leiterplattenbasierte Geräte und Antriebstechnik wurde durch Analyse verschiedener Quellen eine "Standardzusammensetzung" von Elementen/Materialien, die in diesen Produkten enthalten sind, bestimmt. Sensoren, Motorschütze und Ähnliches wurden anhand von Referenzprodukten, für welche Sachbilanzen existieren, bewertet. Details können dem Anhang, Abschnitt B.2, entnommen werden. Mit Hilfe solcher Analysen werden alle Komponenten in ihre Bestandteile zerlegt bis nur noch Elemente oder Werkstoffe vorhanden sind. In einigen Subkategorien liefern die Quellen keine Details zu den Kunststoffen (gilt auch für Elastomere) oder es existiert eine Position sonstige Kunststoffe. Um dieses Problem zu lösen wird ein Element Kunststoff eingeführt, welches am Ende anhand der vorkommenden Kunststoffe bewertet wird. Bei Elastomeren wird ähnlich vorgegangen. Die Bewertung wird allerdings mittels ABC-Analyse (bzw. einer Adaption davon) ausgeführt wird. Am Ende werden die Materialien zusammengefügt. Es wird dabei beachtet, dass es rückwirkend möglich ist zu analysieren, wo der Ursprung bestimmter Werkstoffe liegt. In der abschließenden Gesamtbilanz findet sich jeder Werkstoff aber prinzipiell nur einmal.

Noch kurz angemerkt sei, dass die Material- bzw. Werkstoffdaten großteils aus dem Wareneingang stammen. Da die Daten aber nicht mit den Stücklisten verknüpft sind, wurde mit Microsoft Excel VBA eine simple Routine programmiert, die die im Waren-

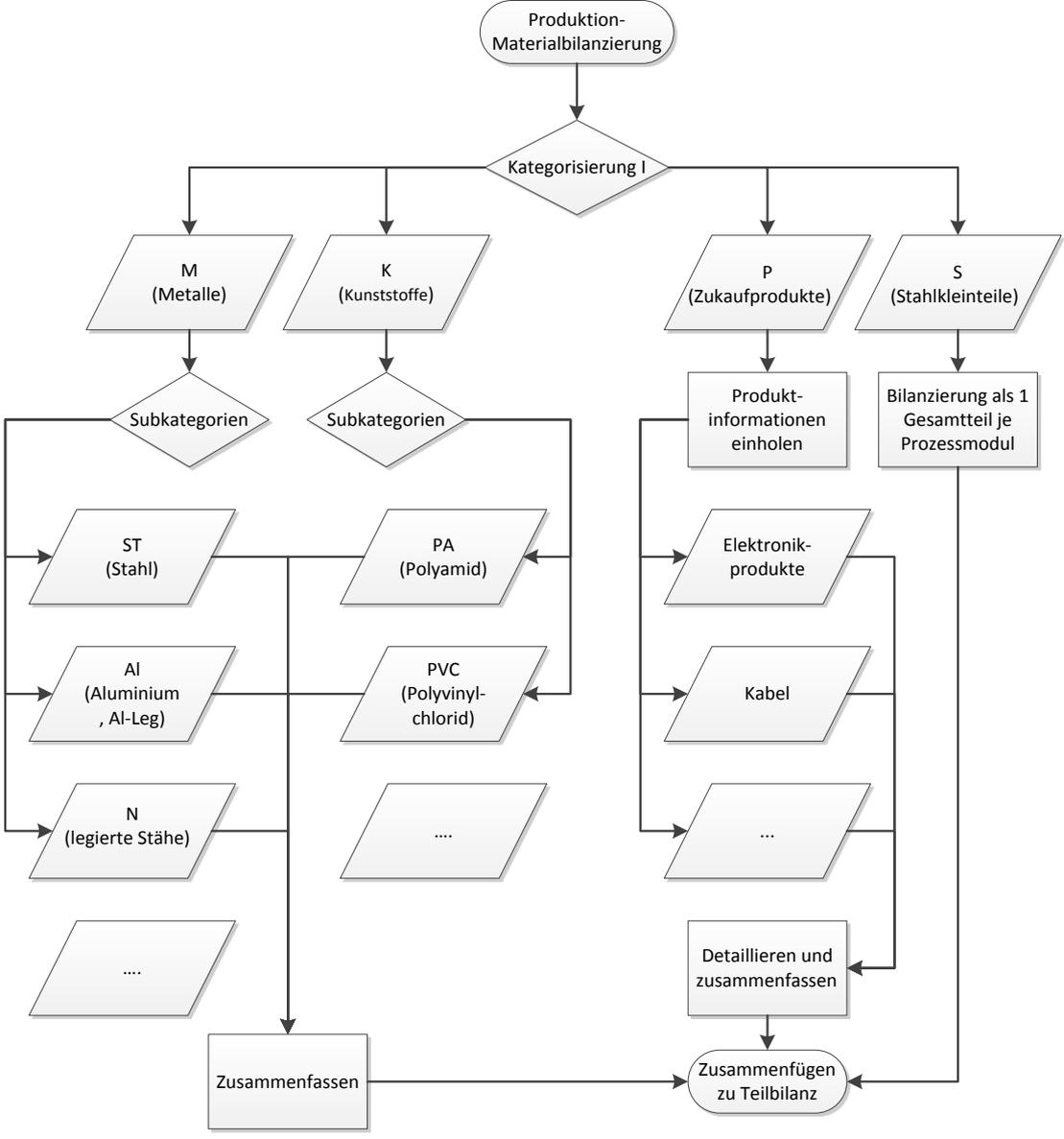


Abbildung 7.6.: Kategorisierung Materialbilanz

eingang erhobenen Massen den Stücklisten zuordnet. Die Prozedur vergleicht die Artikelnummern vom Prozessmodul mit der Datenbank und liest gegebenenfalls die Masse aus. Halbzeuge wie Blech, Rundmaterial und Rohre wurden rechnerisch mittels Volumen und Dichte bestimmt. Die restliche Meterware wurde über das Metergewicht aus den Produktdatenblättern bestimmt. Ebenso verfahren wurde bei Komponenten, für welche keine Daten in Alwis (Datenbank des Wareneingangs) vorhanden waren.

7.2.3. Ergebnisse - Materialbilanz

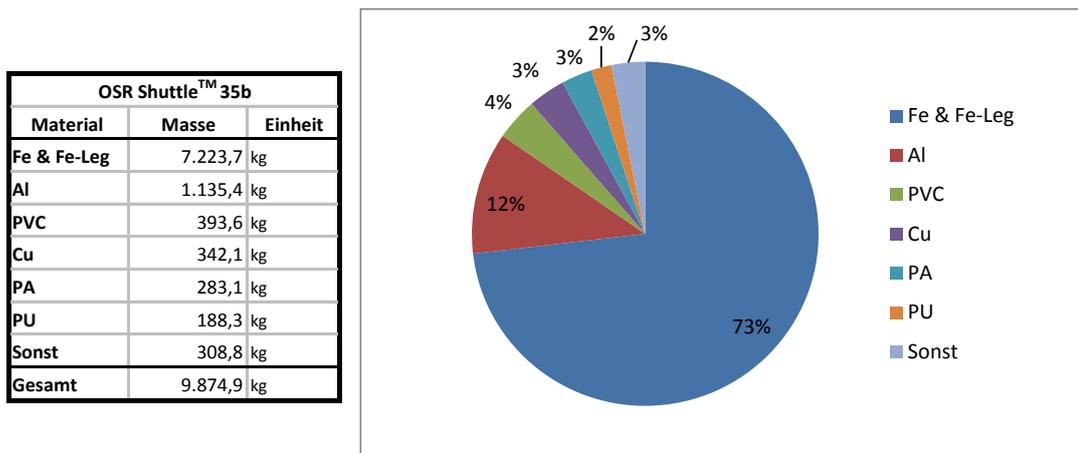


Abbildung 7.7.: Aufteilung der Materialien im OSR Shuttle™ 35b

Die ersten Ergebnisse beziehen sich auf jene Materialien und Materialmassen, die sich nach Fertigstellung im Produkt befinden. Abbildung 7.7 zeigt die grobe Aufteilung der Materialien für Produktsystem 1, das OSR Shuttle™ 35b. In dieser Grafik wurde die Standard-Abschneideregeln (Definition siehe Anhang A) von 1 % angewandt. Das bedeutet, alle Materialien, deren Massenanteil unter 1 % liegt, fallen unter den Begriff Sonstiges (bzw. Sonst). Das Abschneiden im Zuge der Materialbilanz muss allerdings mit Bedacht geschehen, damit keine umweltrelevanten oder besonders energieintensiven Materialien ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund befinden sich alle Elemente analysiert und aufgelistet in der Detailbilanz. Erst mit der Wirkungsabschätzung kann die Abschneidung durchgeführt werden.

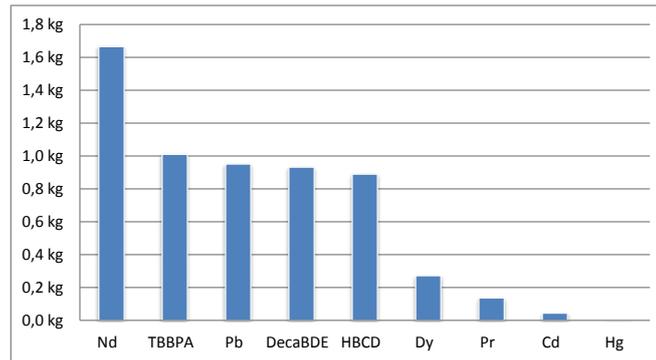
Die stärkste Fraktion, Eisen und Eisen-Legierungen, splittet sich in drei Teile. 71 % davon entsprechen Stahl, die restlichen 2 % setzen sich aus Eisen (entspringt der Antriebstechnik, wo weichmagnetisches Eisen für Stator und Rotoren eingesetzt wird) und legiertem bzw. hochlegiertem Stahl (Bleche, Rundmaterialien sowie Schlaganker) zusammen. Die Nichteisenmetalle erreichen gesamt einen Anteil von 15 %. Dabei han-

delt es sich fast ausschließlich um Al und Cu. Weiters kommen noch geringe Anteile an Zink (Zn) und Messing (CuZn) vor. Die Kunststoffe schaffen insgesamt 11,5 %. Dabei stellen PVC, PA und PU ebenfalls bereits drei Viertel der Kunststoffe dar. Weitere KST, deren Anteil noch über 1 % liegt, sind Polycarbonat (PC), Polypropen (PP), Acrylnitril/Polybutadien/Styrolpfropfpolymer (Domininghaus et al., 2012, S.369) (ABS), Nylon (PA-Kunstfaser) (Domininghaus et al., 2012, S.607f) und Polyethen (PE). Der Rest bildet sich aus verschiedenen Halb- und Nichtmetallen, Seltenen Erden, Flammschutzmitteln, Halogenen sowie Glas, Keramik und Oxiden.

Der geringe Anteil an sonstigen Materialien (3 %) lässt auch vermuten, dass die zweite Abschneideregeln nicht verletzt wurde. Durch die separate Betrachtung verschiedener Komponenten (z.B. Antriebselemente, Maschinenbauteile etc.) ist eine genaue Analyse aufwendig. Allerdings lässt bereits eine überblickende Untersuchung der Prozessmodule darauf schließen, dass keine anderen Materialien die 5 %-Grenze in den Prozesseinheiten erreichen. Auf die Stahl- und Aluminiumkomponenten wird noch genauer eingegangen, da diese gemeinsam mehr als 85 % des Gesamtmaterials ausmachen. Die Ursprünge der anderen Materialien werden in folgender Auflistung kurz angemerkt:

- Polyvinylchlorid (PVC) - großteils aus Kabelummantelungen
- Kupfer (Cu) - großteils aus Kabel und Antriebstechnik (Motorwicklungen)
- Polyamid (PA) - großteils aus Förder- und Antriebsrollen (Riemenkopf und Innenleben der Rollen)
- Polyurethan (PU) - großteils aus Zahnriemen (Grundwerkstoff)

Zum Abschluss werden in Abbildung 7.8 noch einige individuell ausgewählte umweltrelevante Stoffe dargestellt, wobei es sich bei den Elementen Neodym (Nd), Dysprosium (Dy) und Praseodym (Pr) um Seltene Erden handelt, diese stammen aus der Antriebstechnik, wo sie hauptsächlich in den eingesetzten Permanentmagneten vorkommen. Eine weitere Gruppe bilden die Flammschutzmittel TBBPA, DecaBDE und HBCD. Weiters kommen noch ein paar Schwermetalle (Blei, Cadmium und Quecksilber) vor. Generell kann man anmerken, dass der Anteil relevanter Materialien relativ gering ist, wenn man bedenkt, dass die Gesamtmasse bereits ohne Regal nahezu zehn Tonnen beträgt. Die genaue Untersuchung der Wirkungskategorien im Zuge der Wirkungsabschätzung wird erst bestimmen, welche Materialien tatsächlich als umweltrelevant anzusehen sind und schlussendlich bilanziert werden müssen.

Abbildung 7.8.: Umweltrelevante Stoffe im OSR ShuttleTM 35b

Stahlkomponenten

Die größte Position stellen die Bleche und somit ein Halbzeug, das vor Ort bearbeitet wird, dar. Die weiteren Halbzeuge wie Rundmaterialien, Rohre, Formrohre und Profile spielen eine kleinere Rolle. Im nächsten Schritt werden diese Halbzeuge analysiert. Da diese bearbeitet werden, entstehen Materialverluste/-verschnitte und somit Abfall, was von Interesse ist. Erstens muss dieser bilanziert werden und zweitens ist dieser lieferantenseitig im Vorprodukt. Die zweitgrößte Position belegen die Laufflächen der Förderrollen. Dabei handelt es sich um Stahlrohre, diese kommen in sehr großer Anzahl im System vor und bilden deshalb eine markante Position. Interessant ist auch noch die Position der Kleinteile. In Summe kommen Schrauben, Scheiben, Muttern etc. auf beachtliche 3 % des Gesamtgewichts. Es existieren noch weitere große Positionen, aufgrund welcher die Kategorie Rest 9 % erreicht. Wäre die Abbildung 7.9 nicht überladen, würden auch noch die Teleskopauszüge mit ca. 220 kg, die Sperrklappen (Sperrmechanik) mit ca. 75 kg oder die Stirnradgetriebe mit ca. 60 kg aufscheinen. Die Gesamtmasse von ungefähr sieben Tonnen entspricht den 71 % Stahl, erläutert im Abschnitt zuvor.

Aluminiumkomponenten

In der Kategorie Aluminium bietet sich ein einfacheres Bild. Die Aluminiumprofile dominieren diese Gruppe. Dabei werden zwei verschiedenen Typen von Profilen eingesetzt. Eine geschlossene Variante als Gestell für die Lifte und eine offene Variante bei den Teleskopauszügen der Shuttles. Betrachtet man zusätzlich noch die fertig bearbeiteten Bleche, so erhält man bereits fast 90 % (siehe Abbildung 7.10) des gesamten Materials. Der Vollständigkeit wegen sei noch erwähnt, dass der Rest durch Zahnriemenscheiben, einige Lohnfertigungsteile und Material aus dem Bereich Elektronik nahezu komplett

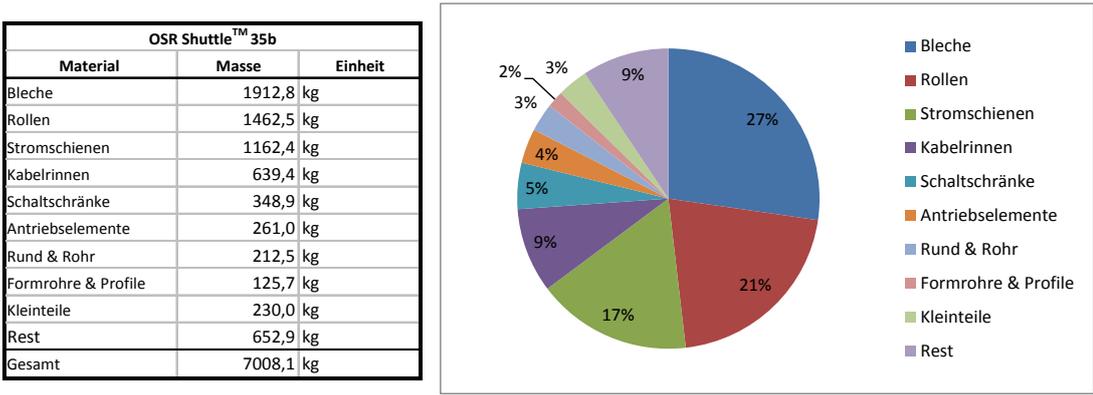


Abbildung 7.9.: Ursprung der Stahlkomponenten im OSR Shuttle™ 35b

abgedeckt ist.

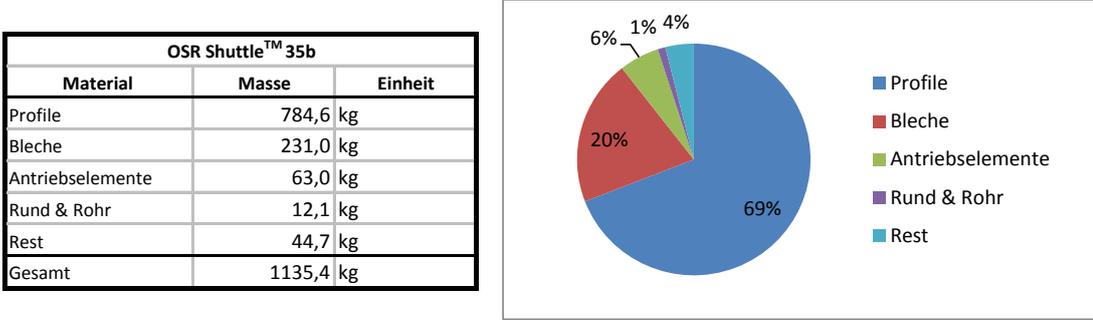
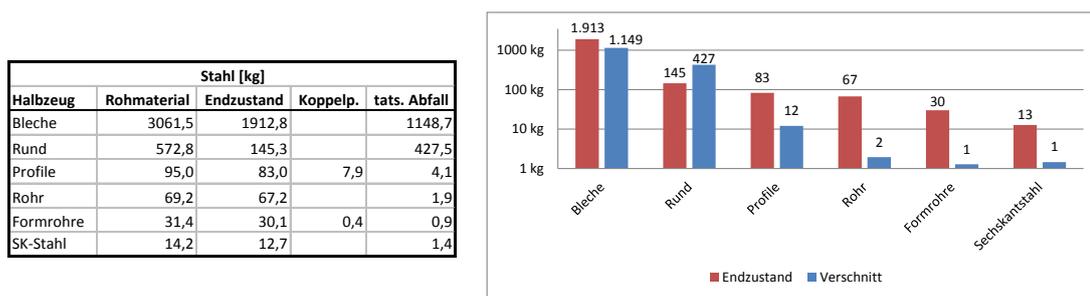


Abbildung 7.10.: Ursprung der Aluminiumkomponenten im OSR Shuttle™ 35b

Analyse Halbzeuge und Abfall

Dieses Unterkapitel widmet sich bezogen auf das Material tatsächlich der mechanischen Fertigung der KNAPP AG am Standort Hart bei Graz. Es werden alle be- und verarbeiteten Halbzeuge betrachtet und In- und Outputs ermittelt. Unter Output verstehen sich alle Teile, die im Endzustand in das Produkt integriert sind, aber auch Abfälle und Koppelprodukte fallen darunter.

Abbildung 7.11 bietet einen Blick auf alle Stahlhalbzeuge. Vorneweg muss auf die logarithmische Skalierung hingewiesen werden. Damit man sich nicht von den Balken täuschen lässt, sind diese zusätzlich mit den Zahlenwerten versehen. Der Abfall von 1.149 kg in der Kategorie Bleche entspricht 37,5 %. Der durchschnittliche Verschnitt

Abbildung 7.11.: Stahhalbzeuge und deren Verschnitt für das OSR ShuttleTM 35b

wurde anhand der Analyse der zehn Stahlbleche mit dem größten Massenanteil (Stückzahlen berücksichtigt) bestimmt. Diese Berechnung kann im Anhang in Tabelle B.12 eingesehen werden. Durch die Parametrisierung der Stücklisten und Zeichnungen weisen diese nämlich keine Gewichtsangaben auf. 37,5 % erscheinen auf den ersten Blick relativ viel, können jedoch begründet werden. Grundsätzlich können Serienteile mit Verschnittwerten zwischen 18 % und 20 % gefertigt werden. Doch in Einzelfällen kann der Verschnitt auch beträchtlich höher sein. Es kann auch vorkommen, dass Ausschnitte, wenn sie eine entsprechende Größe aufweisen, aussortiert und weiterverwendet werden. Solche Reststücke wurden bereits bei der Analyse der Schnittprogramme nicht als Verschnitt angesehen und daher nicht gesondert als Koppelprodukt ausgewiesen. Der Verschnitt hängt von der bearbeitenden Maschine (zwei verschiedene Anlagentypen bei KNAPP vorhanden - zwei Laseranlagen und zwei kombinierte Laser-Stanz-Anlagen) ab. Weiters beeinflusst auch die Auftragslage den Verschnitt. Prinzipiell müssen die Tafeln nicht projektspezifisch belegt werden, aber die Blechstärken müssen übereinstimmen um Aufträge zu kombinieren. Es existieren noch weitere limitierende Faktoren, wie die benötigte Fläche für die Pratzen zum Spannen der Bleche oder bei größeren Teilen muss die Ausrichtung der Teile mit den Saugern des Lifts (zum Ausheben der Teile) bei den Laser-Stanz-Maschinen abgestimmt werden. An diesem Punkt wird aber nicht weiter ins Detail gegangen, denn das würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten.

Das zweite auffällige Halbzeug stellt das Rund- oder Stangenmaterial dar. In diesem Bereich treten die höchsten Verlustraten auf. Aufgrund dessen erfolgte auch eine eingehende Überprüfung. Die Abfallraten beim Drehen sind ähnlich dem Fräsen sehr hoch, da verschiedenste Konturen mit großen Durchmesserunterschieden gefertigt werden. Hinzu kommt das Eingehen des Durchmessers zum Quadrat. Die Bearbeitung an der Außenkontur wirkt sich stärker aus. Viele Teile werden auch aufgebohrt um Hohlprofile herzustellen. So kann ebenfalls entsprechend viel Abfall entstehen. Mangelnde Alternativen bei den Rohmaterialien begrenzen aber in diesem Bereich die Möglichkeiten (für dementsprechende Wandstärken gibt es keine Rohre mehr, die anstatt des Rundmate-

rials verwendet werden könnten). Somit begründen sich die hohen Abfallraten in der Dreherei.

Die in die Grafik mit eingeschlossene Tabelle dient der Aufklärung bezüglich Abfall in der Bearbeitung, der Ausweisung von Koppelprodukten und dem tatsächlich anfallenden Abfall. Gerade beim Zuschritt der Stahlprofile (für die Stichbahnen) fallen große Reststücke an. Diese können weiterverwendet werden. Daher erfolgt eine "Gutschrift" auf den Abfall des Produkts. Damit Reststücke als Koppelprodukte ausgewiesen werden können, muss es sich um entsprechend große Überbleibsel eines häufig verwendeten Rohmaterials handeln. Aufgrund begrenzter Lagerkapazitäten kann nicht jedes Stück Restmaterial verwertet werden.

Für Aluminium und legierte bzw. hochlegierte Stähle gilt annähernd das Gleiche. Lediglich der Verschnitt für Aluminiumbleche (40 %) wurde extra ermittelt. Dieser konnte anhand der Parameter aus den Schnittprogrammen der fünf häufigsten/schwersten Al-Tafeln statistisch ermittelt werden (siehe Anhang Tabelle B.13). In beiden Bereichen treten keine Koppelprodukte auf. Alle Zahlen und Fakten sind in Abbildung 7.12 abzulesen.

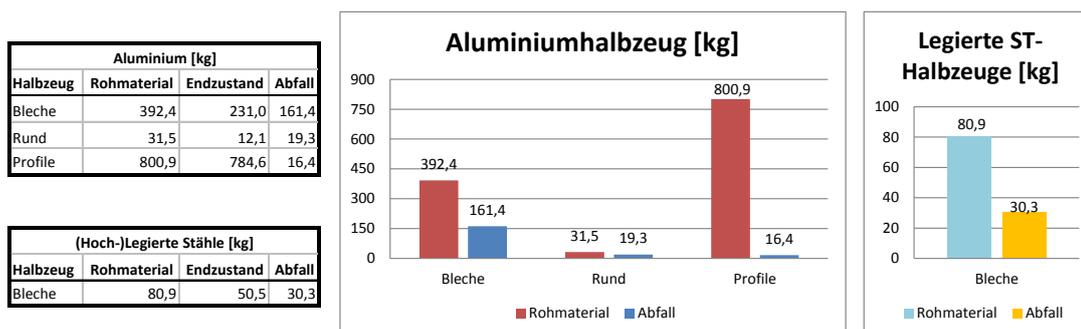


Abbildung 7.12.: Al- und legierte ST-Halbzeuge und deren Verschnitt für das OSR ShuttleTM 35b

Die Materialbilanzierung der Halbzeuge bietet eine ideale Überleitung zum nächsten Abschnitt, der Energiebilanzierung in der Produktion.

7.2.4. Energiebilanzierung der Produktion in Hart bei Graz

Wie auf Seite 57 erwähnt, teilt sich der Fertigungsbereich in zwei Sparten:

- die mechanische Fertigung

- die Beschichtungsanlage

Mechanische Fertigung

Im ersten Schritt zur Ermittlung des Energieverbrauchs in der Produktion liefern die Energiezähler, angebracht an den einzelnen Maschinen, einen Energieverbrauch über einen bestimmten Zeitraum. Über die Betriebsstunden kann die Leistung bzw. der Energieverbrauch je Stunde berechnet werden. Die Anlagen werden Montag bis Freitag im 3-Schicht-Betrieb gefahren, plus zwei Schichten am Samstag. Alle Maschinen gleicher Art (CNC-Kanten, CNC-Drehen etc.) sind zu Kostenstellen zusammengefasst. Da nicht definiert werden kann, auf welchen Maschinen welche Teile gefertigt wurden, wird der Mittelwert aus den betreffenden Anlagen zur Bewertung herangezogen, siehe Anhang A, Tabelle B.14.

Die zweite benötigte Information ist jene über die produktbezogenen Produktionsstunden an den jeweiligen Maschinen bzw. Kostenstellen. Die Stunden werden auftragsbezogen erfasst. Jedoch muss dabei auf die Zuteilung zu den Lieferteilern geachtet werden. Da in diesem Projekt die Kommissionierplätze außerhalb der Systemgrenze liegen, müssen die dafür aufgewendeten Produktionszeiten abgezogen werden. Zusätzlich zu den projektspezifischen Aufträgen existieren auch noch Lageraufträge. Dabei handelt es sich um Teile, die in größeren Chargen produziert und auf Lager gelegt werden. Im Bedarfsfall erfolgt eine Ausschreibung zum Projekt und der Teil wird für den Auftrag kommissioniert.

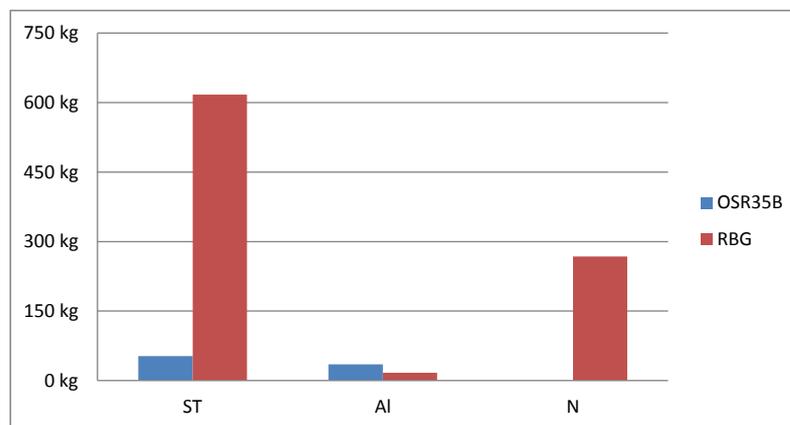


Abbildung 7.13.: Unterschiede bezüglich Nutzung der Lohnfertigung

Während der Material- und Energieuntersuchungen für die RBG-Anlage kamen Zweifel an den sehr großen Unterschieden des Materialverbrauches auf. Begründet auf der Tat-

sache, abgebildet in Diagramm 7.13, folgte auch noch die Analyse der Lohnfertigung. Schlussendlich wurde diese dann auch zu Konditionen, ermittelt aus den Informationen eines Lohnfertigers sowie der Daten der KNAPP AG, in die Bilanzierung aufgenommen. Offensichtlich haben sich die “Make or Buy” Konzepte zwischen den beiden Systemen oder zumindest den beiden Aufträgen unterschieden. Weitere Faktoren wie Standortentwicklung, Anlagenverfügbarkeit und Fertigungstiefe spielen dabei auch noch eine Rolle. Die Kundenaufträge liegen immerhin mehrere Jahre auseinander. Jedenfalls scheint das Inkludieren der Lohnfertigung hinsichtlich Material- und Energieverbrauch in die Analyse ein wichtiger Schritt zur realitätsnahen Abbildung der Ressourcenintensität zu sein. Vor allem für den Vergleich der beiden Systeme ist das von Bedeutung. Die tatsächliche Bilanzierung des Energieaufwands kann Abbildung 7.14 entnommen werden.

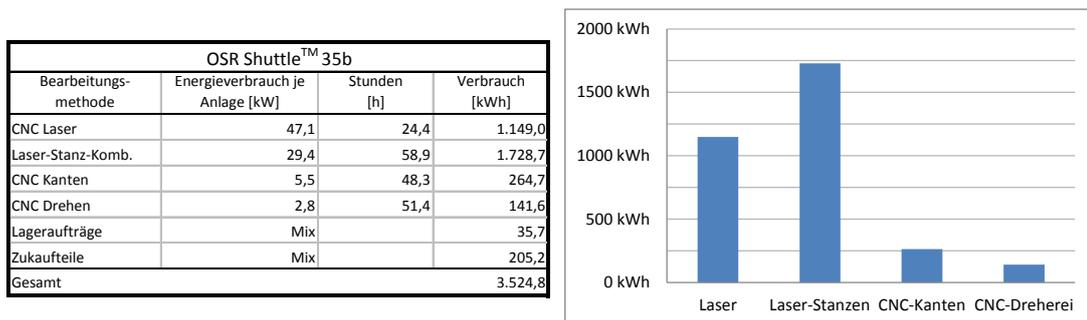


Abbildung 7.14.: Energieaufwand in der Fertigung OSR Shuttle™ 35b

Die Detailanalyse für Lageraufträge und Zukaufteile, sprich Lohnfertigung, ist ebenfalls im Anhang ab Seite A 24 ersichtlich.

Emissionen aus der Beschichtungsanlage

Es folgt der letzte noch verbleibende Prozess in der Produktion. In der Beschichtungsanlage erfolgt die Ermittlung der Belastung ähnlich der mechanischen Fertigung. Die Ergebnisse werden lediglich direkt emittiertes CO₂ liefern. Aber auch in der Erhebung tauchen kleine Unterschiede auf. Die Betriebsdatenerfassung der Beschichtungsanlage für einen Auftrag erfolgt in Quadratmeter beschichteter Fläche und nicht in einer Zeitspanne. Da der Propangasverbrauch allerdings in Kubikmeter je Stunde festgehalten wird, muss ein Bezug zwischen den beiden Variablen ermittelt werden. Das passiert einfach über die Beschichtungsleistung, die über vier Wochen erreicht wurde. Die Beschichtungsanlage läuft fünf Tage die Woche im 2-Schicht-Betrieb. Das bedeutet pro Woche 80 Stunden Betrieb. Über die Quadratmeter beschichteter Fläche, kann die Leistung pro Stunde statistisch kalkuliert werden.

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| OSR Shuttle™ 35b | 4 Gassen |
| zu beschichtende Fläche | 561,7 m ² |
| Beschichtungsleistung | 45,1 m ² /h |
| Betriebsdauer | 12,5 h |
| Gasverbrauch je h | 10,5 m ³ /h |
| Gasverbrauch | 131,3 m ³ Propan |
| CO ₂ -Ausstoß gesamt | 804,7 kg CO ₂ |
| CO ₂ je Gasse | 201,2 kg CO ₂ |

Tabelle 7.2.: CO₂-Ausstoß in der Beschichtungsanlage für OSR ShuttleTM 35b

Der CO₂-Ausstoß wird im Unternehmen laut Internetquellen berechnet. Die Daten der Berechnung werden für die Arbeit übernommen. Die Ergebnisse können Tabelle 7.2 entnommen werden. Da die genauen Verbrennungszustände nicht bekannt sind, ist eine genaue Validierung nicht möglich. Die Plausibilität der überlieferten Angaben wurde mittels Überschlagsrechnung einer stöchiometrischen Verbrennung von Propangas bei Normzustand nachvollzogen. Die Abweichungen liegen zwischen gut 1 % und knapp 4 %. Der Rechengang erscheint somit gültig. Dass hier ein Intervall angegeben werden muss, liegt daran, dass offensichtlich auch bei der Messung des Gasverbrauchs Fehler auftreten. Ein Hauptzähler liefert im Vergleich zu drei Teilzählern unterschiedliche Ergebnisse. Die Rechnung wurde händisch ausgeführt und kann in den Diplomarbeitenunterlagen eingesehen werden.

7.2.5. Schlussfolgerungen Produktion

Im Sektor Materialien scheint nicht überraschend Stahl als absolutes “Schwergewicht” auf. Dank der gesonderten Betrachtung des Regals bietet sich trotzdem ein Bild, das sich gut untersuchen lässt. Inkludiert man das Regal in die Produktionsbilanz würde lediglich noch Aluminium mit ca. 1 % als zweite Komponente aufscheinen. Die 5 % Abschneideregulierung in den Prozessmodulen verhindert zwar den Ausschluss der anderen Komponenten, die Dominanz von Stahl würde aber alle Konzentration auf sich lenken.

Die Produktanalyse gestaltete sich nicht immer einfach. Während bei komplexeren größeren Komponenten einige Zeit in die Untersuchung mittels Referenzen und Quellen floss, wurden für einfachere unbedeutende Teile Abschätzungen für die Anteile der Materialien getroffen (in den Untersuchungslisten vermerkt). Großteils waren aber zumindest Informationen für die Komponenten eruiert. Nur beim RBG-System tauchten ungefähr zehn Komponenten auf, für welche gar keine Informationen existierten.

Dennoch wurden auch beim OSR ShuttleTM einige Komponenten vernachlässigt, da entweder keine Materialdaten vorhanden waren oder eine Analyse zu aufwendig für das Resultat gewesen wäre. Dieser Anteil entspricht aber nur ca. 0,2 % der Gesamtmasse. Die Vernachlässigung ist vertretbar.

Bei der Abfallanalyse in der Produktion wurden mehrere nicht korrekte Ausschreibungen entdeckt. Sowohl zu viel als auch zu wenig ausgeschriebenes Material trat auf. In ersterem Fall erkannten die Arbeiter in den Werkstätten jedoch frühzeitig das Problem und das Restmaterial wurde wiederverwendet, d.h. es wird nicht blind nach den Vorgaben in den Ausschreibungen gearbeitet.

Weiters fiel während der Analyse noch auf, dass die Datenbeschaffung oft mühsam vonstatten geht. Mehrmals mussten mehrere Quellen angezapft werden, um zusammenhängende Informationen zu beschaffen. Zwei Beispiele:

1. In den Stücklisten (exportiert in Excel) finden sich Preise, Mengen, Bezeichnung, Lieferteiler etc. aber keine Massen der Teile. Diese müssen händisch aus der EDV ausgelesen werden. Schlussendlich bot die Datenbank des Wareneingangs kombiniert mit den Stücklisten und etwas Programmieraufwand die beste/schnellste Lösung.
2. Um die internen Lageraufträge hinsichtlich Energieaufwand auszuwerten, waren zwei Quellen (Softwarebereiche) notwendig, denn die Arbeitszeit der Kostenstellen bzw. die Stückzahlen der gefertigten Teile waren nicht am selben Standort abgreifbar.

Die interessanteren Schlussfolgerungen sollten dann aus dem Produktvergleich folgen.

7.3. Transportbilanz

Die Transportbilanz setzt sich grundsätzlich aus zwei Phasen zusammen, der Anlieferung aller Komponenten bei der KNAPP AG und der Auslieferung des fertigen Produkts zum Kunden. Beide Abschnitte sollen nicht nur die Transporte umfassen, sondern auch das verbrauchte Verpackungsmaterial soll in diese Teilbilanz aufgenommen werden. Durch zusätzliche Transportwege, wie die Direktlieferung des Regals vom Lieferanten zum Kunden oder den Rücktransport der wiederverwendbaren Metallgestelle zum Transport der Shuttles, entstehen eigentlich auch noch weitere Phasen. Diese werden ebenfalls miteinbezogen. Da sich die Transportbilanz aus zwei getrennten Bereichen (Verpackungsmaterial und Transport) zusammensetzt, wird die dahintersteckende Methodik der Datenerfassung im jeweiligen Abschnitt erläutert.

7.3.1. Verpackungsmaterial

Die Erhebung des Verpackungsmaterials für die Auslieferung funktionierte nach Ausarbeitung eines Plans zum Vorgehen gemeinsam mit der Versandabteilung sehr gut. Für das OSR ShuttleTM 35b konnten die Daten für Brutto- und Nettogewicht aus der EDV abgerufen werden, da diese seit ca. zwei Jahren erfasst werden. Die Gewichtserfassung erfolgt anhand der Abmessungen der Collis. Für unterschiedliche Colli-Größen wurden bestimmte Verpackungsmaterialmassen definiert, die in die EDV eingetragen werden. Gemeinsam mit der Versandabteilung wurden sämtliche LKW's, die die KNAPP AG in Richtung des Kunden verlassen haben, untersucht. In diesem Fall wurden simultan mehrere Aufträge für diesen Kunden ausgeführt und somit auch Transporte zum Kunden kombiniert. Aus diesem Grund musste darauf geachtet werden, dass die bilanzierten Collis erstens zum richtigen Auftrag zählten und zweitens auch im Produktsystem integriert wurden. Erneut mussten die Kommissionierplätze aus der Betrachtung gestrichen werden. Aus Brutto- und Nettogewicht konnte die Masse des Verpackungsmaterials berechnet werden. Die detaillierte Zusammensetzung des Verpackungsmaterials wurde von der Versandabteilung wie folgt abgeschätzt:

- 65 % Holz
- 25 % Karton
- 5 % Kunststoff
- 5 % Metall (Stahl)

Die Position Kunststoff wird noch weiter analysiert. Mit Hilfe von der Abteilung Einkauf zur Verfügung gestellter Daten über zugekauftes Verpackungsmaterial konnte eine Aufteilung von 94 % LDPE (Stretchfolie und Druckverschlussbeutel), 4 % PVC (Klebebänder) und 2 % PP (Umreifungsband) bestimmt werden. Einzige Ausnahme in der Untersuchung stellten die Shuttles dar. Diese wurden separat betrachtet, da für den Transport eigene Transportgestelle aus Stahl verwendet werden.

In Abbildung 7.15 lässt sich versandseitig noch eine zweite Variante der Ermittlung erkennen. Diese wurde für das RBG - Smart Storage angewendet. Die gesamte Colliliste für den Auftrag musste durchgearbeitet werden, um für jedes Colli das Verpackungsmaterial separat abzuschätzen. Besonderheit dabei, laut Versandabteilung werden die RBG-Teile (Fahr-, Hubwerk, Masten etc.) ohne Verpackungsmaterial versandt. Allerdings kam vom Produktmanagement im Nachhinein eine gegenteilige Aussage. Demnach wurden, ähnlich wie für die Shuttles, eigene I-Träger für den Transport der RBG-Teile verwendet. In der vorliegenden Analyse finden sich keine solche Transporthilfsmittel.

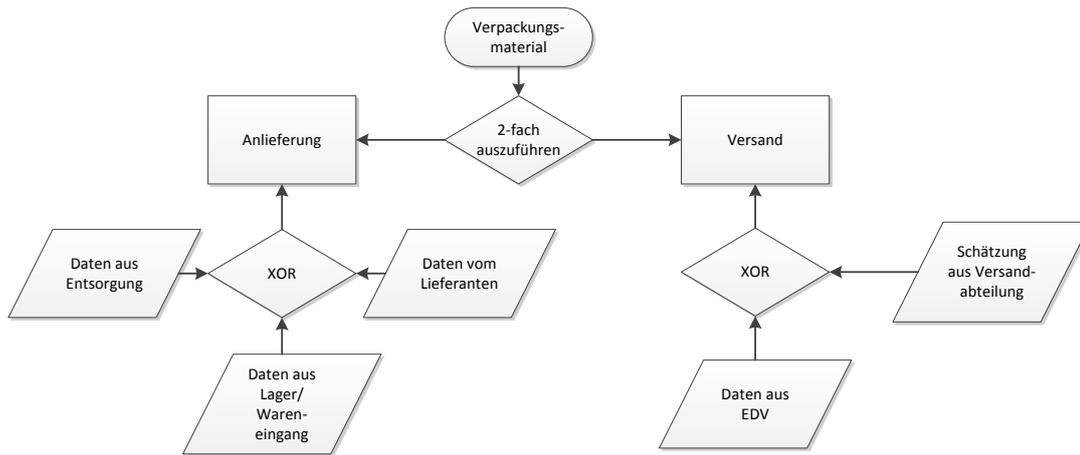


Abbildung 7.15.: Ermittlung des Verpackungsmaterials

Von Seiten der Lieferanten wurden mehrere Möglichkeiten zur Datenermittlung herangezogen. Zuerst wurde mittels dem Anfrageformular (Anhang Tabelle B.1) im Zuge der Datenerhebung für die Lieferantenbilanz bei den Lieferanten um Informationen gebeten. Wenn man erneut einen Blick auf Tabelle 7.1, Seite 53 wirft, lässt sich erkennen, dass die Antworten recht spärlich ausfielen. Folglich war eine Alternative gefragt. Der zweite Lösungsansatz wurde KNAPP-intern gesucht. Doch auch das Lager und der Wareneingang konnten keine Daten zur Verfügung stellen. Somit startete ein letzter Versuch, Verpackungsdaten für die Komponenten des Produkts über entsorgtes Material des gesamten Standorts Hart bei Graz zu berechnen. Im UWC-Kennzahlencockpit der KNAPP AG werden Daten über entsorgtes Material erfasst. Mittels Unternehmens- und Projektumsatz wurde versucht, die Standortdaten auf das Produkt umzulegen. Die Kalkulation lieferte allerdings keine zufriedenstellenden Ergebnisse und somit musste auch dieser Ansatz verworfen werden. Es folgte die Einstellung der Untersuchungen in diesem Bereich und infolgedessen wurde der linke Ast - "Anlieferung" - des Flussbildes, abgebildet in 7.15, aus der Bilanzierung gestrichen.

Ergebnisse - Verpackungsmaterial

Die Resultate, Abbildung 7.16, liegen offensichtlich und verständlich vor. Nur die Transportgestelle bedürfen einer genaueren Betrachtung. Ein Transportgestell wiegt 230 kg und bietet Platz für sechs Shuttles. Daraus folgt, für 30 Shuttles werden fünf solcher Gestelle benötigt. Das wiederum ergibt 1.150 kg Stahl, die aufgewandt werden müssen. Die Transportgestelle stellen aber keine Verschleißteile dar. Tatsächlich hat bis heute noch keines entsorgt werden müssen. Da somit keine Informationen über Lebensdauer

oder die Anzahl der Lieferungen, die ein Gestell übersteht, vorhanden sind, erfolgt keine Belastung des Produktsystems mit dem Materialaufwand. In der Bilanz scheinen die Transportgestelle aber dennoch auf.

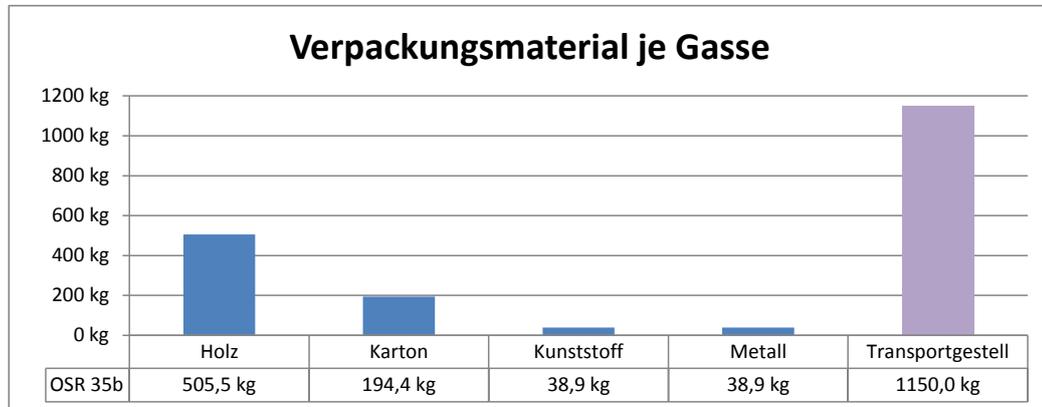


Abbildung 7.16.: Aufgewendetes Verpackungsmaterial für das OSR ShuttleTM 35b

7.3.2. Transport

Auch die Transporte stellen eine eher einfache Phase der Bilanzierung dar, was auch das Flow Chart in Abbildung 7.17 zeigt. Die benötigten Daten beschränken sich auf die zurückgelegten Distanzen, die verwendeten Transportmittel und die bewegten Güter bzw. deren Gewicht. Anhand genannter Faktoren erfolgt die Berechnung zurückgelegter Tonnenkilometer [tkm] je Transportmittel. Diese können in der Folge mit Hilfe von existierenden Datenbanken einfach in Umweltbelastung umgewandelt werden.

Die Datenerfassung passiert auf mehrere Weisen. So wird für die Anlieferung der wesentlichen Komponenten ebenfalls bei den Lieferanten angefragt. In dieser Kategorie war auch die Resonanz durchwegs positiv. Wichtig, auch die direkt gelieferten Komponenten müssen berücksichtigt werden. Im Falle von ausbleibenden Antworten wird die Route manuell via Internet bestimmt. Dazu muss allerdings ein eindeutiger Lieferantensandort bekannt sein (nicht der Fall für Lieferant J). Die Ergebnisse der Transportbilanzierung (S.73f) zeigen ein deutliches Übergewicht der LKW Transporte, weshalb für innereuropäische Lieferanten, die mittels soeben erläuteter Methode bewertet wurden, LKW Fracht angenommen wurde. Alle übrigen Komponenten (keine Lieferanteninformation eingeholt) müssen über statistische Mittel in der Bilanz berücksichtigt werden. Dabei werden Transportmittel und Distanz betrachtet. Das Gewicht ist durch die Güter definiert.

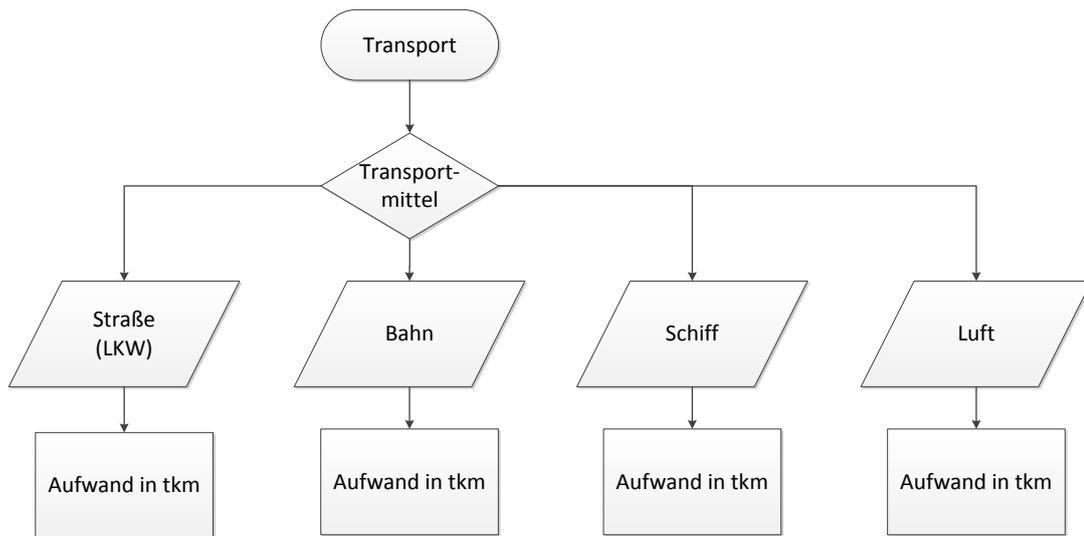


Abbildung 7.17.: Methodik Transport

Im Zuge der Analyse des Transports zum Kunden bot das Dispatch- und Travelmanagement in Kooperation mit der Partnerspedition detaillierte Angaben über die Transportroute. Die bewegte Masse stammt aus den durchgeführten Materialbilanzen. Eine zusätzliche Kontrolle zu den Collilisten bestätigt die Richtigkeit des Transportgewichts.

Ergebnisse - Transporte

Die relativen Grafiken in Abbildung 7.18 decken die Dominanz des LKW-Transports auf. In der Anlieferungsphase entspringt das Aufscheinen von Schiff und Bahn dem Zufall. Eine eigentlich untergeordnete Komponente wurde aufgrund eines anfänglichen Fehlers in der Materialanalyse schwer gewichtet und folglich der Lieferant um Informationen gebeten. Genau diese Komponente hat ihren Ursprung allerdings in China und deshalb eine weite Schiff- und Bahnreise zurückzulegen. Der entstehende Anteil wirkte sich in der statistischen Bewertung der Restkomponenten aus. Eine interessante Abweichung tritt auch zwischen der Direktlieferung des Regals (einzig direkt gelieferte Komponente) und der Auslieferung von KNAPP zum Kunden auf. Obwohl die Distanzen nahezu ident sind, liegt der Fähr- bzw. Schiffsanteil beim Regaltransport erheblich niedriger. Bei der genaueren Analyse wurde die Wahl von unterschiedlichen Fährstrecken als Ursache ausgemacht. Während der Transport von der KNAPP AG von Dünkirchen nach Dover (65 km) übersetzt, startet jener des Lieferanten in Calais (40 km).

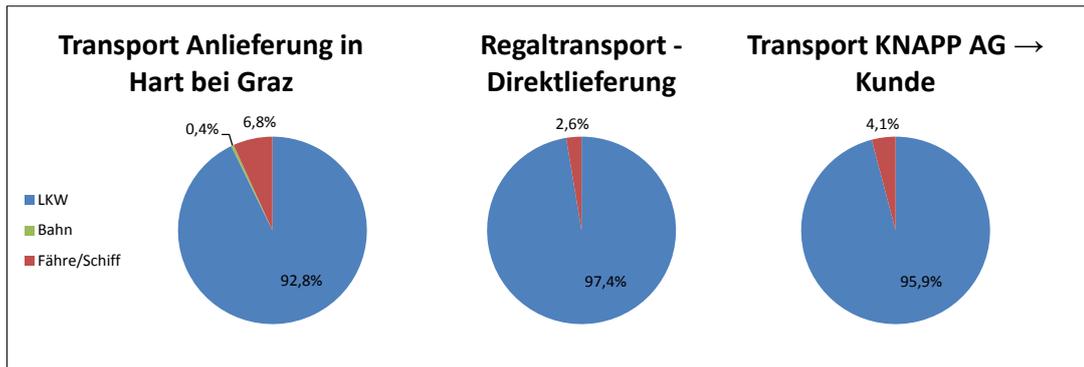


Abbildung 7.18.: Transportmittelanteile in den verschiedenen Bereichen beim OSR ShuttleTM 35b

Betrachtet man nun nicht die Transportarten, sondern konzentriert sich auf die tkm-Angaben in Tabelle 7.3, erkennt man sofort, dass die gesamte Bilanz vom Transport des massiven Regals dominiert wird. Weiters fällt auch auf, dass sich die Transportgestelle hier in dieser Bilanz niederschlagen. Der Rücktransport ist sogar explizit ausgewiesen, da die Gestelle zur Wiederverwendung in Graz/Puntigam (Versandabteilung KNAPP AG) bereitgestellt werden müssen. Bei der Auslieferung wirken sich sowohl die Transportgestelle als auch das weitere Verpackungsmaterial, das mit der ersten Lieferung für die Monteur bereitgestellte Werkzeug und der Schraubenschrank mit Montageteilen Transportgewicht aus.

| Transportmittel | Destination | Ausgangspunkt | tkm |
|---------------------|--------------------|-------------------------|---------|
| LKW | KNAPP AG | - Lieferant | 6.473 |
| | | - Kunde (Rücktransport) | 1.755 |
| | Kunde | - direkt vom Lieferant | 114.375 |
| | | - KNAPP AG | 18.997 |
| | LKW [tkm] | | |
| Fähre/Schiff | KNAPP AG | - Lieferant | 471 |
| | | - Kunde (Rücktransport) | 75 |
| | Kunde | - direkt vom Lieferant | 3.050 |
| | | - KNAPP AG | 809 |
| | Fähre/Schiff [tkm] | | |
| Bahn | KNAPP AG | - Lieferant | 30 |
| | | Bahn [tkm] | |

Tabelle 7.3.: Absolutbilanz Transporte OSR ShuttleTM 35b

7.3.3. Schlussfolgerungen Transport und Verpackung

Im Bereich der Standardverpackungsmaterialien fallen keine Besonderheiten auf. Diskussionsstoff bieten hingegen die Transportgestelle für die Shuttles. Auch wenn diese das Produkt in der Materialbilanz nicht belasten, so scheinen sie zweimal im Transport auf. Allerdings muss angemerkt werden, dass bereits alternative Konzepte existieren. Die neuen Vario-Shuttles werden mittels einer Verpackung, die wieder auf Holz als Hauptelement basiert, ausgeliefert. Diese Variante wurde zur Vermeidung der Rücktransporte eingeführt.

Einen Ansatz zum Handeln im Sinne der Nachhaltigkeit bietet mit ziemlicher Sicherheit der Frachtverkehr. Der Transport auf der Straße schneidet aus ökologischer Sicht im Vergleich zu anderen Möglichkeiten bekanntlich nicht besonders gut ab. Wie auch in vielen anderen Bereichen des Lebens würde man sich hier wünschen, dass die Bahn als Alternative stärker ins Auge gefasst wird. Speziell für den Transport nach Großbritannien bietet sich noch eine Analyse der Varianten des Übersetzens auf die Insel via Fähre oder Bahn an. Generell muss man allerdings erwähnen, dass die Wahl der Transportmittel nicht unbedingt im Einflussbereich des Unternehmens liegt. Es müsste geprüft werden, ob überhaupt Spediteure mit alternativen Konzepten existieren und wenn ja, ob sie auch konkurrenzfähig und ökonomisch tragbar sind.

7.4. Betrieb

7.4.1. Methodik und Vorgehensweise

Die Betriebsphase setzt sich fundamental aus drei getrennten Abschnitten zusammen. Die drei Bereiche und deren Anforderungen sind in Abbildung 7.19 ersichtlich.

Die Inbetriebnahme erzeugt hauptsächlich Belastungen durch die Anreise der Monteure, deshalb ist das Hauptaugenmerk darauf gerichtet. Zusätzlich verbrauchtes Material wurde aber selbstverständlich auch untersucht.

Die tatsächliche Betriebsphase gliedert sich dann in zwei Teile:

1. den Energieverbrauch im täglichen operativen Geschäft oder anders dargestellt, der Betrieb der Anlage im ungestörten Zustand
2. das Instandhalten der Anlage, sprich der Austausch von Verschleißkomponenten

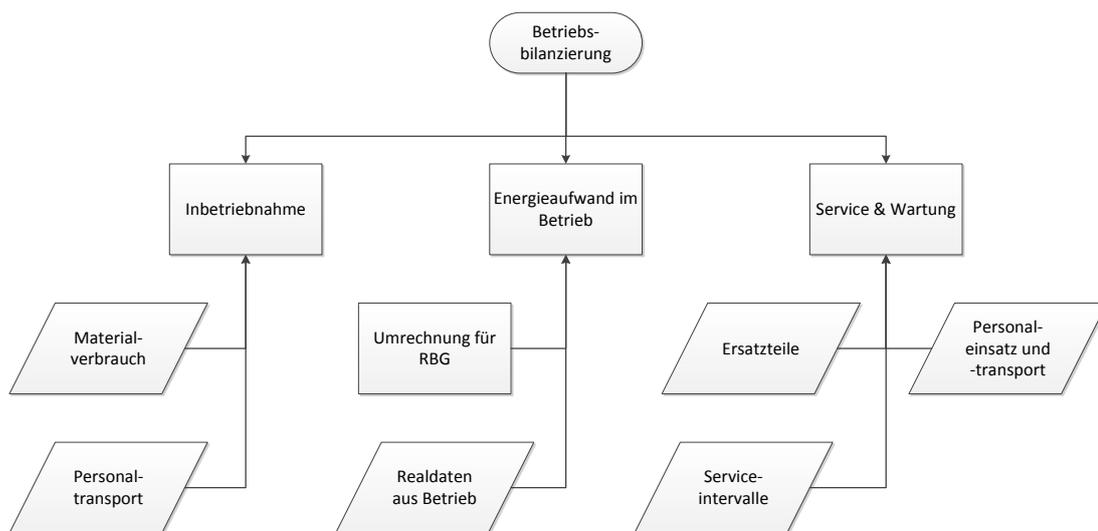


Abbildung 7.19.: Methodik Betrieb

Im ersten Fall ist offensichtlich, wodurch Umweltbelastungen entstehen und deshalb von Interesse. Allerdings fallen mit Sicherheit zwischen den beiden Systemen Nutzenunterschiede an, die einen kalkulativen Ausgleich erfordern. Wenn möglich soll die Bewertung des Energieverbrauchs der Anlagen anhand von Messdaten aus dem realen Betrieb durchgeführt werden. In der letzten Sparte wird die Untersuchung von zwei Bereichen bestimmt. Erstens der Aufwand an Ersatzkomponenten und die dazugehörigen Austauschintervalle und zweitens der Transport des Service-Personals zu und von der Operationsstätte. Der genaue Analyseablauf folgt in den einzelnen Abschnitten.

7.4.2. Inbetriebnahme

Während der Materialanalyse des Produktsystems in der Produktion tauchten einige Komponenten auf, welche nicht direkt dem Produkt zuzuordnen waren. Vor allem sechs Stück Handstapler (ausgeschrieben für das gesamte Projekt - also vier Gassen) lenkten die Aufmerksamkeit auf sich. Durch zusätzliche Informationen stellte sich heraus, dass diese zum Einsetzen der Shuttles in die Ebenen der Gasse dienen. Die Handstapler werden eigens für die Projekte zugekauft und mit einem intern gefertigten Aufsatz modifiziert. Folglich verursachen sie nicht nur Material-, sondern auch Energieflüsse in mechanischer Fertigung und Beschichtung. Die Stapler verbleiben bei den Anlagen und werden auch beim späteren Tausch von Shuttles eingesetzt, somit zählen die verwendeten Ressourcen tatsächlich als Belastung für das Produkt.

Es entstehen folgende Material- und Energieflüsse:

- Material: 176,1 kg ST und 1,5 kg PA (Rest vernachlässigbar)
- mechanische Fertigung: 2,8 kWh je Gasse
- Beschichtung: 1,8 kg CO₂ je Gasse

Generell bewegen sich die entstehenden Material- und Energieflüsse aber auf einem sehr geringen Level und werden daher auch nur in aller Kürze angemerkt. Die Erhebung folgte dem Ablauf der Analysen in Abschnitt 7.2 Produktion (S.55ff). Eine neue Ermittlungsmethode verlangt die Berücksichtigung des Personaltransports. Dieser Vorgang wird anhand Tabelle 7.4 erläutert.

| | OSR Shuttle TM 35b | | | | | | |
|---------------|-------------------------------|----------|----------------|--------|--------------|--------|--------|
| | Montage | | Inbetriebnahme | | Begleitphase | | |
| | Mechanik | Elektrik | | | 10% | 30% | 60% |
| Personen [#] | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Dauer [Wo] | 5-6 | 5-6 | 6 | 10 | 2 | 2 | 2 |
| Anreisen [#] | 1 | 1 | 1 | 1 | 3-4 | 2 | 1 |
| # Flüge | 6 | 6 | 6 | 4 | 14 | 8 | 4 |
| Werkzeug | nein | nein | 25 kg | 25 kg | 25 kg | 25 kg | 25 kg |
| Körpergewicht | 74 kg | | | | | | |
| Gepäck | 20 kg | | | | | | |
| Reisegewicht | 94 kg | 94 kg | 119 kg | 119 kg | 119 kg | 119 kg | 119 kg |
| Distanz | 1295 km | | | | | | |
| tkm | 730 | 730 | 925 | 616 | 216 | 370 | 370 |
| tkm Gesamt | 3957 | | | | | | |
| tkm je Gasse | 989 | | | | | | |

Tabelle 7.4.: Ressourcenbelastung durch Personaltransport für die Inbetriebnahme einer Gasse OSR ShuttleTM 35b in tkm

Die Anzahl der Flüge ermittelt sich aus den im Einsatz befindlichen Personen und die Anzahl der An- und Abreisen dieser Personen. Diese wiederum hängen von der Dauer der Montage bzw. Inbetriebnahme ab. Die Monteure, sowohl im Mechanik- als auch im Elektrikbereich, dürfen bei längeren Aufenthalten im sechs Wochentakt nach Hause fahren/fliegen. In der Inbetriebnahme kommt die gleiche Taktung zur Anwendung, allerdings werden alle Inbetriebnahmen bis ca. zwölf Wochen in einem Stück durchgeführt. In der Begleitphase wird die Anzahl der Anreisen durch die vom Kunden gewünschte Intensität der Unterstützung durch die Firma KNAPP festgelegt. Die weiteren benötigten Variablen sind das Reisegewicht, welches sich aus Werkzeug-, Körpergewicht (News Network Internetservice GmbH, 2003) und Gepäck zusammensetzt, und die Flugdistanz (Flightpedia, 2013). Mit diesen Variablen kann für jedes Team eine Anzahl an Tonnenkilometer berechnet werden. Durch Bilden der Summe und aufteilen der Belastung auf alle vier Gassen des Projekts erhält man 989 tkm, die durch Montage und Inbetriebnahme anfallen. Der Grund für die Berücksichtigung dieses kleinen Anteils ist jener, dass

es sich dabei um Transport via Flugzeug handelt. Lufttransport stellt bekanntlich die stärkste Umweltbelastung der Verkehrsmittel dar.

7.4.3. Energieaufwand im Betrieb der Anlage

Für die Sachbilanz bestand die Absicht Energieaufwandsdaten, die direkt aus dem Betrieb der Anlage stammen, zu verwenden. Leider sind am analysierten OSR ShuttleTM 35b keine entsprechenden Messeinheiten installiert. Dennoch kann die Analyse auf solider Basis durchgeführt werden, da bereits Untersuchungen zum Energieverbrauch vom OSR ShuttleTM 35b durchgeführt wurden (siehe Hude, 2011) und somit auf diese Ergebnisse zurückgegriffen werden kann. Im RBG - Smart Storage sind Messgeräte zur Energieverbrauchsmessung integriert, weshalb auch die bereits mehrmals erwähnte Systemerweiterung durchgeführt wurde.

Der Betrachtungszeitraum wurde auf 15 Jahre festgelegt. Das geschah mit dem Hintergrund, dass Serviceverträge normalerweise auf diesen Zeitraum abgeschlossen werden. Die Nutzungsdauer der Anlage geht normalerweise darüber hinaus. Auch die Serviceverträge können nach Ablauf zu angepassten Konditionen verlängert werden. Die Anlage befindet sich prinzipiell dauerhaft in Betrieb. Anhand der gemessenen Energiedaten ließ sich lediglich der 25. Dezember als betriebsfreier Tag erkennen. Da keine Rückspeisung durch das Energiemanagement erfolgte, kann daraus geschlossen werden, dass die Anlage keine Arbeit verrichtete. Dennoch wurde ein Energieverbrauch verzeichnet, da sich das RBG im Ruhezustand befand. Erst wenn die Anlage heruntergefahren wird, erfolgt kein Energieverbrauch mehr.

Weitere Untersuchungen zum Betrieb können anhand der aufgezeichneten Lagerspiele bzw. der Bewegungsdaten für beide Systeme durchgeführt werden. Diese Daten stehen immer maximal für 20 Tage vom aktuellen Datum zurück zur Verfügung (zehn Tage aktuell plus zehn Tage Archivdaten). Daraus konnte ein durchschnittlicher Durchsatz von 125 Behälter pro Stunde für das OSR ShuttleTM 35b ermittelt werden. Das Projekt umfasst eigentlich nur vier Gassen. Mittlerweile befinden sich allerdings sechs Gassen OSR ShuttleTM 35b im Einsatz. Alle sechs dienen als Grundlage zur Ermittlung des mittleren Durchsatz. Nochmals zur Klarstellung, Durchsatz heißt in diesem Fall, es werden 125 Behälter in einer Stunde ein- oder ausgelagert. Das entspricht einer Auslastung von nur ca. 11 %. Dieser sehr geringe Wert durch auftragsfreie Phasen verursacht. Das bedeutet, es kommt durchaus vor, dass die Anlage für eine Stunde oder auch länger keine Lagerspiele ausführen muss. Folglich beträgt der Durchsatz dann null Ein- oder Auslagerungen pro Stunde. Der maximale Durchsatz einer Gasse OSR ShuttleTM 35b im untersuchten Zeitraum beträgt über 500 Behälter. Damit wird immerhin eine Auslastung von knapp 45 % erreicht. Das könnte noch immer als gering bezeichnet werden,

jedenfalls rangiert der Durchsatz in einer Größenordnung, welche mit einer RBG-Anlage nicht realisierbar ist.

Die Analyse der Energieaufwandsberechnung für ein OSR ShuttleTM 35b nach Hude (2011, S.45ff) ergab, dass die Kalkulation auf einem linearen Zusammenhang basiert. Folglich kann die Ermittlung des Energieverbrauchs im Einsatz anhand des Durchschnittsdurchsatz ausgeführt werden. Ansonsten hätte dies anhand einer Klassifizierung oder statistischen Verteilung geschehen müssen. Der Energieverbrauch pro Stunde und Gasse ergibt sich für einen Durchsatz von ca. 125 Behältern in der Stunde somit zu **1,19 kW** (eigentlich kWh/h). Im Einsatz bei maximaler Auslastung steigt der Konsum auf **3,77 kW**. Die maximale Auslastung wird durch die Leistungsfähigkeit der Lifte begrenzt. Die Ebenenbediengeräte schaffen im Vergleich eine höhere Anzahl an Lager spielen. Auch wenn die Lifte größere Geschwindigkeiten und Beschleunigungen fahren, ist diese Tatsache leicht nachvollziehbar, denn immerhin müssen zwei Lifte 30 Ebenen bedienen. Berücksichtigt man nun 15 Jahre Nutzungsdauer mit einer Einsatzzeit von 52 Wochen zu je sieben Tage die Woche und 24 Stunden je Tag, errechnet sich über den gesamten Betrachtungszeitraum ein Energieverbrauch von **155,6 MWh**. Wirklich interessant wird dieser Bereich aber erst im Vergleich der beiden Konzepte OSR ShuttleTM 35b und RBG - Smart Storage, Abschnitt 8.4. In diesem Kapitel findet sich auch die tabellarische Form des Energieverbrauchs und die Herstellung der Nutzengleichheit.

7.4.4. Service und Wartung

In der Einleitung des Unterkapitels 7.4 werden zwei Bereiche zur Untersuchung in Service und Wartung definiert. Der Punkt Personaltransport kann allerdings gestrichen werden, denn die Instandhaltung wird durch Personal von KNAPP UK, welches in der Betriebsstätte vor Ort postiert ist, durchgeführt. Somit fallen die Belastungen durch Reisen weg. Denn, wie auch im Abschnitt Inbetriebnahme (7.4.2) schon begründet, würde die Aufnahme in die Bilanz auf Grund des Flugtransportes erfolgen. Somit verbleibt noch ein zu analysierender Bereich: Ersatzkomponenten und Austauschintervalle. Berücksichtigt werden nur jene Komponenten, die aufgrund dauerhaften Betriebes verschleifen. Bauteile, die außerordentlichen Schaden nehmen und ersetzt werden müssen, sollen nicht bilanziert werden. Das würde die allgemeine Aussage über den Vergleich der beiden Systeme verfälschen.

Die Untersuchung wurde von KNAPP UK unterstützt, die Daten über Ersatzteile zur Verfügung stellten. Leider unterlief der zuständigen Person bei der Feststellung der Ersatzteile ein Fehler. Es wurde die falsche Anlage, OSR ShuttleTM 32, zur Betrachtung herangezogen. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass für die eigentliche Anlage ohnehin nur wenige Daten zur Verfügung stünden, da diese noch nicht sehr lange

in Betrieb ist. Um das Problem zu lösen, werden die zu ersetzenden Komponenten und Intervalle von der OSR ShuttleTM 32 abgeleitet. Da die Anlagen aber in einigen Bereichen unterschiedlichen Konzepten folgen, müssen zusätzlich noch weitere Ersatzteile hinzugefügt werden. Bei den servicierten Bauteilen handelt es sich um

- Motoren und Antriebsrollen
- Zahn- und Keilrippenriemen
- Stromabnehmer
- Leiterplatten
- Rollenketten.

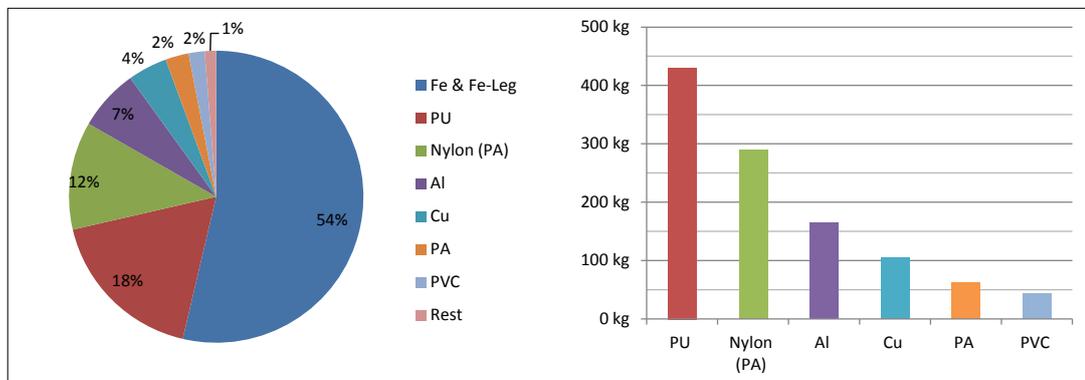


Abbildung 7.20.: Materialaufwand in Service und Wartung für das OSR ShuttleTM 35b

Insgesamt beläuft sich das ersetzte Material über den Betrachtungszeitraum auf ca. 2.430 kg. Davon betragen Eisen und Eisenlegierungen 54 %, das entspricht ca. 1.300 kg. Die Zusammensetzung der Werkstoffe kann Abbildung 7.20 entnommen werden. Die großen Mengen Kunststoff (PA und Nylon) resultieren aus dem regelmäßigen Tausch der Zahnriemen. Diese werden im Schnitt alle 36 Monate ersetzt. Ähnliches gilt auch für die Keilrippenriemen zwischen Antriebs- und Förderrollen, welche allerdings nur einen Bruchteil ausmachen.

Einen interessanten Punkt stellen in dieser Sparte die umweltrelevanten Seltenen Erden dar. Wie Abbildung 7.21 zeigt, liegt der Aufwand an den umstrittenen Seltenen Erden durch den regelmäßigen Ersatz der Antriebskomponenten deutlich über jenem in der Erstproduktion der Anlage (vgl. Grafik 7.8, S.62).

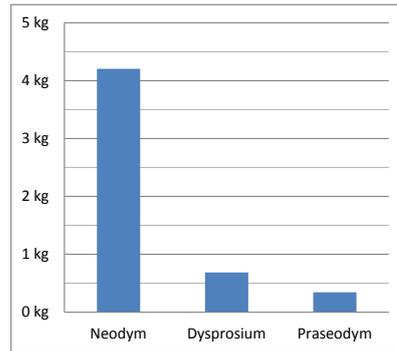


Abbildung 7.21.: Seltene Erden verbraucht durch Service & Wartung

7.4.5. Schlussfolgerungen aus der Teilbilanz Betrieb

Das Fazit in diesem Bereich lässt noch viele Interpretationsmöglichkeiten offen, die erst im Vergleich sich eindeutiger präsentieren werden. Betrachtet man die Bereiche separat, gibt es nur wenige Auffälligkeiten.

Die Monteure für Mechanik und Elektrik reisen zum Beispiel ohne Werkzeug. Das wird nämlich mit der ersten Materiallieferung zur betreffenden Baustelle mitgeliefert. Weiters sind die Montagetrupps normalerweise in sechs-Mann-Trupps eingeteilt und reisen üblicherweise per Minivan bzw. Sechssitzer-Fahrzeug zu den Destinationen (zumindest innerhalb des Festlandes Europas). Dabei handelt es sich um unternehmensspezifische Regelungen, die aus ökologischer Perspektive mit ziemlicher Sicherheit positiv bewertet werden können. Im Bereich Inbetriebnahme und Begleitphase sind üblicherweise weniger Personen beteiligt, deshalb wird der Flugverkehr bevorzugt. Ebenso reist das Werkzeug mit dem Monteur, da Größe und Gewicht sich in einem entsprechenden Rahmen bewegen.

Das ist vor allem auch durch die moderateren Kosten für Übergepäck heutzutage vertretbar.

Im Betrieb ist die Ausstattung der Anlagen mit Energierückgewinnungssystemen bzw. Energiemanagement zu erwähnen. In Brems- bzw. Verzögerungsphasen wird die kinetische Energie genutzt um elektrische Leistung zu generieren und diese wird innerhalb der Anlagen zum Verbrauch zur Verfügung gestellt. Erkennen lässt sich aber eigentlich nur, dass im Gegensatz zum Betrieb mit einem Verbrauch von 155,6 MWh die anderen Teilbilanzen sich nur im Prozent- und Promillebereich davon bewegen.

Der Bereich Service und Wartung überzeugt durch innovative Konzepte, durch wel-

che Reisen, Kosten und Zeit eingespart werden sollen. Auch wenn diese Innovationen vornehmlich ökonomische Hintergründe besitzen, beeinflussen sie auch die ökologische Bilanz positiv. Zahlreiche Ansätze wurden in diesem Bereich entwickelt (z.B. KiSoft Web Eye, e-insight, KNAPP Academy etc.). Im Falle dieses Projekts handelt es sich um die dauerhafte Bereitstellung von KNAPP Personal direkt beim Kunden, um die Anlage zu betreiben und zu betreuen, sogenanntes Service on-site. Die Materialseite wurde durchleuchtet und zeigt einen erheblichen Aufwand über die Lebensdauer, der aber wiederum erst im Vergleich zum zweiten System wirklich zur Geltung kommen kann.

Da die anschließenden Phasen Weiter-, Wiederverwendung, Recycling und Entsorgung nicht in den Bilanzraum (vgl. Abbildung 5.6, S.39) miteinbezogen werden, endet hier die Sachbilanzerstellung und es folgt das nächste Kapitel bezüglich des Vergleichs zwischen OSR ShuttleTM 35b und RBG - Smart Storage.

8. Vergleich OSR ShuttleTM 35b vs. RBG - Smart Storage in den Teilbilanzen

In diesem Kapitel sollen die wichtigsten Unterschiede in Bezug auf die Ergebnisse der einzelnen Bereiche beider Systeme herausgearbeitet und offengelegt werden. Es wird dazu nicht das RBG - Smart Storage separat vorgestellt, auch wenn die Analyse prinzipiell genauso durchgeführt wurde wie für das OSR ShuttleTM 35b. Der Fokus liegt wie schon des Öfteren erwähnt beim OSR ShuttleTM System, deshalb wird nur mehr auf den Vergleich der beiden Anlagen eingegangen, um die Stärken und Schwächen der beiden Konzepte gegenüberzustellen. Auch aus der theoretischen Perspektive ist dieses Kapitel wertvoll. Sachbilanzen stellen durch den Bezug zu einer funktionalen Einheit ohnehin ein relatives Werkzeug dar (ISO 14040, 2006, S.7). Prinzipiell wird für ein Produktsystem eine absolute Bilanz erstellt. Diese ist aber wenig aussagekräftig, solange es keine zu vergleichenden Werte gibt. Um diese zu ermitteln, bestehen mehrere Möglichkeiten. Entweder können durch Sensitivitäts- und Szenarioanalysen die Auswirkungen von Änderungen gegenübergestellt werden oder es wird wie in diesem Fall, ein zweites Produktsystem herangezogen, um die entstehenden Umweltwirkungen auch vergleichsweise beurteilen zu können. In den nächsten Abschnitten werden die Lebenszyklusphasen parallel dargestellt, so dass ein Abbild der beiden Systeme entsteht.

8.1. Material- und Energieflüsse in der SC im Vergleich

Wie schon in der Sachbilanz, Abschnitt 7.1 - Lieferant, angemerkt, erschweren zahlreiche Einflussgrößen und Differenzen die Vergleichbarkeit der beiden Systeme. Um eine gültige relative Bilanzierung aufzustellen, erfolgt die Ermittlung der Belastungen in den einzelnen Wirkungskategorien indirekt mit Hilfe von Datenbanken (GEMIS und ProBas) (Klöpffer & Grahl, 2009, S.136f). Nur die beiden Kategorien, Lohnfertigung und Regale fließen tatsächlich in die Bilanzierung und somit den Vergleich ein. Diese beiden stellen wesentliche Komponenten dar, deren Vernachlässigung zur Beeinflussung der Bilanz zu Gunsten bzw. Ungunsten eines Systems führen würde. Der Hintergrund dazu wurde bereits in Abschnitt 7.1 (S.50) erläutert.

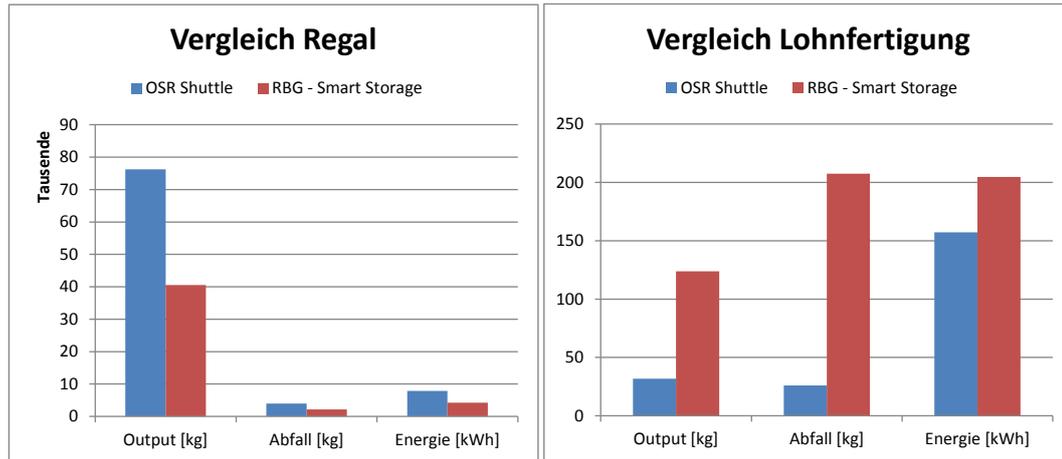


Abbildung 8.1.: Vergleich Regal und Lohnfertigung der beiden System

Abbildung 8.1 zeigt einen deutlichen Stahl-Mehraufwand in der Regalkonstruktion der Shuttle Anlage. Einige Unterschiede wurden bereits erklärt, z.B. dass das RBG lediglich einen Satz Fahr(Boden-)schienen bzw. einen Satz Führungs(Kopf-)schienen benötigt. Ein weiterer ist der angesprochene Zusatznutzen des OSR ShuttleTM 35b (gilt auch für andere Shuttle Anlagen), die Servicebühnen und -levels, deren Anteil beträgt immerhin zehn Tonnen. Allerdings kann dieser Zusatznutzen nach den Regeln der funktionalen Einheit und der Äquivalenz (siehe 4.4, S.22ff und 5.4, S.34ff) nicht einfach dem RBG zugerechnet werden. Die bessere Lösung wäre, die Servicebühnen und -levels beim OSR ShuttleTM 35b abzuziehen. Der größere Materialaufwand wirkt sich auch auf den Energieverbrauch und den anfallenden Abfall aus. Zur Datenerhebung muss angemerkt werden, dass für das RBG die Stahlmasse gemeinsam mit dem Einkauf des Unternehmens aus den Angebots- und Auftragsunterlagen errechnet wurde, da zum Lieferanten kein Kontakt mehr besteht. Die Bewertung erfolgte dann zu den Konditionen von Lieferant F. Für die Bodenschienen und auch die RBG-Teile, wurden die Parameter auf Anraten des Einkaufs noch etwas modifiziert, da die Bearbeitung aufwendiger ist.

Das rechte Diagramm aus Abbildung 8.1 stellt die Bilanz eines ausgewählten Lohnfertigers dar. Beim RBG - Smart Storage kommen noch zahlreiche weitere Teile dazu (vgl. Abbildung 7.13, S.66). Der verhältnismäßig geringe Unterschied im Energieverbrauch resultiert aus den zu fertigenden Teilen. Während beim RBG nahezu ausschließlich Drehteile (geringer Energieverbrauch) gefertigt wurden, handelt es sich beim OSR ShuttleTM nahezu ausschließlich um Fräskomponenten (deutlich höherer Energieverbrauch). Die Daten fließen später in die Darstellung des Energieverbrauchs in der Produktion ein, um den Faktor Lohnfertigung zu berücksichtigen.

Mit der Berücksichtigung dieser beiden elementaren Bereiche kann die Analyse tatsäch-

lich ernsthaft unterstützt und verbessert werden. Alle anderen Angaben sind zu vage, um sie guten Gewissens zu bilanzieren. Im Sinne der Genauigkeit, Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit ist es sinnvoll sich allein an die Datenbanken zu halten.

8.2. Material- und Energieaufwand in der Herstellung

Die beiden Systeme, die Bilanzierung an sich und auch die Wichtigkeit des Vergleichs wurden im Detail erläutert, somit kann direkt die Ergebnispräsentation folgen. Vorneweg, die gewählten Anlagen (siehe Tabelle 5.1, S.37) weisen unterschiedliche Gassenlängen auf. Damit ein gültiger Vergleich erzeugt werden kann, müssen alle Material- und Energieflüsse des RBG - Smart Storage auf eine fiktive Länge, die der des OSR ShuttleTM 35b gleicht, bezogen werden. Die fiktive Länge weicht leicht ab, da darauf geachtet wurde, dass die Gasse mit einem ganzen Behälter endet (bei exakt gleicher Regallänge würden 99,4 Behälter benötigt). Die fiktive Regallänge wird mit 100 Stellplätzen in X-Richtung festgelegt. Das bedeutet zusätzlich auch, dass nicht nur eine ganze Behälterzahl, sondern auch eine ganze Zahl an Regalmodulen ermöglicht wird. Ein Modul fasst fünf Behälter in X-Richtung, somit werden 20 Module benötigt. Diese fiktive Veränderung wäre folglich tatsächlich ausführbar.

8.2.1. Materialbilanzierung im Vergleich

Gemäß der oben angeführten Abänderung müssen betroffene Komponenten entsprechend angepasst werden. Ähnlich wie in der Kostenrechnung gibt es einen fixen Teil (keine Veränderung durch kürzere Gassenlänge) und einen variablen Teil (abhängig von der Länge). Allerdings hängen nicht alle betroffenen Bauteile im selben Ausmaß von der Länge ab. Folgende Komponenten müssen für die Anpassung in Augenschein genommen werden:

- Regal (inkl. Kopfschienen)
- Bodenschienen
- Stromschienen
- Kabel
- Kabeltassen
- Kleinteile für Gassenausrüstung und Stromschienenmontage

Die Abhängigkeit des Regals bietet sich offensichtlich an und kann simpel anhand der Veränderung der Behälteranzahl in X-Richtung umgerechnet werden.

$$\text{Umrechnungsfaktor Länge} = \frac{100\text{Beh.}}{130\text{Beh.}}$$

Die Bodenschienen wurden nicht einfach mittels Längenfaktor umgerechnet. Normalerweise werden diese nach einer bestimmten Vorgehensweise ausgelegt (erste, letzte und Standardmittenschienen haben fixe Längen, dazu werden ein oder zwei kurze Schienen in der Mitte eingefügt, um die genaue Länge zu erreichen). Für das fiktive Regal wird dieser Methodik gefolgt. Laut Informationen aus der Abteilung Elektrik werden die Elektronikkomponenten der Gasse (Sensoren, Schütze etc.) nicht beeinflusst. Weiters ist auch im Bereich Kabel und Kabeltassen der Einfluss beschränkt. Eine Längenänderung in der vorliegenden Größenordnung würde lediglich wenige Elemente an Kabeltassen betreffen. Diese Veränderung liegt relativ bei ca. 5 %. Das Kabelmaterial verändert sich in ähnlichem Ausmaß wie die Kabeltassen. Schlussendlich wurde die Einsparung noch auf 6 % erhöht, um auch zusätzliche Bauteile wie Abzweigungen, Steig-, Fallstücke etc. zu berücksichtigen. Alle anderen Komponenten werden ebenfalls mittels dem "Umrechnungsfaktor Länge" (siehe oben) bestimmt. Die Erhebung wird anhand des gleichen Grundgerüsts wie die OSR ShuttleTM 35b Analyse durchgeführt. Nach Abklärung der fundamentalen Randbedingungen, die beachtet werden müssen, folgen nun die tatsächlichen Ergebnisse.

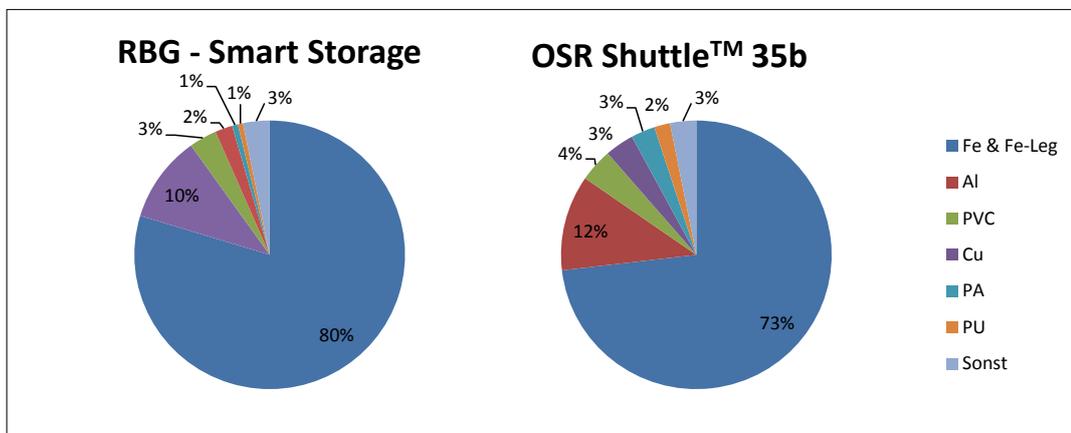


Abbildung 8.2.: Materialzusammensetzung der Systeme im Vergleich

Das RBG - Smart Storage erreicht in Summe ca. 7.830 kg. Abbildung 8.2 zeigt die Aufteilung der intensiv genutzten Materialien in den Systemen. Die massiven RBG-Stahlteile (Masten, Fahrzeug, Mastkopf etc.) verursachen einen noch höheren Stahlanteil im Vergleich zum OSR ShuttleTM 35b. Absolut gesehen ist der Anteil an Stahl allerdings geringer (siehe Abbildung 8.3). Besondere Aufmerksamkeit erlangen die großen Unter-

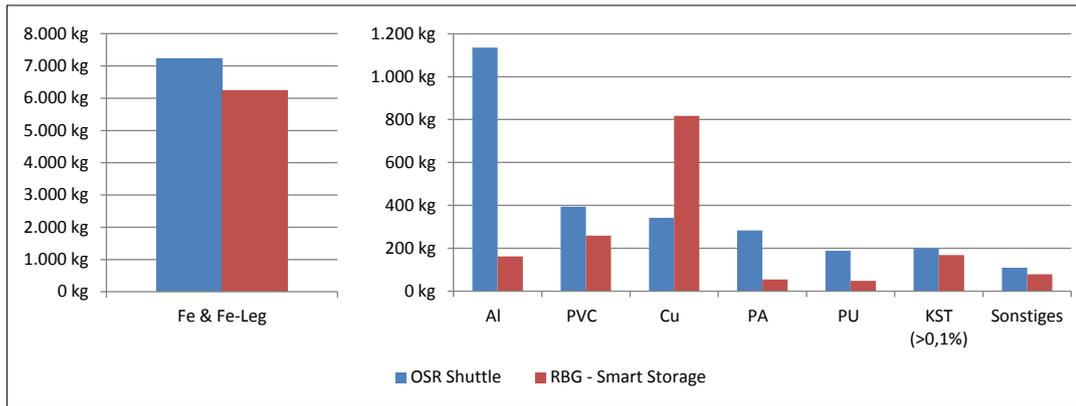


Abbildung 8.3.: Die wichtigsten Materialien in Zahlen

schiede in der Verwendung der Materialien Cu und Al. Der Einsatz von Aluminium ist im RBG deutlich geringer. Der hohe Cu-Anteil resultiert hingegen aus der Verwendung von Kupfer-Stromschienen, während die Ausführung beim OSR ShuttleTM 35b bis zu einer bestimmten Gassenlänge Stahl-Stromschienen verwendet.

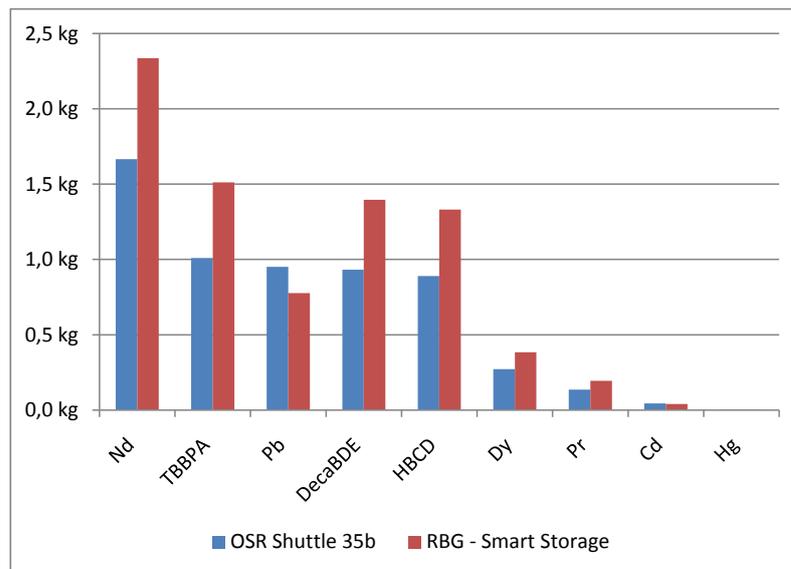


Abbildung 8.4.: Umweltrelevante Materialien im Vergleich

Während das Shuttle System mit Ausnahme von Cu bei allen Werkstoffen einen höheren Verbrauch aufweist, liegt bei den umweltrelevanten Materialien, das RBG-System in den meisten Bereichen voran. Nur die Masse an Blei, verursacht durch den Verbau von mehreren Leiterplatten pro Shuttle, liegt beim OSR ShuttleTM 35b höher. Die anderen

gewählten Schwermetalle (Cadmium und Quecksilber) scheinen in beiden Systemen nur in sehr geringen Mengen auf. Das Vorkommen von Seltenen Erden und Flammenschutzmitteln ist durch den Einsatz von starken Antriebselementen und massiven Einsatz von Elektronikkomponenten beim RBG stärker.

8.2.2. Energiebilanzierung im Vergleich

Mechanische Fertigung

Das Diagramm auf der linken Seite in Abbildung 8.5 zeigt die deutlichen Unterschiede in allen Bereichen der Fertigung zwischen den beiden Konzepten. Es existieren mehrere Gründe für diese Differenz. Bei den massiven RBG-Teilen handelt es sich um grobe Stahlbauteile, welche fertig bearbeitet zugekauft werden. Ebenso wurden im Bereich der kleineren Bauteile zahlreiche Aufträge an Lohnfertiger vergeben. Vor allem aus dem Bereich Drehen und Fräsen wurden viele Teile extern gefertigt, aber auch Werkstücke aus zugeschnittenen und geschweißten Blechen und Flachstählen finden sich häufiger unter den vergebenen Komponenten. Grundsätzlich sorgt die Mehrzahl an Teilen beim OSR ShuttleTM für den größeren Aufwand. Rechts in Abbildung 8.5 erkennt man die Verbesserung der Situation durch die Berücksichtigung der Lohnfertigung. Der Energieverbrauch "je Gasse" beschreibt die Bearbeitung jener Teile, die direkt projektbezogen in Hart bei Graz produziert werden. Der Balken "All incl. je Gasse" schließt weiters die Lageraufträge und die Lohnfertigung mit ein. Das Verhältnis des Energieaufwands $\frac{OSRShuttle35b}{RBG-SmartStorage}$ verringert sich durch Einbindung der zusätzlichen Bereiche von $\frac{8}{1}$ auf $\frac{3}{1}$. Dieses Ergebnis stimmt dann auch mit dem Mehraufwand an prozessierten Halbzeugen und Teilen deutlich besser überein.

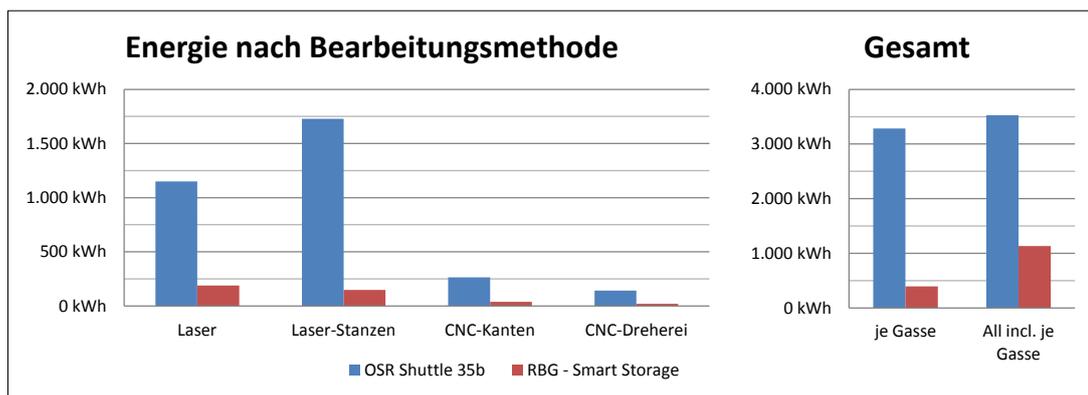


Abbildung 8.5.: Energieverbrauch in der Produktion im Vergleich beider Systeme

Die OSR-Anlage konnte, wie in Abschnitt 7.2.4 (S.65ff) beschrieben, direkt mittels Daten aus dem Unternehmen bewertet werden. Das gilt auch für die Lageraufträge. Für das RBG-System konnten nicht alle dafür nötigen Daten zur Verfügung gestellt werden. Daher wurden die Lageraufträge gleich den Lohnfertigungsaufträgen bewertet. Die Bedingungen zur Beurteilung der Lohnfertigung ergaben sich aus den vorhandenen Informationen aus der Fertigung der KNAPP AG und jenen, die vom Lohnfertiger (Lieferant H) zur Verfügung gestellt wurden. Als Bezug für die Bewertung wurde abgearbeitetes Material in Kilogramm gewählt, da ein Bezug auf die Bearbeitungszeit nicht mehr möglich war. Die ermittelten Werte für die unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren können im Anhang eingesehen werden. Das abgearbeitete Material lässt sich aus den Zeichnungen bestimmen, wobei die Abmessungen der Rohlinge oft geschätzt werden mussten. Von Vorteil ist dabei, dass die älteren Zeichnungen des RBG's selten einer Parametrisierung unterliegen und daher die Daten verwendbar sind und keine gesonderte Gewichtsrechnung durchgeführt werden muss.

Beschichtung

Die Methodik zur Erhebung der Daten in der Beschichtungsanlage wurde bereits in Abschnitt 7.2.4 (S.67) erläutert und kann auch für das RBG so durchgeführt werden. Abbildung 8.6 zeigt den Kohlendioxidausstoß in Kilogramm durch die Propangasverbrennung für beide Anlagen. Es sticht ins Auge, dass das OSR ShuttleTM 35b bereits bei Betrachtung der gesamten Anlage mehr CO₂ als das RBG erzeugt, obwohl einmal vier und einmal 13 Gassen betrachtet werden. Die sich schlussendlich einstellende Differenz überrascht in diesem Bereich nicht mehr wirklich. Auch hier kann die größere Belastung auf den Mehraufwand an Material zurückgeführt werden.

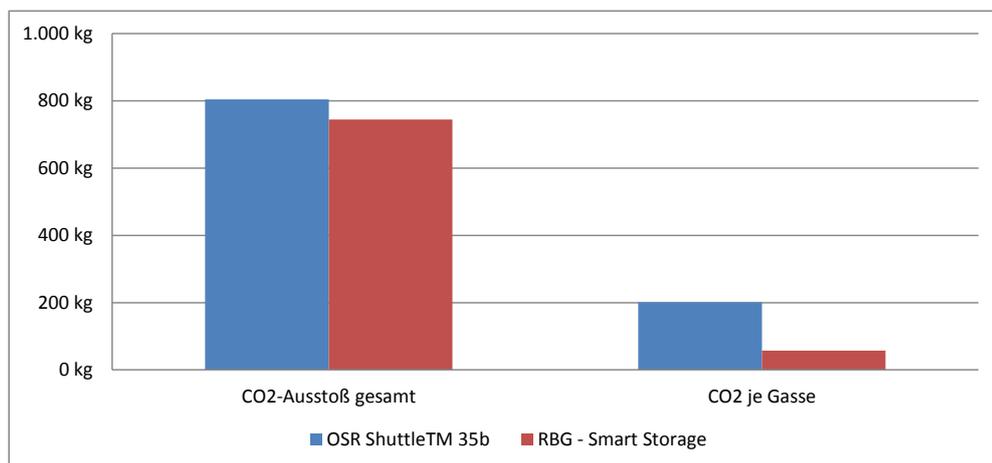


Abbildung 8.6.: CO₂-Ausstoß in der Beschichtung im Vergleich

8.3. Transport und Verpackungsmaterial im Vergleich

8.3.1. Verpackungsmaterial

Das Verfahren zur Erhebung der Verpackungsmaterialdaten wurde bereits im Zuge der unterschiedlichen Ansätze in Abschnitt 7.3.1 erläutert. Auch im Bereich Verpackungsmaterial wird eine geringere Menge verbraucht als beim OSR ShuttleTM 35b. Die Versandabteilung schlägt vor, die Zusammensetzung der Materialien für die Verpackung ident zum Vergleichsprojekt zu wählen. Bei der tatsächlichen Auslieferung wurden mit Sicherheit unterschiedliche Materialien verwendet, aber bezogen auf die heutigen Standards im Unternehmen und auch im Sinne der Vergleichbarkeit, ist diese Wahl zu bevorzugen.

| Verpackungsmaterial je Gasse OSR35B | | Verpackungsmaterial je Gasse RBG | |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|
| Holz | 505,5 kg | Holz | 285,1 kg |
| Karton | 194,4 kg | Karton | 109,6 kg |
| Kunststoff | 38,9 kg | Kunststoff | 21,9 kg |
| LDPE | 36,5 kg | LDPE | 20,6 kg |
| PVC | 1,7 kg | PVC | 0,9 kg |
| PP | 0,7 kg | PP | 0,4 kg |
| Metall (Stahl) | 38,9 kg | Metall (Stahl) | 21,9 kg |
| Gesamt | 777,8 kg | Gesamt | 438,5 kg |

Tabelle 8.1.: Verpackungsmaterialverbrauch - Zahlen und Fakten im Vergleich

Insgesamt entspricht das Verpackungsmaterial, das beim RBG zum Einsatz kommt, ca. 56 % der Menge für eine Gasse der OSR ShuttleTM Anlage. Also befindet sich das RBG - Smart Storage auch in diesem Bereich eindeutig im Vorteil. Für das Verpackungsmaterial wird keine Weiterverwendung angerechnet. Das wäre reine Spekulation, da keinerlei Informationen vorhanden sind, wie damit weiter verfahren wird. Eine Ausnahme stellen EUR-Paletten dar. Allerdings kommen solche eher selten zum Einsatz. Lediglich Güter die bereits auf EUR-Paletten angeliefert werden, werden auch so versendet. Ansonsten werden nur Einwegpaletten verwendet. Folglich ist die Annahme, dass das Material an dieser Stelle in die Entsorgungsphase übergeht, legitimiert.

8.3.2. Transporte

In der Lieferantenbilanz (Abschnitte 7.1 und 8.1) wurde bereits angemerkt, dass zu vielen Lieferanten des RBG-Projekts keine Kontakte mehr bestehen. Folglich standen

auch bezüglich der Transporte weniger Informationen zur Verfügung. Dennoch konnten ungeachtet des Regals (eigener Bilanzpunkt) annähernd 80 % der Gesamtmasse erreicht werden, für welche die Transportdistanz detailliert analysiert wurde. In der Analyse beider Systeme muss auf das jeweilige Transportgewicht geachtet werden. Das Transportgewicht verändert sich gemäß der Materialbilanzierung. In Abbildung 8.7 wird die Summe aller Transporte illustriert. Dieses Diagramm beinhaltet die ganzheitliche Transportbilanz von der Anlieferung von Halbzeugen und Zukaufprodukten über die Aus- und Direktlieferung (von Produkt bzw. Regal) bis hin zum Rücktransport der Shuttle-Transportgestelle. Erneut zeigt sich die Dominanz der LKW-Fracht. Die Bahn als Transportmittel bzw. der dafür einstehende grüne Balken ist für beide Anlagen nicht einmal mehr erkennbar und könnte daher auch vernachlässigt werden. Das Verhältnis liegt auf einem ähnlichen Niveau wie beim Verpackungsmaterial zuvor und beträgt ca. 57 %.

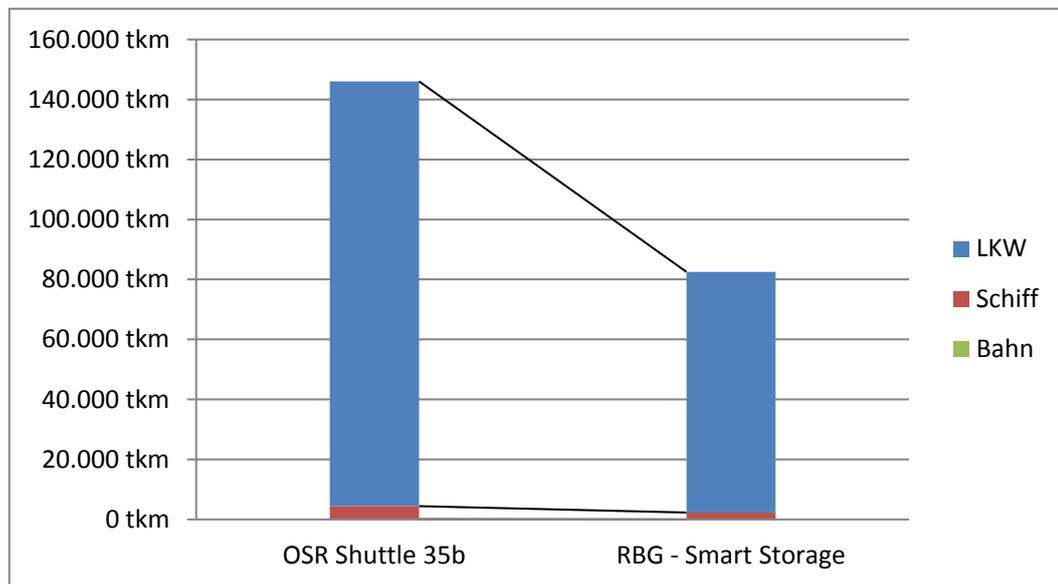


Abbildung 8.7.: Die Transportbilanzen zu beiden Anlagen im Vergleich

8.4. Betrieb der Anlagen im Vergleich

8.4.1. Inbetriebnahme

Im Gegensatz zum OSR ShuttleTM 35b existiert beim RBG - Smart Storage kein zu bilanzierender Materialaufwand in der Inbetriebnahme. Es befinden sich bei der Mon-

tage sehr wohl Hebebühnen und Kräne im Einsatz. Diese arbeiten aber nur wenige Wochen für das Produkt und wandern dann weiter zur nächsten Baustelle. Das bedeutet, der Ressourcenverbrauch verteilt sich auf zahlreiche Produkte und Dienstleistungen. Es dürfte nur ein Bruchteil der Hebebühne dem untersuchten System angelastet werden. Da das nahezu unmöglich ist, macht es Sinn diesen Aufwand zu vernachlässigen. Kein Materialfluss bedeutet folglich auch keine Energieflüsse in mechanischer Fertigung und Beschichtung. Somit bleibt nur mehr der Aufwand durch Personalreisen im Zuge der Montage (Elektrik und Mechanik) sowie für die Inbetriebnahme und die Begleitphase. Tabelle 8.2 zeigt die Erweiterung der aus Kapitel 7.4.2 bekannten Aufstellung über Personaltransporte für das OSR ShuttleTM 35b.

| | OSR Shuttle TM 35b | | | | | | | RBG (ASRS) Anlage | | | | |
|---------------|-------------------------------|----------|----------------|--------------|--------|--------|----------|-------------------|----------------|--------------|--------|--------|
| | Montage | | Inbetriebnahme | Begleitphase | | | Montage | | Inbetriebnahme | Begleitphase | | |
| | Mechanik | Elektrik | | 10% | 30% | 60% | Mechanik | Elektrik | | | | |
| Personen [#] | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Dauer [Wo] | 5-6 | 5-6 | 6 | 10 | 2 | 2 | 2 | 5-6 | 5-6 | 6 | 4 | 4 |
| Anreisen [#] | 1 | 1 | 1 | 1 | 3-4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| # Flüge | 6 | 6 | 6 | 4 | 14 | 8 | 4 | 6 | 6 | 4 | 2 | 4 |
| Werkzeug | nein | nein | 25 kg | 25 kg | 25 kg | 25 kg | 25 kg | nein | nein | 25 kg | 25 kg | 25 kg |
| Körpergewicht | 74 kg | | | | | | | 74 kg | | | | |
| Gepäck | 20 kg | | | | | | | 20 kg | | | | |
| Reisegewicht | 94 kg | 94 kg | 119 kg | 119 kg | 119 kg | 119 kg | 119 kg | 94 kg | 94 kg | 119 kg | 119 kg | 119 kg |
| Distanz | 1295 km | | | | | | | 1295 km | | | | |
| tkm | 730 | 730 | 925 | 616 | 216 | 370 | 370 | 730 | 730 | 616 | 308 | 616 |
| tkm Gesamt | 3957 | | | | | | | 3002 | | | | |
| tkm je Gasse | 989 | | | | | | | 750 | | | | |

Tabelle 8.2.: Personaltransport in der Inbetriebnahmephase im Vergleich

Im Normalfall liegt der Reiseaufwand beim RBG also auf einem geringeren Level, allerdings wirken sich Problemfälle dort meist heftiger aus. Betrachtet man das Szenario eines Crashes, sind die Konsequenzen beim tonnenschweren RBG weitaus massiver, als wenn ein Shuttle (ca. 100 kg) einen Crash verursacht. In solchen Fällen würde sich dieser Teil der Bilanz erheblich verändern.

8.4.2. Energieaufwand der Anlagen im Betrieb

Anhand von Tabelle 8.3 werden nun kurz die Ergebnisse und die Vorgehensweise zur Ermittlung des Energieaufwands über 15 Jahre Betrieb vorgestellt. Zur visuellen Unterstützung können die Resultate auch noch der Abbildung 8.8 entnommen werden. Sowohl die Grafik als auch die Tabelle bieten einen Überblick über das OSR ShuttleTM 35b, das Original-RBG, wie es vor Ort installiert ist, sowie das fiktive RBG, das in einer kürzeren Gasse, die der Länge der OSR-Anlage entspricht, operiert.

Das Faktum Gassenlänge ist in der Zeile Länge X ersichtlich. Wie zuvor erwähnt, bleibt durch die Auslegung auf eine volle Behälterzahl eine kleine Differenz bestehen. Der max.

| | RBG original | RBG fiktiv | OSR 35b |
|-------------------------------------------------------------|--------------|------------|---------|
| Beh. X | 130 | 100 | 96 |
| Beh. Y | 31 | 31 | 30 |
| Beh. Z | 4 | 4 | 4 |
| Beh. Ges. | 16.120 | 12.400 | 11.520 |
| Länge X | 68,5 m | 52,7 m | 52,4 m |
| Länge Y | 14,5 m | 14,5 m | 14,5 m |
| max. Durchsatz | 252 | 272 | 1176 |
| Durchsatz | 83,5 | 83,5 | 124,7 |
| Auslastung | 33,1% | 30,7% | 10,6% |
| Leistung | 4,177 kW | 4,097 kW | 1,19 kW |
| Leistung max | 10,5 kW | 11,0 kW | 3,77 kW |
| Leistungsfaktor | | | |
| Ist | 1,494 | 1,494 | 1 |
| Max | 4,667 | 4,324 | 1 |
| LE-Faktor | 1,399 | 1,076 | 1 |
| Leistung | | | |
| je Ladeeinheit | 0,259 W | 0,330 W | 0,103 W |
| leistungsgerecht je Ladeeinheit | 0,387 W | 0,494 W | 0,103 W |
| leistungsgerecht je Gasse | 6,2 kW | 6,1 kW | 1,2 kW |
| Max. Leistung je LE (leistungsgerecht) | 3,032 W | 3,821 W | 0,327 W |
| Max. je Gasse | 48,9 kW | 47,4 kW | 3,8 kW |
| leistungsgerechter Energieverbrauch über Lebensdauer | | | |
| je Gasse | MWh | MWh | MWh |
| Ist | 817,8 | 802,1 | 155,6 |
| Max | 6.404,3 | 6.208,7 | 493,7 |
| je LE | kWh | kWh | kWh |
| Ist | 50,7 | 64,7 | 13,5 |
| Max | 397,3 | 500,7 | 42,9 |

Tabelle 8.3.: Vergleich des Energieaufwandes im Betrieb der Anlagen

Durchsatz entspringt Simulationen der KNAPP AG. Üblicherweise existieren Richtlinien, denen solche Untersuchungen folgen. Für die vorliegende RBG-Anlage wurde aber gemeinsam mit dem Kunden ein Standard- bzw. Referenzlagerspiel ermittelt. Daher erfolgte die Bestimmung des maximalen Durchsatzes auch anhand dieses Lagerspiels. Die Verkürzung des Regals lässt laut den Simulationen folglich eine Durchsatzsteigerung von 252 auf 272 Behälter zu, die pro Stunde ein- und ausgelagert werden. Die tatsächlichen Durchsätze wurden aus der Bewegungsdatenbank der Anlagen ermittelt. Da die Messung des Energieverbrauchs für das RBG - Smart Storage im realen Betrieb erfolgte, wurde zudem darauf geachtet, dass der Zeitraum der Energieerhebung mit jenem der Bewegungsdatenaufnahme übereinstimmt. Aufgrund des höheren maximalen Durchsatzes ist die Auslastung beim fiktiven RBG folglich etwas geringer. Die Leistung, bemessen in kW (da kWh/h), unterscheidet sich durch folgende Begründung: Bei-

de RBG's arbeiten bei gleichen Beschleunigungen und Höchstgeschwindigkeiten, somit verursachen sie im Betrieb die gleichen elektrischen Belastungen am Netz. Da aber die Länge der Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit in der kürzeren fiktiven RBG-Gasse im Schnitt über eine geringere Distanz gehen, ergibt sich ein Einsparungspotenzial. Dieser geringere Energieverbrauch durch kürzere Konstantfahrten wurde analysiert und berücksichtigt (siehe Anhang Abschnitt B.3, Tabelle B.21). Der Energieaufwand bei maximalem Durchsatz wurde nicht einfach linear aufgerechnet. Zumindest wird beachtet, dass ein gewisser Grundbedarf an Energie auch im Stillstand geleistet werden muss (keine Lagerbewegungen am 25. Dezember ermöglichen diese Berechnung). Der Grund, dass bei maximaler Auslastung nun der höhere Energieaufwand beim fiktiven RBG auftritt, liegt am höheren Durchsatz. Denn dadurch treten zusätzliche Beschleunigungsphasen auf und diese wiegen schwerer als die Ersparnis durch die kürzeren Fahrten. Der Energiebedarf des OSR ShuttleTM 35b wird anhand der Simulation und Berechnung aus der Bachelorarbeit von Hude (2011) ermittelt.

Der folgende Leistungsfaktor beschreibt das Verhältnis des Durchsatzes beider Anlagen zueinander, erstens im Ist-Betrieb und zweitens bei maximaler Auslastung. Aufgrund des höheren max. Durchsatzes des fiktiven RBG's erreicht es bei maximaler Auslastung einen geringeren Leistungsfaktor. Den Hintergrund für die Anwendung dieses Faktors bildet die funktionale Einheit. Der zweite Faktor stellt den Vorteil der höheren Anzahl an Stellplätzen des RBG's dar. Dieser Faktor wird aber nicht angewendet, da sowieso ein Bezug auf eine Ladeinheit hergestellt wird.

Im zweiten Abschnitt der Tabelle wird der Energieaufwand aller drei Varianten unter Berücksichtigung des Leistungsfaktors ermittelt. Das geschieht jeweils für die Ist-Auslastung und für die Maximal-Auslastung und auch für beide Bezüge (die gesamte Gasse oder eine Ladeinheit). Das Resultat nach dieser Berechnung stellt einen leistungsgerechten Energieverbrauch der Systeme dar.

Die Betrachtung des gesamten Beobachtungszeitraumes (15 Jahre) folgt im letzten Abschnitt. Die beiden grau hinterlegten Werte geben schlussendlich den Energieverbrauch beider Systeme preis. Hier werden die Stärken des OSR ShuttleTM eindeutig sichtbar. Der Energieverbrauch des RBG - Smart Storage liegt im Ist-Betrieb mehr als fünf mal so hoch. Bei maximaler Auslastung überschreitet es sogar den Faktor 12,5. Bezogen auf die Ladeinheiten schrumpft die Differenz ein wenig, da die RBG-Regale mehr Stellplätze bieten.

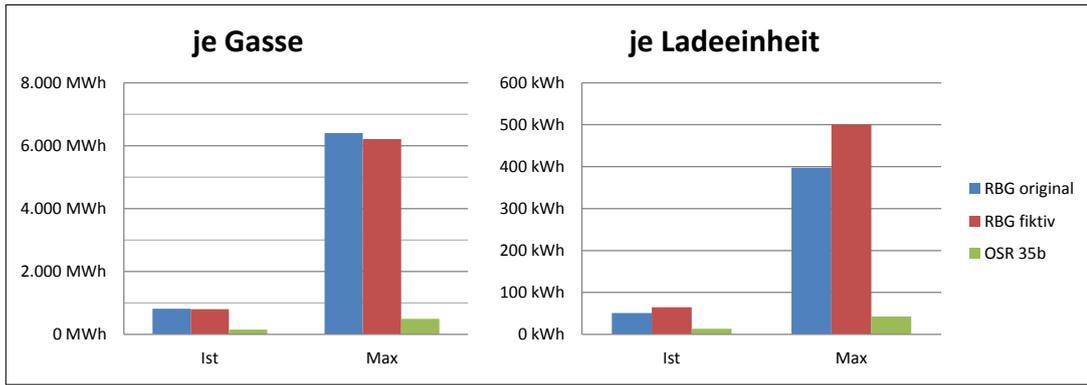


Abbildung 8.8.: Energievergleich im Betrieb der Anlagen

8.4.3. Service und Wartung im Vergleich

Das etwas ältere RBG - Smart Storage bietet eine solide Basis für die Analyse und Bewertung der Phase von Service und Wartung. Die Daten dafür stammen ebenfalls von KNAPP UK. Allerdings liegt vor Ort ein außerordentliches Problem bezüglich der Servomotoren (Fahrmotoren des RBG's) vor, weshalb die Anzahl der ersetzten Komponenten bzw. die Serviceintervalle dafür modifiziert wurden. Die auszutauschenden Bauteile stimmen großteils mit denen bei der OSR ShuttleTM Wartung überein (siehe Unterkapitel 7.4.4). Nur befinden sich keine Leiterplatten im Einsatz, die ersetzt werden müssten. Dafür kommt eine andere Komponente im verstärkten Ausmaß hinzu - die Reibräder.

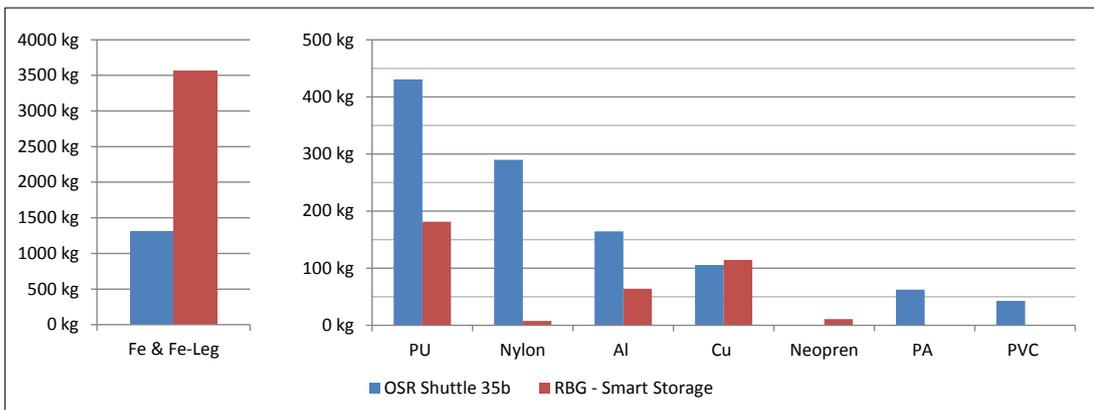


Abbildung 8.9.: Materialverbrauch durch Service und Wartung im Vergleich

Abbildung 8.9 bietet einen Überblick über die am häufigsten auftretenden Komponen-

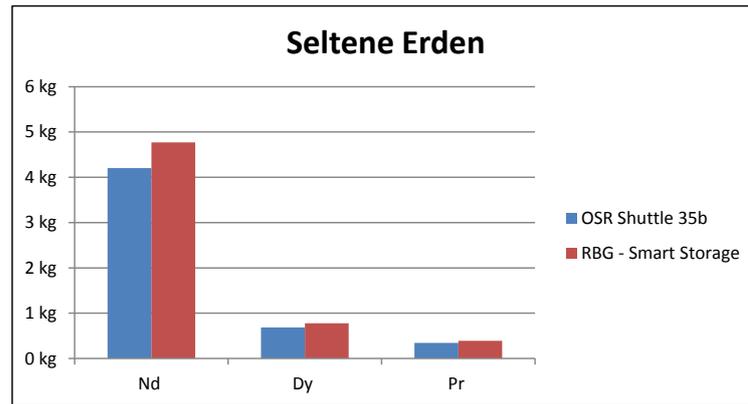


Abbildung 8.10.: Aufwand Seltener Erden verursacht in Service und Wartung

ten. Während das Shuttle im Bereich der Kunststoffe einen größeren Verbrauch zeigt (verursacht durch die Zahnriemen), verursachen die großen Reibräder und die großen Motoren des RBG's einen enormen Stahlaufwand. Dieser liegt schlussendlich drei mal so hoch wie beim OSR ShuttleTM 35b. Die Seltenen Erden zeigen erneut, das bereits aus der Shuttle Analyse bekannte interessante Bild (siehe Abbildung 8.10). Im Vergleich zur ursprünglichen Produktion tritt durch den regelmäßigen Tausch der Antriebselemente ein höherer Aufwand an Seltenerdmetallen auf. Im Falle des RBG - Smart Storage liegen diese sogar noch über denen des OSR ShuttleTM 35b.

8.5. Erstellen der Gesamtbilanz und abschließender Vergleich

Aus allen bis dato gesammelten Informationen lässt sich eine kompakte Gesamtbilanz erstellen. Die tabellarische Darstellung ist Anhang B.4 ersichtlich. Mit Hilfe von drei Grafiken können die wesentlichen Ströme der beiden Produkte einander gegenüber gestellt werden und folglich auch Aussagen über das Gesamtsystem abgeleitet werden. Abbildung 8.11 widmet sich dem Materialaufwand über den gewählten Betrachtungszeitraum. Das Diagramm besitzt eine logarithmische Skalierung, weshalb die Datenbalken auch mit Werten versehen sind. Ansonsten werden große Differenzen, wie etwa beim Regal, aufgrund der annähernd gleich hohen Balken noch übersehen. In der Grafik werden unterschiedliche Materialströme dargestellt. Das Regal und die Produktion beinhalten sowohl den Materialoutput als auch die Abfälle, während im Bereich Lieferant nur die Abfälle angeführt werden. Auf diese Weise wird der Gesamtmaterialaufwand erfasst, ohne dass Daten doppelt bilanziert werden. Die restlichen Phasen sind voneinander abgetrennt, daher muss nicht auf solche Details geachtet werden.

Die wesentlichen Dinge, die sich in Abbildung 8.11 präsentieren, sind

- die große Menge Stahl verursacht durch das Regal, wobei das OSR ShuttleTM 35b das RBG noch weit übertrifft (nochmal der Hinweis auf den Zusatznutzen und die Diskussion die Stahlmenge um zehn Tonnen zu reduzieren)
- Produktion und Service und Wartung gemeinsam betrachtet, ergeben wieder eine Annäherung des RBG an das Shuttle System
- der höhere Materialverschleiß im Bereich Lieferant zeigt die stärkere Nutzung von externer Lohnfertigung.

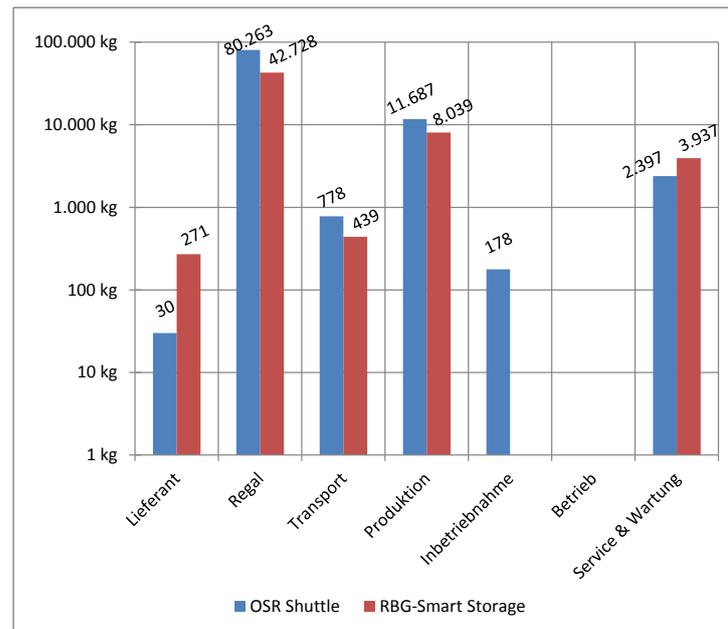


Abbildung 8.11.: Materialaufwand über alle Lebenszyklusphasen im Vergleich

In der Abbildung 8.12 folgt der Energieverbrauch in den einzelnen Phasen. Auch in diesem Diagramm erfolgte die Skalierung der y-Achse logarithmisch. Die Grafik lässt erkennen, dass

- der Betrieb alle anderen Bereiche enorm überschattet
- das Regal für die produzierte Masse einen relativ geringen Energieverbrauch aufweist (nicht ungewöhnlich)
- die in Kapitel 7.2 vorgestellte Thematik zwischen Eigen- und Lohnfertigung hier aufgesplittet auf die beiden Bereiche betrachtet werden kann.

Abschließend folgt noch die Transportbilanz. Diese zählt eigentlich zum Bereich der

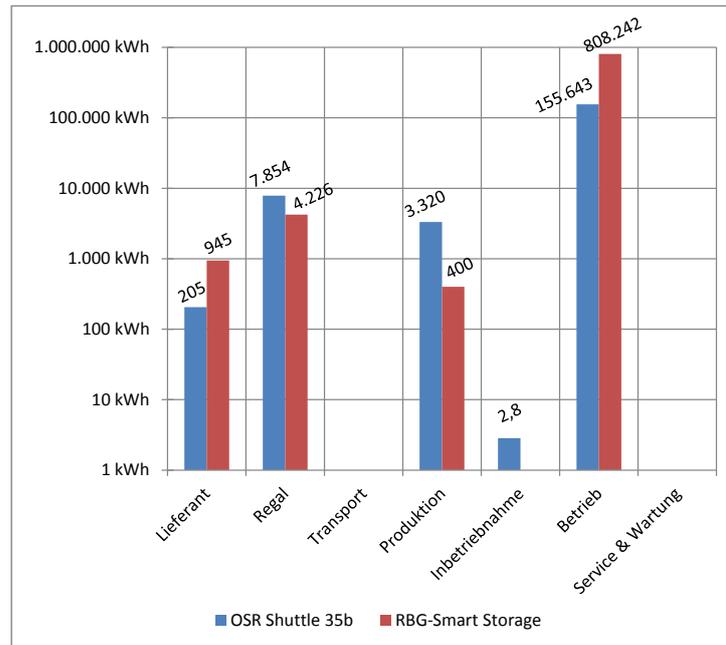


Abbildung 8.12.: Energieaufwand über alle Lebenszyklusphasen im Vergleich

Energiebilanzierung, wird aber aufgrund der unterschiedlichen Einheiten, anhand welcher die Bewertung in der Ökobilanz erfolgt, getrennt veranschaulicht. Abbildung 8.13 zeigt die vollständige Transportbilanz. Im Vergleich zu den Teilbilanzen Transport findet sich hier auch der Personaltransport in der Inbetriebnahme inbegriffen. Dieser ist anteilmäßig sehr gering, nutzt aber das Transportmittel mit dem größten Schadstoffausstoß. Dennoch, die dominante Fraktion stellt der LKW-Transport dar.

Abbildung 8.14 stellt schlussendlich noch den verursachungsgerechten Bezug der aufgewendeten Tonnenkilometer zu den Phasen und Prozessmodulen her. Auf den ersten Blick erkennt man, dass die gesamte Gruppe vom Regaltransport dominiert wird. Das gilt auch für das RBG - Smart Storage. Auch wenn die Differenz dort deutlich geringer ist. Die Abwesenheit von Service und Wartung in der Transportbilanz wird dadurch begründet, dass die Komponenten nicht über KNAPP Österreich bezogen werden. Es kommen unterschiedliche Lieferanten, Händler bzw. Vertriebswege in Frage, über welche keine Informationen vorliegen. Deshalb können die ausgeführten Transporte nicht definiert werden.

Somit ist die Sachbilanz des OSR ShuttleTM 35b und der Vergleich zu einer RBG-Anlage abgeschlossen. Die Schlussfolgerungen aus dem Vergleich folgen im nächsten und letzten Kapitel 9, dem abschließenden Fazit.

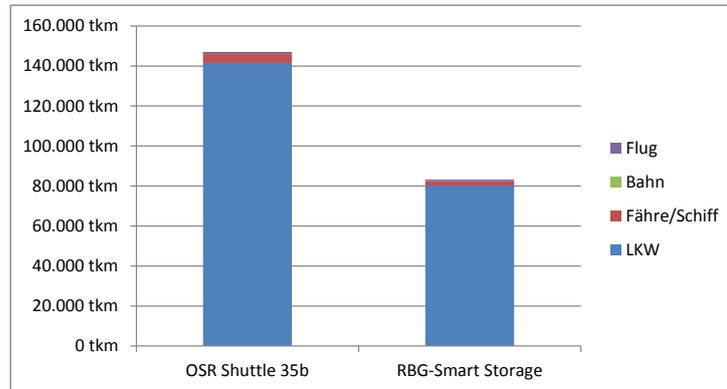


Abbildung 8.13.: Transportbelastung für OSR ShuttleTM 35b und RBG - Smart Storage im Vergleich

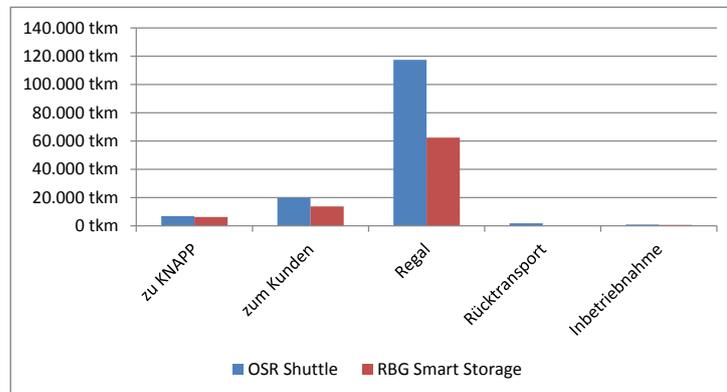


Abbildung 8.14.: Transportbelastung den Verursachern zugeordnet

9. Fazit und Ausblick

Das Fazit und der dazugehörige Ausblick auf die Ökobilanz bzw. auf die noch ausstehende Wirkungsabschätzung zur Erweiterung der Sachbilanz zu einer Ökobilanz gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil konzentriert sich auf die Ergebnisse. Dabei wird vor allem der Vergleich der beiden Systeme hervorgehoben, da die Schlussfolgerungen der OSR ShuttleTM 35b Sachbilanz ohnehin in Kapitel 7 beschrieben sind. Im zweiten Teil wird über die Sachbilanz im Allgemeinen resümiert.

Wie erwartet weisen die Untersuchungen beider Systeme einen hohen Stahlanteil in der Produktion auf. Der Unterschied zwischen beiden Systemen hält sich in Grenzen und wird deshalb für die Umweltbelastung nicht entscheidend sein. Im Gegensatz dazu wird das Regal eine tragende Rolle spielen. Die Differenz bezüglich der Masse beträgt ca. 25 bis 35 Tonnen Stahl (je nach Verfahren mit dem Zusatznutzen). Diese Mengen werden sehr wohl entscheidenden Einfluss auf die entstehenden Umweltbelastungen haben. Einen weiteren interessanten Punkt im Bereich Material stellt Aluminium dar. Beim OSR ShuttleTM kommt Aluminium massiv zum Einsatz. Der Energieaufwand bei der Gewinnung von Aluminium liegt im Vergleich zu Stahl deutlich höher. Der Unterschied zwischen beiden Produktsystemen beträgt ca. eine Tonne. Die daraus resultierenden Umwelteinflüsse werden in der Wirkungsabschätzung mit Sicherheit ein interessanter Diskussionspunkt. Ebenso trifft das auf den Mehraufwand an Kupfer im RBG - Smart Storage zu, wobei in dem Fall die Erzeugung für weniger Aufregung sorgt. Bei gleichzeitiger Betrachtung von Service und Wartung hebt sich der Materialaufwand nahezu auf. In diesem Bereich scheint das Konzept der kleinen Bauteile zu fruchten. Die massiveren Verschleißteile der RBG-Anlage verursachen über die Lebensdauer einen großen Aufwand. Das gilt vor allem für die Stahlteile und auch für die Seltenen Erden. Allerdings bleibt die Differenz der Aluminiumverwendung bestehen. Diese und das massive Regal bleiben somit eindeutig die Hauptfaktoren. Zusätzlich kommt durch das Regal noch die Belastung im Bereich Transport hinzu.

Energieseitig sticht der Betrieb der Anlagen hervor. Der größere Materialaufwand beim OSR ShuttleTM 35b schlägt sich offensichtlich auch in der Energiebilanz der Produktion und in der Transportbilanz nieder. Im Vergleich zum Betrieb erscheinen die anderen Phasen aber vernachlässigbar. Die entscheidende Frage ist, ob die Material- und Energieaufwände von der Rohstoffgewinnung bis zur KNAPP AG (diese werden durch die

Ökobilanzierung mittels Datenbanken bewertet) durch den energiefreundlichen Betrieb des Shuttle Systems kompensiert werden können. Aus der Perspektive der Nachhaltigkeit sollte aus dem vorher genannten Grund die Nutzungsdauer daher maximiert werden, da dann der Vorteil des sparsamen Betriebs bestmöglich ausgenutzt wird. Weiters liegt das Momentum anscheinend auch im Bereich Service und Wartung auf Seiten des OSR ShuttleTM 35b. Allerdings muss sich diese Vermutung erst bestätigen, wenn die Shuttle Anlagen diese Phase der Lebensdauer erreichen.

Vereinzelt bieten sich sicher Möglichkeiten für eine Verbesserung hinsichtlich Umweltbelange, allerdings müssen die aufgezeigten Bereiche mit kühlem Kopf betrachtet werden. Die Seltenen Erden finden sich in Permanentmagneten, die in der Antriebstechnik zum Einsatz kommen. Die Technologie tendiert einfach in diese Richtung. Diese Motoren bieten zahlreiche Vorteile wie gute Wirkungsgrade oder kleine Baugrößen. Wirkliche Alternativen gibt es momentan wenige. Ein Grund für die Diskussion ist, dass noch keine Verfahren für das Recycling Seltener Erden existieren (Der Standard, 2013). Mit zunehmendem Technologiefortschritt und Entwicklung entsprechender Verfahren wird sich diese Skepsis eventuell legen oder zumindest vermindern. Bereiche wie der Transport liegen eigentlich nicht direkt im Wirkungsbereich des Unternehmens, somit könnte es schwer fallen, den Fokus stärker auf die Bahn als Alternative zu lenken. Im Bereich der Materialien kann Aluminium in gewissen Bereichen auf jeden Fall die beste und auch umweltfreundlichste Lösung sein. Ein Komponententausch müsste zuerst sowieso auch ökonomisch und technisch untersucht werden. Einige Kleinigkeiten fielen in der Analyse dennoch auf: So existieren Beschilderungen (Warnschilder etc.), die aus Aluminium gefertigt sind. In diesen Fällen ließen sich auf einfachem Wege umweltfreundlichere und wahrscheinlich auch kostengünstigere Lösungen finden. Vermutlich gibt es keinen triftigen Grund, weshalb diese aus Aluminium hergestellt sind.

Das Projekt der Sachbilanzierung schien anfangs ein relativ simples Unterfangen. Die Vorgehensweise sollte durch die begleitende Literatur vorgegeben und somit die Durchführung sozusagen "straight forward" sein. Mit Fortschreiten des Projekts ergaben sich rasch zahlreiche Probleme, Hindernisse und Limitationen. Die Analyse umfasste tausende Komponenten, von denen viele separat anhand von Produktdatenblättern untersucht werden mussten. Abschneideregeln können nicht rigoros angewendet werden, zuvor muss bekannt sein, welche Materialien sich im Produkt befinden, ansonsten könnten umweltrelevante Stoffe vernachlässigt werden. Weiters umfasst die Arbeit nicht nur zahlreiche Komponenten, sondern auch mehrere Phasen im Produktlebenszyklus. Es folgt, dass in all diesen Bereichen gleichzeitig Analysen, Besprechungen, Berechnungen etc. durchgeführt werden müssen. Die Arbeit in allen Bereichen forderte viele Kontakte, von denen ein Großteil im Anhang B.5 in einer Mindmap dargestellt ist. Etliche Bereiche die im Zuge der Arbeit analysiert wurden, würden genügend Stoff für eine eigene Diplomarbeit bieten. Die Sachbilanzierung stellt ein komplexes, umfangreiches Konzept zur Produktanalyse dar.

Literaturverzeichnis

- Ankele K., 1994: Die Produktbilanz als ökologisches Informationsinstrument, in: *IÖW/VÖW - Informationsdienst*, 1, S. 3–5.
- Arnold D., Furmans K., 2009: *Materialfluss in Logistiksystemen*, VDI-Buch.
- Arnold D., Kuhn A., Isermann H., Tempelmeier H., 2004: *Handbuch Logistik*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Beck M., Günther I., Stahlmann V., Geiger C., 1993: *Ökobilanzierung im betrieblichen Management*, Vogel Buchverlag.
- Blaß H.W., Sattler B., 2010: Motoren und geregelte Antriebe - Normen und gesetzliche Anforderungen an die Energieeffizienz von Niederspannungs-Drehstrommotoren, Technischer Bericht, ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Fachverband Automation - Fachbereich Elektrische Antriebe.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2009: Bromierte Flammschutzmittel, online im Internet: <http://www.bmu.de/themen/gesundheit-chemikalien/gesundheit-und-umwelt/chemikaliensicherheit/bromierte-flammschutzmittel/>, online, Zugriff am: 8.5.2013.
- Brundtland Bericht, 1987: Our Common Future, report of the World Commission on Environment and Development.
- BVSE - Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V., 2013: Aufkommen an Kunststoffen, online im Internet: www.bvse.de/314/455/2-Aufkommen-an-Kunststoffen, online, Zugriff am: 22.04.2013.
- Deng L., Babbitt C., Williams E., 2011: Economic-balance hybrid LCA extended with uncertainty analysis: case study of a laptop computer, in: *Journal of Cleaner Production*, 19, S. 1198–1206.
- Der Standard, 2013: Seltene Erden: Technik zum Recycling fehlt, online im In-

- ternet: <http://derstandard.at/1358305486279/Seltene-Erden-Technik-zum-Recycling-fehlt>, online, Zugriff am 30.4.2013:.
- Domininghaus H., Elsner P., Eyerer P., Hirth T., 2012: *Kunststoffe*, Springer-Verlag.
- Eigner M., Stelzer R., 2009: *Product Lifecycle Management*, 2. Auflage, Springer-Verlag.
- Ekvall T., Finnveden G., 2001: Allocation in ISO 14041 - a critical review, in: *Journal of Cleaner Production*, 9, S. 197–208.
- el Haggag S., 2007: *Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradel-To-Cradle for Sustainable Development*, Elsevier Inc.
- European Commission, 2010: *Insitute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Specific guide for Life Cycle Inventory data sets*, First Edition, Publication Office of the European Union.
- Feess E., Klein M., 2012: Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: nachhaltige Entwicklung, online im Internet: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/4770/nachhaltige-entwicklung-v9.html>, online, Zugriff am: 13.11.2012.
- Flegel G., Birnstiel K., Nerreter W., 2009: *Elektrotechnik für Maschinenbau und Mechatronik*, Hanser Verlag.
- Fleischer G., Hake J.F., 2002: Aufwands- und ergebnisrelevante Probleme der Sachbilanzierung, in: *Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt/Environment*, Band 30, S. 64.
- Flightpedia, 2013: Flight distance from Graz to Milton Keynes, online im Internet: <http://www.flightpedia.org/distance-graz-austria-to-milton-keynes-united-kingdom.html>, online, Zugriff am: 25.4.2013.
- Gauch M., Widmer R., Althaus H.J., Del Duce A., 2011: Elektromotoren für mobile Anwendungen, Technischer Bericht, EMPA - Schweizerische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt.
- Günther E., 2013: Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: kumulierter Energieaufwand, online im Internet: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/kumulierter-energieaufwand-kea.html>, online, Zugriff am: 18.04.2013.
- Graedel T.E., 1998: *Streamlined Life-Cycle Assessment*, Prentice Hall, Inc.

- Gudehus T., 2012: *Logistik 2*, Springer-Verlag.
- Hagelüken C., 2010: Edelmetallrecycling - Status und Entwicklungen, in: *Schriftenreihe der GDMB - Gesellschaft der Metallurgen und Bergbauleute Sondermetalle und Edelmetalle*, Heft 121, S. 16.
- Helias A., de Haes U., von Rooijen M., 2005: *Life Cycle Approaches - The road from analysis to practice*, UNEP/SETAC Life Cycle Initiative.
- Hennicke P., 2007: Chancen einer Jahrhundertaufgabe, online im Internet: <http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/klimaschutz-lohnt-sich-chancen-einer-jahrhundertaufgabe/2785354.html>, online, Zugriff am: 2.5.2013.
- Hoppe A., 2013: Periodensystem, online im Internet: <http://www.periodensystem.info/periodensystem/>, online, Zugriff am: 8.5.2013.
- Hude C., 2011: Green Shuttle - Leitfaden zur plakativen Darstellung der Betriebsenergie des KNAPP OSR Shuttles im Fokus der Nachhaltigkeit, Bachelorarbeit.
- Hutter C., Köhler D., 1999: *Ökobilanzierung mit Hilfe der KEA-Datenbank*, Forschungsstelle für Energiewirtschaft.
- ISO, 2012: International Organization of Standardization, Environmental Management, <http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso14000.htm>, online, Zugriff am: 08.11.2012.
- ISO 14040, 2006: ISO 14040:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, International Organization of Standardization.
- ISO 14044, 2006: ISO 14044:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, International Organization of Standardization.
- ISO/TR 14049, 2000: ISO/TR 14049:2000, Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis, Technical Report, International Organization of Standardization.
- Klöpffer W., 2012: The critical review of life cycle assessment studies according to ISO 14040 and 14044, in: *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, S. 1087–1093.
- Klöpffer W., Grahl B., 2009: *Ökobilanz (LCA)*, Wiley-VCH Verlag.
- KNAPP AG, 2012: Bilder von internen Quellen der KNAPP AG.

- KNAPP AG, 2013: Customer Movement Data, ASRS und OSR Shuttle 35b, Technischer Bericht, KNAPP AG.
- Knapp AG Company, 2012: KNAPP AG - Das Unternehmen online, <http://www.knapp.com/company>, Zugriff am: 9.11.2012.
- Knapp AG Nachhaltigkeit, 2012: KNAPP AG - Nachhaltigkeit online, <http://www.knapp.com/sustainability>, Zugriff am: 9.11.2012.
- Knapp AG Philosophie, 2012: KNAPP AG - Die Philosophie online, <http://www.knapp.com/philosophy>, Zugriff am: 9.11.2012.
- KNAPP AG Umsatz, 2013: KNAPP AG - Umsatz online, <http://www.knapp.com/KNAPP-AG>, Zugriff am: 7.5.2013.
- Koether R., 2012: *Distributionslogistik - Effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit*, Springer-Verlag.
- Kramer H.L., 2006: *Ökologische Bewertung von Elektronik-Komponenten und bestückten Leiterplatten*, Diplomarbeit, ETH - Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Krieger W., 2013: Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Tonnenkilometer, online im Internet: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/tonnenkilometer-tkm.html>, online, Zugriff am: 24.4.2013.
- Lehni M., 2000: Eco-Efficiency: creating more value with less impact; World Business Council for Sustainable Development.
- Lindegger M., Biner H.P., Evequoz B., Salathé D., 2008: Effizienter IEC Permanent-Magnet-Motor (3kW), Technischer Bericht, Bundesamt für Energie (BFE).
- Lindner C., 2011: Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011 - Kurzfassung, Technischer Bericht, Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH.
- Mark F., Dresch H., others, 2006: Large scale demonstration of the treatment of electrical and electronic shredder residue, Technischer Bericht, Plastics Europe - Association of Plastics Manufacturers.
- Maxon Academy, 2010: Gleichstrommotor mit eisenloser Wicklung, online: www.maxonmotor.com/maxon/view/conent/service-academy-motor, online, Zugriff am: 22.1.2013.

- Müller B., Giegrich J., 2005: Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland - Fallbeispiel Elektro- und Elektronikaltgeräte, Technischer Bericht, Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH.
- Moeller E., 2008: *Handbuch Konstruktionswerkstoffe - Auswahl, Eigenschaften, Anwendung*, Carl Hanser Verlag München.
- Morf L., Tavema R., 2004: Metallische und nichtmetallische Stoffe im Elektronikschrott, in: *Schriftenreihe Umwelt*, 374, S. 134.
- News Network Internet Service GmbH, 2003: Typischer Österreicher, online, <http://www.news.at/articles/0310/10/52143/typischer-oesterreicher-74-1-72>, online, Zugriff am: 25.4.2013.
- Novak E., 2001: Verwertungsmöglichkeiten für ausgewählte Fraktionen aus der Demontage von Elektroaltgeräten - Kunststoffe, Technischer Bericht, Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik.
- Olszewski M., 2011: Final Report on Assessment of motor Technologies for Traction Drives of Hybrid and Electric Vehicles, Technischer Bericht, Oak Ridge National Laboratory for U.S. Department of Energy.
- Plastics Europe, 2008: Daten und Fakten zu Kunststoff 2007, Technischer Bericht, Plastics Europe - Association of Plastics Manufacturers.
- Plastics Europe, 2012: Plastics - The Facts 2012, Technischer Bericht, Plastics Europe - Association of Plastics Manufacturers.
- Schaltegger S., Braunschweig A., others, 1996: *Life Cycle Assessment (LCA) - Quo Vadis?*, Birkhäuser Verlag.
- Schaltegger S., Herzig C., Kleiber O., Müller J., 2002: *Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen - Konzepte und Instrumente zur nachhaltigen Unternehmensentwicklung*, Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit (Deutschland).
- Schatt W., Wieters K.P., Kieback B., 2007: *Pulvermetallurgie - Technologien und Werkstoffe*, Springer-Verlag.
- Schneider-Electric, 2013: Product Environmental Profile, online, www.schneider-electric.at/sites/austria/de/produkte-services/produkte-services.page, online, Zugriff am: 17.1.2013.

- Schnitzer H., 2012: *Stoff- und Energiebilanzen*, Verlag der Technischen Universität Graz.
- Schwister K., Adam M., 2010: *Taschenbuch der Umwelttechnik*, Fachbuchverlag Leipzig im Carl-Hanser-Verlag.
- Siemers W., Vest H., 2000: *Umwelthandbuch - Verwertung und Beseitigung von Elektronikschrott*, Umweltbundesamt - Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ).
- Singhal P., 2005: Integrated Product Policy Pilot Project - Stage / Report, Technischer Bericht, Nokia Corporation.
- Statistik Austria, 2010: Input - Output - Tabelle 2006, inklusive Aufkommens- und Verwendungstabelle, Verlag Österreich GmbH.
- Suh S., Huppel G., 2005: Methods for Life Cycle Inventory of a product, in: *Journal of Cleaner Production*, 13, S. 687–697.
- Tschandl A., Posch M., 2012: *Integriertes Umweltcontrolling - Von der Stoffstromanalyse zum Bewertungs- und Informationssystem*, Gabler Verlag.
- Vehlow J., Bergfeldt B., Hunsinger H., Jay K., 2002: Recycling of bromine from plastics containing brominated flame retardants in state-of-the-art combustion facilities, Technischer Bericht, APME - Association of plastics manufacturer in Europe, Forschungszentrum Karlsruhe und EBFRIP - European Brominated Flame Retardant Industry Panel.
- von Hauff M., 2012: *Industrial Ecology Management - Nachhaltigkeit im Unternehmen*, Springer-Verlag.
- von Hauff M., Kleine A., 2009: *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung*, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

A. Begriffsdefinitionen

Abschneideregeln

Abschneideregeln sind Kriterien, die die Aufnahme von geringfügigen, nicht umweltrelevanten Inputs in die Bilanz vermeiden (Klöpffer & Grahl, 2009, S.30). Durch die Anwendung dieser Regeln soll die Bilanz übersichtlich und möglichst einfach gehalten werden.

Allokation und Systemerweiterung

Unter Allokation versteht man die Aufteilung von Umweltbelastungen, verursacht durch einen Prozess, zwischen dem zu untersuchenden Produkt und einem anderen Produkt, für welche der Prozess Aktivitäten ausführt. In diesem Fall ist der behandelte Prozess multifunktional (siehe Begriffsdefinition Multifunktionaler Prozess). (Ekvall & Finnveden, 2001, S.197f) Es existieren verschiedene Methoden/Ansätze, um diese Verteilung der entstehenden Belastungen durchzuführen. Klöpffer & Grahl (2009) beschreibt einige Lösungsvorschläge. Die Aufteilung nach physikalischer Verursachung, durch Allokation nach dem Massenverhältnis der Produkte oder auch nach dem ökonomischen Wert stellen solche dar. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.94ff) Die Systemerweiterung ist ein gegensätzlicher Ansatz zur Allokation. Anstatt den Pfad des Neben- oder Zweitprodukts durch die Systemgrenze vom Prozess abzutrennen, wird der gesamte Lebenszyklus des Produkts in die Bilanzierung aufgenommen. (Ekvall & Finnveden, 2001, S.202) Das ist aber nur sinnvoll, wenn der notwendige Aufwand dafür erträglich ist. Diese Thematik ist vor allem in Fällen von Koppelprodukten von Interesse. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.101)

“Closed-Loop” Prozess

In einem “Closed-Loop” Prozess, meist “Closed-Loop” Recycling oder Wiederverwendung bezeichnet, erfolgt die Wiederverwendung gänzlich oder teilweise im Produktsystem, also innerhalb der Systemgrenze. (European Commission, 2010; ISO 14044, 2006)

Doppelspiel

Es erfolgen sequentiell eine Einlagerung und eine Auslagerung in einem Zug (Arnold et al., 2004, S.49). Das bedeutet, es erfolgt ein Zwischenstopp zum Einlagern eines Guts und vor der Rückkehr zur Übergabestation wird ein auszulagernder Behälter aufgegriffen. Das Ausführen von Doppelspielen verlängert zugegeben die Dauer des Vorgangs, dafür wird die Anzahl an Leerfahrten reduziert. Somit kann schlussendlich Zeit eingespart werden. (Gudehus, 2012, S.649)

Elementarfluss

Als Elementarfluss werden Material- und Energieströme bezeichnet, welche direkt aus der Umwelt ohne vorherige Behandlung entnommen werden oder ohne nachgeschaltete Behandlung in die Umwelt zurückgeführt werden. (ISO 14044, 2006, S.3)

Funktionale oder funktionelle Einheit

Die funktionale Einheit stellt einen Basisnutzen dar, für dessen Erfüllung eine Bilanz erstellt wird. Besonders für vergleichende Studien ist es entscheidend, dass der Nutzen der Produkte oder Services äquivalent ist. (ISO 14040, 2006; Klöpffer & Grahl, 2009; Graedel, 1998)

Koppel- oder Kuppelprodukt

Entstehen in einem Prozess oder Prozessschritt ein Hauptprodukt A und ein Nebenprodukt B, so wird B als Koppelprodukt bezeichnet. Voraussetzung dafür ist die Weiterverwendung von B in einem anderen Produktionsprozess. Ansonsten wäre Produkt B Abfall. Recyclinggüter wären allerdings wiederum Koppelprodukte. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.34, S.95f)

Lebenszyklus

Die Lebenszyklusbetrachtung ist eine ganzheitliche Sichtweise und berücksichtigt alle Lebensabschnitte von der Wiege bis zur Bahre. Das bedeutet, die gesamte Planung und

Entwicklung samt ihrer Betriebsmittel und Ressourcen, Fertigungs- und Montageprozesse, deren Herstellung und Nutzung sowie der Produktbetrieb und die Verwertung sind inbegriffen. (Eigner & Stelzer, 2009)

Multifunktionaler Prozess

Als multifunktionaler Prozess werden Aktivitäten bezeichnet, die mehr als eine Funktion erfüllen. Das könnte z.B. ein Produktionsprozess, der mehrere Produkte bearbeitet, sein. (Ekvall & Finnveden, 2001, S.197)

Ökobilanz

Die Ökobilanz ist eine Bilanzierung sämtlicher In- und Outputs eines Prozesses, Betriebs, einer Industrie, Produkts etc. und die systematische Bewertung und Auflistung der daraus resultierenden Umweltbelastungen. (Beck et al., 1993; ISO 14040, 2006)

“Open-Loop” Prozess

“Open Loop” bedeutet, ein Produkt, Gut oder Service verlässt das System. Es überschreitet die Systemgrenze und wird in einem anderen Prozess gänzlich oder teilweise weiterverwendet oder auch entsorgt. (European Commission, 2010; ISO 14044, 2006)

Produktbilanz bzw. Produktlinienbilanz

Die Produktbilanz untersucht ein Produkt inklusive aller vor- und nachgelagerten Prozessstufen, beginnend bei der Rohstoffgewinnung über Veredelungs-, Fertigungs-, Montageprozesse, bis hin zum Betrieb und schlussendlich der Verwertung und Entsorgung. Etwaige Transport- und Lagerungsprozesse sind auch inbegriffen. (Beck et al., 1993, S.127) Dabei werden alle stofflichen und energetischen In- und Outputs berücksichtigt (Tschandl & Posch, 2012, S.60).

Produktfluss

Als Produktfluss werden Produkte bezeichnet, die von einem anderen Produktsystem kommen oder das Produktsystem in Richtung eines anderen verlassen (vgl. mit Elemen-

tarfluss). (ISO 14044, 2006, S.4)

Produktsystem

Ein Produktsystem ist die Zusammenfassung mehrerer Prozessschritte (Einheitsprozesse), die den gesamten Produktlebenszyklus modellieren. Das Produktsystem umfasst somit auch den Nutzen sowie In-, Out- und Throughputs. (ISO 14040, 2006, S.4)

Prozessmodul

Das Prozessmodul entspricht dem Einheitsprozess. Es stellt einen nicht weiter zerlegbaren oder schlicht nicht weiter detaillierten Prozessschritt dar. Prozessmodule werden ähnlich einer Black-Box behandelt und bezüglich ihrer In- und Outputs analysiert. (Klöpffer & Grahl, 2009, S.65f)

Referenzfluss

Der Referenzfluss ist die Quantität des Produkts, die benötigt wird, um eine gewünschte Performance, die funktionale Einheit, zu realisieren (ISO/TR 14049, 2000, S.5). Mit der Quantität des Produkts ist vielmehr die Gesamtheit aller benötigten Stoff- und Energieflüsse zur Ermöglichung der bestimmten Performance gemeint (Fleischer & Hake, 2002).

Sachbilanz

Im Englischen auch Life Cycle Inventory Analysis (LCI) genannt, ist die Aufstellung aller Material- und Energieaufwände. Im Gegensatz zur Ökobilanz findet die Sachbilanz mit der Erfassung und Aufbereitung der Stoff- und Energieflüsse aber ihren Abschluss. Schlussfolgerungen, Einschränkungen und Empfehlungen können sehr wohl getroffen werden. Auf eine Wirkungsabschätzung hinsichtlich Umweltbelange wird allerdings verzichtet. (ISO 14040, 2006; Klöpffer & Grahl, 2009; Tschandl & Posch, 2012; Graedel, 1998)

Systemgrenze

Die Systemgrenze ist eine imaginäre Abgrenzung des Produktsystems und erzeugt somit Schnittstellen mit der Umwelt. Die Systemgrenze umschließt alle Transformations- und Transportprozesse von Material und Energie. (Tschandl & Posch, 2012, S.54f)

Tonnenkilometer

So nennt sich eine statistische Kennzahl, welche die Beförderungsleistung im Transportverkehr zu Land, Wasser oder Luft beschreibt. Die Bestimmung erfolgt durch Multiplikation von Transportdistanz und transportierter Masse (Bsp.: 1tkm = 1t x 1km).(Krieger, 2013)

Transparenz

Der Begriff Transparenz behandelt die Aufbereitung der erhobenen Daten bzw. des erstellten Berichts. Es bedeutet Vollständigkeit, Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit der Datenpräsentation. (ISO 14040, 2006, S.2)

Übervorratslager

Das Übervorratslager dient als Reservelager für ein oder mehrere Kommissioniersysteme. Üblicherweise bietet es eine weitaus größere Anzahl an Stellplätzen. Das Übervorratslager füllt das Kommissionierlager nach. (Gudehus, 2012, S.745f)

Umschlagleistung

Die Umschlagleistung ist die Anzahl ein-/auszulagernder Güter bezogen auf eine definierte Zeiteinheit (Koether, 2012, S.125).

B. Ergänzende Information zur Sachbilanz

B.1. Lieferant

| | | | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------|---------------------------|
| Durchführender: | | Datum: | | | |
| Prozess: | | Abteilung: | | | |
| Zeitspanne: | | Projektauftrag: | | | |
| Beschreibung: | | | | | |
| Material-Inputs: | Menge | Einheit | Aufnahmeprozess | Ursprung | Detailinfo (kg/Stk, etc.) |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Energieverbrauch: | Menge | Einheit | Aufnahmeprozess | Ursprung | Anmerkungen |
| | | kWh | | | |
| | | kWh | | | |
| | | kWh | | | |
| Output (Material/Produkt): | Menge | Einheit | Aufnahmeprozess | Ursprung | Anmerkungen |
| | | kg | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Abfälle | Menge | Einheit | Weiterverwendung | Ursprung | Anmerkungen |
| | | kg | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Emissionen (Luft/Wasser) | Menge | Einheit | Aufnahmeprozess | Ursprung | Anmerkungen |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Transport zu KNAPP | Transportmittel | Menge [t] | Distanz [km] | Ursprung | Anmerkungen |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Verpackungsmaterial | Menge | Einheit | Distanz [km] | Ursprung | Anmerkungen |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Tabelle B.1.: Formular zur Datenanfrage beim Lieferanten (in Anlehnung an ISO 14044, 2006, S.33ff)

| Projekt | Lieferant | Produkt | Material | Output [kg] | Abfall [kg] | Abfall [%] | Abfallart | Wasserverbrauch [ltr.] | Quelle | |
|-------------|-----------|----------------------|----------|-------------|-------------|------------|--------------------------------|------------------------|--------|---------------------|
| OSR Shuttle | F | Regal | ST | 76250 | 4013,2 | 5,00% | Schrott | | | |
| | D | Al-Profil pressblank | Al | 801 | 2779,3 | 347,00% | nicht gefährlich radioaktiv | | | |
| | I | Zahnriemen | PU | 97 | 12,2 | 12,61% | | | | |
| | | | ST | 67 | 8,6 | 12,88% | | | | |
| | I* | Gurte | Nylon | 67 | 8,7 | 13,04% | | | | |
| | | | PET | 9 | 1,1 | 11,92% | | | | |
| | I* | Keilrippenriemen | PU | 3 | 0,4 | 12,61% | | | | |
| | | | Aramid | 2 | 0,2 | 13,04% | | | | |
| | G | Kabel | PA | 1 | 0,1 | 13,04% | | | | |
| | | | PET | 1 | 0,1 | 13,04% | | | | |
| | C | Kabelrinnen | KST/Cu | 473 | | | | 22 | | |
| | A | Bleche | Al | ST | 572 | 96,9 | 16,94% | gefährlich | 33.510 | Trinkwasser |
| | | | | | | 1,7 | | Sonder (verwertet) | 157 | Grundwasser |
| | E | Teleskopauszug | ST | | 392 | 0,1 | | Sonder (entsorgt) | 365 | Niederschlagswasser |
| | | | | | 221 | 1,9 | 2,60% | sonstig (verwertet) | 110 | |
| | B | Kettenrad | ST | 28 | 25,2 | 91,30% | Schrott | | | |
| | H | Lohnfertigung | ST | 23 | 12,5 | 54,94% | Schrott | | | |
| | H | Lohnfertigung | Al | 9 | 13,5 | 151,91% | Schrott | | | |

Abbildung B.1.: Materialbilanz der Lieferanten OSR ShuttleTM 35b

| G058B54 | Lieferant | Produkt | Material | Output [kg] | Abfall [kg] | Abfall [%] | Abfallart | Wasserverbrauch [ltr.] | Quelle | |
|-----------|-----------|------------------|----------|-------------|-------------|------------|------------|------------------------|--------|---------------------|
| AKL (RBG) | "F" | Regal | ST | 35.629 | 1875,2 | 5,00% | Schrott | | | |
| | | RBG-Teile | ST | 2.331 | 148,8 | 6,00% | Schrott | | | |
| | | Bodenschienen | ST | 4.910 | 313,4 | 6,00% | Schrott | | | |
| | A | Bleche | Al | | 22 | 0,1 | 0,43% | Sonder (verwertet) | 9 | Trinkwasser |
| | | | | | 0,54 | 0,0 | 0,04% | Sonder (entsorgt) | 20 | Grundwasser |
| | | | | | 0,37 | 0,1 | 0,49% | sonstig (verwertet) | 6 | Niederschlagswasser |
| | I | Zahnriemen | Nylon | | 0,37 | 0,1 | 14,42% | | | |
| | | | | | 0,37 | 0,1 | 14,78% | | | |
| | | | | | 0,37 | 0,1 | 14,99% | | | |
| | I | Zahnriemen | Neopren | | 15,00 | 2,2 | 14,42% | | | |
| | | | | | 10,30 | 1,5 | 14,78% | | | |
| | | | | | 10,30 | 1,5 | 14,99% | | | |
| | I* | Flachriemen | PU | | 0,43 | 0,1 | 14,42% | | | |
| | | | | | 0,29 | 0,0 | 14,78% | | | |
| | I* | Gurte | PVC | | 3,47 | 0,5 | 14,42% | | | |
| | | | | | 3,32 | 0,5 | 14,99% | | | |
| | I* | Keilrippenriemen | Aramid | | 0,17 | 0,0 | 14,42% | | | |
| | | | | 0,08 | 0,0 | 14,99% | | | | |
| | | | | 0,04 | 0,0 | 14,99% | | | | |
| | | | | 0,04 | 0,0 | 14,99% | | | | |
| G | | Kabel | KST/Cu | 512 | 0,5 | | 24 | | | |
| C | | Kabelrinnen | ST | 655 | 110,9 | 16,94% | gefährlich | 38.363 | | |
| H | | Lohnfertigung | ST | 39,20 | 24,2 | 61,68% | Schrott | | | |
| H | | Lohnfertigung | Al | 3,30 | 0,9 | 28,42% | Schrott | | | |
| H | | Lohnfertigung | N | 81,40 | 182,3 | 223,93% | Schrott | | | |

Abbildung B.2.: Materialbilanz der Lieferanten RBG - Smart Storage

| Projekt | Lieferant | Produkt | Material | Output [kg] | Output [Stk] | Quelle | spez. Energieaufw. | Energieaufwand [kWh] |
|-------------|-----------|----------------------|----------|-------------|--------------|--------|--------------------|----------------------|
| OSR Shuttle | F | Regal | ST | 76.250 | | | 103,0 kWh/t | 7.854 |
| | D | Al-Profil pressblank | Al | 801 | | | | 162.547 |
| | A | Bleche | ST | 2.866 | | Erdgas | 505,7 kWh/t | 1.449 |
| | | | | | | | Strom | 154 |
| | A | Bleche | Al | 392 | | Erdgas | 947,0 kWh/t | 372 |
| | | | | | | | Strom | 166 |
| | G | Kabel | KST/Cu | 486 | | Strom | | 11,1 |
| | C | Kabelrinnen | ST | 572 | | Gas | | 26,4 |
| | H | Lohnfertigung | ST/Al | 35 | | Strom | | 38.460 |
| | E | Teleskopauszug | ST | 221 | 120 | | 0,5 kWh/Stk | 157 |
| | H | Umlenkrollen | ST | 54 | 240 | | | 54 |
| | B | Kettenrad | ST | 28 | 120 | | 4,5 kWh/Stk | 1.734 |
| | | | | | | | | |

| Projekt | Lieferant | Produkt | Material | Output [kg] | Output [Stk] | Quelle | spez. Energieaufw. | Energieaufwand [kWh] |
|-----------|-----------|---------------|----------|-------------|--------------|--------|--------------------|----------------------|
| AKL (RBG) | "F" | Regal | ST | 35.629 | | | 103,0 kWh/t | 3.670 |
| | | RBG-Teile | ST | 2.331 | | | 113,3 kWh/t | 264 |
| | | Bodenschienen | ST | 4.910 | | | 113,3 kWh/t | 556 |
| | A | Bleche | ST | 441 | | Erdgas | 505,7 kWh/t | 223 |
| | | | | | | | Strom | 24 |
| | A | Bleche | Al | 22 | | Erdgas | 947,0 kWh/t | 21 |
| | | | | | | | Strom | 9 |
| | G | Kabel | KST/Cu | 512 | | Strom | | 12 |
| | H | Lohnfertigung | ST/Al/N | 124 | | Gas | | 29 |
| | C | Kabelrinnen | ST | 655 | | | | 202 |
| | | | | | | | | |

Abbildung B.3.: Energiebilanz der Lieferanten

| Projekt | Lieferant | Produkt | Material | Menge | CO ₂ [kg] | CFC ₁₁ [kg] | PO ₄ ³⁻ [kg] | C ₂ H ₄ [kg] | H+ [kg] | NOx [kg] | C _x H _y [kg] | CO [kg] |
|-------------|-----------|----------------|----------|-----------|----------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|----------|------------------------------------|----------|
| OSR Shuttle | C | Kabelrinnen | ST | 572,0 kg | 7.663,2 | 4,75E-04 | 5,35E-02 | 2,2 | 1,0 | | | |
| | A | Bleche | Al | 392,4 kg | 181,6 | | | | | 1,61E-01 | 1,29E-01 | 1,10E-01 |
| | J | Elektronik | | 155,8 kg | 8.015,4 | | | | | | | |
| | B | Kettenrad | ST | 120,0 Stk | 144,0 | | | | | | | |
| | E | Teleskopauszug | ST | 120,0 Stk | - | | | | | | | |

| Projekt | Lieferant | Produkt | Material | Menge | Co2 [kg] | CFC ₁₁ [kg] | PO ₄ ³⁻ [kg] | C ₂ H ₄ [kg] | H+ [kg] | NOx [kg] | C _x H _y [kg] | CO [kg] |
|-----------|-----------|-------------|----------|----------|----------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|----------|------------------------------------|----------|
| AKL (RBG) | C | Kabelrinnen | ST | 654,9 kg | 9.863,5 | 5,44E-04 | 6,13E-02 | 2,5 | 1,1 | | | |
| | A | Bleche | Al | 21,7 kg | 10,1 | | | | | 8,91E-03 | 7,17E-03 | 6,08E-03 |
| | J | Elektronik | | 216,3 kg | 10.152,1 | | | | | | | |

Abbildung B.4.: Direkte Emissionen der Lieferanten

B.2. Produktion

B.2.1. Materialanalyse verschiedener Produkte

Leiterplatten

Für die Analyse von Leiterplatten, die in mehreren Komponenten verbaut, aber auch als Einzelteil im Produkt zum Einsatz kommen, wird anhand mehrerer Quellen eine "Standardplatine" ermittelt. Diese wird dann zur Bewertung aller Platinen gesammelt herangezogen und so werden die Bestandteile berechnet. Tabelle B.2 zeigt den Ablauf der Materialbestimmung und ist wie folgt zu betrachten. Oberhalb des ersten Doppelstrichs wird anhand mehrerer Quellen eine Basis an Materialien in Leiterplatten ermittelt. Kunststoff wird auch als solcher ausgegeben und erst später hinsichtlich der genauen Werkstoffe bewertet. Aus den Referenzen des oberen Teils wird eine Gesamtzusammensetzung ermittelt. Zwischen den beiden Doppelstrichen befindet sich ein Einschub. Eine gemeinsame Untersuchung mehrerer Einrichtungen (APME, Forschungszentrum Karlsruhe und EBRRIP) erfasst zahlreiche weitere Elemente. Diese werden der "Standardplatine" zusätzlich hinzugefügt. Im letzten Drittel (unterhalb des Doppelstrichs) erfolgt die Beurteilung der Komponenten Glas, Keramik und Oxide. Obwohl Quellen existieren, die Werte für deren Anteil liefern, wird bevorzugt, diesen Anteil zu berechnen. Die Quellenangaben erscheinen unnatürlich hoch. Deshalb wurde mit den Werkstoffen Glas, Keramik und Oxiden die Bilanz auf 100 % gefüllt.

Die Untersuchung und Bewertung der Leiterplatten erfolgte nach Müller & Giegrich (2005), Hagelüken (2010), Vehlow et al. (2002) und Siemers & Vest (2000).

Leiterplattenbasierte Elektro- und Elektronikgeräte

Bevor die Analyse direkt erläutert wird, ist es noch notwendig, einige Randbedingungen zu kennen, aus denen hervorgeht, warum die Analyse wie folgt durchgeführt wurde. Der Lieferant J bot Informationen, in welchen Mengen sich bestimmte Gruppierungen in einigen Komponenten befinden. Für die restlichen Komponenten wurde mit dem Mittelwert der Daten gerechnet. Angaben wurden geliefert für Eisen, Nichteisenmetalle, Kunststoffe und sonstige Materialien in den Produkten. Nun wird in den Tabellen B.3-Nichteisenmetalle, B.4-Kunststoffe und B.5-Sonstiges die Zusammensetzung der drei nicht eindeutig definierten Kategorien ermittelt. Weiters wurde auch noch die bereits zuvor betrachtete Leiterplattenanalyse berücksichtigt. Dazu ist aber noch eine Sondereinrichtung nötig, nämlich jene, dass der Anteil einer Leiterplatte in einer industriellen Elektroinstallation einen Anteil zwischen 11,6 und 13,6 % des Gewichts ausmacht

| Hagelüken, 2009 | | Umweltbundesamt, Siemers & Vest, 2000 | | IFEU, Müller & Giegrich, 2005 | | Gesamt | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|-------------------------------|--------|----------------------|------------|
| Werkstoff | Anteil | Werkstoff | Anteil | Werkstoff | Anteil | Werkstoff | Mittelwert |
| Ag | 0,10% | Ag | 0,20% | | | Ag | 0,15% |
| Al | 5,00% | | | Al | 2,70% | Al | 3,85% |
| Au | 0,03% | Au | 0,04% | | | Au | 0,03% |
| Cu | 20,00% | Cu | 7,00% | Cu | 17,10% | Cu | 14,70% |
| Fe | 7,00% | Fe | 6,00% | Fe | 6,70% | Fe | 6,57% |
| KST | 25,00% | KST | 19,00% | KST | 23,00% | KST | 22,33% |
| Ni | 1,00% | Ni | 3,00% | | | Ni | 2,00% |
| Pb | 1,50% | | | Pb | 1,20% | Pb | 1,35% |
| Pd | 0,01% | Pd | 0,04% | | | Pd | 0,03% |
| Sn | 3,00% | Sn | 1,00% | | | Sn | 2,00% |
| | | Zn | 2,00% | Zn | 2,00% | Zn | 2,00% |
| | | Br | 4,00% | | | Br | 4,00% |
| | | | | Cd | 0,05% | Cd | 0,05% |
| | | | | Hg | 0,00% | Hg | 0,00% |
| APME (Association of Plastics Manufacturers in Europe), Forschungszentrum Karlsruhe (Technik und Umwelt), EBFRIIP (European Brominated Flame Retardant Industry Panel), Vehlow et.al 2002 | | | | As | 0,00% | As | 0,00% |
| | | | | Ba | 0,08% | Ba | 0,08% |
| | | | | Ca | 1,76% | Ca | 1,76% |
| | | | | Cd | 0,00% | Cd | 0,00% |
| | | | | Cl | 2,30% | Cl | 2,30% |
| | | | | Cr | 0,02% | Cr | 0,02% |
| | | | | K | 0,07% | K | 0,07% |
| | | | | Mn | 0,02% | Mn | 0,02% |
| | | | | Mo | 0,00% | Mo | 0,00% |
| | | | | Rb | 0,00% | Rb | 0,00% |
| Sb | 0,57% | Sb | 0,57% | | | | |
| Sr | 0,02% | Sr | 0,02% | | | | |
| | | Glas, Keramik, Oxide | 49,00% | Glas, Keramik, Oxide | 49,00% | Glas, Keramik, Oxide | 36,09% |
| | | | | | | Gesamt | 100,00% |

Tabelle B.2.: Standardzusammensetzung einer bestückten Leiterplatte

(Kramer, 2006, S.12). Die ermittelten Elemente der Leiterplatten werden nur anteilig berücksichtigt. Dazu wurde für die Analyse 12,5 % Massenanteil der Leiterplatte am Gerät gewählt. Als Quelle für die Detailuntersuchung der Materialien dienen Müller & Giegrich (2005, S.36), Morf & Tavema (2004, S.70), Mark et al. (2006, S.15), Singhal (2005, S.7) und Deng et al. (2011, S.1202). Im Bereich Kunststoff mussten noch weitere Quellen herangezogen werden, da die Informationen bis dahin zu wenig detailliert waren. Darum erweitert sich die Liste der Referenzen noch um Plastics Europe (2012, S.7), Sofres, 1997 in Novak (2001, S.7f), Lindner (2011, S.4), Plastics Europe (2008, S.10) und BVSE - Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (2013).

Die Untersuchung der Nichteisenmetalle in Abbildung B.3 teilt sich in drei Bereiche auf. Der erste Abschnitt links bzw. am unteren Seitenrand nutzt jene Quellen, die sich mit Abfällen und Schrott von Elektro- und Elektronikgeräten beschäftigt. Aus diesen vier

| NE-Metalle | Quellen Abfall-, Schrottanalysen | | | | Produktanalsen | | Geräte | Leiterplatten | Gesamt | | | | |
|------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------|-----------------------------|--------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------|----------------|
| | Müller & Giegrich (IFEU, 2005) | Mark et.al. (Plastics Europe, 2006) | Morf & Tavema (BUWAL, 2004) | Schwister Karl, 2010 | Mittelwert | Handy Nokia (Singhal, 2005) | | | Notebook (Deng et.al, 2011) | Mittelwert Produkte + Abfälle | Stoffe aus den LP anteilig am Gerät | GESAMT | 100% NE-Metall |
| Ag | | | | | | | | | | | | | Ag |
| Al | 1,25% | | 9,82% | 5,00% | 5,36% | | 0,52% | 0,03% | 0,55% | 9,93% | 2,14% | 38,99% | Al |
| Au | | | | | | | 9,45% | | 0,01% | 0,01% | 0,06% | 0,06% | Au |
| Ba | | | | | | | 0,01% | | 0,01% | 0,01% | 0,04% | 0,04% | Ba |
| Ca | | | | | | | | | 0,22% | 0,22% | 0,86% | 0,86% | Ca |
| Cd | 0,02% | 0,01% | 0,04% | | 0,02% | | 0,02% | 0,00% | 0,02% | 0,00% | 0,08% | 0,08% | Cd |
| Co | | | | | 0,00% | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,01% | 0,01% | Co |
| Cr | 0,07% | 0,01% | 1,98% | | 0,69% | | 0,69% | 0,00% | 0,69% | 0,00% | 2,71% | 2,71% | Cr |
| Cu | 2,05% | 1,23% | 8,19% | 9,00% | 5,12% | 15,00% | 9,09% | 1,84% | 10,92% | 10,92% | 42,88% | 42,88% | Cu |
| Hg | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | 0,00% | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | Hg |
| K | | | | | | | | | | | 0,04% | 0,04% | K |
| Mn | 0,05% | 0,01% | | | 0,03% | | 0,03% | 0,00% | 0,04% | 0,04% | 0,14% | 0,14% | Mn |
| Mo | | | | | | | | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | Mo |
| Nd | | | | | | | | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | Nd |
| Ni | 0,15% | 0,01% | 2,05% | | 0,74% | | 0,00% | 0,25% | 0,84% | 0,84% | 3,29% | 3,29% | Ni |
| Pb | 0,27% | 0,09% | 0,57% | | 0,31% | | 0,59% | 0,17% | 0,40% | 0,40% | 1,59% | 1,59% | Pb |
| Pd | | | | | | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,02% | 0,02% | Pd |
| Rb | | | | | | | | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | Rb |
| Sn | 0,06% | 0,00% | 0,47% | | 0,18% | | 0,21% | 0,25% | 0,46% | 0,46% | 1,82% | 1,82% | Sn |
| Sr | 1,12% | 0,00% | | | 0,56% | | 0,56% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,01% | 0,01% | Sr |
| Ti | | | | | 0,00% | | 0,00% | | 0,56% | 0,56% | 2,20% | 2,20% | Ti |
| V | | | | | | | 0,00% | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | V |
| Zn | 0,44% | 0,10% | 1,01% | 1,00% | 0,64% | 1,00% | 0,55% | 0,25% | 0,80% | 0,80% | 3,13% | 3,13% | Zn |
| Gesamt | | | | | 13,64% | | 21,96% | | 25,47% | | 100,00% | 100,00% | Gesamt |

Tabelle B.3.: NE-Metalle in Elektro- und Elektronikgeräten

Quellen wird ein Mittelwert berechnet. Dieser Mittelwert beschreibt die Zusammensetzung des Elektro- und Elektronikschrotts. Im nächsten Bereich kommen Untersuchungen von zwei realen Produkten, die dieser Sparte angehören, hinzu. Aus diesen drei Werten wird erneut der Mittelwert gebildet, um eine entsprechende Materialzusammensetzung zu bestimmen. Anschließend wird, da die Leiterplatten analysiert wurden, noch deren Resultat berücksichtigt, damit keinesfalls Elemente (vor allem umweltrelevante) verloren gehen. Allerdings werden diese, wie zuvor bereits erwähnt, nur anteilig nach Kramer (2006, S.12) zugerechnet. Zum Abschluss muss noch auf 100 % aufgerechnet werden, da vom Lieferanten genaue Angaben über den Anteil an NE-Metallen bekannt sind.

Die Analyse der Kunststoffe in Elektro- und Elektronikgeräten findet sich in Abbildung B.4. Die Kalkulation der finalen Zusammensetzung verläuft ähnlich den NE-Metallen. Der Beginn liegt ebenfalls am unteren Seitenrand. Die verschiedenen Quellen beziehen sich auf Analysen von Kunststoffabfällen, Untersuchungen von spezifischen Elektroniksektoren sowie der Verarbeitung und Erzeugung von Kunststoffen. Aus diesen Materialangaben wird eine Zusammensetzung gemittelt. Am interessantesten scheint die als erstes angeführte Quelle. Diese bezieht sich wirklich nur auf die Kunststoffe in der Elektronikbranche. Aus diesem Grund wird *Plastics Europe (2012)* auch verwendet um Quellen, die eine Position Kunststoff innehaben, zu bewerten. In den Kunststoffanalysen bezogen auf Branchen, Gerätesektoren bzw. Abfälle, existiert eine große Position "Rest", darum werden nicht vorhandene Komponenten nicht mit dem Wert 0 % versehen (und werden folglich bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt). Während das bei den Produktuntersuchungen und der Abfallanalyse von *Schwister & Adam (2010)* anders durchgeführt wird. In diesen Bereichen taucht die allgemeine Position Kunststoffe auf, die wie bereits geschildert, bewertet wird. Um nicht spezifische Kunststoffe in den Produkten (z.B. ABS/PC in der *Nokia-Analyse*) zu dominant werden zu lassen, werden für diesen Tabellenabschnitt in den Produkten nicht angeführte Kunststoffe mit 0 % bewertet. Der grau hinterlegte Wert in der *Notebook-Analyse* stellt einen gesondert ausgewiesenen Anteil dar. Anschließend wird auch aus diesen Betrachtungen der Mittelwert gebildet. Letztendlich werden die beiden großen Kategorien noch zusammengeführt und ergeben somit die Kunststoffzusammensetzung im Bereich Elektronik. Die Komponente PET wurde mit Absicht auf 0 % reduziert, da dieser Kunststoff in keiner elektro- oder elektronikspezifischen Quelle vorkommt. Somit würde PET nur durch die sehr weit gefassten Referenzen (z.B. weltweite Erzeugung) induziert.

Für sonstige Materialien gilt das gleiche Prinzip wie auch in den vorigen Betrachtungen. Anhand verschiedenster Quellen wurde eine Standardzusammensetzung ermittelt. In dieser Gruppe finden sich Halb- und Nichtmetalle, Halogene, Flammschutzmittel sowie Glas, Keramik und Oxide. Diese drei werden meist geschlossen angeführt und bilden mit Abstand die größte Fraktion im Bereich sonstiger Werkstoffe. Die Besonderheit bei der Bestimmung der Zusammensetzung ist, dass in diesem die Materialien

| Kunststoffe | KST in Elektronik, industriellen Sektoren, Abfall und Erzeugung | | | | | | | | KST in Produkten und Entsorgung (Elektronik) | | | | | Gesamt | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------|---------|----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|---------|------------|-------------|
| | Plastics Europe, 2012 | Novak, 2001, Infotech | Novak, 2001, Elektrot. Anlagen | Consultic, 2011 KST: Verarb. | BVSE, 2013 KST: Abfälle in D 2001 | Plastics Europe, 2008 Erzeugung | Mittelwert | | Schwister Karl 2010 | Handy Nokia (Singhal, 2005) | Notebook (Deng et.al, 2011) | Mittelwert | | Kunststoff | Material |
| | | | | | | | 100% | 100% | | | | 100% | 100% | | |
| KST | | | | | | | | | | | | | | | |
| ABS | 8,00% | 48,00% | | 2,20% | 2,70% | | 15,23% | 15,30% | 1,12% | 1,44% | 9,87% | 4,14% | 12,03% | 13,67% | ABS |
| PA | 8,00% | 3,00% | 43,00% | 2,90% | 1,85% | | 11,75% | 11,81% | 1,12% | 1,44% | 0,73% | 1,10% | 3,18% | 7,49% | PA |
| PE | 13,00% | | | 27,10% | 35,29% | 29,00% | 26,10% | 26,22% | 1,82% | 2,34% | 1,18% | 1,78% | 5,17% | 15,70% | PE |
| PMMA | 1,00% | | | 0,60% | | | 0,80% | 0,80% | 0,14% | 0,18% | 0,09% | 0,14% | 0,40% | 0,60% | PMMA |
| PP | 28,00% | | | 17,10% | 10,17% | 18,00% | 18,32% | 18,41% | 3,92% | 5,04% | 2,54% | 3,83% | 11,13% | 14,77% | PP |
| PS | 15,00% | 2,00% | | 5,90% | 8,50% | 8,00% | 7,88% | 7,92% | 2,10% | 2,70% | 1,36% | 2,05% | 5,96% | 6,94% | PS |
| PU | 12,00% | | | 6,30% | 5,54% | 7,00% | 7,71% | 7,75% | 1,68% | 2,16% | 1,09% | 1,64% | 4,77% | 6,26% | PU |
| PVC | 5,00% | 3,00% | | 13,60% | 12,59% | 12,00% | 9,24% | 9,28% | 0,70% | 0,90% | 0,45% | 0,68% | 1,99% | 5,64% | PVC |
| ABS/PC | | | | | | | | | | | | | | | |
| Expoxydharz | | | | | | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 29,00% | 0,00% | 9,67% | 28,07% | 14,03% | ABS/PC |
| PPS | | | | | | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 9,00% | 6,46% | 5,15% | 14,96% | 7,48% | Expoxydharz |
| PC | | 2,00% | 3,00% | | | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 2,00% | 0,00% | 0,67% | 1,94% | 0,97% | PPS |
| PET | | | | 3,80% | 2,44% | 7,00% | 2,50% | 2,51% | 0,00% | 0,00% | 10,74% | 3,58% | 10,40% | 6,45% | PC |
| Rest | 10,00% | 20,00% | 54,00% | 20,50% | 20,91% | 19,00% | 0,00% | 0,00% | | | | 0,00% | 0,00% | 0,00% | PET |
| Gesamt | | | | | | | 99,52% | 100,00% | | | | 34,44% | 100,00% | 100,00% | Gesamt |

Tabelle B.4.: Kunststoffe in Elektro- und Elektronikgeräten

| Sonstiges | Müller & Giegrich (IFEU, 2005) | Mark et.al. (Plastics Europe, 2006) | Moff & Tavema (BUWAL, 2004) | Schwister Karl, 2010 | Handy Nokia (Singhal, 2005) | Notebook (Deng et.al, 2011) | Mittelwert | Stoffe aus den LP anteilig am Gerät | GESAMT | 100% NE-Metall | Werkstoff |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-------------------------------------|--------|----------------|-----------|
| As (Halbmetall) | 0,00% | 0,00% | | | | | 0,00% | | 0,00% | 0,00% | As |
| Sb (Halbmetall) | | 0,02% | 0,33% | | | | 0,17% | 0,07% | 0,12% | 1,56% | Sb |
| Br (Halogen) | | 0,00% | 1,10% | | | | 0,55% | 0,50% | 0,52% | 6,65% | Br |
| Cl (Halogen) | | 0,00% | 1,92% | | | | 0,96% | 0,29% | 0,62% | 7,92% | Cl |
| F (Halogen) | | 0,00% | | | | | 0,00% | | 0,00% | 0,00% | F |
| Glas, Keramik, Oxide | | | | 5,00% | | 7,94% | 6,47% | 4,51% | 5,49% | 69,67% | Glas |
| P (Nichtmetall) | | | 0,07% | | | | 0,07% | | 0,04% | 0,45% | P |
| HBCD | | | 0,04% | 1,67% | 0,33% | | 0,68% | | 0,34% | 4,32% | HBCD |
| TBBPA | | | 0,32% | 1,67% | 0,33% | | 0,77% | | 0,39% | 4,90% | TBBPA |
| DecaBDE | | | 0,14% | 1,67% | 0,33% | | 0,71% | | 0,36% | 4,53% | DecaBDE |
| REST | | | | 16,00% | 4,00% | 11,70% | | | | | Rest |
| Gesamt | | | | | | | | | 7,88% | 100,00% | Gesamt |

Tabelle B.5.: Sonstige Materialien in Elektro- und Elektronikgeräten

der Leiterplatten über den Mittelwert miteinbezogen wurden, da weniger als die Hälfte der Materialien betroffen waren und gerade die erwähnte Gruppierung Glas, Oxide und Keramik dadurch überhöht in die Bilanz eingeflossen wäre.

| Abkürzung | Bezeichnung | Marke |
|-----------|---------------------------------------------|-------------|
| ABS | Acrylnitril/Polybutadien/Styrolpropfpolymer | Novodur |
| CR | Polychloropren Gummi, Chloropren-Kautschuk | Neopren |
| DecaBDE | Decabromdiphenylether | |
| EPDM | Ethylen-Propylen-Terpolymer (Dien) | |
| FKM | Fluorelastomere | |
| HBBD | Hexabromcyclodecan | |
| LLDPE | Linear Low Density Polyethylen | |
| NBR | Nitrilgummi | |
| Nylon | Kunstfaser aus PA | Nylon |
| PA | Polyamid | |
| PBT | Polybutylenterephthalat | |
| PC | Polycarbonat | Lexan |
| PEEK | Aromatische Polyaryletherketone | |
| PE-HD | Polyethylen High density | |
| PF | Phenol/Formaldehyd-Kunststoffe | |
| PMMA | Polymethylmethacrylat, Acrylglas, Plexiglas | |
| POM C | Polyacetal Copolymer | PAS (L-X-Y) |
| PP | Polypropylen | |
| PPS | Polyphenylsulfid | |
| PU | Polyurethan | Vulkollan |
| PVC | Polyvinylchlorid | Evilon |
| SBR | Styrol-Butadien-Gummi | Black Star |
| TBBPA | Tetrabrombisphenol A | |
| UP | Polyesterharz | |
| Zamak | Zinkdruckgusslegierung | |

Tabelle B.6.: Auflistung von Abkürzungen zu Kunststoffen, Flammschutzmitteln etc.

Alle Bezeichnungen von Stoffen und Elementen, die durch Abkürzungen angeführt sind, können den Tabellen B.6 und B.7 entnommen werden. Die Tabellen wurden nach Dominighaus et al. (2012), BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009), Moeller (2008) und Hoppe (2013) erstellt. Zusätzlich bietet die Tabelle für Kunststoffe auch einige Markenbezeichnungen, da diese gängig sind bzw. in der Analyse auftraten.

Antriebsselemente

Auch die Antriebsselemente wurden anhand von Quellen bewertet. Die Zusammensetzung eines Servomotors kann in Tabelle B.8 eingesehen werden. Die in der Referenz ausgeführte Version trug ein Aluminiumgehäuse, da aber auch Motoren mit Stahlgehäuse zum Einsatz kommen, wurde über das Dichteverhältnis von Aluminium und Stahl eine Variante mit Stahlgehäuse berechnet (B.8 rechts).

Die Informationen von den Lieferanten waren nur sehr spärlich und konnten daher

| Kategorie | Abkürzung | Bezeichnung | Kategorie | Abkürzung | Bezeichnung |
|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------------------|
| NE-Metall | Ag | Silber | NE-Metall | Pd | Palladium |
| NE-Metall | Al | Aluminium | NE-Metall | Rb | Rubidium |
| NE-Metall | Au | Gold | NE-Metall | Sn | Zinn |
| NE-Metall | Ba | Barium | NE-Metall | Sr | Strontium |
| NE-Metall | Ca | Calcium | NE-Metall | Ti | Titan |
| NE-Metall | Cd | Cadmium | NE-Metall | V | Vanadium |
| NE-Metall | Co | Kobalt | NE-Metall | Zn | Zink |
| NE-Metall | Cr | Chrom | Halbmetall | As | Arsen |
| NE-Metall | Cu | Kupfer | Halbmetall | Sb | Antimon |
| NE-Metall | Hg | Quecksilber | Halogen | Br | Brom |
| NE-Metall | K | Kalium | Halogen | Cl | Chlor |
| NE-Metall | Mn | Mangan | Halogen | F | Fluor |
| NE-Metall | Mo | Molybdän | Nichtmetall | P | Phosphor |
| NE-Metall | Nd | Neodym | Flammschutz | HBCD | Hexabromcyclodecan |
| NE-Metall | Ni | Nickel | Flammschutz | TBBPA | Tetrabrombisphenol A |
| NE-Metall | Pb | Blei | Flammschutz | DecaBDE | Decabromdiphenylether |

Tabelle B.7.: Auflistung von Abkürzungen zu NE-Metallen und sonstigen Materialien

lediglich zur Adaption der Quellenangaben herangezogen werden. So wurde die Zusammensetzung des NdFeB (Neodym-Eisen-Bor) Magneten etwas modifiziert, denn ein Informationsblatt des Lieferanten (K) merkt an, dass die verwendeten Magneten 4 % Dysprosium enthalten. Die Angaben wurden dementsprechend modifiziert. Die Position Sonstige wurde vernachlässigt, da sie keine Aussagekraft besitzt und keine weitere Untersuchung möglich ist. Als die Bewertungen und Bilanzierungen bereits ausgeführt waren, fand sich noch eine weitere Quelle, die aber folglich nur noch zur Verifizierung herangezogen werden konnte. Doch der Vergleich mit Gauch et al. (2011) deckt sich weitgehend sehr gut und somit können die getroffenen Annahmen als bestätigt angesehen werden.

| Servomotoren | | | | | | |
|---------------|-------|------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|----------|--------|
| Komponenten | Mat. | 3 kW Servomotor PM (Quelle Lindegger) | | Variante Stahlgehäuse (Umrechnung über Dichte) | | |
| | | Mat. | Anteil | Mat. | Anteil | |
| Stator | Fe | 4,30 kg | 31,6% | Fe | 4,30 kg | 22,0% |
| Rotor | Fe | 1,90 kg | 14,0% | Fe | 1,90 kg | 9,7% |
| Magnet | NdFeB | 0,30 kg | 2,2% | NdFeB | 0,30 kg | 1,5% |
| Wicklung | Cu | 1,70 kg | 12,5% | Cu | 1,70 kg | 8,7% |
| Welle | ST | 1,17 kg | 8,6% | ST | 1,17 kg | 6,0% |
| Kugellager | ST | 0,32 kg | 2,4% | ST | 0,32 kg | 1,6% |
| Gehäuse, etc. | Al | 3,10 kg | 22,8% | ST | 9,01 kg | 46,2% |
| Flansch | Al | 0,82 kg | 6,0% | Al | 0,82 kg | 4,2% |
| Gesamt | | 13,61 kg | 100,0% | | 19,52 kg | 100,0% |

Tabelle B.8.: Materialien in Servomotoren nach Lindegger et al. (2008)

Diese Zusammensetzung kann für die Bewertung aller Servo- bzw. Permanentmagnet-

| Permanentmagnet | | | |
|------------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------|
| NdFeB Magnet | Quelle: Olszewski | Umrechnung (Quelle Lieferant K) | verwendet |
| Nd | 20,5% | 24,50% | 25,03% |
| Dy | 8,0% | 4% | 4,09% |
| Pr | 2,0% | 2,0% | 2,04% |
| Fe | 64,4% | 64,4% | 65,78% |
| Co | 2,0% | 2,0% | 2,04% |
| B | 1,0% | 1,0% | 1,02% |
| Sonstige | 2,1% | 0,0% | 0,00% |
| Gesamt | 100% | 97,90% | 100,00% |

Tabelle B.9.: Zusammensetzung von Permanentmagneten (adaptiert von Olszewski, 2011, S.16)

motoren verwendet werden. Nach einem Bericht der Maxon Academy (2010) werden auch Gleichstrommotoren kleiner Baugröße mit Permanentmagneten ausgestattet. Vom Motorhersteller wurden leider keine Informationen geliefert, aus den verfügbaren Datenblättern kann aber abgeleitet werden, dass es sich aus zuvor genanntem Grund mit großer Wahrscheinlichkeit um einen Permanentmagnetmotor handelt (Motorleistung 0,2kW). Zusätzlich zu den Permanentmagneten (NdFeB) in den Motoren findet sich in der Ausschreibung des RBG - Smart Storage auch noch ein weiterer separater Permanentmagnet. Dabei handelt es sich um einen AlNiCo (Aluminium-Nickel-Kobalt) Magneten, welcher nach Schatt et al. (2007, S.474) bewertet wurde.

| Wirkungsgr.IE2 | 1,1 kW | | 11kW | | 110kW | |
|-------------------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | kg/kW | % | kg/kW | % | kg/kW | % |
| Elektroblech (Fe) | 8 | 49,8% | 4,8 | 53,2% | 3,6 | 44,4% |
| ST | 1,6 | 10,0% | 1 | 11,1% | 0,7 | 8,6% |
| Grauguss | 2,5 | 15,6% | 1,3 | 14,4% | 3 | 37,0% |
| Al | 2 | 12,5% | 1 | 11,1% | 0,2 | 2,5% |
| Cu | 1,9 | 11,8% | 0,9 | 10,0% | 0,6 | 7,4% |
| KST | 0,05 | 0,3% | 0,02 | 0,2% | 0,01 | 0,1% |
| Gesamt | 16,05 | 100,0% | 9,02 | 100,0% | 8,11 | 100,0% |

Tabelle B.10.: Materialien in Asynchronmotoren (in Anlehnung an Blaß & Sattler, 2010, S.12f)

Ähnlich der Servomotoren werden auch die Drehstromasynchronmotoren anhand von Referenzen beurteilt. Je nach Baugröße bzw. Leistungsstärke verändert sich die Zusam-

mensetzung geringfügig. Weiters kann diese auch noch durch unterschiedliche Gehäuseausführungen beeinflusst werden. Die in Tabelle B.10 dargestellte Variante beinhaltet ein Graugussgehäuse. Der Wechsel zu einem Al-Gehäuse würde die Anteile dementsprechend verändern. Das weichmagnetischen Eisen, verwendet als Kern der Motorwicklungen, wird als Elektroblech bezeichnet und findet sich auch unter dieser Bezeichnung in der Aufstellung (Flegel et al., 2009, S.66ff).

Sensoren, Motorschütze und andere Produkte

Zur Bewertung elektronischer Komponenten wie induktive Näherungs-, photoelektronische Sensoren, Motorschütze oder Leistungstrennschalter wurden Ökobilanzen von Schneider-Electric (2013) herangezogen. Das Unternehmen Schneider Electric SA erstellte für zahlreiche Produkte ein Umweltprofil (Product Environmental Profile). Auch wenn sich andere Komponenten in Verwendung befinden, so sollte die Materialbilanz auch auf ähnliche Produkte anderer Hersteller gut zutreffen. Folglich bieten die Produktumweltprofile eine zuverlässige Basis für die Bewertung der elektronischen Komponenten. Weiters befindet sich auch noch die Analyse der Zinkdruckgusslegierung ZAMAK in Tabelle B.11. ZAMAK wird häufig als Gehäusematerial eingesetzt. Aufgrund seiner guten Gießeigenschaften findet es aber auch für Kleinteile wie Kontakte Verwendung (Moeller, 2008, S.486ff).

Verschnitt bei der Bearbeitung von Stahl- und Aluminiumblechen

Beide Tabellen, B.12 für Stahl und B.13 für Aluminium, folgen dem gleichen Bestimmungsvorgang. Die Tabellen beinhalten viele Informationen von der verbrauchten Rohmaterialmenge und -masse bis zur Masse je Prozessmodul bzw. je Gasse. Der interessante Teil befindet sich allerdings im rechten Bereich der Tabelle. Rechts von der hinterlegten Spalte (Masse je Gasse) ist der Verschnitt (aus den Schnittprogrammen der Maschinen bezogen) aufgelistet. Je nachdem wie häufig ein bestimmtes Blechteil je Gasse vorkommt, erfolgt eine Gewichtung des Verschnitts. Schlussendlich wird unter Beachtung beider ermittelter Mittelwerte (gewichtet und nicht gewichtet) ein Verschnitt gewählt (rot hinterlegt). Dieser wird auf alle Blechteile, die nicht direkt analysiert worden sind, angewendet. Im Fall von Stahl ergab sich 37,5 % und für Aluminium 40 % Verschnitt.

| Motorschutz: GV2 ME (5100138) | |
|------------------------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| Cu | 38,59% |
| ST | 17,51% |
| UP | 15,67% |
| Fe | 10,83% |
| Al | 8,41% |
| PA | 2,53% |
| PUR | 2,07% |
| PF | 1,50% |
| Ag | 0,92% |
| PC | 0,69% |
| sonst | 0,58% |
| Niro | 0,35% |
| Elastomer | 0,23% |
| LP | 0,12% |

| Näherungsschalter Kunststoffgehäuse | |
|------------------------------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| PBT | 45,47% |
| PU | 20,08% |
| Fe | 12,63% |
| PA | 6,02% |
| Cu/Zn | 4,51% |
| ST | 4,37% |
| Cu | 2,60% |
| LP | 2,52% |
| Elektronik | 0,57% |
| Elastomer | 0,39% |
| PVC | 0,39% |
| PP | 0,32% |
| Hartlot | 0,12% |

| Näherungsschalter Messinggehäuse | |
|---------------------------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| CuZn | 76,89% |
| LP | 7,56% |
| PUR | 6,22% |
| Fe | 3,11% |
| Acryl Kleber | 1,78% |
| PPS | 1,78% |
| PA | 1,33% |
| PP | 0,89% |
| Cu | 0,44% |

| Leergehäuse 106g | |
|-------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| PC | 78,20% |
| ST | 20,50% |
| Elastomer | 1,30% |

| photoelektronischer Sensor | |
|---------------------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| PBT | 48,36% |
| LP | 30,91% |
| PC | 8,73% |
| PUR | 5,82% |
| Elastomer | 1,82% |
| PMMA | 1,82% |
| Fe-Le | 1,09% |
| ST | 0,73% |
| Niro | 0,36% |
| POM | 0,36% |

| Leistungstrennschalter | |
|-------------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| ST | 43,54% |
| PA | 38,92% |
| Cu | 8,58% |
| PC | 3,14% |
| PBT | 1,07% |
| PPS | 1,05% |
| PET | 1,05% |
| Fe-Le | 0,91% |
| Al | 0,82% |
| Zn | 0,49% |
| POM | 0,38% |
| Ag | 0,04% |

| Taster/Schalter XB5AA u ..AL | |
|-----------------------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| PA | 47,61% |
| Elastomer | 4,27% |
| Niro | 13,44% |
| PBT | 6,17% |
| Messing | 5,81% |
| Ag | 0,21% |
| ST | 22,49% |

| Endschalter (Stab) | |
|---------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| Zamak | 63,38% |
| ST | 19,50% |
| Al | 4,65% |
| PA | 3,40% |
| Elastomer | 2,72% |
| Niro | 2,04% |
| CuZn | 1,70% |
| Fe | 1,47% |
| POM | 0,68% |
| PE | 0,23% |
| sonst | 0,11% |
| Ag | 0,11% |

| Safety Interlock | |
|-------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| PE | 0,53% |
| PP | 0,32% |
| PPS | 0,96% |
| PA | 3,73% |
| Niro | 0,75% |
| CuZn | 1,38% |
| ST | 14,48% |
| Cu | 6,82% |
| Zamak | 67,94% |
| Elastomer | 0,21% |
| LP | 2,88% |

| Rotary Handle | |
|----------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| Fett | 0,41% |
| PE | 0,27% |
| PC | 33,70% |
| Niro | 0,14% |
| Zamak | 22,88% |
| ST | 42,47% |
| Elastomer | 0,14% |

| Zamak (Zinkdruckguss) | |
|----------------------------------|--------|
| Werkstoffe | Anteil |
| Zn | Rest |
| Al | 4,00% |
| Cu | 1,00% |
| Mg | 0,05% |

Tabelle B.11.: Materialien in Sensoren, Schützen, usw. (in Anlehnung an Schneider-Electric, 2013) und Zamak (Moeller, 2008)

| Abmessungen | PM | STBK | GMN-01 | Masse Roh | Masse [kg] | # PM | Masse/PM | PM/Gasse | M/Gasse | Verschnitt | Faktor | Gewichtet |
|----------------------|---------|----------|--------|-----------|------------|------|----------|----------|----------|-------------|--------|-----------|
| 2000x1000x10 DIN1543 | Lift | 10453671 | 3,6 | 157,0 | 565,2 | 4 | 141,3 | 2 | 282,6 kg | 36,19% | 5,3 | 1,93 |
| 2000x1000x10 DIN1543 | Lift | 10453572 | 1,5 | 78,5 | 120,6 | 4 | 30,1 | 2 | 60,3 kg | 35,67% | 1,1 | 0,41 |
| 2500x1250x1.5 | Shuttle | 10452930 | 3,5 | 36,8 | 128,1 | 60 | 2,1 | 30 | 64,0 kg | 66,39% | 1,2 | 0,80 |
| 3000x1500x1.5 | Shuttle | 10452899 | 20,0 | 53,0 | 1061,7 | 60 | 17,7 | 30 | 530,8 kg | 40,33% | 10,0 | 4,04 |
| 2500x1250x2.0 | Shuttle | 10453020 | 5,9 | 49,1 | 288,5 | 60 | 4,8 | 30 | 144,2 kg | 50,66% | 2,7 | 1,38 |
| 2500x1250x3.0 | ZWP | 10450359 | 7,9 | 73,6 | 582,9 | 240 | 2,4 | 60 | 145,7 kg | 27,44% | 2,7 | 0,75 |
| 2500x1250x3.0 | ZWP | 10450374 | 6,7 | 73,6 | 494,6 | 240 | 2,1 | 60 | 123,6 kg | 24,77% | 2,3 | 0,58 |
| 2500x1250x3.0 | ZWP | 10450364 | 5,8 | 73,6 | 423,9 | 240 | 1,8 | 60 | 106,0 kg | 28,22% | 2,0 | 0,56 |
| 2500x1250x4 | Schutz | 10480160 | 4,3 | 98,1 | 423,9 | 1 | 423,9 | 0,25 | 106,0 kg | 35,97% | 2,0 | 0,72 |
| 2500x1250x2.0 | Shuttle | 10452901 | 2,2 | 49,1 | 106,1 | 60 | 1,8 | 30 | 53,0 kg | 28,26% | 1,0 | 0,28 |
| | | | | | | | | | | 37,39% | 30,5 | 37,56% |
| | | | | | | | | | | --> gewählt | | 37,50% |

Tabelle B.12.: Ermittlung des durchschnittlichen Verschnitts für Stahlbleche

| Bezeichnung | PM | STBK | GMN-01 | Masse Roh | Masse [kg] | # PM | Masse/PM | PM/Gasse | M/Gasse | Verschnitt | Faktor | Gewichtet |
|---------------------|---------|----------|--------|-----------|------------|------|----------|----------|----------|-------------|--------|-----------|
| 2500x1250x3.0 ALMG3 | Shuttle | 10452966 | 5,3 | 32,2 | 170,1 | 60 | 2,8 | 30 | 85,1 kg | 42,51% | 3,7 | 1,59 |
| 2500x1250x3.0 ALMG3 | Shuttle | 10452968 | 6,7 | 19,9 | 133,7 | 60 | 2,2 | 30 | 66,8 kg | 42,51% | 2,9 | 1,25 |
| 2500x1250x2.0 ALMG3 | Shuttle | 10453014 | 12,3 | 16,9 | 207,6 | 60 | 3,5 | 30 | 103,8 kg | 40,22% | 4,6 | 1,83 |
| 2500x1250x2.0 ALMG3 | Shuttle | 10453018 | 7,7 | 16,9 | 129,6 | 60 | 2,2 | 30 | 64,8 kg | 31,29% | 2,8 | 0,89 |
| 2500x1250x2.0 ALMG3 | Shuttle | 10452915 | 2,7 | 16,9 | 45,6 | 60 | 0,8 | 30 | 22,8 kg | 43,64% | 1,0 | 0,44 |
| | | | | | | | | | | 40,03% | 15,1 | 39,77% |
| | | | | | | | | | | --> gewählt | | 40,00% |

Tabelle B.13.: Ermittlung des durchschnittlichen Verschnitts für Aluminiumbleche

B.2.2. Energieanalyse

Produktionsanlagen in der mechanischen Fertigung

Da mehrere Maschinen immer über einen Energiezähler gemessen werden, muss ein Mittelwert für die jeweiligen Verfahren bestimmt werden. Dieser Vorgang kann Tabelle B.14 entnommen werden. Der Aufnahmezeitraum wurde mit den nötigen Betriebsstunden, sprich 17 Schichten je Woche, bewertet. Schlussendlich wird für jedes Bearbeitungsverfahren ein Energieverbrauch pro Stunde bestimmt. Dieser kann dann zur Beurteilung des Energieaufwands in der Produktion herangezogen werden.

Beschichtungsanlage

Auch zur Bewertung des CO₂ Ausstoßes in der Beschichtungsanlage müssen gewisse Grundparameter bestimmt werden. Zur Beurteilung sind der Propangasverbrauch und die Beschichtungsleistung unbedingt notwendig. Die Ermittlung des Propangasverbrauchs (siehe Tabelle B.15) folgt dem gleichen Schema wie die Bestimmung des Energieverbrauchs in der mechanischen Fertigung. Der Zeitraum zur Erhebung wurde so gewählt, dass er mit dem Zeitraum übereinstimmt in dem auch die Daten zur Berechnung der Beschichtungsleistung erfasst wurden.

| Maschine | Typ | Zähler | Verbrauch [kWh] | Zeitraum [h] | Leistung [kW] | Mittel [kW] |
|------------|--------------------------|--------------|-----------------|--------------|---------------|-------------|
| L3050neu | Flachbettlaser | CNC Laser | 325.498 | 7072,0 | 46,0 | 47,1 |
| L3050alt | Flachbettlaser | | 341.077 | 7072,0 | 48,2 | |
| TC6000Lneu | Komb. Laser-Stanzzentrum | | 210.158 | 7072,0 | 29,7 | 29,4 |
| TC6000Lalt | Komb. Laser-Stanzzentrum | | 205.239 | 7072,0 | 29,0 | |
| Kante01 | Kantmaschine | CNC Kanten | 33.403 | 7072,0 | 4,7 | 5,5 |
| Kante02 | Kantmaschine | | 44.815 | 7072,0 | 6,3 | |
| Kante03 | Kantmaschine | | 49.713 | 7072,0 | 7,0 | |
| Kante04 | Kantmaschine | | 40.874 | 7072,0 | 5,8 | |
| Kante05 | Kantmaschine | | 42.194 | 7072,0 | 6,0 | |
| Kante06 | Kantmaschine | | 44.814 | 7072,0 | 6,3 | |
| Kante07 | Kantmaschine | | 28.239 | 7072,0 | 4,0 | |
| Kante08 | Kantmaschine | | 25.743 | 7072,0 | 3,6 | |
| EMCO | Maxturn | CNC Dreherei | 18.526 | 7072,0 | 2,6 | 2,8 |
| EMCO | Hyperturn | | 20406 | 7072,0 | 2,9 | |

Tabelle B.14.: Durchschnittlicher Energieverbrauch der Produktionsanlagen

| Verbrauch C3H8 [m³] | CO ₂ Ausstoß Summe Teilzähler [kg] | CO ₂ Ausstoß je m³ Propan | Arbeitstage | Betriebsstunden [h] | Verbrauch Propan je Stunde [m³/h] | Verbrauchs-Mittelwert [m³/h] |
|---------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 3.209,0 | 19.663,0 | 6,1 | 21 | 305 | 10,5 | 8,89 |

Tabelle B.15.: Propangasverbrauch in der Beschichtungsanlage

Für die Bestimmung der Beschichtungsleistung in Tabelle B.16 wurden für die Kalenderwochen 45 bis 48 die Quadratmeter beschichteter Flächen herangezogen. Zehn Schichten je Woche ergeben 80 Betriebsstunden pro Woche. Daraus kann die Beschichtungsleistung in Quadratmeter je Stunde berechnet werden.

| 2012 | beschichtete Fläche | h/Woche | Leistung m²/h | Ave. m²/h |
|-------|---------------------|---------|---------------|-----------|
| KW 45 | 4.143 m² | 80 | 51,8 | 45,1 |
| KW 46 | 3.118 m² | | 39,0 | |
| KW 47 | 3.392 m² | | 42,4 | |
| KW 48 | 3.772 m² | | 47,2 | |

Tabelle B.16.: Durchschnittliche Beschichtungsleistung

Lageraufträge und Lohnfertigung

Tabelle B.17 zeigt die jeweiligen Bearbeitungsverfahren und den dazugehörigen Energieverbrauch bezogen auf 1 kg Material, das in der Fertigung abgearbeitet wird. Der Bezug wurde deshalb gewählt, da im Bereich Lohnfertigung keine Daten über die Bearbeitungsdauer der Teile zur Verfügung stehen. Ermittelt wurden die Parameter aus den Informationen der Fertigung bei KNAPP und die vom Lieferanten zur Verfügung gestellten Daten. Für das RBG - Smart Storage mussten auch die Lageraufträge nach der gleichen Methode bewertet, da keine Informationen mehr zur Verfügung standen. Der Energieverbrauch für die verschiedenen Bearbeitungsverfahren wurde über die produktbezogenen Daten aus der Herstellungsphase ermittelt. Die Kategorie CNC umfasst die Bearbeitungsverfahren Drehen und Fräsen und unter Mix/Sonstiges fallen jene Teile, die mehrere oder auch alle Verfahren benötigen.

| Bearbeitung | Anteil | Energieverbrauch |
|----------------|--------|-----------------------------------------|
| Drehen | | 0,84 kWh je kg abgearbeitetes Material |
| Bleche | | |
| Lasern | 37% | 2,77 kWh je kg abgearbeitetes Material |
| Lasern-Stanzen | 63% | 1,72 kWh je kg abgearbeitetes Material |
| Fräsen | | 16,91 kWh je kg abgearbeitetes Material |
| CNC | | 8,88 kWh je kg abgearbeitetes Material |
| Mix | | 5,56 kWh je kg abgearbeitetes Material |

Tabelle B.17.: Energieverbrauch der einzelnen Bearbeitungsverfahren

Die folgenden Tabellen B.18 und B.19 präsentieren einen Überblick über den Energieverbrauch der beiden Anlagen in der Lohnfertigung. Die Lageraufträge und die Lohnfertigung von Lieferant H sind in diesen als Beispiel illustrierten Tabellen nicht enthalten.

| Bereich | Abfall | kWh/kg Abfall | Energieverbrauch |
|----------------|---------------|---------------|------------------|
| Lasern | 0,0 kg | 2,8 | 0,0 kWh |
| Lasern-Stanzen | 0,0 kg | 1,7 | 0,0 kWh |
| Drehen | 0,6 kg | 0,8 | 0,5 kWh |
| Fräsen | 2,8 kg | 16,9 | 47,3 kWh |
| CNC | 0,0 kg | 8,9 | 0,0 kWh |
| Sonstiges | 0,0 kg | 5,6 | 0,1 kWh |
| Gesamt | 3,4 kg | | 47,9 kWh |

Tabelle B.18.: Energieverbrauch in der Lohnfertigung beim OSR ShuttleTM 35b

Für das OSR ShuttleTM 35b konnten die Lageraufträge direkt betrachtet werden. In Tabelle B.20 kann der Ablauf nachvollzogen werden. Über die Fertigungsdauer des

| Bereich | Abfall | kWh/kg Abfall | Energieverbrauch |
|---------------|----------|---------------|------------------|
| Lasern | 15,3 kg | 2,8 | 42,5 kWh |
| Laser-Stanzen | 26,3 kg | 1,7 | 45,4 kWh |
| Drehen | 200,7 kg | 0,8 | 169,0 kWh |
| Fräsen | 28,4 kg | 16,9 | 480,0 kWh |
| CNC | 21,2 kg | 8,9 | 188,0 kWh |
| Sonstiges | 5,0 kg | 5,6 | 27,7 kWh |
| Gesamt | 296,9 kg | | 952,6 kWh |

Tabelle B.19.: Energieverbrauch in der Lohnfertigung beim RBG - Smart Storage

Lagerauftrags kann der Energieverbrauch je Stk. berechnet werden. Danach muss nur noch mit der Stückzahl je Gasse multipliziert werden. Die Kostenstellen in Tabelle B.20 stehen für die einzelnen Bearbeitungsverfahren. So wird das Teil 27205 zum Beispiel zuerst per Laser zugeschnitten und anschließend noch gekantet.

| Mat-93 | Kostenstelle | h | Stk | h/Stk | kWh/h | kWh/Stk |
|--------|--------------|------|-----|-------|-------|---------|
| 27243 | 4234 | 8,53 | 180 | 0,05 | 2,71 | 0,13 |
| 27242 | 4234 | 7,21 | 210 | 0,03 | 2,71 | 0,09 |
| 27205 | 4242 | 6,76 | 260 | 0,03 | 40,08 | 1,04 |
| 27205 | 4238 | 4,38 | 260 | 0,02 | 5,05 | 0,09 |

Tabelle B.20.: Energieverbrauch durch Lagermaterial beim OSR ShuttleTM 35b

B.3. Betrieb

Wie in Kapitel 7 erwähnt, werden für die fiktive Anpassung der RBG-Gasse die unterschiedlich langen/weiten Fahrten bzw. der Anteil der Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit berücksichtigt. Während die Anzahl der Beschleunigungsphasen einfach nur vom Durchsatz abhängt, werden die Konstantfahrten von der zurückgelegten Distanz beeinflusst. Die Tabellen in B.21 zeigen das Schema zur Berücksichtigung dieses Einsparungspotenzials, aufgrund der durchschnittlich kürzeren Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit. Die oberste Tabelle notiert beispielhafte Lagerspiele bestimmter Behälter (in X-Richtung) des Regals. Behälter 34 wird angeführt, weil dort gerade noch keine Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit auftritt. Daraus folgt, von Interesse sind jene Fahrten die weiter als 34 Behälter reichen. Diese Fahrten können auch innerhalb des Regals auftreten. In der untersten Tabelle im Eck rechts oben ist der Anteil "langer" Fahrten mit ca. 60 % angegeben. Dieser Wert sowie die Zeiten der einzelnen Lagerspiele konnten aus den Aufzeichnungen direkt aus dem Betrieb der Anlage bestimmt werden (KNAPP AG, 2013). Die Dauer des Behälterhandlings und auch Geschwindigkeits- und Beschleunigungsdaten stammen von KNAPP-internen Quellen. Diese ermöglichen die

Berechnung der Konstantfahrdauer. Zur weiteren Bestimmung energiebezogener Daten und Werte müssen zusätzliche RBG-Daten herangezogen werden. Diese stammen vom TGW Magito, welches auch in der Analyse nach Hude (2011) herangezogen werden. Verwendet werden die Daten über den Energieverbrauch bzw. die Leistung, die in der Beschleunigungsphase bzw. bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit benötigt werden. Das bedeutet, von Interesse ist das Verhältnis der energetischen Belastung zwischen Beschleunigungsphase und der Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit. Über einen simplen Flächenvergleich des Energieverbrauchs (Leistung x Zeit) kann der Anteil der einzelnen Konstantfahrten am gesamten Energieverbrauch ermittelt werden. Mit diesen Werten wird ein gewichteter Mittelwert für den durchschnittlichen Anteil der Konstantfahrt am Energieverbrauch kalkuliert. Zur Gewichtung werden Daten aus dem realen Betrieb herangezogen. Je öfter bestimmte Distanzbereiche vorkommen, desto schwerer werden diese gewichtet.

| Einsparungspotential fiktives RBG | | siehe Lagerbewegungen RBG zur Nachverfolgung der Zeiten und ähnlichem | | | | | | |
|-----------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-------------|--------------|---------------|
| x-Pos. | Spieldauer | Beh.Handling | # Beh.Handl. | Fahrdauer | # Fahrten | Einzelfahrt | Beschl.phase | Konstantfahrt |
| 34.Beh. | | | | | | | | 0 s |
| 50.Beh. | 16 s | 4 s | 1 | 12 s | 1 | 12 s | 3 s | 6 s |
| 75.Beh. | 34 s | 4 s | 2 | 26 s | 2 | 13 s | 3 s | 7 s |
| 100.Beh. | 38 s | 4 s | 2 | 30 s | 2 | 15 s | 3 s | 9 s |
| 130.Beh. | 47 s | 4 s | 2 | 39 s | 2 | 20 s | 3 s | 14 s |

| TGW Magito | Beschl. | KF Beh. 50 | KF Beh. 75 | KF Beh. 99 | KF Beh. 130 |
|------------|---------|------------|------------|------------|-------------|
| Belastung | 90 kW | 10 kW | | | |
| Energie | 135 kW | 60 kW | 70 kW | 90 kW | 135 kW |
| Anteil | | 30,8% | 34,1% | 40,0% | 50,0% |
| Mittelwert | | 35,0% | | | |

| Gewichtung Mittelwert | |
|-----------------------|-----------|
| Bereich | # Fahrten |
| 34-60. Beh. | 10.155 |
| 60-90. Beh. | 8.909 |
| 90-110. Beh. | 5.124 |
| 110-130. Beh. | 1.713 |
| Gesamt | 25.901 |

| Energieverbrauch Konstantfahrten | | 60% |
|----------------------------------|----------|--------|
| Gesamt | 4,2 kW | |
| Konstantfahrt | 0,878 kW | 35,0% |
| Einsparungspot. | original | fiktiv |
| Ø-Strecke (Beh.) | 48,3 | 43,9 |
| Einsparung | 0,080 kW | 9,1% |

der Fahrten gehen weiter als 34 Behälter und haben folglich einen Konstantfahrtanteil

Tabelle B.21.: Einsparungspotential durch kürzere Konstantfahrten

Schlussendlich wird mit den bisher genannten Daten ein Energieverbrauch ermittelt, der anteilmäßig den Konstantfahrten entspricht (0,878 kW). Aus den Bewegungsdaten der Anlagen (KNAPP AG, 2013) wurde zusätzlich noch eine durchschnittliche Distanz der Fahrten im Regal bestimmt. Um diese auch für das fiktive Regal ermitteln zu können, werden einfach nur alle Fahrten innerhalb der ersten 100 Behälter berücksichtigt. Dann kann die durchschnittliche Weglänge der Fahrten ident zum Originalsystem berechnet werden. Das Einsparungspotenzial durch die kürzeren Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit liegt bei ca. 9 %. Das wiederum entspricht im Endeffekt 0,08 kWh je Betriebsstunde, die weniger verbraucht werden.

B.4. Gesamtbilanz

Die Gesamtbilanz ist einfach gesagt nur das Zusammenfassen aller gesammelten Daten in eine Bilanz/Tabelle. In den Tabellen B.22 und B.23 wird die vollständige Bilanz für das OSR ShuttleTM 35b dargestellt. Eine gleich aufgebaute Bilanz existiert auch für das RBG, ist hier aber aus Platzgründen nicht angeführt. Die Bilanz entspricht mehr oder weniger der "absoluten" Bilanz für das System. Es wurden also keine Informationen von Lieferanten für den Vergleich vernachlässigt. Lediglich Daten, die an der Plausibilitätsprüfung scheiterten, sind nicht bilanziert. Weiters können die Ergebnisse einzelner Kategorien noch aufsummiert werden. Das könnte für einen Vergleich des Material- und Energieaufwands über die gesamte Lebensdauer interessant sein. Üblicherweise wird aber der Vergleich der einzelnen Bereiche und Lebensabschnitte bevorzugt.

B.5. Kontakte

In der Danksagung wurden die zahlreichen Kontakte im Unternehmen KNAPP bereits angesprochen. In Abbildung B.5 ist der Großteil dieser Kontakte angeführt. Die meisten der Personen durfte ich persönlich kennen lernen, andere wurden nur telefonisch oder schriftlich kontaktiert. Einige Personen dienten auch nur als Koordinator/in, um schlussendlich an die richtige Kontaktstelle zu gelangen. Alles in Allem begegneten die Leute immer freundlich und wirklich sehr hilfsbereit. Die Unterstützung für das Projekt war sehr groß und folglich machte die Arbeit große Freude. Die angeführten Bereiche stimmen nicht immer mit den Stellen der einzelnen Personen überein. Die Leute sind aber jenen Bereichen zugeordnet, in denen sie Hilfe leisteten. Mit Ausnahme von Prof. Stefan Vorbach befinden sich keine externen Kontakte in der Auflistung.

| Ursprung | Komponente/Material | Menge/Masse | Einh. | Abfall | Einh. | Zusatz |
|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------|----------|-----------|-----------------------|
| Lieferant F | Regal - Materialoutput | ST | 76.250 kg | 4.013 kg | | Direktlieferung |
| Lieferant F | Regal - Energie | ST | 7.854 kWh | | | Direktlieferung |
| Ursprung | Komponente/Material | Menge/Masse | Einh. | Abfall | Einh. | Zusatz |
| Lieferanten - Material | Aluminiumprofile | Al | 801 kg | 2.779 kg | | nicht gefährlich |
| | | | | 1,4 kg | | radioaktiv |
| | Riemen und Gurte | PU | 100 kg | 13 kg | | |
| | | ST | 67 kg | 9 kg | | |
| | | Nylon | 67 kg | 9 kg | | |
| | | Aramid | 2 kg | 0 kg | | |
| | | PA | 1 kg | 0 kg | | |
| | | PET | 10 kg | 1 kg | | |
| | Kabelrinnen | ST | 572 kg | 97 kg | | gefährlich |
| | Al-Bleche | Al | 392 kg | 2 kg | | Sonder (verwertet) |
| | | | | 2 kg | | Sonstiger (verwertet) |
| Lohnfertigung | ST | 23 kg | 13 kg | | | Schrott |
| Lohnfertigung | Al | 9 kg | 13 kg | | | |
| | Teleskopauszug+Kettenrad | ST | 249 kg | 31 kg | | Schrott |
| Ursprung | Komponente/Material | Menge/Masse | Einh. | Zusatz | | |
| Lieferanten - Wasser, Energie & Emissionen | Wasserverbrauch | Gesamt | 34.164 ltr. | | | |
| | Energieverbrauch | Gesamt | 205.671 kWh | | | ohne Regal |
| | Emissionen | CO ₂ | 16.004 kg | | | |
| | | CFC ₁₁ | 4,8E-04 kg | | | |
| | | PO ₄ ³⁻ | 5,4E-02 kg | | | |
| | | C ₂ H ₄ | 2,2 kg | | | |
| | | H+ | 1,0 kg | | | |
| | | NOx | 1,6E-01 kg | | | |
| | | C _x H _y | 1,3E-01 kg | | | |
| | | CO | 1,1E-01 kg | | | |
| | Lohnfertigung | Hygal | 157 kWh | | | |
| Lohnfertigung | sonstige | 48 kWh | | | berechnet | |
| Lieferanten - Verpackung | Gesamt | Karton | 9 kg | | | |
| | | Holz | 91 kg | | | |
| | | Kunststoff | 1 kg | | | |
| Ursprung | Destination | Transportmittel | Menge | Einh. | Zusatz | |
| Transport | KNAPP | LKW | 6.473 tkm | | | |
| | KNAPP | Fähre | 471 tkm | | | |
| | KNAPP | Bahn | 30 tkm | | | |
| | Kunde | LKW | 114.375 tkm | | | Direktlieferung |
| | Kunde | Fähre | 3.050 tkm | | | Direktlieferung |

Tabelle B.22.: Teil 1 Gesamtbilanz des OSR ShuttleTM 35b

| Ursprung | Komponente/Material | Menge/Masse | Einh. | Zusatz | |
|--------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| KNAPP-Material | Materialoutput | Fe & Fe-Leg. | 7.224 kg | | |
| | | Al | 1.135 kg | | |
| | | PVC | 394 kg | | |
| | | Cu | 342 kg | | |
| | | PA | 283 kg | | |
| | | PU | 188 kg | | |
| | | PC | 63 kg | | |
| | | PP | 41 kg | | |
| | | ABS | 37 kg | | |
| | | Nylon | 31 kg | | |
| KNAPP-Produktion | Energieverbrauch | Auftragsfertigung | 3.284 kWh | | |
| | Energieverbrauch | Lagerfertigung | 36 kWh | | |
| | Abfall | Stahl | 1.585 kg | | |
| | Koppelprodukte | Stahl | 8 kg | | |
| | Abfall | Aluminium | 197 kg | | |
| | Abfall | legierte Stähle | 30 kg | | |
| | Abfall | PVC und PE | 0,4 kg | | |
| | Abfall (Lagerfertigung) | Stahl | 4 kg | | |
| | Emissionen Beschichtung | CO ₂ | 201 kg | | |
| Ursprung | Komponente/Material | Menge/Masse | Einh. | Zusatz | |
| KNAPP - Verpackung | Gesamt | Holz | 506 kg | | |
| | | Karton | 194 kg | | |
| | | Kunststoff | 39 kg | | |
| | | LDPE | 37 kg | | |
| | | PVC | 2 kg | | |
| | | PE | 1 kg | | |
| | | ST | 39 kg | | |
| | | | Shuttle-Transportgestell | ST | 1.150 kg |
| Ursprung | Destination | Transportmittel | Menge | Einh. | Zusatz |
| Transport | Kunde | LKW | 18.997 tkm | | |
| | Kunde | Fähre | 809 tkm | | |
| | KNAPP | LKW | 1.755 tkm | | Rücktransport der Shuttlegestelle |
| | KNAPP | Fähre | 75 tkm | | Rücktransport der Shuttlegestelle |
| Ursprung | Komponente/Material | Menge/Masse | Einh. | Zusatz | |
| Inbetriebnahme | Handstapler, etc. | ST | 176 kg | | |
| | | PA | 2 kg | Rest siehe Details | |
| | | Handstapler Aufsatz | Energieverbrauch | 3 kWh | |
| | Personaleinsatz vor Ort | Flugtransport | 989 tkm | | |
| Betrieb | Energieverbrauch | | 155.643 kWh | 21,4% Auslastung | |
| Service & Wartung | | Fe & Fe-Leg. | 1.302 kg | | |
| | | PU | 430 kg | | |
| | | Nylon (PA) | 290 kg | | |
| | | Al | 164 kg | | |
| | | Cu | 105 kg | | |
| | | PA | 62 kg | | |
| | | PVC | 43 kg | | |

Tabelle B.23.: Teil 2 Gesamtbilanz des OSR ShuttleTM 35b

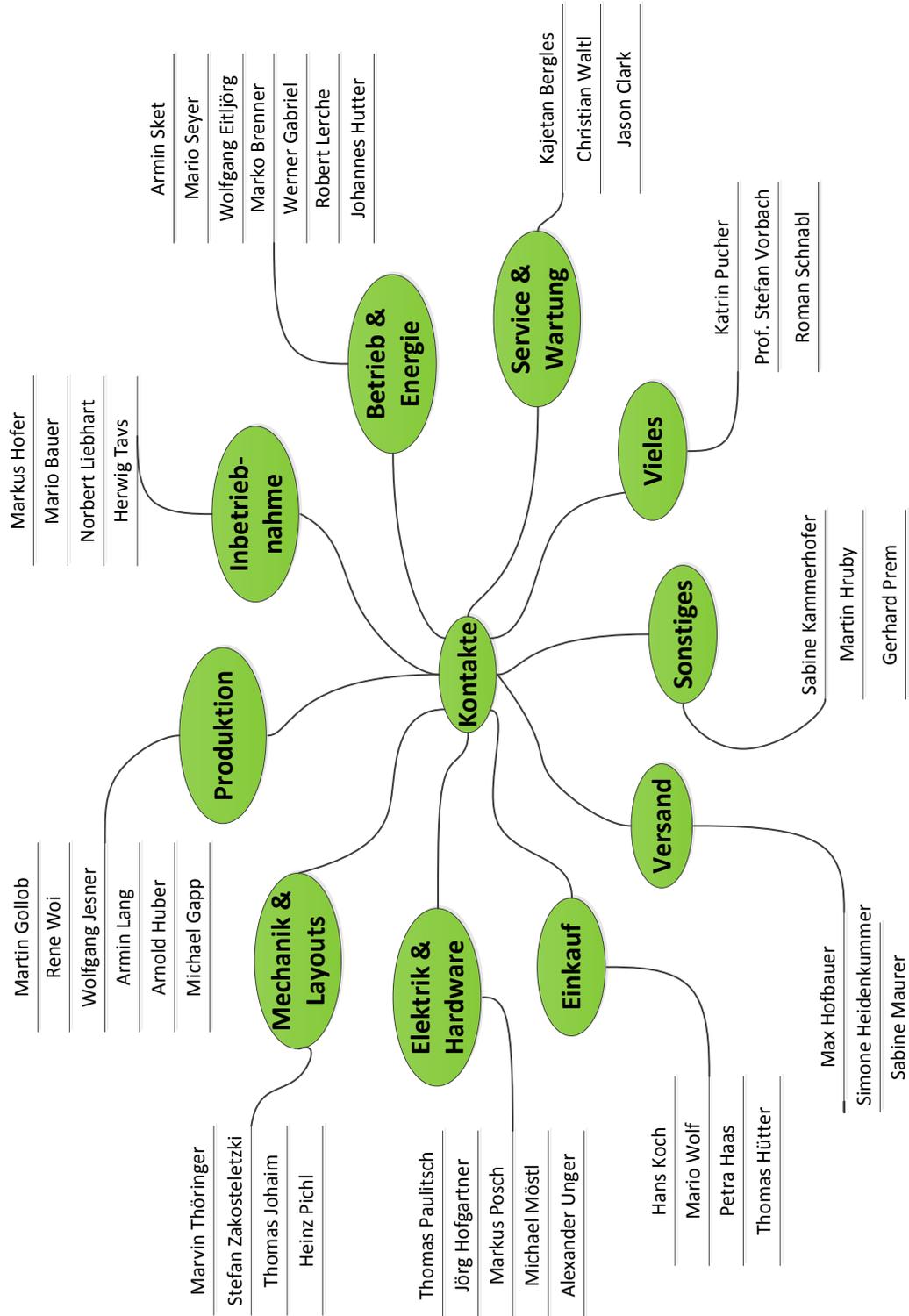


Abbildung B.5.: Kontakte im Unternehmen KNAPP AG