



---

# **DIPLOMARBEIT**

---

Herr  
**Werner Bachmair**

**Nachhaltigkeitsanalyse in der  
Kosmetikindustrie**

**Entwicklung eines spezifi-  
schen Ökobilanz-Verfahrens  
für Logistik und Produktion**

Mittweida, 2012



# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Nachhaltigkeitsanalyse in der Kosmetikindustrie**

### **Entwicklung eines spezifi- schen Ökobilanz-Verfahrens für Logistik und Produktion**

Autor:  
**Herr**

**Werner Bachmair**

Studiengang:  
**Wirtschaftsingenieurwesen**

Seminargruppe:  
**KW08w2IA**

Erstprüfer:  
**Prof. Dr. rer. pol. Gunnar Köbernik**

Zweitprüfer:  
**Prof. Dr. Dr. h.c. Hartmut Lindner**

Einreichung:  
**Innsbruck, 21.05.2012**

Verteidigung/Bewertung:  
**Innsbruck, 2012**



## **Bibliografische Angaben:**

Bachmair, Werner:

Nachhaltigkeitsanalyse in der Kosmetikindustrie – Entwicklung eines spezifischen Ökobilanz-Verfahrens für Logistik und Produktion; 2012. – viii, 100, VIII  
Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,  
Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2012

## **Referat:**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Quantifizierung von Nachhaltigkeit in der Kosmetikindustrie. In diesem Zuge werden zwei unterschiedliche Produktionsprozesse untersucht und einander gegenüber gestellt. Neben den allgemeinen Grundlagen zur Thematik wird ein Katalog mit verschiedenen, gängigen Analyseverfahren erstellt, von denen nach spezifischen Gesichtspunkten das Verfahren ausgewählt wird, das für die vorliegende Aufgabenstellung am besten geeignet ist. In weiterer Folge wird für die zu untersuchenden Produktionsprozesse eine Ökobilanz-Analyse erstellt, mit der die unterschiedlichen Umweltauswirkungen ermittelt werden können. Die Ergebnisse dienen als interne Entscheidungshilfe und können sowohl für weitere Analysen als auch für Marketingzwecke verwendet werden.

# Inhalt

<b>Inhalt</b> .....	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>iv</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>vi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>viii</b>
<b>1 Übersicht</b> .....	<b>9</b>
1.1 Motivation .....	9
1.2 Zielsetzung .....	10
1.3 Kapitelübersicht .....	10
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>13</b>
2.1 Was bedeutet Nachhaltigkeit? .....	13
2.2 Nachhaltigkeit im Wandel der Zeit .....	17
2.3 Die drei Säulen der Nachhaltigkeit .....	20
2.4 Nachhaltigkeit versus „Homo Oeconomicus“ .....	24
<b>3 Analyseverfahren</b> .....	<b>27</b>
3.1 Messung mittel Fußabdruck .....	28
3.1.1 Ökologischer Fußabdruck .....	28
3.1.2 CO <sub>2</sub> -Fußabdruck.....	30
3.2 Messung mittels Ökobilanz.....	31
3.2.1 Ökobilanz (LCA) .....	31
3.2.2 Produktlinienanalyse (PLA) .....	33
3.3 Messung mittels Ökoeffizienz .....	34
3.3.1 Ökoeffizienzanalyse .....	35
3.3.2 Sustainable Value Added .....	37
3.4 Vergleich der Nachhaltigkeits-Analyseverfahren .....	38
<b>4 Präzisierung der Aufgabenstellung</b> .....	<b>39</b>
4.1 KEMACOS Full Filling Service GmbH .....	40
4.2 Abfüllanlagen .....	42
4.2.1 Linie E „Deckert“ .....	42

4.2.2	Linie Q „PET“ .....	44
4.3	Auswahl des Analyseverfahrens .....	46
4.4	Analyse-Software GEMIS.....	47
<b>5</b>	<b>Ökobilanz – Ziele und Untersuchungsrahmen .....</b>	<b>49</b>
5.1	Ziele der Studie .....	50
5.1.1	Beabsichtigte Anwendung.....	50
5.1.2	Gründe für die Durchführung der Studie .....	50
5.1.3	Zielgruppe .....	51
5.1.4	Veröffentlichung .....	51
5.2	Untersuchungsrahmen der Studie.....	51
5.2.1	Definition der zu untersuchenden Produktsysteme .....	51
5.2.2	Funktionen der zu untersuchenden Systemprozesse .....	53
5.2.3	Die Systemgrenzen der zu untersuchenden Systemprozesse.....	55
5.2.4	Die funktionelle Einheit der Systemprozesse .....	57
5.2.5	Vorgesehene Allokationsverfahren .....	58
5.2.6	Wirkungskategorien, -abschätzung und Auswertung .....	59
5.2.7	Anforderungen an die Daten .....	60
5.2.7.1	Betrachtungszeitraum .....	60
5.2.7.2	Geografischer und technologischer Erfassungsbereich.....	61
5.2.7.3	Schwankungsbreite, Unsicherheiten und Vollständigkeit.....	61
5.2.7.4	Repräsentativität und Konsistenz.....	61
5.2.7.5	Vergleichspräzision .....	61
5.2.7.6	Datenquellen .....	62
5.2.8	Annahmen und Einschränkungen .....	62
5.2.8.1	Referenzzeitraum .....	62
5.2.8.2	Logistik .....	62
5.2.8.3	Elektrischer Stromverbrauch.....	63
5.2.8.4	Erzeugung Druckluft.....	64
5.2.8.5	Allgemeine energetische Aufwendungen.....	65
5.2.8.6	Annahmen zur externen Produktion der Flaschen .....	65
5.2.9	Kritische Prüfung .....	66
5.2.10	Art und Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts.....	67
<b>6</b>	<b>Ökobilanz – Sachbilanz.....</b>	<b>69</b>
6.1	Datenerhebung Linie E „Deckert“ .....	69
6.1.1	Systemmodul 1 – Transport Preform .....	69
6.1.2	Systemmodul 2 – Erzeugung Flasche extern.....	71
6.1.3	Systemmodul 3 – Transport Flasche zu KEMACOS.....	74
6.1.4	Systemmodul 4 – Produktabfüllung bei Linie E.....	76
6.2	Datenerhebung Linie Q „PET“ .....	79

---

6.2.1	Systemmodul 1 – Transport Preform zu KEMACOS .....	79
6.2.2	Systemmodul 2 – Erzeugung Flasche intern .....	81
6.2.3	Systemmodul 3 – Produktabfüllung .....	83
6.3	Datenanalyse in GEMIS .....	86
<b>7</b>	<b>Ökobilanz – Wirkungsabschätzung .....</b>	<b>89</b>
7.1	Ressourcenverbrauch .....	89
7.2	Flächenbedarf .....	90
7.3	Treibhauseffekt .....	91
7.4	Versauerung .....	92
7.5	Eutrophierung .....	93
7.6	Sommersmog .....	94
<b>8</b>	<b>Ökobilanz – Auswertung .....</b>	<b>97</b>
<b>9</b>	<b>Ergebnisse und Ausblick .....</b>	<b>99</b>
9.1	Ergebnisse .....	99
9.2	Bewertung der Arbeit .....	99
9.3	Ausblick .....	100
<b>Literatur</b> .....		<b>I</b>
Publikationen in Buchform .....		I
Normen .....		III
Quellen aus dem Internet .....		III
<b>Danksagung</b> .....		<b>VII</b>
<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....		<b>VIII</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Effektivität und Effizienz im Nachhaltigkeits-Dreieck .....	21
Abbildung 2-2: Schnittmengen-Modell der Nachhaltigkeits-Säulen .....	22
Abbildung 2-3: Felder des integrierenden Nachhaltigkeits-Dreiecks .....	23
Abbildung 3-1: Ökologischer Fußabdrucks zu verfügbarer Biokapazität, 1961 .....	28
Abbildung 3-2: Ökologischer Fußabdrucks zu verfügbarer Biokapazität, 2007 .....	29
Abbildung 3-3: Abgrenzung unterschiedlicher Ökobilanzen .....	32
Abbildung 3-4: Eigene Darstellung ähnlich BASF Ökoeffizienz-Analyse .....	36
Abbildung 3-5: Eigene Darstellung ähnlich BASF Ökoeffizienz-Portfolio .....	36
Abbildung 4-1: Eigene Darstellung – Produktionsprozess Abfülllinie E – „Deckert“ .....	42
Abbildung 4-2: Eigene Darstellung – Produktionsprozess Abfülllinie Q – „PET“ .....	44
Abbildung 5-1: Eigene Darstellung – Produktsystem Kosmetikprodukt.....	52
Abbildung 5-2: Eigene Darstellung – Funktion Abfülllinie E.....	54
Abbildung 5-3: Eigene Darstellung – Funktion Abfülllinie Q .....	54
Abbildung 5-4: Eigene Darstellung – Module der Funktion Abfülllinie E.....	56
Abbildung 5-5: Eigene Darstellung – Module der Funktion Abfülllinie Q .....	56
Abbildung 5-6: DIN EN ISO 14044 – Konzept der Wirkungsindikatoren .....	59
Abbildung 5-7: Eigene Darstellung ähnlich „Phasen einer Ökobilanz“ .....	67
Abbildung 7-1: Eigene Darstellung – Auswertung KEA .....	89
Abbildung 7-2: Eigene Darstellung – Auswertung KSA .....	90
Abbildung 7-3: Eigene Darstellung – Auswertung Flächenbedarf .....	90

---

Abbildung 7-4: Eigene Darstellung – Auswertung Treibhauspotenzial .....	92
Abbildung 7-5: Eigene Darstellung – Auswertung Versauerungspotenzial .....	93
Abbildung 7-6: Eigene Darstellung – Auswertung Sommersmog .....	95

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Eigene Darstellung ähnlich zur einfachen Produktlinienmatrix .....	33
Tabelle 3-2: Eigene Darstellung – Kriterienkatalog Analyseverfahren.....	38
Tabelle 4-1: Eigene Darstellung – Anforderungskatalog Analyseverfahren .....	46
Tabelle 5-1: Datenauszug PROBAS – Energiebedarf LKW 40t .....	63
Tabelle 5-2: elektrischer Energieaufwand zur Druckluftherzeugung .....	65
Tabelle 6-1: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie E – Modul 1 .....	71
Tabelle 6-2: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie E – Modul 2 .....	74
Tabelle 6-3: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie E – Modul 3 .....	76
Tabelle 6-4: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie E – Modul 4 .....	79
Tabelle 6-5: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie Q – Modul 1 .....	81
Tabelle 6-6: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie Q – Modul 2.....	83
Tabelle 6-7: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie Q – Modul 3 .....	86
Tabelle 6-8: Datenberechnung GEMIS – Treibhausrelevante Emissionen in die Luft ....	86
Tabelle 6-9: Datenberechnung GEMIS – Reststoffe.....	86
Tabelle 6-10: Datenberechnung GEMIS – Emissionen in die Luft.....	87
Tabelle 6-11: Datenberechnung GEMIS – Abwassereinleitungen.....	87
Tabelle 6-12: Datenberechnung GEMIS – Kumulierter Energieaufwand .....	87
Tabelle 6-13: Datenberechnung GEMIS – Kumulierter Energieverbrauch .....	88
Tabelle 6-14: Datenberechnung GEMIS – Kumulierter Stoff-Aufwand.....	88
Tabelle 6-15: Datenberechnung GEMIS – Flächenbedarf.....	88

---

Tabelle 7-1: Auswertung Eutrophierung.....	94
--	----

## Abkürzungsverzeichnis

<b>PET</b>	Polyethylenterephthalat
<b>GEMIS</b>	Globales Emissions-Modell integrierter Systeme
<b>PROBAS</b>	Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente
<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment
<b>PLA</b>	Produktlinienanalyse
<b>GWP</b>	Global Warming Potential
<b>ODP</b>	Ozon Depletion Potential
<b>POCP</b>	Photochemical Ozone Creation Potential
<b>AP</b>	Acidification Potential
<b>TREMOD</b>	Transport Emission Model
<b>SETAC</b>	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
<b>TIWAG</b>	Tiroler Wasserkraft AG
<b>KEV</b>	Kumulierter Energieverbrauch
<b>KEA</b>	Kumulierter Energieaufwand
<b>KSA</b>	Kumulierter Stoffaufwand

# 1 Übersicht

## 1.1 Motivation

Eine derzeit im deutschsprachigen Raum besonders bei der Jugend sehr erfolgreiche Formation mit dem Namen „Deichkind“ ist momentan mit dem Lied „Leider geil“ in diversen Hitparaden vertreten. Der Titel beschreibt auf ironische Weise Dinge, die in der Gesellschaft als „cool“ angesehen werden bzw. als Standards akzeptiert sind. Hier stehen besonders die folgenden Strophen heraus:

*„Auto' s machen Dreck,  
Umwelt geht kaputt  
doch 'ne fette neue Karre is' – leider geil.*

*Kleine Kinderhände  
nähen schöne Schuhe,  
meine neuen Sneakers sind – leider geil.*

*Schlecht für den Nachwuchs,  
schlecht für die Nordsee,  
schlecht für den Kopf – doch leider geil!*

*Schlecht für dein Karma,  
schlecht für die Zukunft,  
schlecht für den Job – doch leider geil!“<sup>1</sup>*

Diese Zeilen beschreiben ein leider gängiges Leitbild, das wenig mit einem nachhaltigen Leitbild gemeinsam hat. Worum es sich bei Nachhaltigkeit genau handelt und wie eine Quantifizierung durchgeführt werden kann, ist in weiterer Folge Thema dieser Arbeit.

---

<sup>1</sup> Song: „Leider Geil“, Interpret: Deichkind, Album: Befehl von ganz unten, Label: Vertigo Berlin (Universal).  
URL: <[http://www.songtextmania.com/leider\\_geil\\_songtext\\_deichkind.html](http://www.songtextmania.com/leider_geil_songtext_deichkind.html)>, verfügbar am 15.04.2012

## 1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Quantifizierung von Nachhaltigkeit. In der Kosmetikindustrie sollen zwei unterschiedliche Produktionsprozesse untersucht und einander gegenüber gestellt werden.

Da verschiedene Analyseverfahren existieren, die zum Teil unterschiedlichen Ansätzen folgen, besteht ein erstes Ziel der Arbeit neben der Erörterung allgemeiner Grundlagen in einer Sondierung der gängigen Verfahren. Für die vorliegende Aufgabenstellung soll an Hand spezifischer Kriterien jenes Verfahren ausgewählt werden, mit dem die Untersuchung am besten umgesetzt werden kann.

Das Hauptziel der Arbeit besteht in weiterer Folge darin, einen Vergleich der beiden Produktionsprozesse mit dem ausgewählten Verfahren durchzuführen. Die Ergebnisse dienen als Hilfe für interne Entscheidungen und werden auch für Marketingzwecke verwendet. Bei der Analyse selbst wird auf Transparenz großen Wert gelegt, um einen Leitfaden für weitere Studien zu schaffen oder die Ergebnisse auch in weitere Analysen integrieren zu können.

## 1.3 Kapitelübersicht

Die Diplomarbeit beinhaltet die folgenden neun Kapitel:

1. In der Übersicht wird das Thema der Diplomarbeit vorgestellt und deren Hintergründe sowie Motivation erörtert.
2. Die Grundlagen beinhalten eine genaue Beschreibung des Begriffs „Nachhaltigkeit“ und untersuchen die Entwicklung der Diskussion rund um dieses Thema im Laufe der Zeit. Desweiteren werden einzelne Aspekte nachhaltiger Entwicklung betrachtet und deren Umsetzbarkeit in der Marktwirtschaft untersucht.
3. Für die Quantifizierung nachhaltiger Entwicklung werden verschiedene Analyseverfahren vorgestellt und auf ihre spezifischen Eigenschaften hin untersucht. Die Eigenschaften der Verfahren werden schlussendlich in einem entsprechenden Kriterienkatalog festgehalten.
4. In der Präzisierung der Aufgabenstellung wird das Unternehmen, welches die Untersuchung veranlasst und die zu untersuchenden Produktionsprozesse vorge-

stellt. An Hand des erstellten Kriterienkataloges wird als am besten geeignetes Verfahren die Ökobilanz-Analyse ausgewählt.

5. Die Ökobilanz-Analyse nach DIN EN ISO 14040 gliedert sich in vier Elemente, die die Schwerpunkte dieses und der folgenden Kapitel bilden. Der erste Teil beinhaltet eine Beschreibung der Ziele und des Untersuchungsrahmens der Studie.
6. In der Sachbilanz werden alle erforderlichen Daten gesammelt und für die Analyse entsprechend aufbereitet.
7. Die Wirkungsabschätzung beinhaltet den quantitativen Vergleich der zu untersuchenden Produktionsprozesse und gibt Auskunft über deren Umweltauswirkungen.
8. Die Ergebnisse von Sachbilanz und Wirkungsabschätzung werden abschließend in einer Auswertung erfasst und kritisch beurteilt.
9. In dem letzten Kapitel „Ergebnisse und Ausblick“ wird die Studie schließlich noch einmal kritisch betrachtet und mit Erkenntnissen, die sich im Zuge der Arbeit und der Analyse ergeben haben, kommentiert.





## 2 Grundlagen

*„Der beste Weg, die Zukunft vorauszusagen ist, sie zu gestalten.“ (Willy Brandt, ehem. deutscher Bundeskanzler und Friedensnobelpreisträger) <sup>2</sup>*

Nachhaltige Entwicklung stellt zweifellos in der Diskussion globaler Themen eine der großen Herausforderungen dar. Unsere Generation muss die richtigen Weichen dafür stellen, dass die Erde in Zukunft für unsere Nachkommen noch ein lebenswertes Zuhause bietet. Auf Grund des Weltgipfels „Rio +20“ in Rio de Janeiro wird in den Medien derzeit vermehrt über Nachhaltigkeit berichtet.

Die Aktualität der Thematik ist nicht zuletzt ein guter Beweggrund, um sich genauer mit der Materie zu befassen. Die Problematik einer nicht nachhaltigen Entwicklung ist schon seit geraumer Zeit bekannt und doch begann die Wissenschaft erst in den letzten 25 Jahren, entsprechende Methoden zu deren Analyse und Quantifizierung zu entwickeln. Die Diskussion ist noch keineswegs abgeschlossen, da sich die Materie bei genauer Betrachtung als äußerst umfangreich und komplex darstellt.

Diese Umstände stellen für Unternehmen eine große Chance dar. Wer sich aktiv mit nachhaltiger Entwicklung auseinandersetzt, wird auf Grund der medial bewirkten Bewusstseinsbildung beim Konsumenten bessere Chancen am Markt haben.

### 2.1 Was bedeutet Nachhaltigkeit?

*„Über Jahrhunderte ging es darum, Menschen vor den Gefahren der Ozeane zu schützen; heute geht es auch darum, die Ozeane vor den Gefahren der Menschen zu schützen.“ <sup>3</sup>*

Der Begriff Nachhaltigkeit in dem hier verwendeten Kontext bedeutet, dass nicht mehr verbraucht als jeweils nachwachsen, sich regenerieren oder künftig wieder bereitgestellt werden kann. <sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Brandt, Willy: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/db/ergebnisse.php?sz=2&stichwort=&kategorie=&autor=Brandt,%20Willy>>, verfügbar am 15.04.2012

<sup>3</sup> Hauff, Volker: Unsere gemeinsame Zukunft – Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. - 1. Aufl. Greven: Eggenkamp, 1987, S. XII

<sup>4</sup> Vgl. Duden Onlinewörterbuch: Definition des Begriffs „Nachhaltigkeit“. URL: <<http://www.duden.de/rechtschreibung/Nachhaltigkeit>>, verfügbar am 11.04.2012

Als einer der Ersten setzte sich der sächsische Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz bereits Anfang des 18. Jahrhunderts in seinem Werk „Sylvicultura oeconomica“ mit dem Begriff Nachhaltigkeit auseinander:

*„Wird derhalben die größte Kunst/Wissenschaft/Fleiß und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen / wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen / daß es eine continuierliche beständige und nachhaltige Nutzung gebe / weilm es eine unentberliche Sache ist / ohne welche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag.“<sup>5</sup>*

Von Carlowitz behandelte in seinem 1713 erschienenen Buch forstwirtschaftliche Themen. In diesem Zuge wies er auf die damalige Problematik hin, dass durch erhöhten Bedarf in der näheren Umgebung von verarbeitenden Betrieben ein Mangel an Holz herrschte. Ohne zeitgleich einhergehende Wiederaufforstung musste das Holz über weite Strecken transportiert werden, wodurch die Preise stiegen. Von Carlowitz folgte daraus, dass pro Jahr nicht mehr Holz gefällt werden dürfe, als in derselben Zeit nachwachse. Diese These gilt bis heute als Grundstein der modernen Diskussion über Nachhaltigkeit.

Eine zunehmende Thematisierung von Nachhaltigkeit entwickelte sich jedoch erst Mitte des 20. Jahrhunderts, als in der Nachkriegszeit die politische Stabilität und der Wohlstand in den führenden Industrieländern, aber auch die damit einhergehende Umweltverschmutzung zunahmen. Die Gründe dafür liegen darin, dass eine bessere Lebensqualität erst durch Erfüllung aller Grundbedürfnisse wie beispielsweise Nahrung, Kleidung, Wohnung und Sicherheit erreicht werden kann. Diese bessere Lebensqualität ist wiederum Grundlage für Überlegungen zu Umweltbewusstsein und zu einer fruchtbaren Diskussion über Nachhaltigkeit, da ansonsten die Befriedigung existentieller Bedürfnisse im Vordergrund steht.<sup>6</sup>

Insbesondere auf Initiative der Vereinten Nationen verabschiedeten verschiedene Kommissionen ab den 1960er Jahren Berichte, in denen Bestandsaufnahmen durchgeführt und entsprechende Empfehlungen dargelegt wurden.

Der Club of Rome ist eine 1968 gegründete, nichtkommerzielle Organisation, die sich mit verschiedenen internationalen Fragen befasst. In einem vom US-amerikanischen Ökonomen Dennis L. Meadows verfassten Bericht aus dem Jahr 1972 wurde die bis dato oft vorherrschende Meinung nach der Möglichkeit eines unendlichen bzw. grenzenlosen wirtschaftlichen Wachstums widerlegt.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> Von Carlowitz, Hans Carl: Sylvicultura Oeconomica. - 1. Aufl. Leipzig: Johann Friedrich Braun, 1713, S. 105

<sup>6</sup> Vgl. Hauff, Volker: Unsere gemeinsame Zukunft – Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. a.a.O., S. 47

<sup>7</sup> Vgl. Meadow, Dennis L.: Die Grenzen des Wachstums – Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. - 1.Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, 1972, S. 165

Zusammengefasst führte der Bericht aus, dass:

- durch die Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen die absoluten Wachstumsgrenzen der Erde in weniger als 100 Jahren erreicht sein werden;
- die Möglichkeit besteht, die gegenwärtigen Tendenzen zu ändern, ein ökologisches und wirtschaftliches Gleichgewicht herzustellen und in weiterer Folge aufrecht zu erhalten;
- die Entschlüsse zur Änderung der gegenwärtigen Tendenzen so früh wie möglich gefasst werden müssen, damit die Wahrscheinlichkeit, dass ein ökologisches und wirtschaftliches Gleichgewicht überhaupt noch erreicht werden kann, so groß wie möglich ist.<sup>8</sup>

Der ehemalige deutsche Bundeskanzler Willy Brandt zeichnete in einem Bericht der 1977 ins Leben gerufenen, unabhängigen Kommission für Entwicklungsfragen, auch Nord-Süd-Kommission genannt, ebenfalls ein düsteres Bild.<sup>9</sup>

Untersucht wurden Entwicklungsthemen in nördlichen, reichen Industriestaaten und südlichen, ärmeren Entwicklungsländern. In Punkto Nachhaltigkeit warnte er vor dem derzeitigen Umgang des Menschen mit Rohstoffen und Energieträgern und dessen gravierenden Auswirkungen auf zukünftige Generationen.

Die Ursachen für diese negative Entwicklung führte Brandt unter anderem auf die folgenden beiden Faktoren zurück:

- **Wohlstand:** Die rasante wirtschaftliche Entwicklung in den führenden Industrieländern und der damit einhergehende, übermäßige Bedarf an Energie führen zu einer massiven Umweltverschmutzung und zu einer zunehmenden Verknappung von Rohstoffen.<sup>10</sup>
- **Armut:** Bevölkerungsexplosion, mangelnde Deckung von Grundbedürfnissen und Preissteigerungen bei Rohstoffen machen eine nachhaltige Lebensweise in ärmeren Entwicklungsländern praktisch unmöglich. Umweltschutz kann aus

---

<sup>8</sup> Vgl. Meadow, Dennis L.: Die Grenzen des Wachstums – Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. a.a.O., S. 17

<sup>9</sup> Vgl. Brandt, Willy: Der Brandt-Report – Bericht der Nord-Süd-Kommission. - 1.Aufl. Frankfurt am Main: Ullstein, 1981, S. 19

<sup>10</sup> Vgl. Brandt, Willy: Der Brandt-Report – Bericht der Nord-Süd-Kommission. a.a.O., S. 201 f.

existenziellen Gründen nicht gelebt werden; Wälder werden auf Grund der Rohstoffknappheit abgeholzt, um den Bedarf an Holz zu decken. Die abgeholzten Böden werden anschließend landwirtschaftlich ausgelaugt, was in weiterer Folge zur Verödung und zur Abholzung immer weiterer Wälder führt.<sup>11</sup>

Im Vergleich zu den beiden bereits erwähnten Berichten, die eine Bestandsaufnahme der aktuellen Situation darstellten, werden im eingangs zitierten Brundtland-Bericht aus dem Jahr 1987, der die Ergebnisse der von der 83. UN-Vollversammlung ins Leben gerufenen Weltkommission für Umwelt und Entwicklung beinhaltet, konkrete Strategien für eine Verbesserung der Situation vorgeschlagen. Desweiteren wird der Begriff der „dauerhaften Entwicklung“, im englischen Original *sustainable development*, wie folgt geprägt:

*„Dauerhafte Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“*<sup>12</sup>

Dies bedeutet ein Wachstum unter Beachtung der begrenzten Umweltressourcen und unter einer optimalen Nutzung von Energie- und Rohmaterialien. Der Begriff Nachhaltigkeit wurde bis dato eher aus ökologischer Sicht betrachtet und mit Verknappung von Ressourcen und Umweltverschmutzung assoziiert. Die Bedeutung von nachhaltiger Entwicklung weicht jedoch von diesem Gedanken ab, indem festgestellt wurde, dass nachhaltige Ziele nur durch ganzheitliche Verbesserungen in Politik und Wirtschaft wie Frieden, Sicherheit, Bekämpfung von Armut, stabiles Wachstum, Optimierung der Energiewirtschaft und, aus ökologischer Sicht, durch Reduktion der Umweltbelastung erreicht werden können.<sup>13</sup>

Durch die zuvor erwähnten Berichte der Kommissionen wurden Sachverhalte und auch Lösungsvorschläge erläutert. Speziell durch den Brundtland-Report wurde aufgezeigt, dass es sich bei nachhaltiger Entwicklung um ein globales Thema handelt und somit auch nur global Lösungen gefunden werden können.

Daher beschlossen die Vereinten Nationen in einer Resolution vom 22.12.1989 einen entsprechenden Gipfel in Rio de Janeiro, der bis heute als Meilenstein gilt. Bei der Konferenz für Umwelt und Entwicklung vom 3. bis zum 14. Juni 1992 in Rio de Janeiro beteiligten sich 178 Staaten mit 103 Regierungschefs. 1500 Vertreter nichtstaatlicher Organi-

---

<sup>11</sup> Vgl. Brandt, Willy: Der Brandt-Report – Bericht der Nord-Süd-Kommission. a.a.O., S. 107

<sup>12</sup> Hauff, Volker: Unsere gemeinsame Zukunft – Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. a.a.O., S. 46

<sup>13</sup> Vgl. Hauff, Volker: Unsere gemeinsame Zukunft – Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. a.a.O., S. XV f.

sationen diskutierten parallel in einem eigenen Forum und schließlich verbreiteten 7000 Journalisten die Ergebnisse in die ganze Welt.<sup>14</sup>

## 2.2 Nachhaltigkeit im Wandel der Zeit

*„Man kann nicht in die Zukunft schauen, aber man kann den Grund für etwas Zukünftiges legen – denn Zukunft kann man bauen (Antoine de Saint-Exupéry, französischer Schriftsteller und Flieger)“<sup>15</sup>*

Ziel der Konferenz 1992 in Rio de Janeiro war die Entwicklung eines Modells, das nicht ausschließlich auf wirtschaftlichem Wachstum beruht. Stattdessen sollte ein Konzept für nachhaltiges Wirtschaften und eine Haltung globaler Solidarität, die nicht nur aus gegenseitiger Abhängigkeit besteht, entwickelt werden. Dem Schutz der Umwelt und der rationalen Bewirtschaftung von natürlichen Ressourcen sollten ebenso entscheidende Bedeutung beigemessen werden.<sup>16</sup>

Die Ergebnisse der Konferenz wurden in einer Deklaration und in der sogenannten „Agenda 21“ zusammengefasst. Die „Agenda 21“ ist ein verbindlicher Leitfaden zur Erreichung von nachhaltiger Entwicklung am Wendepunkt zum 21. Jahrhunderts. Sie enthält zu politischen, sozialen und wirtschaftlichen Themen sowie zum Umgang mit Ressourcen jeweils Handlungsgrundlagen, Zielsetzungen, Maßnahmen und Mittel zur Umsetzung. In der Präambel der „Agenda 21“ wird die Wichtigkeit dieses Leitfadens verdeutlicht:

*„Die Menschheit steht an einem entscheidenden Punkt ihrer Geschichte. Wir erleben eine Festschreibung der Ungleichheiten zwischen und innerhalb von Nationen, eine Verschlimmerung von Armut, Hunger, Krankheit und Analphabetentum sowie die fortgesetzte Zerstörung der Ökosysteme, von denen unser Wohlergehen abhängt. Eine Integration von Umwelt- und Entwicklungsbelangen und die verstärkte Hinwendung auf diese wird indessen eine Deckung der Grundbedürfnisse, höhere Lebensstandards für alle, besser geschützte und bewirtschaftete Ökosysteme und eine sicherere Zukunft in größerem Wohlstand zur Folge haben. Keine Nation vermag dies allein zu erreichen, während es*

---

<sup>14</sup> Vgl. Volger, Helmut: Geschichte der Vereinten Nationen. - 2. Aufl. München: Oldenburger Wissenschaftsverlag, 2008, S. 210

<sup>15</sup> Saint-Exupéry, Antoine de: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/db/ergebnisse.php?sz=3&stichwort=&kategorie=&autor=Saint-Exupery,%20Antoine%20de>>, verfügbar am 15.04.2012

<sup>16</sup> Volger, Helmut: Geschichte der Vereinten Nationen. a.a.O., S. 211

*uns gemeinsam gelingen kann: in einer globalen Partnerschaft im Dienste der nachhaltigen Entwicklung.“<sup>17</sup>*

Desweiteren legte die „Agenda 21“ im Kapitel 40 mit der Forderung nach der Schließung von Datenlücken und der Verbesserung der Informationsverfügbarkeit den Grundstein für das gegenwärtig geläufigste Darstellungsmodell von Nachhaltiger Entwicklung an Hand der drei Säulen Ökologie, Ökonomie und Soziales. Wurde nachhaltige Entwicklung am Beginn der Diskussionen in den 1960er und -70er Jahren noch mit entwicklungsbegrenzten Ressourcenengpässen und in den 1980er Jahren mit der begrenzten Belastungsfähigkeit der Umwelt in Verbindung gebracht, so stellte sich in Überlegungen Anfang der 1990er Jahre heraus, dass auch ökonomische und soziale Bereiche nur begrenzt belastbar sind. Für diese Bereiche gilt somit auch die Annahme, dass Überlastungen wie bei einem ökologischen System zu Einschränkungen in der Leistungsfähigkeit des Systems oder gar zu dessen Zusammenbruch führen können.<sup>18</sup>

Um die Einhaltung und Fortschritte der in der Rio-Deklaration und der in der „Agenda 21“ festgesetzten Ziele zu überwachen, wurde 1992 nach der Konferenz in Rio de Janeiro basierend auf einer Resolution der UN-Generalversammlung die Kommission der Vereinten Nationen für nachhaltige Entwicklung gegründet.

Desweiteren hatte der Gipfel in Rio de Janeiro zahlreiche weitere Konferenzen und die Gründung neuer Kommissionen zur Folge. Sie alle haben das gemeinsame Ziel, die Idee von Nachhaltiger Entwicklung voranzutreiben und an einer gemeinsamen Umsetzung zu arbeiten. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Konferenzen nach 1992 genannt:

- **Umweltkonferenz in Oslo, 1994:** 32 europäische Staaten und Kanada beschließen eine Reduktion von Schwefeldioxid, das in der Luft zu saurem Regen führt.
- **Welternährungsgipfel in Rom, 1996:** 10000 Teilnehmer aus 185 Nationen verabschiedeten in der „Deklaration zur Sicherstellung der Welternährung“ Maßnahmen zur Bekämpfung des Hungers in der Welt.
- **3. Vertragsstrafenkonferenz in Kyoto, 1997:** Mit dem sogenannten Kyoto-Protokoll verpflichteten sich die unterzeichnenden Staaten zu einer verbindlichen Reduktion von Treibhausgasen gemäß festgelegten Reduktionsvorgaben.

---

<sup>17</sup> Vereinte Nationen für Umwelt und Entwicklung: Agenda 21 – Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung. URL: <[www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda\\_21.pdf](http://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf)>, verfügbar am 07.03.2012, S.1

<sup>18</sup> Vgl. Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“: Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“. URL: <[dip.bundestag.de/btd/12/082/1208260.pdf](http://dip.bundestag.de/btd/12/082/1208260.pdf)>, verfügbar am 09.03.2012, S. 17

- **Weltgipfel Rio +10 in Johannesburg, 2002:** In Johannesburg wurden die Veränderungen seit dem Gipfel 1992 ermittelt und über Anpassungen der festgelegten Maßnahmen an die schnelllebige Zeit diskutiert.
- **Weltgipfel Rio +20 in Rio de Janeiro, 2012:** Ende Juni 2012 wird in Rio de Janeiro ein weiterer Gipfel basierend auf der Konferenz 1992 stattfinden. Die Themen werden wie 2002 eine Bestandaufnahme und die Diskussion über notwendige Maßnahmen zur Erreichung Nachhaltiger Entwicklung sein.

An dieser Stelle sei jedoch erwähnt, dass durch die Ergebnisse der Kommissionen und Konferenzen auf wissenschaftlicher und politischer Ebene die Notwendigkeit zur Umsetzung von nachhaltiger Entwicklung zwar erkannt und auch verschiedene Strategien zur Umsetzung entwickelt wurden, die Menschheit jedoch 2012 von einer nachhaltigen Entwicklung noch sehr weit entfernt ist.

Desweiteren sind weder die Definition noch die Mittel und Wege zur Umsetzung und deren Messbarkeit bereits vollkommen geklärt. In einigen Bereichen gibt es verschiedene Ansätze, wie beispielsweise bei der Diskussion über schwache und starke Nachhaltigkeit.

Die maßgeblich durch den bereits erwähnten Bericht an den Club of Rome 1972 beeinflusste neoklassische Ökonomie vertritt die Auffassung, dass nur die Summe von ökologischem, ökonomischem und sozialem Kapital erhalten bzw. vergrößert werden muss. Dabei sind die einzelnen Komponenten substituierbar. In dieser Betrachtungsweise vermindert ein gerodeter Wald das Naturkapital, wobei die Verarbeitung des daraus gewonnenen Holzes neuen Nutzen durch Sachkapital mit sich bringt. Die Summe des Kapitals bleibt durch diese Umwandlung gleich, was als schwache Nachhaltigkeit bezeichnet wird.

Die Thesen der in den 1970er Jahren entstandenen ökologischen Ökonomie vertreten im Gegenzug die Meinung, dass eine Substituierbarkeit nicht möglich ist und alle Bereiche für sich erhalten bzw. entwickelt werden müssen. Diese als starke Nachhaltigkeit bezeichnete Auffassung hat im Vergleich zur schwachen Nachhaltigkeit sehr viel weitreichendere Konsequenzen für Umwelt und Naturschutz. Da die Umsetzung beider Systeme in ihrer Reinform nicht zielführend ist, wird sich langfristig eine Mischform etablieren, bei der eine begrenzte Substitution möglich ist, solange die grundlegenden Funktionen der Natur erhalten bleiben.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Vgl. Grunwald, Armin; Kopfmüller, Jürgen: Nachhaltigkeit. – 1. Aufl. Frankfurt am Main: Campus Verlag GmbH 2006, S. 37-39



## 2.3 Die drei Säulen der Nachhaltigkeit

*„Der Mensch ist nicht das Produkt seiner Umwelt - die Umwelt ist das Produkt des Menschen. (Benjamin Disraeli, ehem. britischer Premierminister und Schriftsteller)“<sup>20</sup>*

Basierend auf den Erkenntnissen des Brundtland-Berichts und der Konferenz in Rio de Janeiro etablierte sich in der politischen und wissenschaftlichen Diskussion ein Modell aus drei Säulen mit der Zielsetzung, ökologisches, ökonomisches und soziales Kapital zu erhalten oder sogar auszubauen. Im Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des deutschen Bundestages aus dem Jahr 1998 wurden die drei Säulen wie folgt dargestellt:

- **Ökologische Säule:** sie orientiert sich stark an der ursprünglichen Beschreibung von Nachhaltigkeit, indem erneuerbare Ressourcen in Ökosystemen nur in einem Maße verbraucht werden dürfen, der von selbst regeneriert werden kann.
- **Ökonomische Säule:** Im Sinne einer sozialen Marktwirtschaft gilt es, Frieden, Freiheit, Gerechtigkeit, Sicherheit und Wohlstand möglichst gleichmäßig für alle Menschen zu erreichen. Probleme sind unter anderem die ungleiche Verteilung von hohem Einkommen und Vermögen sowie Arbeitslosigkeit. Staatliche Regulierungen, die zu Wettbewerbsverzerrungen führen, hindern den freien Wettbewerb, der unter anderem Entwicklungen, Innovationen und neue Technologien fördern sollte.
- **Soziale Säule:** Solidarität, individuelle Freiheit und größtmögliche Handlungsspielräume der Individuen sind ebenso wie gerechte Entwicklungschancen die Voraussetzung für soziale Stabilität, welche durch Erfüllung der menschlichen Grundbedürfnisse den Nährboden für nachhaltige Entwicklung darstellt.<sup>21</sup>

Eine vollkommen isolierte Betrachtung der drei Säulen ist auf Grund von Überschneidungen und gegenseitigen Abhängigkeiten nicht möglich. Dies führte zur Darstellung in einem gleichschenkligen Dreieck, wodurch die Beziehungen der drei Säulen zueinander

---

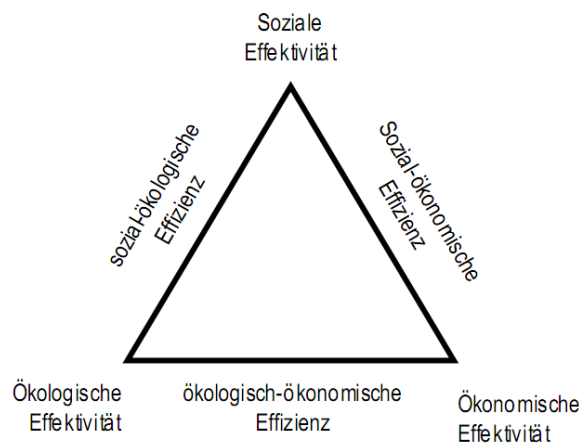
<sup>20</sup> Disraeli, Benjamin: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/autor/Disraeli%2C+Benjamin/>>, verfügbar am 15.04.2012

<sup>21</sup> Vgl. Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“: Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“. a.a.O., S. 19-23

verdeutlicht werden sollen. Abbildung 2-1 stellt dieses Dreieck dar, das auf der ökonomischen, der ökologischen und der sozialen Säule basiert.

Auf nachhaltige Ziele bezogen können die wechselseitigen Beziehungen im Dreieck wie folgt beschrieben werden: Einerseits stehen die drei Säulen für voneinander unabhängige Ziele. Hier ist besonders auf strategische Effektivität, oder „die richtigen Dinge tun“ zu achten. Andererseits bestehen zwischen den Säulen Beziehungen, bei deren Umsetzung vor allem operative Effizienz, nämlich „die Dinge richtig tun“, entscheidend ist.

Ein Beispiel: Bei der Erneuerung einer Klimaanlage ist aus ökologisch-ökonomischer Sicht auf eine verbrauchsarme und somit effiziente Anlage zu achten, welche ökologisch verträglicher und wirtschaftlich sparsamer ist. Aus Sicht der ökologischen Effektivität muss die Anschaffung einer solchen Anlage generell in Frage gestellt, da sie mit erheblicher Umwelt- und Ressourcenbelastung verbunden ist.<sup>22</sup>



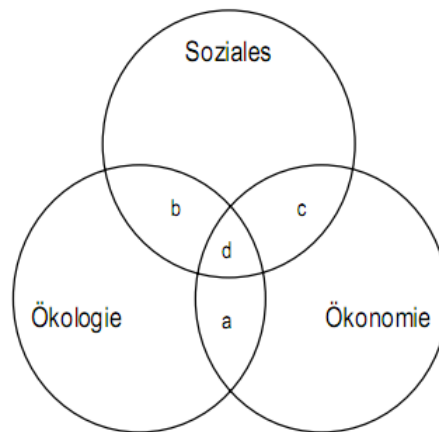
**Abbildung 2-1: Effektivität und Effizienz im Nachhaltigkeits-Dreieck**<sup>23</sup>

Einen anderen Ansatz zur Darstellung stellen Schnittmengenmodelle wie Abbildung 2-2 dar. Der Vorteil liegt in der Möglichkeit von Mehrfachzuordnungen zwischen den Säulen, die im Vergleich zum gleichschenkligen Dreieck auch aus allen drei Säulen (sozial, ökonomisch und ökologisch) bestehen können. Nachhaltigkeit wird jedoch überwiegend auf Flächen bezogen, die sich überschneiden, während Flächen ohne Überschneidung weniger Beachtung finden.

<sup>22</sup> Vgl. Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck – Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie. URL: < [https://kluedo.ub.uni-kl.de/files/1597/Das\\_Integrierende\\_Nachhaltigkeits-Dreieck.pdf](https://kluedo.ub.uni-kl.de/files/1597/Das_Integrierende_Nachhaltigkeits-Dreieck.pdf)>, verfügbar am 10.03.2012, S. 2-7

<sup>23</sup> Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck – Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie. a.a.O., S. 8

Bei einer Vergrößerung der Schnittmengen und einer gleichzeitigen Verkleinerung der Flächen ohne Überschneidung würden sich die einzelnen Bereiche jedoch nicht mehr weit genug voneinander abgrenzen.<sup>24</sup>



Kombinierte Felder:

- a: ökologisch-ökonomisch
- b: sozial-ökologisch
- c: sozial-ökonomisch
- d: sozial-ökologisch-ökonomisch

**Abbildung 2-2: Schnittmengen-Modell der Nachhaltigkeits-Säulen**<sup>25</sup>

Basierend auf einem nach dem US-amerikanischen Physiker Josiah Willard Gibbs benannten Dreieck führt die Kombination des Nachhaltigkeits-Dreiecks mit dem Schnittmengenmodell zu der in Abbildung 2-3 ersichtlichen Darstellung eines integrierenden Nachhaltigkeits-Dreiecks, welches die Darstellung von Beziehungen und Mehrfachzuordnungen vereint.

Jede Ecke im integrierenden Nachhaltigkeits-Dreieck steht für eine der Säulen Ökologie, Ökonomie und Soziales. Die Position der Felder ermöglicht eine graduelle Abstufung der Zuordnung zu den einzelnen Säulen, wobei zwischen starker (Feld wird maßgeblich durch eine Säule bestimmt), teilweiser und schwacher Zuordnung (Feld wird überwiegend durch andere Säulen bestimmt) unterschieden wird. Die Zuordnung erfolgt zuerst primär, anschließend sekundär.

<sup>24</sup> Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck – Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie. a.a.O., S. 9

<sup>25</sup> von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck – Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie. a.a.O., S. 9

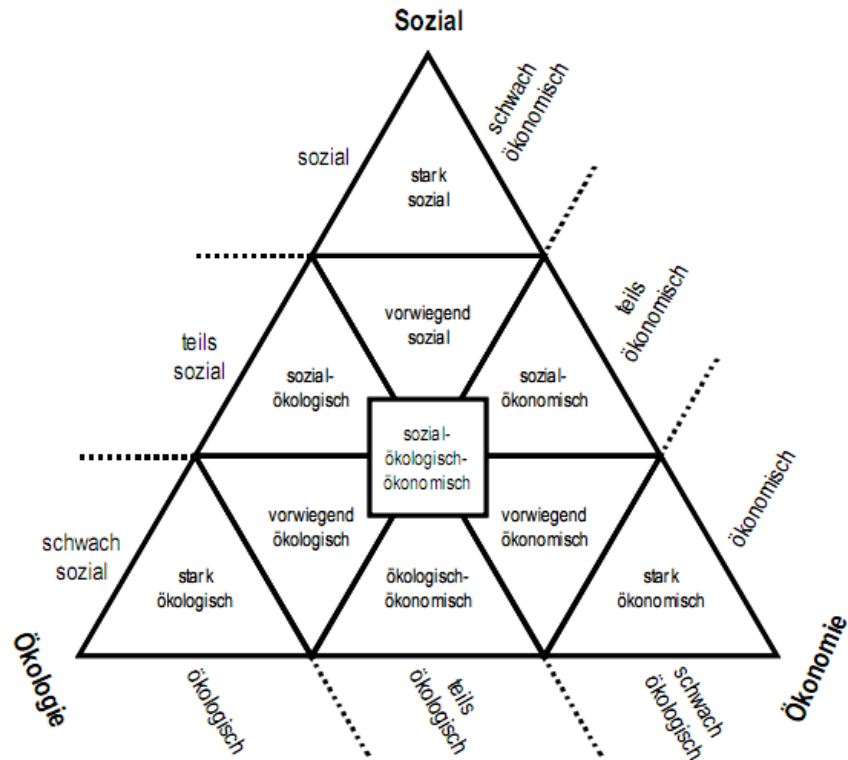


Abbildung 2-3: Felder des integrierenden Nachhaltigkeits-Dreiecks <sup>26</sup>

Der für die Messung von Nachhaltigkeit bedeutsame Indikator „Kohlendioxid-Emission“ ist primär der Ökologie zuzuordnen und daher im Feld „stark ökonomisch“ einzuordnen. In der sekundären Betrachtung hat eine steigende Emission von Kohlendioxid Auswirkungen auf die Ökonomie, da auf Grund der Verursacherzuschreibung beim Erzeuger Kosten anfallen. Desweiteren ist sekundär auch die soziale Säule auf Grund von Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen betroffen. Der Gesundheitsbereich hat in weiterer Folge wieder Auswirkungen auf die Ökonomie auf Grund entstehender Kosten.

Diese sekundären Auswirkungen des Indikators „Kohlendioxid-Emission“ werden beispielsweise im Indikator „Klimaschutz“ zusammengefasst. Dieser Indikator ist im Vergleich zur stark ökonomischen Anordnung des Indikators „Kohlendioxid-Emission“ im integrierenden Nachhaltigkeits-Dreieck weiter in der Mitte angeordnet. <sup>27</sup>

<sup>26</sup> Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck – Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie. a.a.O., S. 14

<sup>27</sup> Vgl. Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck – Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie. a.a.O., S. 14

## 2.4 Nachhaltigkeit versus „Homo Oeconomicus“

*„Der Treibhauseffekt ist nur durch ein weltweites Programm zu lösen, dem sich Industrie und Verbraucher unterordnen müssen. Dazu gehören auch Umweltabgaben.“  
(Helmut Sihler, Manager und Honorarprofessor an der Universität Münster)<sup>28</sup>*

In der in Rio de Janeiro 1992 beschlossenen „Agenda 21“ wird außerdem die erfolgreiche Umsetzung nachhaltiger Ziele hauptsächlich als Aufgabe der Regierungen festgehalten. Viele Länder entwickelten daher basierend auf die bereits angesprochenen Konferenzen und Berichte der Kommissionen in den Jahren nach 1992 entsprechende Strategien und Aktionspläne. Für langfristige Erfolge ist jedoch entscheidend, dass nachhaltiges Denken auch in Wirtschaft und Gesellschaft entsprechend gelebt wird.

Dies betrifft vor allem Industrienationen, da in Entwicklungsländern zuerst die Politik den Grundstein für eine Befriedigung der Grundbedürfnisse der Menschen schaffen muss, ehe nachhaltige Ideen umgesetzt werden können.

Nachhaltiges Denken steht nämlich im Widerspruch mit dem Denken des „Homo Oeconomicus“ aus der mikroökonomischen Theorie. An Hand des „Homo Oeconomicus“ wird das Verhalten einzelner Individuen auf den Märkten, insbesondere jenes von Produzenten und Konsumenten, vereinfacht beschrieben. Das Hauptinteresse des „Homo Oeconomicus“ gilt demnach in erster Linie der Maximierung von Gewinn und Nutzen wobei Gegenwartsgüter einen höheren Stellenwert haben als Zukunftsgüter. Nachhaltiges Denken bzw. Umweltschutz spielen hier eine untergeordnete Rolle, falls sie nicht Hauptbestandteil der jeweiligen Entscheidungsfindung sind und einen entsprechend höheren Gewinn oder Nutzen verursachen. Desweiteren können Umweltgüter, wie etwa die Belastung der Erdatmosphäre durch Emissionen, nicht monetär gemessen werden, weshalb der direkte finanzielle Anreiz für Verbesserungen fehlt.<sup>29</sup>

Um nachhaltiges Denken in Wirtschaft und Gesellschaft zu etablieren, verwenden Organisationen und Regierungen im Wesentlichen die beiden Möglichkeiten Regulierung durch Vorschriften und Gesetze sowie aktive Bewusstseinsbildung.

Regulierungen und Vorschriften betreffen vor allem den ökologischen Bereich, indem versucht wird, nach dem Verursacherprinzip Umweltschäden, die auf Konsum und Produktion zurückzuführen sind, möglichst vollständig den Umweltschädigern anzulasten. Das wohl bekannteste Beispiel stellt hier das bereits erwähnte Kyoto-Protokoll dar, in dem von den unterzeichnenden Nationen die verbindliche Reduktion von Treibhausgasen vereinbart wurde. Diese Reduktion wird verwirklicht, indem beispielsweise bei Auto-

---

<sup>28</sup> Sihler, Helmut: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/autor/Sihler%2C+Helmut/>>, verfügbar am 15.04.2012

<sup>29</sup> Vgl. Kirchgässner, Gebhard: Homo Oeconomicus. – 3. Aufl. Tübingen: Mohr Siebeck, 2008, S. 63 ff.

mobilen einerseits Steuerbegünstigungen für umweltfreundliche Technologien und andererseits erhöhte Steuersätze für Kraftfahrzeuge mit hohem Emissionsausstoß festgelegt werden. Auf Grund kumulativer Wirkungen oder Wirkungsketten ist die Zurechnung jedoch nicht immer möglich. Neben dem Verursacherprinzip kann auch das Kooperationsprinzip, bei dem umweltbeeinträchtigende Aktivitäten mit umweltschützenden Maßnahmen gekoppelt sind, das Vorsorgeprinzip, bei dem Gefahren für die Umwelt möglichst im Vorfeld vermieden werden sollen und das Gemeinlastprinzip, bei dem Umweltbelastungen durch die öffentliche Hand reduziert werden, angewendet werden.<sup>30</sup>

Da Unternehmen auf Grund von Kosten- und Erfolgsrechnungen Entscheidungen im Wesentlichen auf Grund von wirtschaftlichen Aspekten treffen, kann aktive Bewusstseinsbildung vor allem in der Gesellschaft Erfolge erzielen. Ein sehr gutes Beispiel liefert hier die Automobilindustrie, die in den letzten Jahren verstärkt auf energieeffiziente Produkte mit niedrigem Treibstoffbedarf und Fahrzeuge wie Elektroautos, die alternative Energieträger nutzen, setzt. Dieser Wandel im Produktportfolio ist nicht zuletzt auf die Nachfrage des Konsumenten zurückzuführen, der in letzter Zeit immer mehr Bereitschaft zeigt, für ein umweltfreundliches Elektroauto mehr Geld auszugeben als für ein günstigeres, mit fossilen Brennstoffen betriebenes Fahrzeug.

Nachhaltiges Denken kann aber auch für Unternehmen nützlich sein, da die grundlegende Idee vom effizienteren Einsatz von Ressourcen und der Senkung von Emissionen zu Kostensenkungen führen kann. Die Messung von Nachhaltigkeit mit entsprechenden Analyseverfahren hilft dabei, entsprechendes Optimierungspotential im Unternehmen ausfindig zu machen. Unternehmen, die noch einen Schritt weiter gehen und eine Vorreiterrolle bei der Umsetzung von Nachhaltigkeit innehaben, können die Ergebnisse auch zu Marketingzwecken nützen. Dies kann beispielsweise durch Produktaufdrucke von zertifizierten Labels, durch die Nachhaltigkeit bestätigt wird, durch Verankerung entsprechender Werte in den Unternehmensleitsätzen und durch entsprechende Publizierung auf der Unternehmenshomepage, diversen Printmedien oder in der Werbung erfolgen. Da die Marketingaktivitäten den aktuellen Strömungen entsprechen und diese Unternehmen höchst effizient arbeiten, können sie langfristig eine bessere Position am Markt aufweisen.

---

<sup>30</sup> Vgl. Baßeler, Ulrich; Heinrich, Jürgen; Utecht; Burkard: Grundlagen und Probleme der Volkswirtschaft. – 19. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2010, S. 917 f.



### 3 Analyseverfahren

Die Messung von Nachhaltigkeit erfolgt mittels Indikatoren. Auf Grund der Vielschichtigkeit von Nachhaltigkeit stehen jedoch unzählige Indikatoren zur Verfügung. Die Messung kann sich auf Nationen, Unternehmen, Prozesse, Produkte oder einzelne Personen beziehen wobei jeweils auf spezifische Indikatoren zurück gegriffen werden muss. Aus diesem Grund ist eine eindeutige Messung von Nachhaltigkeit nicht möglich.

Die Indikatoren werden grob nach Verwendungszweck für Makro- und Mikroökonomie gegliedert und entsprechend den drei Säulen der Nachhaltigkeit unterteilt. Die Makroökonomische Betrachtung beinhaltet volkswirtschaftliche Systeme innerhalb nationaler Grenzen. Als Beispiel für Indikatoren seien hier das Bruttoinlands- und Bruttosozialprodukt, der ökologische Fußabdruck und der Sustainable Economic Welfare (Messung der Wohlfahrt basierend auf privaten Konsumausgaben) genannt.

Auf mikroökonomischer Ebene werden Unternehmen und andere Organisationen betrachtet. Die 1997 gegründete „Global Reporting Initiative“ entwickelte Richtlinien für die Nachhaltigkeitsberichterstattung und publizierte in einem überarbeiteten Bericht aus dem Jahre 2006 eine entsprechende Liste mit Indikatoren, die zum Vergleich von Unternehmen herangezogen werden kann. Als ökonomische Indikatoren werden wirtschaftliche Leistung, Marktpräsenz und mittelbare wirtschaftliche Auswirkungen, als ökologische Indikatoren werden Materialien, Energie, Wasser, Biodiversität, Emissionen, Abwasser und Abfall, Produkte und Dienstleistungen, Einhaltung von Rechtsvorschriften sowie Transport und als soziale Indikatoren werden Beschäftigung, Arbeitgeber-Arbeitnehmer-Verhältnis, Arbeitsschutz, Aus- und Weiterbildung sowie Vielfalt- und Chancengleichheit genannt. Zusätzlich zu den Indikatoren der drei Nachhaltigkeits-Säulen beinhaltet die Liste Indikatoren der Bereiche Gesellschaft, Menschenrechte und Produktverantwortung.

<sup>31</sup>

Aus dem Bedürfnis, auf verschiedene Anforderungen besser eingehen und um die Ergebnisse aussagekräftiger wiedergeben zu können, haben sich verschiedene Verfahren zur Messung von Nachhaltigkeit entwickelt. Die im Folgenden beschriebenen Methoden bündeln die entsprechenden Indikatoren und eignen sich für unterschiedliche Einsatzzwecke. Die Methoden unterscheiden sich desweiteren in einer internen oder externen Orientierung.

So kann eine Auswertung für interne Zwecke auf einem Vergleich beruhen, sensible Daten beinhalten und das Ergebnis in einer ausführlichen Dokumentation abliefern wä-

---

<sup>31</sup> Vgl. Global Reporting Initiative: Leitfaden zur Nachhaltigkeitsberichterstattung. URL: <<https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/German-G3-Reporting-Guidelines.pdf>>, verfügbar am 11.04.2012, S. 26-31



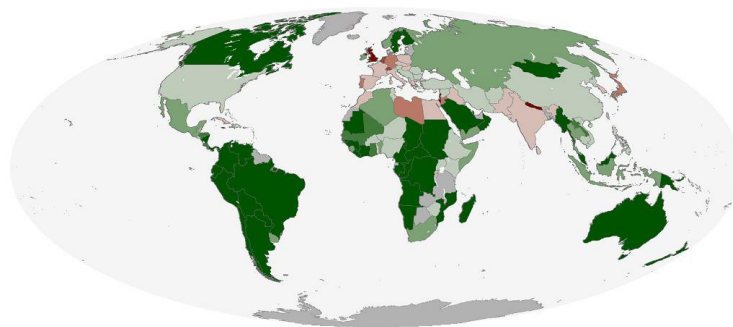
renddessen sich Auswertungen für externe Zwecke an normierten Vergleichswerten orientieren, das Ergebnis in möglichst wenigen, aussagekräftigen Kennzahlen zusammenfassen und in weiterer Folge unter Umständen in der Erreichung eines von einem unabhängigen Institut zertifizierten Labels enden.

## 3.1 Messung mittel Fußabdruck

### 3.1.1 Ökologischer Fußabdruck

Eine Methode zur Messung von ökologischer Nachhaltigkeit stellt das 1994 von Mathis Wackernagel und William Rees entwickelte Verfahren zur Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks dar. Die Methode geht davon aus, dass für die Deckung der Lebensweise eines Menschen eine gewisse Menge an biologisch produktiver Fläche erforderlich ist. Vereinfacht ergibt die Gesamtanzahl der Menschen dividiert durch die verfügbare Fläche auf der Erde die maximale Fläche, die ein Mensch zur Deckung seiner Lebensweise benötigen sollte. Übersteigt die Lebensweise eines Menschen diese Fläche, so ist er ein ökologischer Schuldner. Benötigt ein Mensch jedoch nicht die gesamte, ihm zur Verfügung stehende Fläche, so ist er ein ökologischer Gläubiger.<sup>32</sup>

Das Global Footprint Network ist eine Organisation, die sich dem Sinnbild des ökologischen Fußabdrucks verschrieben hat. In einer 2010 veröffentlichten Studie wurden Daten des Jahres 2007 entsprechend ausgewertet und zur besseren Veranschaulichung mit Daten aus dem Jahr 1961 verglichen. Für jede Nation auf der Erde wurden die biologische Kapazität sowie der biologische Fußabdruck ermittelt.

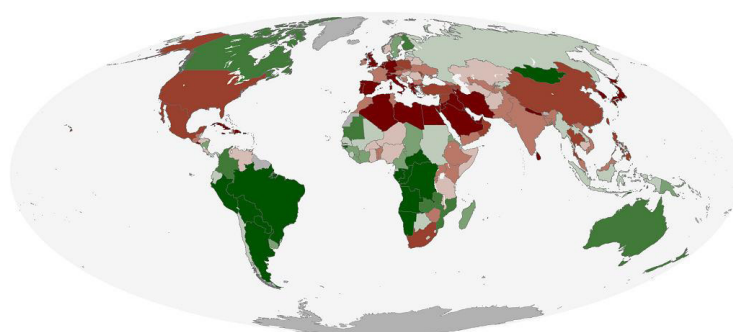


**Abbildung 3-1: Ökologischer Fußabdrucks zu verfügbarer Biokapazität, 1961**<sup>33</sup>

<sup>32</sup> Vgl. Wackernagel, Mathis; Rees, William: Unser ökologischer Fußabdruck – Wie der Mensch Einfluss auf die Umwelt nimmt. – 1. Aufl. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser 1997, S. 23 ff.

<sup>33</sup> Global Footprint Network: Ecological Footprint Atlas 2010. URL: <[www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological\\_Footprint\\_Atlas\\_2010.pdf](http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological_Footprint_Atlas_2010.pdf)>, verfügbar am 16.03.2012, S. 35

In Abbildung 3-1 ist die Gegenüberstellung der biologischen Kapazität mit dem ökologischen Fußabdruck, sortiert nach Nationen, dargestellt. Grün signalisiert einen Fußabdruck, der kleiner als die verfügbare Biokapazität und rot einen Fußabdruck, der größer als die verfügbare Biokapazität ist. Die Intensität der Farben lässt auf die Höhe der jeweiligen Biokapazität schließen. Ein Vergleich mit den Daten des Jahres 2007 aus Abbildung 3-2 bringt eine drastische Veränderung zum Ausdruck. Einerseits stagniert die verfügbare Fläche für biologische Kapazität auf Grund der steigenden Umweltverschmutzung und der Verödung von Böden. Desweiteren steht durch die Bevölkerungsexplosion jedem Menschen automatisch weniger Fläche zur Verfügung. Andererseits steigt der ökologische Fußabdruck, vor allem in den führenden Industrienationen, auf Grund gestiegenen Konsums und Wohlstandes sowie der damit einhergehenden, gestiegenen Produktion deutlich an.<sup>34</sup>



**Abbildung 3-2: Ökologischer Fußabdrucks zu verfügbarer Biokapazität, 2007**<sup>35</sup>

Die Berechnung des Fußabdrucks erfolgt in mehreren Schritten und beginnt mit der Bestimmung des nationalen Verbrauchs, welcher sich aus Produktion und der Differenz von Importen zu Exporten basierend auf statistischen Daten zusammensetzt. In weiterer Folge werden die ökologischen Flächen für jedes Gut kalkuliert, die pro Kopf belegt werden. Der ökologische Fußabdruck stellt dabei die Summe aller Teilflächen dar. Konsum wird in die fünf jeweils auf Ökobilanzen basierenden Kategorien Nahrung, Wohnen, Transport, Konsumgüter und Dienstleistungen unterteilt. Der Bereich Fläche wiederum ist in Land für fossile Energie, verbrauchtes Land, heute beanspruchtes Land, begrenzt benützbare Land und Meeresflächen gegliedert. Energie fließt über die pro Hektar und Jahr erzeugbare Energiemenge in die Berechnung mit ein.<sup>36</sup>

Der ökologische Fußabdruck ist gut dafür geeignet, Nachhaltigkeit und Konsumverhalten von einzelnen Personen und Nationen an Hand aussagekräftiger Kennzahlen aus ökologischer Sicht zu bewerten. So beträgt beispielsweise der ökologische Fußabdruck eines

<sup>34</sup> Vgl. Global Footprint Network: Ecological Footprint Atlas 2010. a.a.O., S. 35

<sup>35</sup> Global Footprint Network: Ecological Footprint Atlas 2010. a.a.O., S. 35

<sup>36</sup> Vgl. Wackernagel, Mathis; Rees, William: Unser ökologischer Fußabdruck – Wie der Mensch Einfluss auf die Umwelt nimmt. a.a.O., S. 85-95

Menschen in Österreich 2007 5,30 gha pro Person bei einer verfügbaren Biokapazität von 3,31 gha. Dies entspricht einer Überbeanspruchung von ca. 62%.<sup>37</sup>

### 3.1.2 CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Für industrielle Prozesse, einzelne Produkte oder ganze Unternehmen ist der ökologische Fußabdruck jedoch wegen seiner Methodik nicht anwendbar. Aus diesem Grund hat sich der „CO<sub>2</sub>-Fußabdruck“, auch „carbon-footprint“ oder „CO<sub>2</sub>-Bilanz“ genannt, etabliert. Das System ist zwar dem ökologischen Fußabdruck nachempfunden, basiert jedoch auf der Ökobilanz, in der es den Teilbereich Treibhauspotenzial (global warming potential) darstellt. Dabei werden die Auswirkungen aller Treibhausgase in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten über einen Zeitraum von 100 Jahren aufsummiert.<sup>38</sup>

CO<sub>2</sub>-Äquivalent bedeutet, dass Gase je nach Grad ihrer Auswirkung auf den Treibhauseffekt mit Kohlendioxid ins Verhältnis gesetzt werden. CO<sub>2</sub> hat über die Dauer von 100 Jahren ein Treibhauspotenzial von 1, Methan hingegen weist ein Treibhauspotenzial von 21 auf. Das bedeutet, dass die Emissionsreduktion von 1 Tonne Methan mit der Emissionsreduktion von 21 Tonnen CO<sub>2</sub> gleichzusetzen ist. Die entsprechenden Werte wurden 1995 vom IPCC, dem Intergovernmental Panel on Climate Change, in ihrem zweiten Sachlagebericht publiziert. Das IPCC ist eine 1988 von der UNO gegründeten Organisation zur Untersuchung von Klimaveränderungen.<sup>39</sup>

Im Gegensatz zum ökologischen Fußabdruck und zur Ökobilanz betrachtet der CO<sub>2</sub> Fußabdruck nur Auswirkungen auf den Treibhauseffekt und klammert andere Umwelteinflüsse aus. Dieser Umstand ist jedoch gleichzeitig der Vorteil der Methode, da Emissionsfaktoren exakt berechenbar und in weiterer Folge gut vergleichbar sind. Die Ergebnisse der Bilanzierung tragen zu einer Bewusstseinsbildung für Treibhausgasemissionen und zur Ermittlung von Emissionstreibern bei. Die anschließende Reduktion bzw. Vermeidung der Emissionstreiber wird üblicherweise durch geringeren und effizienteren Einsatz von Energie und Ressourcen erreicht. Dadurch entstehen Kosteneinsparungen, die idealerweise die Kosten für die Reduktionsmaßnahmen übersteigen.

Der sogenannte „corporate carbon footprint“ dient zur Analyse von Unternehmen oder deren Niederlassungen, wobei üblicherweise als Zeitraum ein Jahr angenommen wird. Die Ergebnisse können zu Vergleichszwecken oder zur Visualisierung von Einsparpotenzial oder bereits eingespartem Potenzial verwendet werden. Der „product carbon

---

<sup>37</sup> Vgl. Global Footprint Network: Ecological Footprint Atlas 2010. a.a.O., S. 32

<sup>38</sup> Vgl. Feifel, S.; Walk, W.; Wursthorn, S.; Schebek, L.: Ökobilanzierung 2009 – Ansätze und Weiterentwicklung zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit. – 1. Aufl. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2009, S. 41

<sup>39</sup> Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 1995 – the science of Climate Change. URL: <[www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg\\_1/ipcc\\_sar\\_wg\\_1\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_1/ipcc_sar_wg_1_full_report.pdf)>, verfügbar am 18.03.2012, S. 22

footprint“ hingegen bildet die Emission von einzelnen Produkten ab. Dabei wird allerdings der gesamte Produktlebenszyklus (product lifecycle) von der Erzeugung über die Verwertung bis zur Entsorgung einschließlich Transport und Verpackung, auch „cradle to grave“ (von der Wiege bis zur Bahre) betrachtet. Eine vergleichsweise niedrige Bilanz eines Produkts kann in weiterer Folge auch zu Marketingzwecken und der Unterstreichung umweltfreundlicher Produkteigenschaften, beispielsweise durch Produktaufdrucke des Carbon Trust Klimasiegels genutzt werden.<sup>40</sup>

Die Berechnung erfolgt nach ISO 14040 und beinhaltet direkte Emissionen aus dem Kontrollbereich des Unternehmens, indirekte Emissionen durch zugekaufte Energie wie Strom, Wärme und Dampf sowie andere indirekte Emissionen, die durch Aktivitäten des Unternehmens entstehen.<sup>41</sup>

## 3.2 Messung mittels Ökobilanz

### 3.2.1 Ökobilanz (LCA)

Eine Ökobilanz ist ein Verfahren zur Analyse von Auswirkungen auf die Umwelt, die von Produktsystemen ausgehen. Ein Produktsystem umfasst dabei als Inputs alle für die Produktion benötigten Energie- und Stoffaufwendungen. Outputs sind Aufwendungen, die aus der Produktion resultierenden und die während der Nutzungsphase und bei der Entsorgung entstehen. Eine grobe Gliederung sind die Rohstoff- und Energieträgergewinnung, die Herstellung der Zwischenprodukte, die Herstellung des Endproduktes, der Ge- bzw. Verbrauch in der Nutzungsphase und die Beseitigung bzw. Verwertung. Ebenso werden in ein Produktsystem alle Transporte zwischen den einzelnen Schritten und die bei der Produktion entstehenden Emissionen, Abfälle und Abwässer mit einbezogen. Um alle Phasen des Produktsystems abbilden zu können sind in der Regel weitere Unterkategorien erforderlich, woraus sich auf Grund der oft komplexen Zusammenhänge ein sogenannter Produktbaum aus allen Rohstoffen, Energieträgern, Zwischenprodukten, Hilfsstoffen sowie aus dem Abfallmanagement und dem Recycling bildet.

Ähnlich wie bei der Messung mittels Fußabdruck wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die ökologische Säule betrachtet und die ökonomische bzw. soziale Säule vernachlässigt. Es wird aber davon ausgegangen, dass Investitionen, die auf Grund der Ergebnisse der Ökobilanz getätigt werden, zwangsläufig auch Einfluss auf die anderen beiden Säulen haben. Die Ökobilanz kann entweder vergleichend mit einem alternativen Pro-

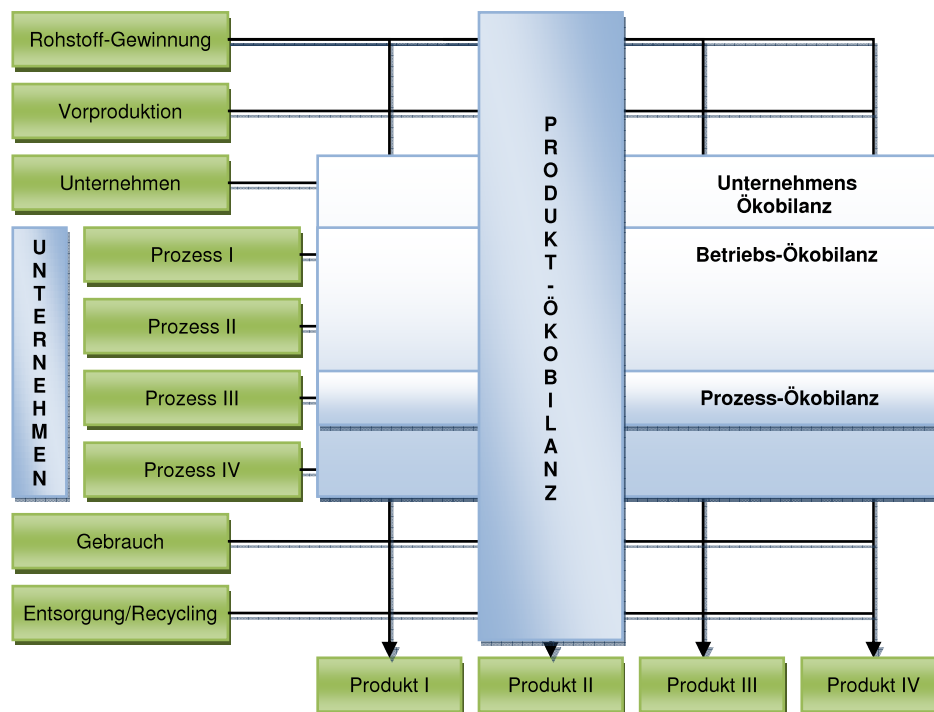
---

<sup>40</sup> Vgl. Urban, Arnd I.; Halm, Gerhard: Praktikable Klimaschutz-Potenziale in der Abfallwirtschaft. – 1. Aufl. Kassel: kassel university press GmbH 2010, S. 76 ff.

<sup>41</sup> Vgl. Urban, Arnd I.; Halm, Gerhard: Praktikable Klimaschutz-Potenziale in der Abfallwirtschaft. a.a.O., S. 83

duktsystem oder vergleichend mit normierten Referenzwerten durchgeführt werden. Dabei ist die funktionelle Einheit entscheidend. So können bei einem Vergleich von Getränkeverpackungen 1000 Liter Flüssigkeit etwa in 2000 Stück Mehrwegglasflaschen zu 0,5 Litern oder in 500 Stück Einweg-PET-Flaschen zu 2 Litern abgefüllt werden. Wichtig ist hier die gemeinsame Basis mit 1000 Liter Flüssigkeit und die Tatsache, dass beide Gebindearten grob annähernd einen gleichen Nutzen erfüllen.

Der Mittelpunkt eines Produktsystems kann neben einem Produkt aber auch ein Prozess, eine Dienstleistung oder eine menschliche, ökonomische Tätigkeit sein. Idealerweise sollte sich die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus „von der Wiege bis zur Bahre“ (im Englischen „cradle to grave“ genannt) erstrecken. Daher kommt auch die alternative Bezeichnung „Lebenszyklusanalyse“, die im Englischen unter „Life Cycle Assessment“ und der Abkürzung „LCA“ bekannt ist.<sup>42</sup>



**Abbildung 3-3: Abgrenzung unterschiedlicher Ökobilanzen**<sup>43</sup>

Eine Ökobilanz für ein Produktsystem wird auch Produkt-Ökobilanz genannt. Neben der Produkt-Ökobilanz existieren jedoch noch weitere Formen von Ökobilanzen, die sich im Wesentlichen, wie in Abbildung 3-3 dargestellt, in ihrem Betrachtungshorizont unterscheiden. Bei einer Prozess-Ökobilanz werden lediglich die Inputs und Outputs eines klar definierten Umwandlungsprozesses untersucht. Eine Betriebs-Ökobilanz folgt der Definition „gate-to-gate“, auch „Werktor zu Werktor“ genannt. Betrachtet werden alle

<sup>42</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit: Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. – 1. Aufl. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & CoKGaA 2009, S. 2-5

<sup>43</sup> Vgl. Möltner, Clemens: Life Cycle Assessment als Werkzeug zur Entwicklung umweltgerechter Produkte – Strategien zur Implementierung von Ecodesign. – 1. Aufl. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH 2009, S. 39

durchlaufenden Inputs und Outputs, die in das Werk gelangen oder die das Werk verlassen. Keine Berücksichtigung finden Maschinen, Anlagen und die Nutzung von Bodenfläche. Diese Elemente werden dafür in der Unternehmensbilanz berücksichtigt, die somit eine Erweiterung der Betriebs-Ökobilanz darstellt.

Eine Besonderheit der Ökobilanz ist die Tatsache, dass diese Methode derzeit die einzige ist, die von Produktsystemen ausgehende Wirkungen auf die Umwelt durch international genormte Maßstäbe darstellen kann. Die Regelung erfolgt in den Normen ISO 14040 und 14044. Der Ablauf einer Ökobilanz gliedert sich demnach in die vier Schritte Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung.<sup>44</sup>

### 3.2.2 Produktlinienanalyse (PLA)

Eine erweiterte Form der Ökobilanz, die wie erwähnt nur die ökologische Säule abbilden kann, stellt die Produktlinienanalyse dar. Mit ihr können alle drei Säulen der Nachhaltigkeit dargestellt werden.

Horizontale	Kriterien Dimension Natur	Kriterien Dimension Gesellschaft	Kriterien Dimension Wirtschaft
Vertikale			
Rohstoffgewinnung und Verarbeitung			
Transport			
Produktion			
Transport			
Handel/Vertrieb			
Konsum			
Transport			
Beseitigung			

**Tabelle 3-1: Eigene Darstellung ähnlich zur einfachen Produktlinienmatrix<sup>45</sup>**

Die Produktlinienanalyse bezieht sich jedoch nicht auf die Analyse einzelner Produkte, sondern auf die Analyse von zu befriedigenden Bedürfnissen. So kann beispielsweise das Bedürfnis nach sauberer Wäsche durch die Waschmittel A, B, und C befriedigt werden. Die unterschiedlichen Formen der Befriedigung werden in der Analyse auf ihre ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen untersucht. Der Aufbau einer vereinfachten Produktlinienanalyse ist in Tabelle 3-1 dargestellt.

<sup>44</sup> Vgl. Möltner, Clemens: Life Cycle Assessment als Werkzeug zur Entwicklung umweltgerechter Produkte – Strategien zur Implementierung von Ecodesign. a.a.O., S. 38-40

<sup>45</sup> Vgl. Müller, Armin: Umweltorientiertes betriebliches Rechnungswesen. – 3. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH 2010, S. 179

Der Ablauf einer Produktlinienanalyse gliedert sich in die folgenden Punkte:

1. Definition Anwendungsgebiet
2. Bedürfnisanalyse
3. Festlegung der Produktvarianten
4. Erstellung der Produktlinienmatrix
5. Kontrolle der Matrix-Zeilen
6. Analyse der Produktvarianten
7. Auswertung
8. Konsequenzen und Handlungsbedarf

Das Verfahren ist äußerst aufwendig und durch die große Fülle an Indikatoren und Daten ist kein Gesamtwert basierend auf Produkt-Teilwerten möglich. Bewertungskriterien müssen deshalb für jeden Anwendungsfall neu festgelegt werden. Die Bewertung selbst erfolgt anschließend meist durch eine Beschreibung der Ergebnisse in einem Bericht.<sup>46</sup>

### **3.3 Messung mittels Ökoeffizienz**

Laut einschlägiger Literatur ist der Ursprung der Ökoeffizienz Anfang der 1990er Jahre bei den Ökonomen Stefan Schaltegger und Andreas Sturm zu finden. Die Methode wurde in weiterer Folge vom Business Council for Sustainable Development, einer von Unternehmensvorständen geführten Organisation zum Thema nachhaltiger Entwicklung 1992 beim Weltgipfel in Rio de Janeiro als Beitrag der Wirtschaft in die Diskussion eingebracht.

Ökoeffizienz geht von dem Ansatz aus, dass dauerhafter Umweltschutz nur dann erreicht wird, wenn die Maßnahmen dafür ökonomisch vertretbar sind. Es werden somit ökologische Anforderungen mit ökonomischen Zielsetzungen verbunden. Ein Beispiel wäre die Senkung von Verbrauchskosten und die damit einhergehende Schonung von Ressourcen. Dabei ist vor allem Innovationseffekten wesentliche Bedeutung beizumes-

---

<sup>46</sup> Vgl. Müller, Armin: Umweltorientiertes betriebliches Rechnungswesen. a.a.O., S. 179 f.

sen. Die Methode basiert auf einer einfachen Gleichung, nämlich Ökoeffizienz = Wertschöpfung durch Schadschöpfung.<sup>47</sup>

Der Begriff „Ökoeffizienz“ ist (noch) nicht durch eine Norm definiert, weshalb mehrere Abgrenzungsversuche existieren. Die Interpretation der Formel kann aber im Wesentlichen auf drei Arten erfolgen. Zum Ersten durch ökonomische Kosteneffizienz, was der kostengünstigen und ressourcenschonenden Erstellung einer Leistung gleichzusetzen ist. Zweitens durch ökologische Effizienz, die die verursachte Umweltbelastung pro erstellter Leistung ausdrückt und drittens durch ökonomisch-ökologische Effizienz, die die verursachte Umweltbelastung pro erwirtschafteter Geldeinheit darstellt.<sup>48</sup>

Die vom Business Council for Sustainable Development empfohlenen Kennzahlen für die Schadschöpfung sind der Energieverbrauch, der Materialverbrauch, die Treibhausgasemissionen, der Netto-Wasserverbrauch und die Emission ozonabbauender Substanzen. Für die Wertschöpfung werden Einheiten von Produkten und Dienstleistungen sowie der Netto-Umsatz herangezogen.<sup>49</sup>

### 3.3.1 Ökoeffizienzanalyse

Eine Standardisierung der Methode stellt die seit 1996 vom Chemiekonzern BASF entwickelte Ökoeffizienzanalyse dar. Die Analyse besteht aus den beiden Bereichen Umweltbelastung und Kostenbelastung. Die Umweltbelastung besteht, wie aus Abbildung 3-4 ersichtlich, aus den fünf Hauptkategorien Material- und Energieverbrauch, Emissionen sowie Toxizitäts- und Risikopotential.

Der Bereich Emissionen ist desweiteren in die drei Unterkategorien Wasser-, Luft- und Bodenemissionen unterteilt. Und schlussendlich ist die Kategorie Luftemission abermals in die Unterkategorien Klimaerwärmung (GWP: Global Warming Potential), Ozonloch (ODP: Ozon Depletion Potential), bodennahes Ozon (POCP: Photochemical Ozone Creation Potential) und saurer Regen (AP: Acidification Potential) gegliedert. Die Kategorien sind durch Faktoren je nach Einfluss unterschiedlich gewichtet. Im Vergleich mehrerer Optionen wird die größte Umweltbelastung mit 100% bewertet.

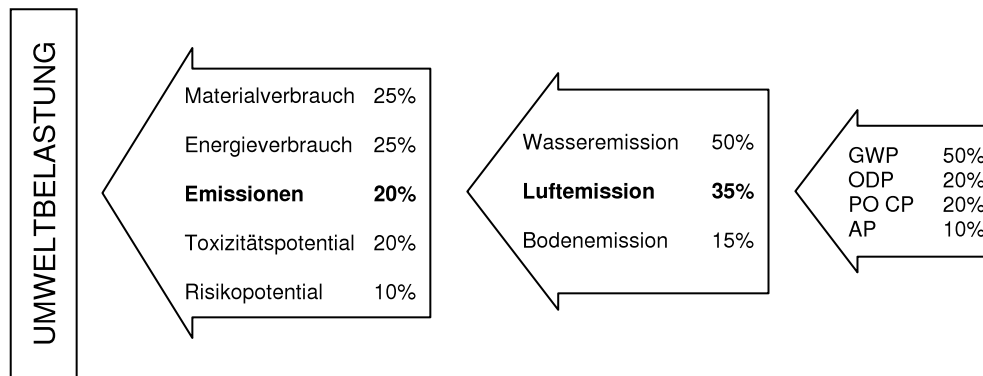
---

<sup>47</sup> Vgl. Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Nachhaltige Entwicklung – Grundlagen und Umsetzung. – 1. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH 2009, S. 77-79

<sup>48</sup> Vgl. Schaltegger, Stefan; Sturm, Andreas: Öko-Effizienz durch Öko-Controlling. – 1. Aufl. Zürich, Stuttgart: vdf Hochschulverlag AG bzw. Schäffer-Poeschl Verlag GmbH 1995, S. 2

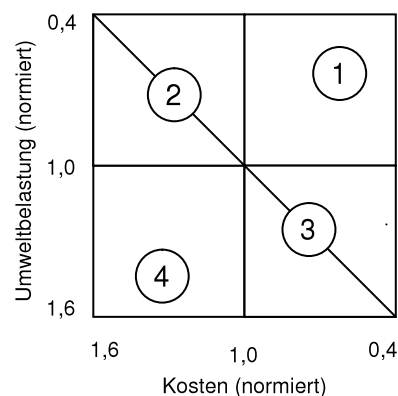
<sup>49</sup> Vgl. Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Nachhaltige Entwicklung – Grundlagen und Umsetzung. a.a.O., S. 158





**Abbildung 3-4: Eigene Darstellung ähnlich BASF Ökoeffizienz-Analyse<sup>50</sup>**

Die Kostenbelastung beinhaltet die entsprechenden, über den gesamten Lebensweg anfallenden Kosten. Die größten anfallenden Kosten werden wie bei der Umweltbelastung ebenfalls mit 100% bewertet. Beide Werte werden nun in einem übersichtlichen, leicht verständlichen Diagramm (siehe Abbildung 3-5) zusammengeführt.



**Abbildung 3-5: Eigene Darstellung ähnlich BASF Ökoeffizienz-Portfolio<sup>51</sup>**

Der Punkt 1 stellt die höchste Ökoeffizienz dar. Kosten- und Umweltbelastung sind im Vergleich zu den anderen Varianten am niedrigsten. Die Punkte 2 und 3 haben die gleiche Ökoeffizienz, wobei Punkt 2 eine höhere Umwelt- und niedrigere Kostenbelastung (ökonomisch vorteilhaft) und Punkt 3 eine höhere Kosten- und niedrigere Umweltbelastung (ökologisch vorteilhaft) aufweist. Punkt 4 hat im Vergleich zu allen anderen Punkten die höchste Kosten- und Umweltbelastung.<sup>52</sup> Künftig wird die Erstellung einer Ökoeffizienzanalyse in der Norm ISO 14045 geregelt, zu der momentan bereits ein Entwurf vorliegt. Der TÜV-Berlin hat die Methodik allerdings bereits im Vorfeld validiert und vergibt dafür ein eigenes Ökoeffizienz-Label.

<sup>50</sup> BASF: Life Cycle Management – Eco-efficiency Analysis by BASF. URL: <[www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/eco-efficiency-analysis/images/Eco-efficiency\\_Analysis\\_by\\_BASF.pdf](http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/eco-efficiency-analysis/images/Eco-efficiency_Analysis_by_BASF.pdf)>, verfügbar am 21.03.2012, S. 12

<sup>51</sup> BASF: Life Cycle Management – Eco-efficiency Analysis by BASF. a.a.O., S. 15

<sup>52</sup> Vgl. BASF: Life Cycle Management – Eco-efficiency Analysis by BASF. a.a.O., S. 11-15

### 3.3.2 Sustainable Value Added

Sämtliche Messungen der Ökoeffizienz sind belastungsorientierte Verfahren, da sie die von der ökonomischen Tätigkeit verursachten Belastungen bewerten. Der vom Ökonomen Frank Figge Anfang des neuen Jahrtausends entwickelte Sustainable Value Added ist im Gegensatz dazu wertorientiert und gibt Nachhaltigkeit in einer monetären Kennzahl, beispielsweise in Euro, wieder. Er basiert auf einer Betrachtung von Opportunitätskosten. Dies sind virtuelle Kosten, die dadurch entstehen, dass Möglichkeiten zur effizienteren Nutzung von Ressourcen nicht optimal ausgeschöpft wurden. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass mehr Wert und somit auch mehr Nachhaltigkeit bei einer alternativen, effizienteren Nutzung von Ressourcen im Vergleich zur bisherigen Nutzung generiert werden können. Diese alternativen Nutzungsmöglichkeiten werden als Benchmark zur Ermittlung der Opportunitätskosten herangezogen. Der im Vergleich durch die Effizienzverbesserung geschaffene Mehrwert wird als Environmental Value Added bezeichnet. Dieser ökonomische Wert ergibt in weiterer Folge durch Ergänzung der ökologischen und sozialen Effektivität den Sustainable Value Added. Ein positives Ergebnis kann nur erreicht werden, wenn die durch zusätzlichen Ressourcenverbrauch verursachten Opportunitätskosten durch den dadurch generierten Mehrwert zumindest gedeckt werden. Die Berechnung erfolgt in vier Schritten:

- **Schritt 1:** Ermittlung der Veränderung des Verbrauchs von ökologischen und sozialen Ressourcen im Vergleich zur Vorperiode.
- **Schritt 2:** Ermittlung der Opportunitätskosten des zusätzlichen oder eingesparten Verbrauchs pro Ressource und Vergleich mit einem festzulegenden Benchmark
- **Schritt 3:** Berechnung der durchschnittlichen Opportunitätskosten aller ökologischen und sozialen Ressourcen.
- **Schritt 4:** Vergleich der ermittelten Opportunitätskosten mit dem ökonomischen Wachstum des Unternehmens. Liegt das ökonomische Wachstum über den zusätzlichen Opportunitätskosten wurde Nachhaltigkeit geleistet, liegt es darunter wurde keine Nachhaltigkeit geleistet. Der monetäre Indikator Sustainable Value Added gibt an, wie viel Nachhaltigkeit in der vorangegangenen Periode geleistet wurde.<sup>53</sup>

---

<sup>53</sup> Vgl. Figge, Frank; Hahn, Tobias: Sustainable Value Added – Ein neues Maß des Nachhaltigkeitsbeitrages von Unternehmen am Beispiel der Henkel KGaA. URL: <[www.sustainablevalue.com/downloads/sustainablevalueaddedeinneuesmadesnachhaltigke.pdf](http://www.sustainablevalue.com/downloads/sustainablevalueaddedeinneuesmadesnachhaltigke.pdf)>, verfügbar am 22.03.2012, S. 126-132

### 3.4 Vergleich der Nachhaltigkeits-Analyseverfahren

Die beschriebenen Verfahren zur Messung von Nachhaltigkeit verfolgen unterschiedliche Ansätze und sind daher auch für unterschiedliche Einsatzzwecke geeignet. Der Kriterienkatalog aus Tabelle 3-2 bringt daher abschließend die jeweiligen Eigenschaften der verschiedenen Analyseverfahren zum Ausdruck.

	Ökologischer Fußabdruck	Carbon Footprint	Ökobilanz	Produktlinien Analyse	Ökoeffizienz Analyse	Sustainable Value Added
Behandelt eine Säule der Nachhaltigkeit	X	X	X			
Behandelt zwei Säulen der Nachhaltigkeit					X	
Behandelt drei Säulen der Nachhaltigkeit				X		X
Prägnantes Ergebnis	X	X			X	X
Ausführliches Ergebnis			X	X		
Interne Orientierung			(X)		X	X
Externe Orientierung	X	X	X	X		
Verfahren durch Norm geregelt		X	X		(X)	
Unabhängiges Zertifikat verfügbar		X	X		X	
Für Produktionsbetrieb geeignet		X	X	X	X	X

**Tabelle 3-2: Eigene Darstellung – Kriterienkatalog Analyseverfahren**

Als Schlussfolgerung kann festgestellt werden, dass es kein Verfahren gibt, das für die Messung von Nachhaltigkeit am besten oder am schlechtesten geeignet ist. Auf Grund der verschiedenen theoretischen Ansätze verfügt jede Analyse über spezifische Eigenschaften bzw. Vor- und Nachteile. Die Herausforderung liegt somit darin, für einen bestimmten Anwendungsfall die am besten geeignete Methode ausfindig zu machen.

## 4 Präzisierung der Aufgabenstellung

Die Firma Kemacos Full Filling Service Gmbh ist ein Produktionsbetrieb im Kosmetikbereich und hat sich in der Vergangenheit bereits aktiv mit Umweltthemen auseinandergesetzt. So wird im Werk beispielsweise im Winter eine Wärmepumpe für Heizzwecke betrieben und im Sommer Grundwasser für die Raumkühlung verwendet.

Als Lohnhersteller verfügt das Unternehmen jedoch nicht über ein Produktportfolio im klassischen Sinn, stattdessen werden im Auftrag von Kosmetikkonzernen Produkte entwickelt, produziert, abgefüllt und verpackt. Die dafür notwendigen Produktionsprozesse sollen nun auf Wunsch des Unternehmens auf ihre Nachhaltigkeit untersucht werden. Von besonderem Interesse ist dabei ein quantitatives Ergebnis, das die bisherigen Bestrebungen in punkto Umweltschutz und Nachhaltigkeit in Zahlen fassen soll.

Für die zur Abfüllung benötigten Gebinde kommt als Material in erster Linie PET (Polyethylenterephthalat) zum Einsatz. In einem ersten Schritt wird aus dem Rohstoff in Form von Kunststoffgranulat ein Rohling, auch Preform genannt, gefertigt. Dieser Rohling wird in einem zweiten Schritt erwärmt und unter der Einwirkung von Druck in eine Form gepresst, die ein Negativ der gewünschten Gebindeform enthält. Dieses Verfahren wird auch Streckblasverfahren genannt.<sup>54</sup>

Das Hauptaugenmerk der Betrachtung soll daher auf dem Produktionsprozess einer Abfülllinie liegen, der bis dato immer den Zukauf von Leergebinde verlangte. Eine 2011 neu errichtete Abfülllinie ist nun in der Lage, diese Gebinde selbst herzustellen. Benötigt wird nur mehr der Rohling, der durch sein kleines Volumen in großen Stückzahlen angeliefert und gelagert werden kann. Diese Vorgehensweise spart Aufwände beim Transport und Kosten in der Lagerhaltung.

In der folgenden Studie sollen nun die unterschiedlichen Umweltauswirkungen der beiden Produktionsprozesse untersucht werden. Ein differenziertes Ergebnis ist einerseits auf Grund der unterschiedlichen Effizienz der Anlagen, die mit verschiedenen technischen Verfahren arbeiten und auf Grund der Einsparungen im Bereich Logistik zu erwarten.

---

<sup>54</sup> Vgl. Thielen, Michael; Hartwig, Klaus; Gust, Peter: Blasformen von Kunststoff-Hohlkörpern. – 1. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2006, S. 149

## 4.1 KEMACOS Full Filling Service GmbH

Das Unternehmen KEMACOS Full Filling Service GmbH ist als Lohnhersteller für die Kosmetikindustrie tätig und in Kematen in Tirol beheimatet. Das Leistungsspektrum reicht von der Entwicklung von Rezepturen und der Beratung in punkto Verpackung über die Beschaffung von Packmaterialien und Rohstoffen sowie der Herstellung und Abfüllung bis zur Lagerhaltung und Auslieferungslogistik.

Am Standort Kematen wurde auf Initiative von Klaus Schwarzkopf zuerst 1981 das Hochregallager der in Innsbruck ansässigen Hans Schwarzkopf GmbH ausgelagert. Anschließend folgten 1985 die Übersiedelung der Produktionsstätte und der Verwaltung von Innsbruck nach Kematen. Anfang der 1990er Jahre wurde die Marke Schwarzkopf vom Unternehmen Henkel übernommen. Die von Henkel geplante Schließung des Standorts Kematen wurde 1998 durch ein Management-Buy-out einiger Mitarbeiter durch die Gründung der Kematen Cosmetics GmbH verhindert. Nach der Insolvenz der Kematen Cosmetics GmbH im Jahr 2008 wurde das Unternehmen von der deutschen Unternehmerfamilie Czech übernommen und wird seither unter dem Namen Kemacos Full Filling Service GmbH weitergeführt. Derzeit beschäftigt der Standort Kematen ca. 100 Mitarbeiter und produziert üblicherweise in zwei Schichten.

Das Portfolio der Kemacos Full Filling Service GmbH beinhaltet folgende Produktgruppen:

- **Haut- und Körperpflege:** Duschgele, Flüssigseifen, Emulsionen, Cremes, Lotionen, Deodorants, Rasierschäume, u. a.
- **Fine Fragrances:** Eau de Toilettes, Eau de Parfums, After Shaves
- **Haarpflege:** Shampoos, Trockenshampoo, Conditioner, Masken, Haargele, Wachse, Haarsprays, Haarschäume
- **Mundhygiene:** Mundspülungen

Neben den Dienstleistungen im Bereich Chemie, Verpackung und Logistik beinhaltet die Fertigungskompetenz am Standort Kematen im Wesentlichen die Herstellung, Abfüllung und Verpackung der jeweiligen Produkte.

Die abzufüllenden Elemente werden im Fachjargon Bulk genannt. Speziell bei explosionsgefährdeten Stoffen sind dafür spezielle Produktionsverfahren erforderlich. Der Bulk wird je nach Anforderung in unterschiedlichen Produktionskesseln warm oder kalt hergestellt.

Die Abfüllung des Bulkes wird auf die unterschiedlichen Abfülllinien je nach Produktbehältnis und Bulkeigenschaft aufgeteilt. Die Hauptkriterien zur Auswahl der Abfülllinie sind die Brennbarkeit, die Viskosität und die chemischen Eigenschaften des Bulkes.

Zur Auswahl stehen die folgenden 11 Abfülllinien und 2 Konfektionierlinien:

- **Linie A, B und C:** Anlagen zur Abfüllung von Aerosolen (beispielsweise Haarsprays und Rasierschäume)
- **Linie D, E und M:** Anlagen zur Abfüllung von Liquiden (beispielsweise Haarshampoo und Eau de Toilette)
- **Linie G und H:** Anlagen zur Abfüllung von Tuben (beispielsweise Handcremen und Haargels)
- **Linie K und N:** Anlagen zur Abfüllung von Tiegeln (beispielsweise Handcremen und Haarwachse)
- **Linie Q:** Anlage zur Herstellung von Flaschen und Abfüllung von Liquids (beispielsweise Mundwasser)
- **Linie O und P:** Anlagen zum Konfektionieren bzw. Komplettieren der Produkte (beispielsweise Verpackung in Faltschalen)

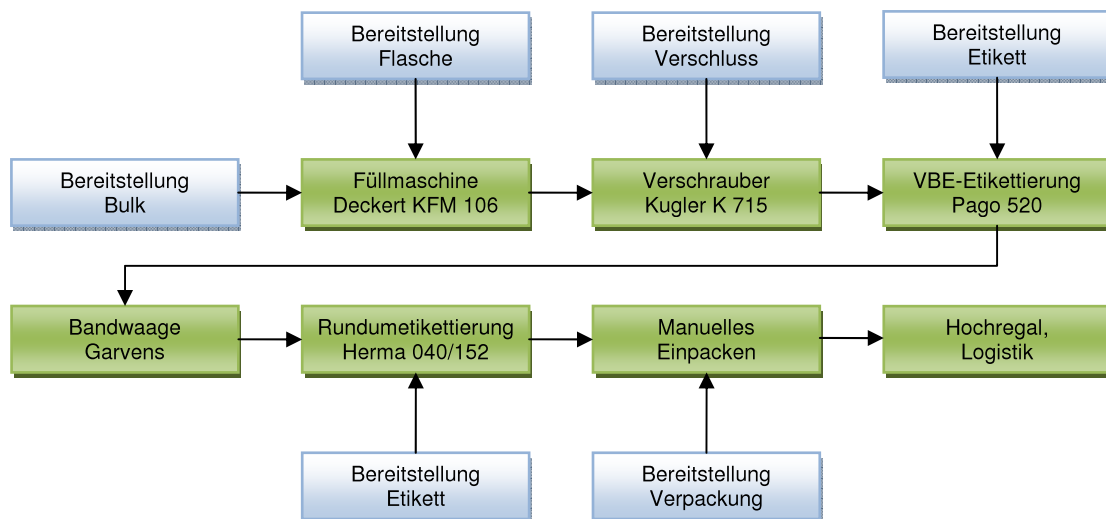
Der Abfüllprozess an den Linien beinhaltet die Bereitstellung des Bulks, die eigentliche Abfüllung, die Verschließung, die Chargierung bzw. Kennzeichnung und Etikettierung des Produktes sowie je nach Anforderung die Verpackung direkt an der Linie.

Der Vergleich der Produktionsprozesse erfolgt zwischen den Linien E und Q, da an beiden Linien in etwa dieselben Produkte abgefüllt werden können. Die Linie Q stellt insofern eine Besonderheit im Maschinenpark dar, da diese Anlage als einzige die Flaschen, in die der Bulk gefüllt wird, selbst blasen kann. Bei der Abfüllung an der Abfülllinie E müssen die Flaschen dagegen von einem externen Lieferanten zugekauft und eigens angeliefert werden.

## 4.2 Abfüllanlagen

### 4.2.1 Linie E „Deckert“

Die erste Anlage, die im Vergleich betrachtet wird, ist die 2003 errichtete Abfülllinie E des Herstellers Deckert, in der niedrig- bis mittelviskose Flüssigkeiten in Glas-, Alu-, bzw. Kunststoffflaschen abgefüllt werden können. Abbildung 4-1 stellt den Produktionsprozess an der Abfülllinie dar, wobei die einzelnen Arbeitsschritte grün und die dazu benötigten Elemente blau gekennzeichnet sind. Die für die Abfüllung benötigten Flaschen werden bei dieser Anlage bei einem externen Lieferanten zugekauft und im werkseigenen Hochregallager zwischengelagert, bis sie für die Produktion benötigt werden.



**Abbildung 4-1: Eigene Darstellung – Produktionsprozess Abfülllinie E – „Deckert“**

Der Produktionsprozess sieht im Detail folgendermaßen aus:

- **Füllmaschine Deckert KFM 106:** Der Bulk wird über Rohrleitungen zur Maschine befördert, in der ein sechs-Stellen-Linearfüller über eine Massedurchflussmessung mit servogesteuerter Füllkurve die Abfüllung übernimmt. Die Bestückung der Gebinde erfolgt manuell per Hand. Der Transport der Gebinde erfolgt in Bechern mit den Abmessungen von 135x80mm.
- **Verschrauber Kugler K 715:** Aus einem manuell per Hand zu befüllenden Vorratsbehälter werden die Verschlüsse automatisch durch drei servogesteuerte Verschraubköpfe aufgesetzt. Im ersten Schritt werden Pumpen oder Verschlüsse bis 190mm Steigrohrlänge eingesetzt und vorverschraubt, in einem zweiten Schritt wird der Verschluss auf Drehmoment verschraubt und in einem dritten Schritt werden bei Bedarf Schraub- und Prell-

verschlüsse, die sich ebenfalls in einem manuell per Hand zu befüllenden Vorratsbehälter befinden, aufgesetzt.

- **Etikettierung Pago 520 (fix montiert):** Die Etikettierung erfolgt ein- oder beidseitig vorn und hinten am Produkt, wobei die Möglichkeit einer zusätzlichen Etikettierung auf der Vorderseite beispielsweise für einen Originalitätsverschluss besteht. Desweiteren ist eine Chargierung mittels Heißprägeverfahren möglich
- **Bandwaage Garvens:** Die Bandwaage dient zur Ermittlung des Produktgewichts im Zuge der Qualitätskontrolle.
- **Rundumetikettierung Herma 040/152 (variabel einsetzbar):** Alternativ zur VBE-Etikettierung können auch Etiketten, die das gesamte Gebinde umschließen, realisiert werden. Mit dieser Maschine ist ebenfalls eine Chargierung mittels Heißprägeverfahren möglich
- **Verpackung:** Die Verpackung in Umkartons bzw. Halbkartons, die automatisch von unten verschlossen oder Vollkartons, die automatisch von oben und unten verschlossen werden, erfolgt manuell per Hand
- **Logistik:** Die Kartons werden manuell per Hand auf Europaletten gestapelt, zu einem Hochregallager transportiert und dort bis zum Versand eingelagert.

Technische Daten der Abfülllinie E – „Deckert“:

- **Stückleistung [min]:** 25 – 50 je nach Viskosität und Volumen
- **Dosierbereich [ml]:** 20 – 2000 bei einer Genauigkeit von 0,5 – 1%
- **Gebindeabmessungen [mm]:** Höhe 90 – 350, Durchmesser 35 – 85
- **Stromaufnahme [kW]:** 21
- **Betriebsdruck Druckluft [bar]:** 6
- **Verbrauch Druckluft [l/min]:** 102
- **Leistungsaufnahme Kompressor [kW]:** 45



## 4.2.2 Linie Q „PET“

Die zweite Anlage für den Vergleich ist die 2011 errichtete Abfülllinie Q des Herstellers Kosme, in der ebenfalls niedrig- bis mittelviskose Flüssigkeiten abgefüllt werden können. Die Abfüllung erfolgt derzeit ausschließlich in Kunststoffflaschen, die durch eine in den Produktionsprozess eingebundene Streckblasmaschine selbst hergestellt werden. Abbildung 4-2 stellt den Produktionsprozess an der Abfülllinie dar, wobei die einzelnen Arbeitsschritte wieder grün und die dazu benötigten Elemente blau gekennzeichnet sind.

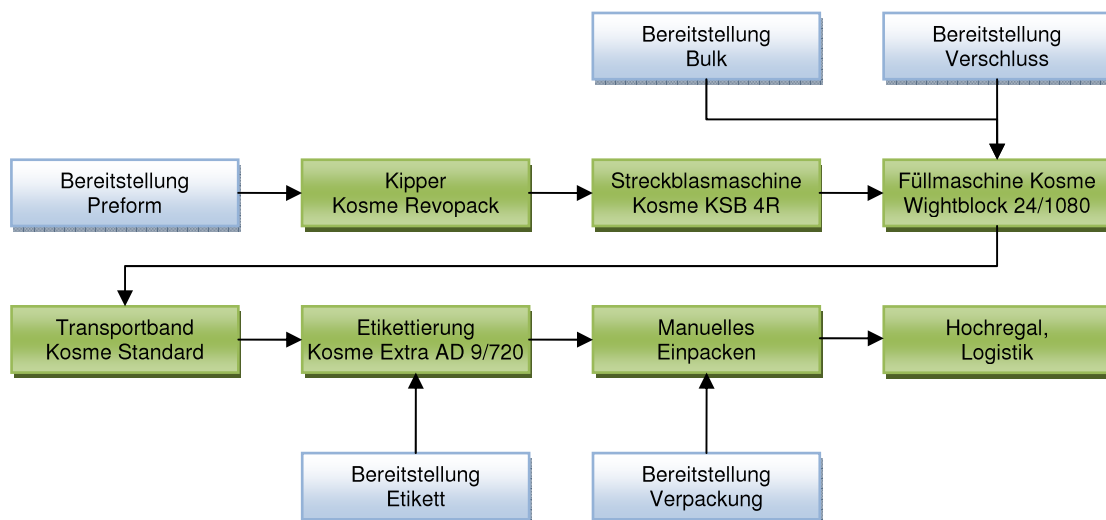


Abbildung 4-2: Eigene Darstellung – Produktionsprozess Abfülllinie Q – „PET“

Der Produktionsprozess sieht im Detail folgendermaßen aus:

- **Kipper Kosme Revopack:** Der Kipper dient zur Vorratshaltung der für die Erzeugung der Flaschen benötigten Rohlinge. Die Beförderung in die Streckblasmaschine erfolgt automatisch. Die Bestückung mit den Rohlingen erfolgt palettenweise per Gabelstapler.
- **Streckblasmaschine Kosme KSB 4R:** Die Preforms verfügen über einen Haltering, der für den Transport in der Maschine erforderlich ist. Zuerst werden sie mittels Zangen durch eine Heizstrecke bewegt, um die für den Blasvorgang notwendige Temperatur zu erreichen. Anschließend werden die aufgeheizten Preforms einem Rundläufer übergeben, in dem mittels Hochdruck der eigentliche Blasvorgang in den entsprechenden Formateilen erfolgt.
- **Füllmaschine Kosme Wightblock 24/1080:** Die Übergabe der Gebinde erfolgt vollautomatisch aus der vorgelagerten Streckblasmaschine. Der Bulk wird über Rohrleitungen zur Maschine befördert, in der ein 24-Stellen-Rundläufer über Wiegezellen die Füllmenge bestimmt. Durch die Wiegezellen kann eine

separate Durchlaufwaage entfallen. Aus einem manuell per Hand zu befüllenden Vorratsbehälter werden die Verschlüsse direkt in der Füllmaschine mit einem eigenen acht-köpfigen Rotationsverschrauber mit Magnetkupplung für definierte Drehmomente montiert.

- **Transportband Kosme Standard:** Auf Grund der hohen Fertigungskapazität dienen die Transportbänder als Pufferstrecke zur Aufnahme der nicht fertig geblasenen Flaschen bei Störungen.
- **Kosme Extra AD 9/720:** Die Etikettierung erfolgt durch einen neun-stelligen Rundläufer mit drei Spendern für Vorder- und Rückseite sowie Zusatz- und Rundumetiketten. Desweiteren ist eine Chargierung mittels Heißprägeverfahren möglich
- **Bandwaage Garvens:** Die Bandwaage dient zur Ermittlung des Produktgewichts im Zuge der Qualitätskontrolle.
- **Verpackung:** Die Verpackung in Umkartons bzw. Halbkartons, die automatisch von unten verschlossen oder Vollkartons, die automatisch von oben und unten verschlossen werden, erfolgt manuell per Hand
- **Logistik:** Die Kartons werden manuell per Hand auf Europaletten gestapelt, zu einem Hochregallager transportiert und dort bis zum Versand eingelagert.

Technische Daten der Abfülllinie Q – „PET“:

- **Stückleistung [min]:** 50 – 130 je nach Viskosität und Volumen
- **Dosierbereich [ml]:** 50 – 1500 bei einer Genauigkeit von +/- 1g
- **Gebindeabmessungen [mm]:** Höhe 40 – 90, Durchmesser 100 – 300
- **Leistungsaufnahme Kipper und Streckblasmaschine [kW]:** 101,5
- **Leistungsaufnahme Füllmaschine, Bänder und Etikettierung [kW]:** 32
- **Betriebsdruck Druckluft [bar]:** Streckblasmaschine: 40; Rest: 6
- **Verbrauch Druckluft Steckblasmaschine 40,0 bar [l/min]:** 1.540
- **Verbrauch Druckluft Steckblasmaschine 6,0 bar [l/min]:** 12
- **Verbrauch Druckluft Abfüllanlage 6,0 bar [l/min]:** 75

### 4.3 Auswahl des Analyseverfahrens

Das Ziel der Studie liegt hauptsächlich in der Untersuchung von Umweltauswirkungen, die von den in Punkt 4.2.1 und in Punkt 4.2.2 beschriebenen Produktionsprozessen ausgehen. Besonders soll dabei auf die Quantifizierung der unterschiedlichen Effizienz und die verschiedenen Aufwendungen für Logistik geachtet werden.

Basierend auf dem Kriterienkatalog aus Tabelle 3-2 bzw. Punkt 3.4 – Vergleich der Nachhaltigkeits-Analyseverfahren – werden in der folgenden Tabelle 4-1 alle Merkmale, die für das Unternehmen KEMACOS bei der Erstellung der Studie von Interesse sind, in einem Anforderungskatalog abgebildet.

	Ökologischer Fußabdruck	Carbon Footprint	Ökobilanz	Produktlinien Analyse	Ökoeffizienz Analyse	Sustainable Value Added
<b>Ausführliches Ergebnis</b>			X	X		
<b>Interne Orientierung</b>			(X)		X	X
<b>Verfahren durch Norm geregelt</b>		X	X		(X)	
<b>Für Produktionsbetrieb geeignet</b>		X	X	X	X	X

**Tabelle 4-1: Eigene Darstellung – Anforderungskatalog Analyseverfahren**

Die Analyse aller drei Nachhaltigkeits-Säulen ist für das Unternehmen in erster Linie nicht so interessant, wichtiger ist vielmehr ein ausführliches Ergebnis der Studie. Die Orientierung der Analyse ist primär intern angesiedelt, einzelne Ergebnisse sollen aber auch für Informations- und Marketingzwecke genutzt werden. Ein durch eine Norm standardisiertes Verfahren wird ausdrücklich gewünscht, damit die Studie einer entsprechenden Struktur unterliegt und die Ergebnisse dadurch für eventuelle weitere Analysen verwendet werden können. Ein unabhängiges Zertifikat wird vorerst nicht angestrebt und die Eignung für einen Produktionsbetrieb ist natürlich eine Grundvoraussetzung.

Das Verfahren, das sich somit am besten für die Aufgabenstellung eignet, ist die Ökobilanz. Die Ökobilanz deckt zwar in erster Linie nur den ökologischen Bereich der drei Nachhaltigkeitssäulen ab, in weiterer Folge können jedoch durch das Ergebnis auch Schlüsse bezüglich der ökonomischen und sozialen Komponente gemacht werden. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Auswertung der Ökobilanz bei Bedarf auch direkt in eine Ökoeffizienzanalyse integriert werden kann.

## 4.4 Analyse-Software GEMIS

Wie bereits erwähnt liegt die ursprüngliche Idee einer Ökobilanz darin, sämtliche für die Herstellung, Verwendung und Entsorgung eines Produkts benötigten Energie- und Stoffaufwendungen sowie deren Emissionen in einer Analyse zu erfassen. So werden sämtliche vor- und nachgelagerten Prozesse eines Produktsystems in die Studie mit eingebunden und im Produktbaum dargestellt. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise müssen aber auch die den Prozessen vor- und nachgelagerten Prozesse berücksichtigt werden.

Beispielsweise benötigt ein LKW, der das zu untersuchende Produktsystem transportiert, für den Betrieb Treibstoff in Form von Diesel. Diesel wird aus Rohöl erzeugt, das wiederum gefördert, transportiert und raffiniert werden muss. In einer ganzheitlichen Betrachtung werden alle Aufwendungen und Emissionen von diesen Prozessen ebenso anteilig berücksichtigt. Bezeichnet werden diese Aufwendungen auch als sogenannte „graue Energie“. Durch die Berücksichtigung der grauen Energie können versteckte Bedarfe an Energie aus der Zulieferkette durch Aufsummieren sichtbar gemacht werden.<sup>55</sup>

Durch diese Vorgehensweise wird eine enorme Menge an Daten angehäuft, die entsprechend verarbeitet werden muss. Desweiteren nimmt bei zunehmender Vertiefung der Analyse der Ungenauigkeitsfaktor zu, da die Aufwendungen und Emissionen entfernter Prozesse, wie zum Beispiel das Raffinieren von Rohöl und die Herstellung von Diesel ohne entsprechende Daten nicht genau eruiert werden können.

Aus diesem Grund gibt es am Markt eine Reihe von Software-Programmen, die über entsprechende Datenbanken verfügen. In den Datenbanken sind sämtliche Aufwendungen und Emissionen verschiedenster Produkte und Prozesse hinterlegt. Durch die Modellierung von Produktsystemen in den Software-Programmen basierend auf den hinterlegten Daten kann auf diese Art graue Energie berücksichtigt werden. Eine Liste von Software-Programmen mit den zugehörigen Herstellern und einer Beschreibung der Eigenschaften ist im Internet auf der Seite des Joint Research Center, einem Institut der Europäischen Kommission, zu finden.<sup>56</sup>

Zur Unterstützung der vorliegenden Studie fiel die Wahl auf das Software-Programm „GEMIS“ (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme), das vom Öko-Institut entwickelt wurde. Das Öko-Institut ist eine unabhängige Einrichtung für Forschung und Beratung, die seit 1977 an den Standorten Freiburg, Darmstadt und Berlin an der Umsetzung

---

<sup>55</sup> Vgl. Meyer, Urs B.; Creux, Simone E.; Weber Marin; Andrea K.: Grafische Methoden der Prozessanalyse – Für Design und Optimierung von Produktionssystemen. – 1. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2005, S. 206

<sup>56</sup> Vgl. Joint Research Centre: Liste von Software-Programmen zur Erstellung von Ökobilanzen. URL: <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm>>, verfügbar am 29.05.2012

von Ideen zur nachhaltigen Entwicklung arbeitet. Es handelt sich dabei um einen eingetragenen, gemeinnützigen Verein, der sich über Drittmittel für Projekte, Beiträge und Spenden finanziert.<sup>57</sup>

Auf Grund der gemeinnützigen Struktur wird das Software-Programm GEMIS kostenlos im Internet zur Verfügung gestellt. Dieser Umstand ermöglicht es, entsprechende Analysen mit wenig finanziellem Aufwand zu erstellen. Das Programm wurde Anfang der 1990er Jahre erstmals veröffentlicht und seitdem stetig weiter entwickelt. Aktuell steht die Version 4.7 unter [www.gemis.de](http://www.gemis.de) zum Download bereit.<sup>58</sup>

Gearbeitet wird in GEMIS mit sogenannten Produkten (z. Bsp. Diesel), die in Prozessen (z. Bsp. LKW) verknüpft und in weiterer Folge in Szenarien (z. Bsp. LKW-Transport über eine bestimmte Strecke) modelliert werden können. Die Datenbank von GEMIS verfügt in der aktuellen Version bereits über mehr als 1.000 Produkte und knapp 9.000 Prozesse. Sollten für die Studie erforderliche Daten jedoch in GEMIS nicht oder nicht ausreichend hinterlegt sein, können die benötigten Informationen aus verschiedenen Quellen im Internet bezogen werden.<sup>59</sup>

So werden etwa Umweltauswirkungen speziell im Bereich Logistik in einer Datenbank des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg erfasst. Diese Datenbank mit dem Namen „TREMOD“ (Transport Emission Model) ist zwar auf Grund ihres großen Umfangs nicht öffentlich nutzbar, aber teilweise sind die Ergebnisse in einer anderen Datenbank hinterlegt. Diese Datenbank des Umweltbundesamtes wurde in einer Kooperation mit dem Ökoinstitut erstellt und trägt den Namen „PROBAS“ (Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente).<sup>60</sup> Desweiteren sind in PROBAS Daten aus Ökobilanzen enthalten, die von PlasticsEurope erstellt wurden. Diese Organisation stellt einen Zusammenschluss europäischer Kunststoffhersteller dar, die zum Thema Nachhaltigkeit von Kunststoffen bereits zahllose Publikationen veröffentlicht hat. Die Daten sind auch auf der Homepage von PlasticsEurope verfügbar.<sup>61</sup>

---

<sup>57</sup> Vgl. Öko-Institut e.V. URL: <[http://www.oeko.de/das\\_institut/dok/558.php](http://www.oeko.de/das_institut/dok/558.php)>, verfügbar am 29.05.2012

<sup>58</sup> Öko-Institut e.V.: Software-Download GEMIS. URL: <[www.gemis.de/gemis471.zip](http://www.gemis.de/gemis471.zip)>, verfügbar am 29.05.2012

<sup>59</sup> Vgl. Öko-Institut e.V.: Handbuch zu GEMIS. URL: <<http://www.gemis.de/g44handbuch.07.pdf>>, verfügbar am 29.05.2012

<sup>60</sup> Vgl. Umweltbundesamt: Datenbank PROBAS. URL: <<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>>, verfügbar am 29.05.2012

<sup>61</sup> Vgl. PlasticsEurope: Eco-profile of plastic products. URL: <<http://www.plasticseurope.org/plastics-sustainability/eco-profiles.aspx>>, verfügbar am 29.05.2012

## 5 Ökobilanz – Ziele und Untersuchungsrahmen

Für den Ablauf und den Umfang einer Ökobilanz gelten strenge Regeln, welche in den folgenden Normen und Richtlinien festgehalten sind:

- **DIN EN ISO 14040:** Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen; deutsche und englische Fassung aus 2006
- **DIN EN ISO 14044:** Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen; deutsche und englische Fassung aus 2006. Diese Norm ersetzt die Normen DIN EN ISO 14041 - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens aus 1998, DIN EN ISO 14042 - Wirkungsabschätzung aus 2000 und DIN EN ISO 14043 – Auswertung, ebenfalls aus 2000
- **ISO/TR 14047:** Umweltmanagement – Wirkungsabschätzung – Beispiele für die Anwendung von ISO 14042; englische Fassung aus 2003
- **ISO/TS 14048:** Umweltmanagement – Ökobilanz - Datendokumentationsformat; englische Fassung aus 2002
- **DIN Fachbericht 107 / ISO/TR 14049:** Umweltmanagement – Ökobilanz - Anwendungsbeispiele zu ISO 14041 zur Festlegung des Untersuchungsrahmens sowie zur Sachbilanz; deutsche und englische Fassung aus 2000

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle auch der Norm-Entwurf DIN EN ISO 14045: Umweltmanagement – Ökoeffizienzbewertung von Produktsystemen - Prinzipien, Anforderungen und Leitlinien in deutscher und englischer Fassung aus 2011 erwähnt. Diese Norm, die ebenfalls in der Normenreihe 14000 integriert wurde, ist für die Erstellung einer Ökobilanz nicht erforderlich. Jedoch können die Ergebnisse einer Ökobilanz in weiterer Folge in eine Ökoeffizienzanalyse integriert werden.<sup>62</sup>

Die vier Abschnitte einer Ökobilanz umfassen im Wesentlichen:

1. **Festlegung von Zielen und deren Umfang:** Unter dem Motto „welche Produktsysteme werden unter welchen Rahmenbedingungen analysiert?“ werden etwa Funktion des Produktsystems, Systemgrenzen, Anforderungen und Einschränkungen festgelegt.

---

<sup>62</sup> Vgl. Finkbeiner, Matthias: Umweltmanagement für kleine und mittlere Betriebe – Die Normenreihe ISO 14000 und ihre Umsetzung. – 2. Aufl. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2012, S. 35 f.

2. **Sachbilanz:** Datenerfassung aller Inputs und Outputs für jedes einzelne Element des Produktbaums. Treten bei einem Modul Outputs beispielsweise in Form von Nebenprodukten auf, die nicht oder nur anteilig dem zu untersuchenden Produktsystem zuzuschreiben sind, so müssen diese Anteile unter anderem über ihr Gewicht entsprechend ermittelt werden. Dieser Vorgang wird auch Allokation genannt. Nach Ermittlung aller Informationen werden die Daten auf die funktionelle Einheit hin berechnet.
3. **Wirkungsabschätzung:** Bewertung der Ergebnisse der Sachbilanz auf ihre Auswirkungen auf die Umwelt unter Berücksichtigung der spezifischen Umweltwirkungen einzelner Stoffe und Stoffgruppen. Festgelegt sind nur Vorschläge, wie etwa die Wirkungsabschätzung durch Zuordnung von Sachbilanzen zu Wirkungskategorien, die Modellierung der Sachbilanzdaten innerhalb der Wirkungskategorien oder in besonderen Fällen die mögliche Zusammenfassung von Ergebnissen.
4. **Auswertung:** Die Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung führen zu einer abschließenden Bewertung, in der die Ergebnisse in Schlussfolgerungen oder Maßnahmen zusammengefasst werden.<sup>63</sup>

## 5.1 Ziele der Studie

### 5.1.1 Beabsichtigte Anwendung

Ziel der Studie ist die Ermittlung von Umweltauswirkungen, die durch den Abfüllprozess von Kosmetikprodukten bei der Firma Kemacos Full Filling Service GmbH verursacht werden. Durchgeführt wird ein ökobilanzieller Vergleich zwischen den Linien E und Q, die unter Punkt 4.2.1 bzw. Punkt 4.2.2 bereits beschrieben wurden. Einerseits liegt dabei das Hauptaugenmerk auf einem bisher bei einem externen Lieferanten ausgelagerten Prozessmodul, das nun in der Abfülllinie Q integriert ist. Andererseits sind Unterschiede in der Effizienz der beiden Anlagen, die sich in weiterer Folge in der Umweltbelastung bemerkbar machen, von Interesse.

### 5.1.2 Gründe für die Durchführung der Studie

---

<sup>63</sup> Vgl. Finkbeiner, Matthias: Umweltmanagement für kleine und mittlere Betriebe – Die Normenreihe ISO 14000 und ihre Umsetzung. a.a.O., S. 41-44

Da der Konsument bei seiner Produktwahl immer mehr Wert auf Umweltbewusstsein legt, wird nachhaltige Entwicklung in Zukunft ein immer wichtigeres Argument werden, um am Markt attraktiv zu bleiben. Als positiver Nebenaspekt hilft nachhaltige Entwicklung dabei, Prozesse effizient zu gestalten.

Die Gründe für die Durchführung der Studie liegen deshalb maßgeblich im Bestreben der Firma Kemacos Full Filling Services GmbH, nachhaltige Auswirkungen strategischer Entscheidungen, wie im konkreten Fall die Investition in die Abfüllanlage Q, zu quantifizieren. Die Ergebnisse sollen in erster Linie intern als Grundlage für künftige Entscheidungen und weitere Studien dienen und teilweise als Information für Kunden verwertet werden.

### **5.1.3 Zielgruppe**

Hauptzielgruppe der Studie ist das Unternehmen Kemacos Full Filling Service GmbH, das aus den Ergebnissen Informationen über die Umweltbelastung der für die Produktion benötigten Prozesse gewinnt und diese Erkenntnisse in künftigen, strategischen Entscheidungen berücksichtigen kann. Eine weitere Zielgruppe sind Kunden, denen die Ergebnisse der Studie als Nachweis dienen sollen, dass sich die Firma Kemacos Full Filling Service GmbH aktiv mit Themen wie Ressourcenschonung, Umweltschutz und Nachhaltigkeit auseinandersetzt.

### **5.1.4 Veröffentlichung**

Eine Veröffentlichung der Ergebnisse der Ökobilanz wird mit der Publizierung dieser Diplomarbeit erreicht.

## **5.2 Untersuchungsrahmen der Studie**

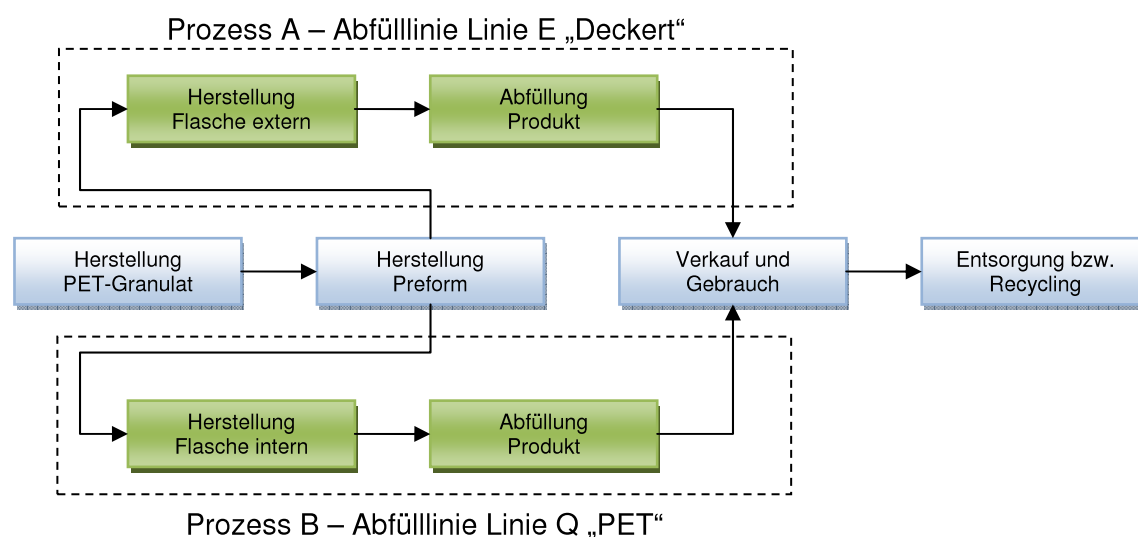
### **5.2.1 Definition der zu untersuchenden Produktsysteme**

Ein wesentliches Kriterium bei der Erstellung einer Ökobilanz ist die in der DIN EN ISO 14040 unter Punkt 4.1.2 geforderte Betrachtung des gesamten Lebensweges eines Produktsystems nach dem „cradle-to-grave“ Prinzip. Nach diesem Prinzip werden alle Aufwendungen von der Rohstoffgewinnung über die Produktion bis hin zum Gebrauch und



zur Entsorgung in der Bilanz berücksichtigt.<sup>64</sup> Als Beispiel für den Vergleich von zwei Produktsystemen liefert der DIN Fachbericht 107 die Gegenüberstellung von Papierhandtüchern und elektrischen Handrocknern, wobei die funktionelle Einheit aus der Trocknung einer bestimmten Anzahl von Händen besteht. Dieses Beispiel stellt einen klassischen Anwendungsfall einer Ökobilanz-Analyse dar und verdeutlicht sehr gut die Möglichkeiten, die dieses Verfahren bieten kann.<sup>65</sup>

Die vorliegende Aufgabenstellung unterscheidet sich in vielen Punkten von den eigentlichen Anwendungsfällen einer Produkt-Ökobilanz und vom Prinzip der Betrachtung des Lebensweges. Da das Unternehmen als Lohnhersteller agiert werden auf den Abfülllinien die Produkte mehrerer Kunden mit jeweils spezifischen Anforderungen produziert. Selbst bei gleichen Produktgruppen wie beispielsweise Mundwasser werden auf den Abfülllinien unterschiedliche Sorten in verschiedene Gebinde abgefüllt. Durch die hohe Anzahl an Produktsystemen mit unterschiedlichen Funktionen müsste für jedes einzelne Produktsystem eine eigene Ökobilanz erstellt werden, was aber auf Grund des hohen Aufwandes nicht möglich ist.



**Abbildung 5-1: Eigene Darstellung – Produktsystem Kosmetikprodukt**

Im Gegenzug dazu sind die Produktionsprozesse an den jeweiligen Abfülllinien auch bei unterschiedlichen Produkten in der Regel gleich. Die Studie zielt daher darauf ab, Unterschiede in den Umweltauswirkungen eines Produkts zu veranschaulichen, das entweder mit dem Produktionsprozess A oder mit dem Produktionsprozess B erzeugt wurde; siehe Abbildung 5-1. Der Unterschied in den Produktionsprozessen liegt in der externen oder lokalen Produktion der Flaschen und in der mehr oder weniger effizienten Energieverwertung der Abfüllanlagen. Alle anderen Aufwendungen wie die Gewinnung und Verar-

<sup>64</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingung. 2006, S. 14

<sup>65</sup> Vgl. DIN Fachbericht 107 / ISO/TR 14049, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anwendungsbeispiele zu ISO 14041 zur Festlegung des Untersuchungsrahmens sowie zur Sachbilanz. 2000, S. 6

bereitung der benötigten Rohstoffe sowie die Herstellung und der Transport von Etiketten bzw. Verschlüssen bleiben in dieser Betrachtung bei beiden Produktionsprozessen ebenso gleich hoch wie die Aufwendungen für den Transport zum Konsumenten und der Gebrauch bzw. die Entsorgung des Produkts.

Theoretisch könnten die Abfülllinien auch als eigenes Produktsystem mit entsprechendem Life-Cycle definiert werden. Dieses Produktsystem würde gemäß Norm alle Rohstoffe, die Fertigung und Montage, den Betrieb und die Demontage sowie die Entsorgung beinhalten. In der Praxis ist jedoch eine Analyse des Produktsystems „Abfülllinie“ auf Grund seiner immensen Komplexität und der enormen Fülle an Daten und notwendigen Annahmen äußerst kompliziert und daher kaum realisierbar.

Daher beschränkt sich diese Analyse in erster Linie auch auf den Produktionsprozess an den Abfülllinien. Bei der vorliegenden Studie handelt es sich somit um keine Produkt-Ökobilanz sondern um eine Prozess-Ökobilanz, die einen spezifischen Teil des Lebensweges betrachtet. Diese Vorgehensweise ist konform mit der DIN EN ISO 14040 und wird unter dem Punkt A1.2 gebilligt.<sup>66</sup> Je nach Definition der entsprechenden Grenzen ist demnach eine Betrachtung von „cradle-to-gate“ (von der Wiege zum Werkstor) oder von „gate-to-gate“ (vom Werkstor zum Werkstor) möglich.

## 5.2.2 Funktionen der zu untersuchenden Systemprozesse

Bei der Definition der Funktion rückt der eigentliche Produktionsablauf an den Abfülllinien in den Hintergrund. Deshalb wird dieser Ablauf in den folgenden beiden Darstellungen, die auf den bereits bekannten Abbildungen 4-1 und 4-2 (Produktionsprozess der Abfülllinien E und Q) basieren, auch als „Black Box“ dargestellt. Das Hauptaugenmerk wird vielmehr auf die mit der Funktion verbundenen Prozesse und den damit einhergehenden, für den Produktionsprozess benötigten Aufwendungen an Stoffen, Energie und Infrastruktur gelegt. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten werden bei der Systembetrachtung der beiden Abfülllinien auch die entsprechenden externen Prozesse mit einbezogen. Diese externen Prozesse sind in den Abbildungen rot, interne Prozesse grün und Infrastrukturelemente blau gekennzeichnet. Bulk, Verschlüsse und Etiketten sowie die nachfolgende Verpackung und Logistik sind in dieser Betrachtung nicht eingezeichnet, da sie bei beiden Prozessen in gleicher Menge erforderlich sind. Alle für die rot gekennzeichneten externen Prozesse benötigten Aufwendungen müssen natürlich in der Ökobilanz ebenso berücksichtigt werden wie die dabei entstehenden Emissionen. Zur besseren Übersicht orientieren sich die Abbildungen 5-2 und 5-3 nahe an den tatsächlichen Produktionsprozessen. Für die ökobilanzielle Analyse werden die Systemprozesse in weiterer Folge in mehrere Systemmodule unterteilt.

---

<sup>66</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040. a.a.O., S. 14

Der in Abbildung 5-2 dargestellte Systemprozess der Abfülllinie E umfasst alle Aufwände für die Produktion der Flaschen beim externen Lieferanten und den Transport nach Kematen sowie die interne Einlagerung und Anlieferung zur Abfülllinie. Für den Produktionsprozess ist elektrische Energie und Druckluft erforderlich. Für die Erzeugung der Druckluft wird ebenfalls elektrische Energie benötigt. Bei Wartungsarbeiten werden Schmierstoffe verwendet und für die Reinigung fallen ebenso wie für die Desinfektion entsprechende Mittel an. Für die Reinigung wird desweiteren entmineralisiertes Wasser benötigt, das durch eine Osmose-Anlage, für die wiederum Strom, Salz und Filter erforderlich sind, bereit gestellt wird.

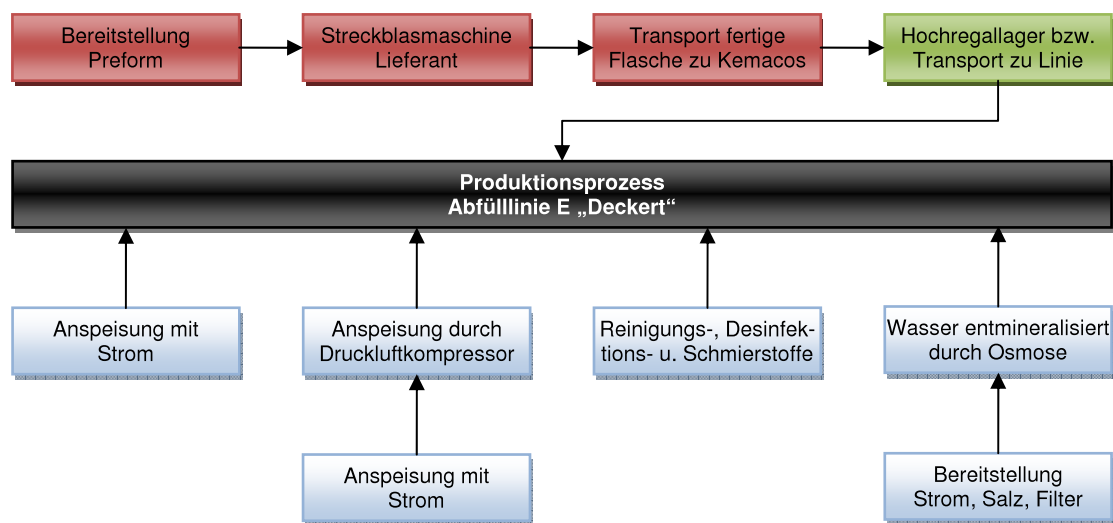


Abbildung 5-2: Eigene Darstellung – Funktion Abfülllinie E

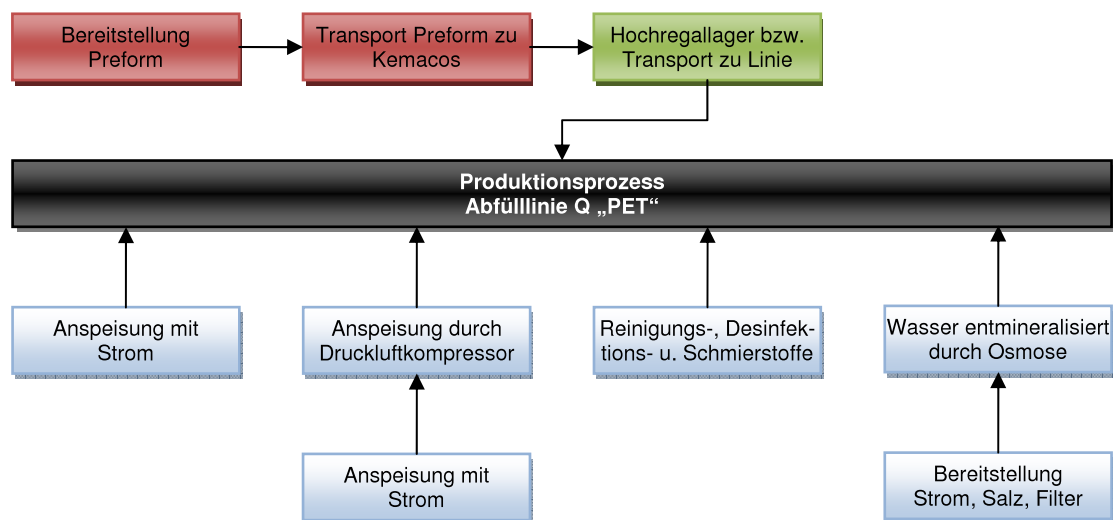


Abbildung 5-3: Eigene Darstellung – Funktion Abfülllinie Q

Im Unterschied zu Abbildung 5-2 ist in Abbildung 5-3 ersichtlich, dass bei der Abfülllinie Q nur mehr die Preformen durch einen externen Lieferanten produziert und angeliefert,

eingelagert und zur Abfülllinie befördert werden müssen. Die Infrastrukturelemente sind identisch mit denen der Abfülllinie E, jedoch wird für den aufwändigeren Produktionsprozess mehr Energie benötigt.

### 5.2.3 Die Systemgrenzen der zu untersuchenden Systemprozesse

Mit der Ökobilanz-Methode können, wie in DIN EN ISO 14040 unter Punkt A1.2 angeführt, mit entsprechender Begründung auch Studien durchgeführt werden, die nur einen spezifischen Teil des Lebensweges eines Produktsystems betrachten.<sup>67</sup>

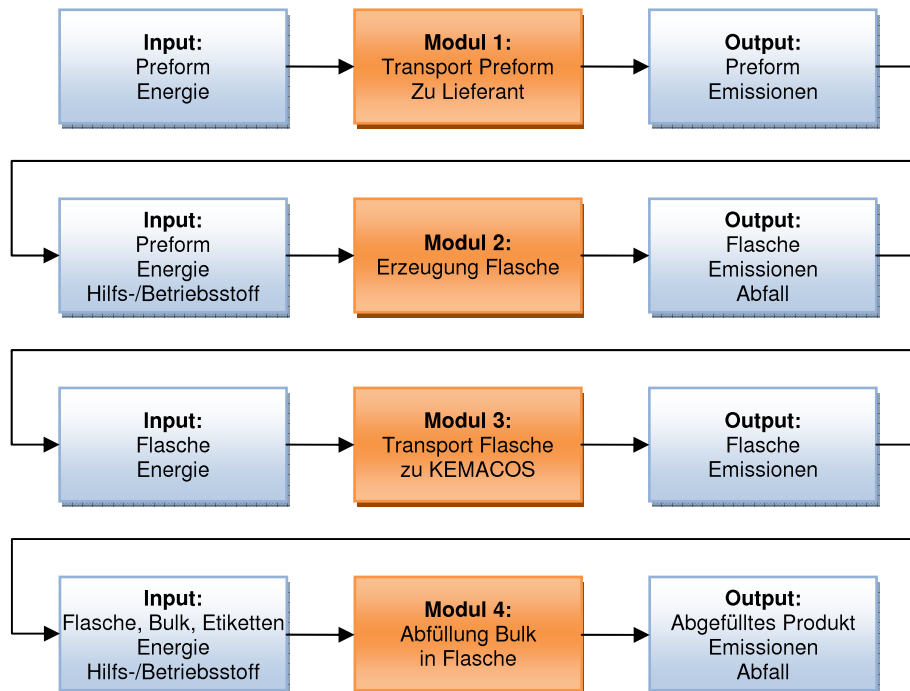
Die Ermittlung von Unterschieden in den Umweltauswirkungen der beiden beschriebenen Systemprozesse stellt, wie eingangs erwähnt, ein wesentliches Ziel dieser Studie dar. Deshalb werden Elemente des Produktsystems, die bei beiden Systemprozessen identisch sind, aus der Betrachtung entfernt. So sind im vorliegenden Fall je nach Kunde und Produkt der Bulk, der Verschluss, die Etiketten, der Verwendungszweck, der Weg zum Kunden, der Gebrauch des Produkts und die abschließende Entsorgung sehr unterschiedlich, aber bei beiden Systemprozessen gleich. Diese Prozesse werden ebenso wie die für die Herstellung der für die Preformen benötigten Prozesse nicht in der Studie betrachtet.

Um eine objektive Gegenüberstellung zu ermöglichen, müssen die zu untersuchenden Systemprozesse über den gleichen Umfang verfügen. Die in den Abbildungen 5-2 und 5-3 dargestellten Prozesse beziehen sich auf den lokalen Standort Kematen in Tirol und lassen sich unter entsprechender Erweiterung und Berücksichtigung der anfallenden Transporte in vier bzw. drei Module auflösen. Die Module mit einer groben Darstellung der In- und Outputs sind für die Abfülllinie E in der Abbildung 5-4 und für die Abfülllinie Q in der Abbildung 5-5 dargestellt.

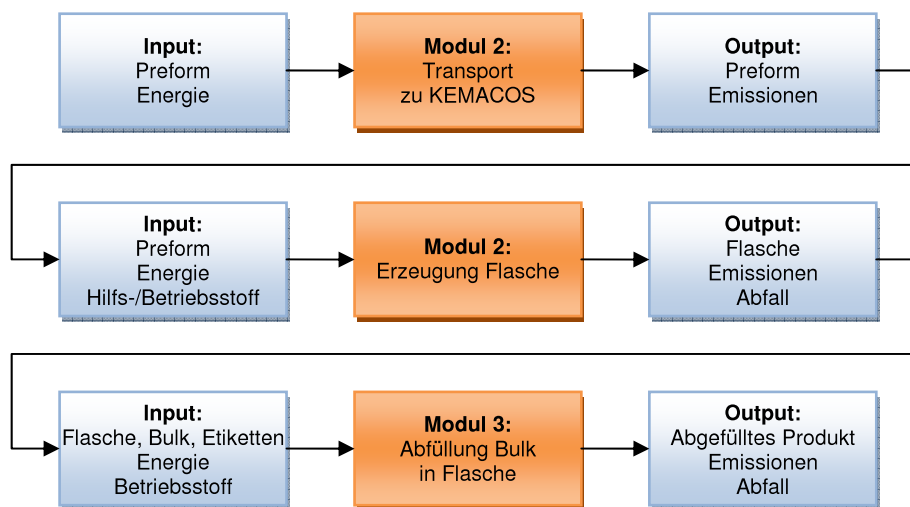
Die Preformen werden bei beiden Systemprozessen beim gleichen Lieferanten erzeugt und müssen vom Werk entweder nach Kematen zu KEMACOS oder zu einem anderen Werk des Lieferanten transportiert werden. Hier liegen auch die wesentlichen Unterschiede in den Systemprozessen. Da bei der Abfülllinie E „Deckert“ das Modul 2 „Erzeugung Flasche“ ausgelagert ist, fallen aufwändige Transporte der Flaschen an, die im Modul 3 abgebildet sind. Da in der Abfülllinie Q „PET“ dieses Modul bereits integriert ist, können diese aufwändigen Transporte zur Gänze entfallen; es fällt lediglich der automatische Transport der fertigen Flasche vom vorgelagerten Anlagenteil in die Abfülleinheit an.

---

<sup>67</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040. a.a.O., S. 36



**Abbildung 5-4: Eigene Darstellung – Module der Funktion Abfülllinie E**



**Abbildung 5-5: Eigene Darstellung – Module der Funktion Abfülllinie Q**

Die Systemgrenzen sind bei beiden Systemprozessen identisch. Durch den Verzicht von der Darstellung exakt identischer Aufwendungen in den Systemprozessen resultieren daraus die folgenden Grenzen:

- Die Betrachtung beginnt bei der Produktionsstätte des Lieferanten mit den auf Paletten versandbereiten Preforms. Sämtliche Aufwendungen für die Herstellung der Preforms werden ebenso wie Aufwendungen zur Verladung auf die LKW's nicht berücksichtigt.

- Alle Aufwendungen für Energie-, Verpackung und Recycling bzw. Entsorgung, die sich innerhalb der Systemmodule befinden, werden in die Betrachtung mit einbezogen.
- Je nach Kunde und Verwendungszweck gelangen die Produkte auf unterschiedlichen Wegen zum Konsumenten um dort unterschiedliche Bedürfnisse zu befriedigen. Deshalb schließt die Analyse mit dem abgefüllten Produkt ab, wobei Aufwendungen für die Herstellung und den Transport zur Maschine von Bulk, Verschlüssen und Etiketten ebenfalls nicht berücksichtigt werden. Die Verpackung der fertigen Produkte wird auf Grund unterschiedlicher Kundenanforderungen auch nicht berücksichtigt.
- Desweiteren werden nicht berücksichtigt: Aufwendungen für das Bereitstellen der notwendigen Räumlichkeiten (Bautätigkeit), Aufwendungen zur Herstellung, Montage und Instandhaltung der Streckblasmaschinen, Abfüllanlagen und deren Infrastruktur, allgemeine Energieaufwendungen für Raumheizung, Beleuchtung, etc., Energie- und Stoffaufwendungen, die durch das erforderliche Bedienpersonal verursacht werden, Aufwendungen jeglicher Organisation, Verwaltung, Vertrieb, etc., Auswirkungen von Unfällen bei den Transporten oder in den Vorketten (z. Bsp. Tankerunfall).

#### **5.2.4 Die funktionelle Einheit der Systemprozesse**

Die neue Abfülllinie Q hat in etwa die dreifache Produktionsleistung im Vergleich zur Abfülllinie E. Aus diesem Grund ist ein Vergleich über die Jahresproduktionsmenge nicht möglich. Um einen Vergleich zu ermöglichen, werden die produzierte Stückzahl und die damit verbundenen Aufwände und Emissionen auf eine funktionelle Einheit bezogen. Bei vielen Ökobilanzen wird als funktionelle Einheit für Flüssigkeiten 1.000 Liter oder für Stoffe 1kg verwendet. Um die Ergebnisse dieser Analyse leichter in eventuelle weitere Studien integrieren zu können, wird auch hier eine Basis von 1kg PET verwendet.

Als Referenz für die Material- und Energieflüsse dient die Abfüllung von Mundwasser in Flaschen zu je 500ml. Der Inhalt der Flaschen ist jedoch bei annähernd gleicher Viskosität im Prinzip unerheblich. Deshalb wird für die funktionelle Einheit nur das Gewicht der Flasche berücksichtigt. Die Ergebnisse der entsprechenden Material- und Energieaufwendungen über den zu untersuchenden Zeitraum werden in weiterer Folge durch Berechnung auf die funktionelle Einheit von 1 kg PET umgelegt, um die Aufwendungen der Systemprozesse vergleichbar zu machen. Die genauere Beschreibung der jeweiligen funktionellen Einheit in den Prozessmodulen erfolgt in der Sachbilanz.

### 5.2.5 Vorgesehene Allokationsverfahren

Bei der Betrachtung der Prozessmodule werden alle benötigten Energie- und Stoffaufwendungen sowie alle Emissionen dem Output des Prozessmoduls angelastet. Es ist jedoch selten, dass ein Prozessmodul nur einen Output aufweist. In der Regel bringt der Hauptoutput sogenannte Koppelprodukte mit sich. So besteht eine Palette Preforms beispielsweise aus den Preforms selbst, einer Euro-Mehrweg-Palette und einer Kartonverpackung. Während bei einem Transport-Prozessmodul alle Emissionen dem Produkt oder Prozess angerechnet werden müssen (Verpackung und Palette sind schließlich für den Transport erforderlich), würden bei einem Produktions-Prozessmodul alle in den Vorketten für die Produktion und Beschaffung von Paletten und Kartons auftretenden Stoff- und Energieaufwendungen den Preforms zugewiesen. Diese Sichtweise ist in der Praxis nicht ganz richtig, denn Karton kann als Rohstoff im Recyclingsystem verwendet werden und die Euro-Mehrweg-Palette wird wieder benützt. Aus diesem Grund müssen die beim Produktions-Prozessmodul auftretenden Emissionen anteilig auf die Preforms, die Palette und den Karton aufgeteilt werden.

Dieser Vorgang wird auch als Allokation bezeichnet. Die Norm DIN EN ISO 14040 beschreibt den Begriff Allokation unter Punkt 3.17 mit *„Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen“*.<sup>68</sup>

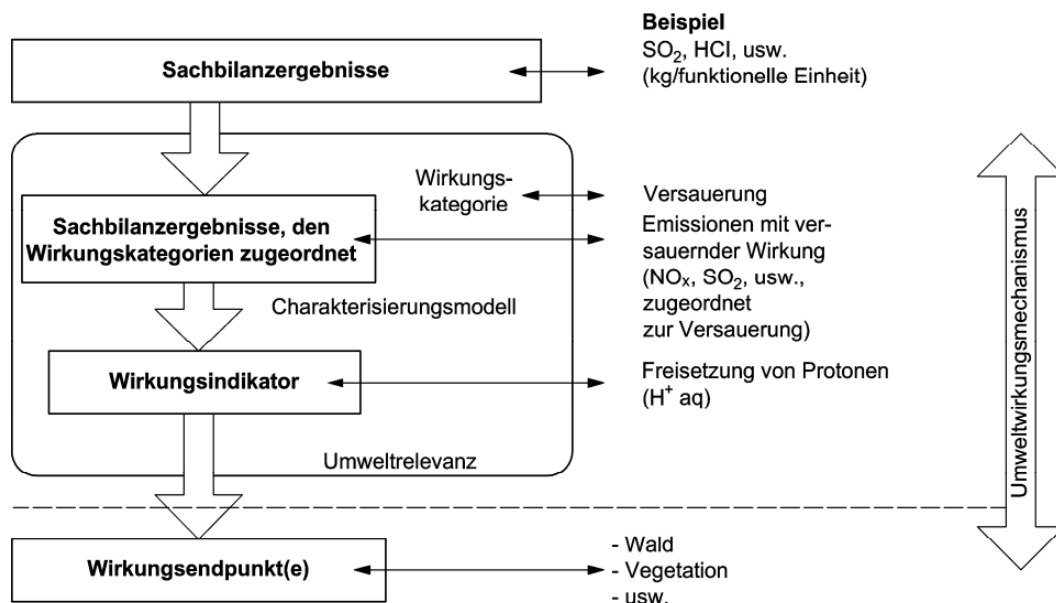
Laut Norm ist vor allem darauf zu achten, dass die Summe der Zuordnung von In- und Output des jeweiligen Prozessmoduls gleich groß ist. Wenn dies nicht möglich ist, muss das Prozessmodul entsprechend geteilt oder erweitert werden, damit eine eindeutige Zuordnung möglich ist. Die Norm beschreibt diesen Vorgang auch mit *„Allokation vermeiden“*. Bezogen auf das zuvor erwähnte Beispiel würde eine Erweiterung der Systemgrenze bedeuten, dass der gesamte Lebenszyklus der Europalette und der Kartonverpackung berücksichtigt werden müsste. Im Sinne der ganzheitlichen Betrachtung keinen befriedigenden Zustand stellt eine Verkleinerung der Systemgrenzen dar. Dabei würden Palette und Karton in der Betrachtung gar keine Berücksichtigung finden. Deshalb wird in dieser Studie die Allokation nach Masse durchgeführt. Alle Emissionen eines Prozessmoduls werden auf die Outputs anteilig ihrem Gewicht aufgeteilt. Gebrauchte Paletten bzw. Verpackungen werden in GEMIS als Rohstoff dargestellt, sodass die größten Umweltwirkungen im Prozessmodul verbleiben und der kleinere Teil den Koppelprodukten angelastet wird. Da diese Vorgehensweise bei beiden Produktionsprozessen angewendet wird, sind im Verhältnis der Endergebnisse keine nennenswerten Unterschiede zu erwarten.

---

<sup>68</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040. a.a.O., S. 10

### 5.2.6 Wirkungskategorien, -abschätzung und Auswertung

In der DIN EN ISO 14044, Punkt 4.4.2.1 werden als verbindliche Bestandteile die Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen genannt. Die Sachbilanzergebnisse müssen in einer Klassifizierung den jeweiligen Wirkungskategorien zugeordnet und in einer Charakterisierung berechnet werden.<sup>69</sup>



**Abbildung 5-6: DIN EN ISO 14044 – Konzept der Wirkungsindikatoren**<sup>70</sup>

Abbildung 5-6 zeigt das Konzept der Wirkungsindikatoren. Die Wirkungskategorien fassen im Wesentlichen die Umweltauswirkungen, die von Produktsystemen ausgehen, nach verschiedenen Gesichtspunkten zusammen. Anschließend wird basierend auf einem entsprechenden Charakterisierungsmodell der Wirkungsindikator berechnet. Dieser stellt somit eine Quantifizierung einer Wirkungskategorie dar.

In der DIN EN ISO 14044 selbst sind keine Wirkungskategorien angeführt, deshalb orientiert sich diese Studie an einer von SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) publizierten und von DIN NAGUS (Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes) ins Deutsche übersetzten Liste. Die vollständige Liste beinhaltet folgende Kategorien:<sup>71</sup>

<sup>69</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040. a.a.O., S. 24

<sup>70</sup> DIN EN ISO 14044, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. 2006, S. 14

<sup>71</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit: Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. a.a.O., S. 220



- Input-Kategorien:
  - Ressourcenverbrauch gesamt und unterschieden zwischen abiotischen und biotischen Ressourcen
  - Naturraumbeanspruchung
- Output-Kategorien:
  - Treibhauseffekt
  - Stratosphärischer Ozonabbau
  - Toxische Gefährdung des Menschen
  - Toxische Schädigung von Organismen
  - Sommersmog
  - Versauerung
  - Eutrophierung
  - Geruch
  - Lärmbelästigung
  - Harte Strahlung

In der vorliegenden Analyse können nicht alle in der Liste der SETAC genannten Kategorien behandelt werden, da die Möglichkeiten der Analyse-Software GEMIS begrenzt sind. Nicht betrachtet werden der stratosphärische Ozonabbau, toxische Gefährdung bzw. Schädigung, Geruch, Lärmbelästigung und harte Strahlung.

## **5.2.7 Anforderungen an die Daten**

Gemäß DIN EN ISO 14044 sind bei zur Veröffentlichung vorgesehenen Studien die Anforderungen an die Daten nach den folgenden Gesichtspunkten zu beurteilen:

### **5.2.7.1 Betrachtungszeitraum**

Der Betrachtungszeitraum der Studie beträgt ein Jahr. Als für die Studie relevantes Referenzjahr wird 2011 festgelegt. Externe Informationen aus Datenbanken sollen ein Alter von 10 Jahren nicht überschreiten.

### **5.2.7.2 Geografischer und technologischer Erfassungsbereich**

Der geographische Erfassungsbereich erstreckt sich auf Grund von grenzüberschreitenden Transporten und Informationen aus internationalen Datenbanken auf die Europäische Union. Alle für die zu untersuchenden Produktionsprozesse notwendigen Technologien werden ausreichend beschrieben und können mit der Analyse-Software GEMIS nachgebildet werden.

### **5.2.7.3 Schwankungsbreite, Unsicherheiten und Vollständigkeit**

Einige Daten der Analyse müssen auf Grund mangelnder Informationen geschätzt bzw. angenommen werden. Die Annahmen sind in unter Punkt 5.2.8 genau dokumentiert. Die Schwankungsbreite wird dabei durch Vergleich mit Referenzwerten so gering wie möglich gehalten. Eine Schwankung der Werte lässt sich jedoch auch bei sorgfältigster Datenerhebung nicht vermeiden. Aus diesem Grund wird in der Auswertung eine Fehleranalyse durchgeführt.

Für die Abschneidekriterien wird, wie bei Ökobilanzen üblich, ein Wert von 1% festgelegt. Dadurch werden alle Energie- und Stoffanteile, deren Anteil an der Gesamtmenge kleiner als dieser Wert ist, in der Betrachtung nicht berücksichtigt. Die Summe der abgeschnittenen Elemente darf dabei einen Wert von 5% an der Gesamtmenge nicht überschreiten. Im Sinne der Vollständigkeit werden aber möglichst alle vorhandenen Daten in die Analyse mit einbezogen.<sup>72</sup>

### **5.2.7.4 Repräsentativität und Konsistenz**

Der Bestand der Anlagen bringt den Vorteil mit sich, dass die für die Analyse relevanten direkten Daten der Produktionsprozesse durch bestehende Dokumentationen oder durch Messungen exakt ermittelt werden können und großteils nicht geschätzt werden müssen. Daten für die Vorketten werden aus der bereits vorgestellten Analyse-Software GEMIS oder aus der Datenbank PROBSAS bezogen. Da es sich bei der vorliegenden Aufgabenstellung um keine klassische Ökobilanz handelt, wird eine ausreichende Konsistenz durch die Festlegung der Systemgrenzen und einer exakten Abstimmung des Untersuchungsrahmens erreicht.

### **5.2.7.5 Vergleichspräzision**

Bei der Erstellung wird auf maximale Transparenz Wert gelegt. Die Studie wird im Rahmen der Diplomarbeit von zwei unabhängigen Kritikern gelesen und erst nach positiver Beurteilung freigegeben.

---

<sup>72</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit: Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. a.a.O., S. 30 f.

### **5.2.7.6 Datenquellen**

Alle Daten dieser Studie, die nicht mit einer ausdrücklichen Quellenangabe versehen sind wie Produktionsabläufe, Maschinendaten, Daten für Logistik und Energiebedarf stammen aus dem Hause KEMACOS Full Filling Service GmbH. Notwendige Annahmen sind vollständig deklariert und alle anderen Daten können bei Bedarf schriftlich belegt werden.

## **5.2.8 Annahmen und Einschränkungen**

Die Datenerhebung basiert auf den unter Punkt 5.1.2.4 beschriebenen Systemprozessen der Abfülllinien E „Deckert“ und Q „PET“. Die Systemprozesse bestehen aus drei bzw. vier Prozessmodulen, wobei für jedes Prozessmodul eine separate Datenerhebung aller Inputs und Outputs durchgeführt wird.

### **5.2.8.1 Referenzzeitraum**

Als Referenzzeitraum für die Datenerhebung wurde bereits ein Jahr festgelegt, abzüglich Wochenenden und Feiertagen ergeben sich für diesen Zeitraum 251 Werktagen. Die Jahresproduktionsmenge basiert desweiteren auf Einschichtbetrieb mit einer Schichtdauer von 450 Minuten bzw. 7,5 Stunden).

### **5.2.8.2 Logistik**

Die Flaschen bzw. Preforms werden zurzeit bei ein und demselben Lieferanten hergestellt, wobei der Lieferant die Preforms in einem Werk in Kaiserslautern, Bundesrepublik Deutschland und die Flaschen in einem Werk in Hard in Vorarlberg fertigt. Die Preforms für das Werk des Lieferanten in Vorarlberg werden ebenfalls aus der Fertigung in Kaiserslautern bezogen. Die Transporte werden vom Lieferanten je nach Bedarf an verschiedene lokale Speditionen vergeben, die die Transporte je nach Kapazitätsplanung durchführen. Es kann daher keine seriöse Aussage darüber getroffen werden, ob nach der Abladung in Kematen ein weiterer Transport oder eine Rückfahrt nach Vorarlberg ohne Ladung zu erwarten ist. Aus diesem Grund sind in dieser Studie nur einfache Fahrten zu den Werken in Hard in Vorarlberg und Kematen ohne den jeweiligen Rückweg berücksichtigt.

Die von den Lieferungen ausgehenden Umweltauswirkungen werden mit einem entsprechenden Datensatz aus GEMIS berechnet. Dieser Datensatz enthält bereits alle Aufwendungen und Emissionen, die in den Vorketten über die gesamte Lebensdauer der Transportgeräte anfallen. Diese Werte werden auf die gesamte Transportleistung, die über die Lebensdauer erbracht wird, anteilig aufgeschlüsselt. Die direkt beim Transport anfallenden Umweltauswirkungen werden in erster Linie durch den Verbrauch der Last-

kraftwagen bestimmt. Der Verbrauch hängt wiederum davon ab, wie viel Ladung transportiert wird und auf welchen Straßen die Lieferungen durchgeführt werden. So wird auf Autobahnen weniger Treibstoff verbraucht als Außerorts oder Innerorts. In GEMIS sind die ladungsabhängigen Treibstoffbedarfe nicht enthalten, weshalb auf die Datenbank PROBAS zurückgegriffen werden muss. Für die anfallenden Transporte werden ausschließlich Transportgeräte mit 40 t Gesamtgewicht und maximaler Nutzlast von 25 t verwendet. Je nach Alter entsprechen die verwendeten Lastkraftwagen unterschiedlichen Abgasnormen zwischen Euro 1 und Euro 5. Da je nach Verfügbarkeit der Spediteure unterschiedliche Transportgeräte zum Einsatz kommen, wird mit einem entsprechenden Durchschnitt gerechnet. Für die Studie sind vor allem zwei bestimmte Beladungsgrade von Interesse, nämlich 4,17 t Ladung (entspricht ca. 20% Auslastung) und 17,95 t Ladung (entspricht ca. 80% Auslastung). Die von GEMIS entnommenen Werte sind in der folgenden Tabelle 5-1 angeführt. Die Angaben verstehen sich pro Tonne und Kilometer.

<b>Straßenkategorie Auslastung</b>	<b>Autobahn</b>	<b>Außerorts</b>	<b>Innerorts</b>
<b>4,13 t; entspricht ca. 20% Auslastung</b>	1,910 MJ/tkm	1,850 MJ/tkm	2,890 MJ/tkm
<b>17,95 t; entspricht ca. 80% Auslastung</b>	0,676 MJ/tkm	0,701 MJ/tkm	1,120 MJ/tkm

**Tabelle 5-1: Datenauszug PROBAS – Energiebedarf LKW 40t** <sup>73</sup>

### 5.2.8.3 Elektrischer Stromverbrauch

Das Unternehmen KEMACOS befindet sich im Versorgungsgebiet der TIWAG, dem größten Tiroler Energieerzeuger. Laut TIWAG besteht der Strom-Mix, der an KEMACOS geliefert wird aus folgenden Komponenten:

- 84,55 %: Wasserkraft
- 7,04 %: Erdgas
- 3,66 %: Windenergie
- 3,64 %: feste und flüssige Biomasse
- 1,11 %: sonstige Ökoenergie
- 0,00 %: nukleare Energiequellen; es fällt kein radioaktiver Abfall an

Da ein Datensatz in GEMIS mit den exakten Werten der angegebenen Stromzusammenstellung nicht vorhanden ist, muss ein bereits bestehender Datensatz, der einen

<sup>73</sup> Vgl. Umweltbundesamt: Datenbank PROBAS – Prozessliste für LKW und Nutzfahrzeuge. URL: <<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/themen.php?id=13455327232&sid=2&step=3>>, verfügbar am 29.05.2012

Strom-Mix für ganz Österreich enthält, adaptiert werden. Nach der Anpassung kann für die angegebene Stromzusammenstellung inkl. aller Vorketten mit GEMIS für die CO<sub>2</sub>-Emission ein Wert von 39 g/kWh berechnet werden. Die TIWAG gibt für diesen Strom-Mix jedoch einen Wert von 31 g/kWh an. Die Unterschiede in den Ergebnissen liegen offenbar in der differenzierten Behandlung der Vorketten. In der vorliegenden Studie wird in weiterer Folge der höhere, errechnete Wert verwendet. Für die Berücksichtigung der Netzverluste bei der Verteilung der elektrischen Energie wird in GEMIS ein durchschnittlicher Wert von 5 % angenommen.

#### **5.2.8.4 Erzeugung Druckluft**

Eine weitere wesentliche Komponente in den Produktionsprozessen ist Druckluft. Sie wird beim Streckblasverfahren zum Formen der Flaschen und bei der Abfüllung bzw. Etikettierung für pneumatische Komponenten benötigt. Die Erzeugung erfolgt mittels Kompressoren, die mit elektrischer Energie arbeiten. Die Zuordnung von Luftverbrauch zu Stromverbrauch gestaltet sich in der Praxis meist äußerst schwierig, da selten ein Kompressor für eine bestimmte Anlage verwendet wird. Häufig wird ein zentraler Verbund von Kompressoren betrieben, die abwechselnd je nach Anforderung für mehrere Verbraucher arbeiten. So wird auch bei KEMACOS die Linie E „Deckert“ von einem Verbund von Kompressoren gespeist.

Im Zuge der Errichtung der Linie Q „PET“ wurde jedoch auf Grund des erhöhten Bedarfs an Druckluft auch eine neue Kompressorstation errichtet. Die Station versorgt derzeit ausschließlich die Linie Q und ist für zukünftige Erweiterungen entsprechend überdimensioniert. Sie besteht aus einem Schraubenkompressor, der einen Druck von 10 bar für die allgemeine Pneumatik erzeugt und über einen Nachverdichter, der den Druck der bereits komprimierten Luft auf 45 bar speziell für die Streckblasmaschine erhöht. Diese Drücke werden in den jeweiligen Maschinen auf die benötigten Arbeitsdrücke von 6 bar bzw. 40 bar mit Hilfe von Druckreduziervorrichtungen verringert. Der Umstand der alleinigen Versorgung der Linie Q wird genutzt, um dem Verbrauch an Druckluft aus den technischen Datenblättern der Abfüllanlage und der Streckblasmaschine durch Messung der elektrischen Stromaufnahme Werte für die elektrische Leistungsaufnahme zuweisen zu können. Die Werte aus Tabelle 5-2 enthalten somit auch bereits alle Verluste, die durch die Herstellung der Druckluft bzw. in der Verteilung anfallen. Das Verteilnetz hat bei der Linie E und bei der Linie Q in etwa dieselbe Topologie, weshalb die ermittelten Werte in dieser Studie für beide Linien verwendet werden können. In der Energieaufnahme der 40 bar Hochdruckluft wurde auch bereits der Energieaufwand zur Erzeugung der vorverdichteten Luft berücksichtigt.

	Volumenstrom	Leistungsaufnahme	Energieaufnahme
Druckluftherzeugung 10 bar	1 m <sup>3</sup> /min	13,7 kW	0,228 kWh/min
Druckluftherzeugung 45 bar	1 m <sup>3</sup> /min	18,6 kW	0,310 kWh/min

**Tabelle 5-2: elektrischer Energieaufwand zur Druckluftherzeugung**

### 5.2.8.5 Allgemeine energetische Aufwendungen

In der Studie werden neben den logistischen Aufwendungen im Straßenverkehr auch logistische Aufwendungen innerhalb der Fabriken betrachtet. Diese beinhalten im Wesentlichen das Verladen der Lastkraftwagen mit elektrischen Gabelstaplern und die Verarbeitung der Paletten in einem Hochregallager.

Das Verladen eines Lastkraftwagens mit 40 t Nutzlast und 33 doppelt belegten Stellplätzen nimmt ca. eine Stunde in Anspruch. Ein Gabelstapler der neueren Generation, wie etwa ein STILL RX 60-25, benötigt in dieser Zeit eine Energie von ca. 7 kWh inklusive Ladung der Batterien.<sup>74</sup> Das Hochregallager von KEMACOS kann im Schnitt 30 Paletten in der Stunde verarbeiten. Die dafür benötigte Energie beträgt im Schnitt 15kWh.

### 5.2.8.6 Annahmen zur externen Produktion der Flaschen

Über den Energieverbrauch der Streckblasmaschine des Lieferanten fehlen detaillierte Angaben, weshalb Annahmen getroffen werden müssen, um einen objektiven Vergleich zu ermöglichen. Die Maschine des Lieferanten wurde 2003 gebaut und kann theoretisch mit 6 Kavitäten blasen. Die Flaschen, die bei KEMACOS zum Einsatz kommen, wurden hingegen nur mit 4 Kavitäten geblasen. Der Output beträgt nach Lieferantenangaben ca. 1.000 Stück pro Kavität und Stunde, woraus eine Gesamtproduktionsmenge von in Summe 4.000 Stück pro Stunde resultiert. Für die Annahme des Energieverbrauchs wird die bei KEMACOS installierte Streckblasmaschine des Herstellers KOSME herangezogen. Diese Anlage kann bei einer Leistungsaufnahme von 101,5 kWh 3.600 Stück Flaschen in der Stunde blasen. Die Anlage des Lieferanten hat einen höheren Output und desweiteren ist anzunehmen, dass auf Grund der beiden nicht verwendeten Kavitäten der Grundenergieverbrauch höher als bei der Anlage vom Hersteller KOSME liegt. Auf Grund dieser Angaben wird der Energieverbrauch über eine lineare Annäherung basierend auf dem Output pro Stunde wie folgt geschätzt:

$$101,5 \text{ kWh} / 3.600 \text{ Stk.} \times 4.000 \text{ Stk.} = 112,8 \text{ kWh}$$

<sup>74</sup> Vgl. STILL GmbH: Technische Daten Elektro-Gabelstapler RX 60. URL: <[www.still.de/downloads.php?filename=RX\\_60\\_25\\_35\\_DE\\_2012\\_TD\\_web.pdf&backuri=elektro-gabelstapler-rx-60-25.0.43.html&type=datasheet](http://www.still.de/downloads.php?filename=RX_60_25_35_DE_2012_TD_web.pdf&backuri=elektro-gabelstapler-rx-60-25.0.43.html&type=datasheet)>, verfügbar am 17.06.2012, S. 2

Über die Kompressoranlage des Lieferanten sind ebenso keine genauen Daten bekannt. Da der Druckluftverbrauch beim Streckblasverfahren maßgeblich von der produzierten Stückzahl beeinflusst wird, wird auch in diesem Bereich eine lineare Annäherung über die Produktionsmenge vorgenommen. Für den Druckluftverbrauch werden die Daten aus Punkt 5.2.8.4 „Erzeugung Druckluft“ herangezogen. Für den Verbrauch wird die gleiche Basis wie bei der Streckblasmaschine des Herstellers Kosme (siehe Punkt 4.2.2; 1.540 l/min bei 40 bar und 12 l/min bei 6 bar) angenommen.

Druckluftbedarf 40 bar:  $1.540 \text{ l/min} / 3.600 \text{ Stk.} \times 4.000 \text{ Stk.} = 1.711 \text{ l/min}$

Druckluftbedarf 6 bar:  $12 \text{ l/min} / 3.600 \text{ Stk.} \times 4.000 \text{ Stk.} = 13,5 \text{ l/min}$

Die logistische Verarbeitung der Preforms und der Flaschen erfolgt im Werk des Lieferanten mittels vollautomatischen Hochregallager mit integrierter Packstraße. Diese Komponenten sind in die gesamte Produktion des Lieferanten eingebunden, weshalb ebenfalls keine detaillierten Angaben über den anteiligen Energiebedarf gemacht werden konnten. Die Zeiten für Verladung der Lastkraftwagen und Verarbeitung im Hochregallager dürften aber ähnlich wie bei KEMACOS sein, weshalb für diese beiden Komponenten dieselben Energieaufwendungen angenommen werden können. Eine Standard-Wickelmaschine zur Folierung von Paletten wie die „Octopus Compact“ des Herstellers TWMima wird in ähnlicher Form auch in Kematen eingesetzt und hat bei einer Verpackungsleistung von 35 Paletten pro Stunde einen Energiebedarf von 5,0 kWh. Inklusive automatischer Transporteinrichtungen erhöht sich dieser Wert auf 7,0 kWh.<sup>75</sup> Desweiteren werden für den Strom-Mix die gleichen Werte wie aus Punkt 5.2.8.3 „Elektrischer Stromverbrauch“ verwendet, da anzunehmen ist, dass der Energieversorger in Vorarlberg auf Grund der geografischen Lage über mindestens die gleichen strengen Richtlinien zur Stromerzeugung verfügt.

### 5.2.9 Kritische Prüfung

Unter Punkt 7 der DIN EN ISO 14040 ist festgelegt, dass bei vergleichenden Ökobilanzen, die zur Veröffentlichung vorgesehen sind, eine kritische Prüfung zu erfolgen hat. Dabei wird von einem internen oder externen Sachverständigen überprüft, ob die Daten, die Auswertung und die Berichterstattung den Anforderungen der Norm entsprechen. Diese Anforderung ist vor allem dann wichtig, wenn ein Unternehmen beispielsweise eine alternative Getränkeverpackung analysiert und die Ergebnisse für Marketingzwecke verwendet. Im Sinne der Norm bezieht sich der Begriff „vergleichende Ökobilanz“ ausschließlich auf unterschiedliche Produktsysteme. Bei der in dieser Studie zu analysierenden vergleichenden Betrachtung von unterschiedlichen Systemprozessen ist dem-

---

<sup>75</sup> Vgl. ITWMima Systems: Technische Daten vollautomatische Wickelmaschine für Palettenladung „Octopus Compact“. URL: <[http://pdf.directindustry.de/pdf/itw-muller/vollautomatische-wickelmaschine-fur-palettenladungen-octopus-compact/15107-81024-\\_2.html](http://pdf.directindustry.de/pdf/itw-muller/vollautomatische-wickelmaschine-fur-palettenladungen-octopus-compact/15107-81024-_2.html)>, verfügbar am 17.06.2012, S. 2

nach keine kritische Prüfung erforderlich, da sich das Produktsystem an sich nicht ändert.

### 5.2.10 Art und Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts

Ein wichtiger Aspekt bei der Erstellung einer Ökobilanz ist der in der DIN EN ISO 14040 unter Punkt 4.1.5 beschriebene, iterative Ansatz. Abbildung 5-7 zeigt den schematischen Aufbau, der darauf abzielt, die Analyse nicht Punkt für Punkt abzuarbeiten.

Stattdessen müssen Erkenntnisse, die sich im Laufe der Studie einstellen und die das Ergebnis beeinflussen, auch in bereits abgeschlossene Punkte eingearbeitet werden. Stellt sich beispielsweise im fortgeschrittenen Stadium der Wirkungsbilanz heraus, dass wichtige Indikatoren fehlen, so muss die bereits fertig gestellte Sachbilanz entsprechend überarbeitet werden. Die Ergebnisse der einzelnen Phasen der Ökobilanz finden somit in den jeweiligen anderen Phasen Berücksichtigung.<sup>76</sup>

In der Endfassung der Studie äußert sich der iterative Ansatz dadurch, dass teilweise Informationen, die erst später in der Studie behandelt werden, bereits im Vorfeld ausführlich beschrieben werden.

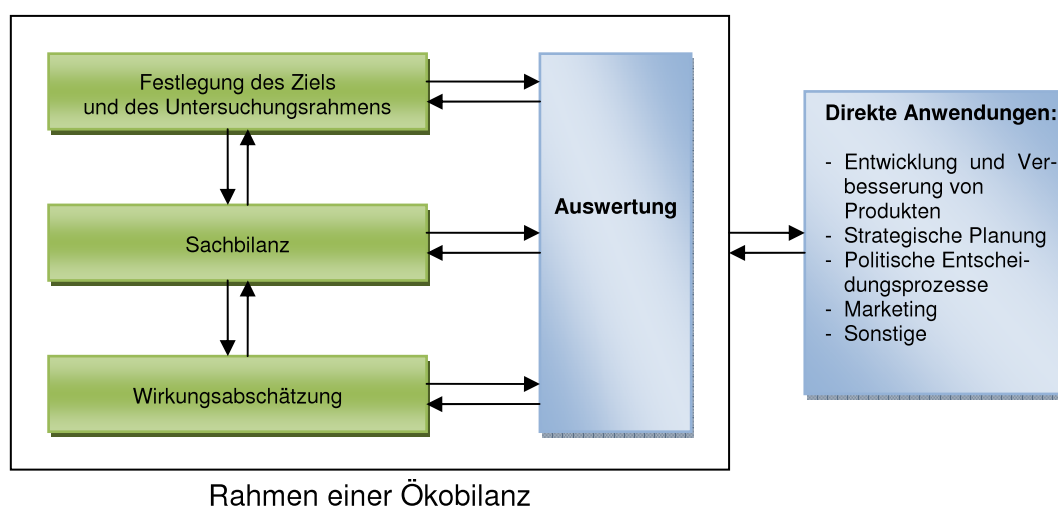


Abbildung 5-7: Eigene Darstellung ähnlich „Phasen einer Ökobilanz“<sup>77</sup>

<sup>76</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040. a.a.O, S. 16

<sup>77</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040. a.a.O, S. 16



In den Normen sind viele Punkte vorgeschrieben, die in den einzelnen Schritten zur Erstellung einer Ökobilanz enthalten sein müssen. Die Gliederung dieser Studie ist weitestgehend nach diesen Abläufen gestaltet.

Einzig der Begriff „Produktsystem“ wird in den Überschriften zu den jeweiligen Unterpunkten anlassbezogen durch „Systemprozess“ ersetzt.

## 6 Ökobilanz – Sachbilanz

Die Sachbilanz dient dazu, die Inputs und Outputs der jeweiligen Module in den Systemprozessen zu eruieren und zu quantifizieren. Dabei sollen alle Inputs wie Rohstoffe, Betriebsstoffe und Energie sowie alle Outputs wie Produkte, Koppelprodukte, Abfall und sämtliche Emissionen berücksichtigt werden. Die Betrachtung der Prozessmodule folgt dabei den Gesetzen der Erhaltung von Masse und Energie. Deshalb müssen die Outputs, wenn auch in umgewandelter Form, in ihrer Menge den Inputs entsprechen. Die Daten müssen eine der Studie Rechnung tragende Qualität aufweisen und entsprechend validiert werden. Deshalb befinden sich neben den Daten entsprechende Anmerkungen zur jeweiligen Kategorie, Erfassungsverfahren und Datenquelle. Sämtliche Berechnungen sind zur vollständigen Nachvollziehbarkeit vor den Datenerhebungsblättern Schritt für Schritt aufgezeichnet.

### 6.1 Datenerhebung Linie E „Deckert“

Die Abfülllinie E „Deckert“ kann einen Minutenabrechnungstakt von 38 Stück produzieren. Der Minutenabrechnungstakt beinhaltet bereits sämtliche Rüstzeiten und Stillstandzeiten für Reinigung und Wartung. Aus diesem Wert lässt sich folgende Jahresproduktionsmenge berechnen:

$$38 \text{ Stk./min} \times 450 \text{ min} \times 251 \text{ Werkstage} = 4.292.100 \text{ Stk.}$$

Zusätzlich wird ein Wert von 1% für den anfallenden Ausschuss angenommen. Dieser Wert teilt sich zu gleichen Teilen auf die Streckblasmaschine des externen Lieferanten und auf die Abfülllinie E auf.

$$4.292.100 \text{ Stk.} \times 0,01 = 42.921 \text{ Stk.}$$

Die gesamte Jahresproduktionsmenge ergibt sich aus der Summe beider Werte:

$$4.292.100 \text{ Stk.} + 42.921 \text{ Stk.} = 4.335.021 \text{ Stk.}$$

#### 6.1.1 Systemmodul 1 – Transport Preform

Das Modul 1 umfasst den Transport der Preforms vom Herstellerwerk in Kaiserslautern zu einem weiteren Produktionsstandort in Hard in Vorarlberg. In Hard werden anschlie-

ßend aus den Preforms die eigentlichen Flaschen geblasen. Die Modulgrenzen umfassen die bereits auf den LKW verladenen Paletten mit den Preforms und den noch nicht abgeladenen LKW an der Laderampe der Fabrik in Hard. Die funktionelle Einheit beträgt 1 t/km.

Die für die Produktion benötigten Preforms werden auf Paletten zu je 6.144 Stück geliefert. Für die Jahresproduktion ist somit folgende Anzahl an Paletten mit Preforms erforderlich:

$$4.335.021 \text{ Stk.} / 6.144 \text{ Stk.} = \text{ca. } 706 \text{ Paletten}$$

Ein für die Anlieferung erforderlicher LKW-Sattelzug mit 40 Tonnen Nutzlast verfügt über 33 Stellplätze, wobei die Paletten mit den Preforms in zwei Lagen übereinander gestapelt werden können. Daraus ergibt sich die nachfolgende Anzahl an LKW-Fahrten:

$$706 \text{ Paletten} / 2 \times 33 \text{ Stellplätze} = \text{ca. } 11 \text{ Fahrten}$$

Das Gewicht einer Palette Preforms setzt sich aus den Preforms, Kartonboden, Kartenumrahmung und Kartondeckel sowie einer Euro-Mehrweg-Palette zusammen. Ein Stück Preform wiegt 39 Gramm, die Kartons 10 kg und die Euro-Mehrweg-Palette 22 kg (Quelle: Lieferant). Daraus ergibt sich ein Gesamtgewicht einer Palette von:

$$6.144 \times 0,039 \text{ kg} + 10 \text{ kg} + 22 \text{ kg} = 272 \text{ kg}$$

Von Interesse ist desweiteren die tatsächliche Beladung eines LKW<sup>78</sup> s. Basierend auf dem berechneten Gewicht einer Palette beträgt diese somit:

$$0,272 \text{ t} \times 66 \text{ Paletten} = 17,95 \text{ t}$$

Die Entfernung zwischen Kaiserslautern und Hard in Vorarlberg beträgt 394 km, wovon sich die Strecke in 80% Autobahn und 20 % Bundesstraße gliedert.<sup>78</sup>

Die Daten für den Energiebedarf aus der Tabelle 5-1 beziehen sich auf 1 tkm Ladung. Der LKW transportiert jedoch pro Kilometer 17,95 t Ladung, weshalb die Daten entsprechend angepasst werden müssen. In Kombination mit den jeweiligen Straßenkategorien lassen sich folgende Werte ermitteln:

$$\text{Autobahn: } 0,676 \text{ MJ/tkm} \times 17,95 \text{ t} \times 0,80 = 9,71 \text{ MJ/km}$$

$$\text{Außerorts: } 0,701 \text{ MJ/tkm} \times 17,95 \text{ t} \times 0,20 = 2,52 \text{ MJ/km}$$

Für den gesamten Referenzzeitraum ergibt sich anschließend ein Gesamtenergiebedarf von:

$$\text{Autobahn: } 9,71 \text{ MJ/km} \times 394 \text{ km} \times 11 \text{ Fahrten} = 42.083 \text{ MJ}$$

<sup>78</sup> Vgl. Google Routenplaner. URL: <www.maps.google.at>, verfügbar am 14.05.2012

Außerorts: 2,52 MJ/km x 394 km x 11 Fahrten = 10.922 MJ

Die für die Darstellung einer Transport-Dienstleistung in GEMIS erforderliche Menge an Tonnen per Kilometer basierend auf der Beladung des LKW' s und der tatsächlichen Fahrtstrecke über den gesamten Referenzzeitraum errechnet sich folgendermaßen:

17,95 t x 394 km x 11 Fahrten = 77.795 tkm

Die für die Analyse in GEMIS prozessrelevanten Daten werden schlussendlich in der Tabelle 5-1 gebündelt:

Bezeichnung	Linie E „DECKERT“						
Prozessmodul	Modul 1 – Transport Preform						
Erfassungszeitraum	Referenzzeitraum		funkt. Einheit				
	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
Preforms inkl. Verpackung	77.795	tkm	17,95	tkm/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>ENERGIEINPUT</b>							
Diesel-EU-2010 Autobahn	42.083	MJ	9,71	MJ/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	PROBAS
Diesel-EU-2010 Außerorts	10.922	MJ	2,52	MJ/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	PROBAS

Tabelle 6-1: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie E – Modul 1

### 6.1.2 Systemmodul 2 – Erzeugung Flasche extern

In Hard in Vorarlberg werden bei einem Lieferanten aus den Preforms die Flaschen geblasen, die für die Produktion in Kematen benötigt werden. Die Modulgrenzen umfassen energetische Aufwendungen für den Transport der Preforms zur Streckblasmaschine, sämtliche Aufwendungen für den Streckblasprozess und die energetischen Aufwendungen für die erneute Verpackung und Verladung in einem weiteren LKW. Die Entsorgung des durch die Anlieferung der Preforms verursachten Verpackungsmaterials wird ebenso berücksichtigt wie die für die Bereitstellung der für den weiteren Versand benötigten Verpackung. Die funktionelle Einheit bezieht sich auf 1kg PET-Flaschen versandbereit verpackt auf Paletten, wobei das Gewicht von Paletten und Verpackung separat berücksichtigt wird.

Der Vorgang des Streckblasens, bei dem aus den Preforms die Flaschen erzeugt werden, benötigt als energetischen Input ausschließlich elektrische Energie und Druckluft, die wiederum durch elektrische Energie erzeugt wird. Die erforderlichen Daten für den elektrischen Energiebedarf der Streckblasmaschine wurden bereits in Punkt 5.2.8.6 „An-

nahmen zur externen Produktion der Flaschen“ erörtert. Der Energieinput für die Streckblasmaschine beinhaltet die folgenden Elemente:

Produktionsdauer:  $4.335.021 \text{ Stk.} / 4000 \text{ Stk./h} = 1.084 \text{ h}$

Energiebedarf:  $112,8 \text{ kWh} * 1.084 \text{ h} = 122.275 \text{ kWh}$

Für den Druckluftverbrauch werden ebenfalls die unter Punkt 5.2.8.6 ermittelten Werte herangezogen:

Energiebedarf 40 bar:  $1,711 \text{ m}^3/\text{min} * 0,310 \text{ kWh}/\text{min} * 60 \text{ min} * 1.084 \text{ h} = 34.498 \text{ kWh}$

Energiebedarf 6 bar:  $0,0135 \text{ m}^3/\text{min} * 0,228 \text{ kWh}/\text{min} * 60 \text{ min} * 1.084 \text{ h} = 200 \text{ kWh}$

Als Materialinput aus dem vorigen Prozessmodul werden die 706 Paletten zu je 272 kg übernommen. Die Verpackung mit 10 kg/Palette und die Palette selbst mit 22 kg gelten als Produktionsabfall und werden dem Recycling bzw. der Entsorgung zugeführt.

Preforms:  $0,039 \text{ kg} * 6.144 \text{ Stk.} * 706 \text{ Paletten} = 169.189 \text{ kg}$

Paletten:  $22 \text{ kg} * 706 \text{ Paletten} = 15.532 \text{ kg}$

Verpackung:  $10 \text{ kg} * 706 \text{ Paletten} = 7.060 \text{ kg}$

Stoffmenge gesamt:  $169.189 \text{ kg} + 15.532 \text{ kg} + 7.060 \text{ kg} = 191.781 \text{ kg}$

Der Materialoutput des Prozessmoduls besteht aus den fertig geblasenen Flaschen abzüglich 0,5% Ausschuss, die auf Euro-Mehrwegpaletten zu je 960 Stück gestapelt werden. In Bezug auf die Jahresproduktion ergibt ist somit folgende Anzahl an Paletten mit Flaschen:

$4.335.021 \text{ Stk.} * 0,995 / 960 \text{ Stk.} = \text{ca. } 4.493 \text{ Paletten}$

Eine Flasche wiegt ebenso wie ein Preform 39 Gramm. Die für die Verpackung einer Palette benötigte Folie wiegt 3 kg und eine Euro-Mehrweg-Palette 22 kg. Daraus ergibt sich ein Gesamtgewicht einer Palette von:

$960 * 0,039 \text{ kg} + 3 \text{ kg} + 22 \text{ kg} = 62,5 \text{ kg}$

Die für den Transport der Flaschen benötigte Verpackung in Form von Paletten und PP-Folie wird ebenfalls als Materialinput gewertet. Die resultierenden Gesamtmengen sind:

Flaschen:  $169.189 \text{ kg} * 0,995 = 168.343 \text{ kg}$

Verpackung:  $3 \text{ kg} * 4.493 \text{ Paletten} = 13.479 \text{ kg}$

Paletten: 22 kg x 4.493 Paletten = 98.846 kg

Desweiteren werden für den Anteil an allgemeiner Energie für den Transport der Preforms zur Streckblasmaschine und der fertigen Flaschen zur Logistik die Daten aus Punkt 5.2.8.5 „Allgemeine energetischen Aufwendungen“ verwendet.

Verladung Preforms: 11 LKW x 7 kWh = 77 kWh

Hochregal Preforms: 706 Paletten / 30 Paletten/h x 15 kWh x 2 = 706 kWh

Verpackung Flaschen: 4.493 Paletten / 35 Paletten/h x 7 kWh = 899 kWh

Hochregal Flaschen: 4.493 Paletten / 30 Paletten/h x 15 kWh x 2 = 4.493 kWh

Verladung Flaschen: 68 LKW x 7 kWh = 476 kWh

Die Gesamtsumme der für die Produktion aufzubringenden Energie beläuft sich somit auf 163.624 kWh. Die Tabelle 5-2 beinhaltet in weiterer Folge alle für die Datenerhebung relevanten und für die Dateneingabe in GEMIS erforderlichen Informationen. Wie in Ökobilanzen üblich müssen Inputs und Outputs immer gleich groß sein. Die Berechnung in Bezug auf die funktionelle Einheit basiert auf dem gesamten Output der Stoffmenge der PET-Flaschen von 168.343 kg.

Bezeichnung	Linie E „DECKERT“						
Prozessmodul	Modul 2 – Erzeugung Flasche extern						
Erfassungszeitraum	Referenzzeitraum		funkt. Einheit				
	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
<b>ENERGIEINPUT</b>							
Elektrische Energie vom VKW-Netz	589.046	MJ	3,4991	$\frac{MJ}{kg}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>STOFFINPUT</b>							
Preforms	169.189	kg	1,0050	$\frac{kg}{kg}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Paletten für Preforms	15.532	kg	0,0923	$\frac{kg}{kg}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Verpackung Preforms	7.060	kg	0,0419	$\frac{kg}{kg}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Paletten für Flaschen	98.846	kg	0,5872	$\frac{kg}{kg}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Verpackung Flaschen	13.479	kg	0,0801	$\frac{kg}{kg}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>Summe</b>	304.106	kg	1,8065				

	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
<b>STOFFOUTPUT</b>							
PET-Flaschen	168.343	kg	1,0000	$\frac{kg}{kg}$	Haupt-Output	Berechnung	KEMACOS
Paletten für Flaschen	98.846	kg	0,5872	$\frac{kg}{kg}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Verpackung Flaschen	13.479	kg	0,0801	$\frac{kg}{kg}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus 0,5% Ausschuss	846	kg	0,0050	$\frac{kg}{kg}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus Paletten Preforms	15.532	kg	0,0923	$\frac{kg}{kg}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus Verpackung Prefoms	7.060	kg	0,0419	$\frac{kg}{kg}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
<b>Summe</b>	304.106	kg	1,08065	$\frac{kg}{kg}$			

**Tabelle 6-2: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie E – Modul 2**

### 6.1.3 Systemmodul 3 – Transport Flasche zu KEMACOS

Das Modul 3 umfasst den Transport der Flaschen von der Fabrik in Vorarlberg nach Kematen. In Kematen findet der eigentliche Abfüllprozess statt. Die Modulgrenzen umfassen die bereits auf den LKW verladenen Paletten mit den Flaschen und den noch nicht abgeladenen LKW an der Laderampe bei KEMACOS. Die funktionelle Einheit beträgt 1 t/km.

Die für die Produktion benötigten Flaschen werden auf Paletten zu je 960 Stück in Kematen angeliefert. Für die Jahresproduktion ist somit unter Berücksichtigung von 0,5% Ausschuss im Vorarlberger Werk folgende Anzahl an Paletten mit Flaschen erforderlich:

$$4.335.021 \text{ Stk.} \times 0,995 / 960 \text{ Stk.} = \text{ca. } 4.493 \text{ Paletten}$$

Ein für die Anlieferung erforderlicher LKW-Sattelzug mit 40 Tonnen Nutzlast verfügt über 33 Stellplätze, wobei die Paletten mit den Flaschen in zwei Lagen übereinander gestapelt werden können (Quelle: Lieferant). Daraus ergibt sich die nachfolgende Anzahl an LKW-Fahrten:

$$4.493 \text{ Paletten} / 66 \text{ Stellplätze} = \text{ca. } 68 \text{ Fahrten}$$

Das Gewicht einer Palette wurde bereits in Punkt 6.1.2 ermittelt. Von Interesse ist desweiteren die tatsächliche Beladung eines LKW's. Basierend auf dem berechneten Gewicht einer Palette beträgt diese somit:

$$0,0625 \text{ t} \times 66 \text{ Paletten} = 4,13 \text{ t}$$

Die Entfernung zwischen Hard und Kematen beläuft sich auf 175 km, wobei der Anteil der Autobahn 55%, der Anteil der Bundesstraße 44% und der Anteil Innerorts 1% beträgt.<sup>79</sup>

Da der LKW pro Kilometer 4,13 t Ladung transportiert und sich die Daten für den Energiebedarf aus der Tabelle 5-1 auf 1 t km Ladung beziehen, müssen die Daten entsprechend angepasst werden. In Kombination mit den jeweiligen Straßenkategorien lassen sich folgende Werte ermitteln:

$$\text{Autobahn: } 1,910 \text{ MJ/tkm} \times 4,13 \text{ t} \times 0,55 = 4,34 \text{ MJ/km}$$

$$\text{Außerorts: } 1,850 \text{ MJ/tkm} \times 4,13 \text{ t} \times 0,44 = 3,36 \text{ MJ/km}$$

$$\text{Innerorts: } 2,890 \text{ MJ/tkm} \times 4,13 \text{ t} \times 0,01 = 0,12 \text{ MJ/km}$$

Für den gesamten Referenzzeitraum ergibt sich anschließend ein Gesamtenergiebedarf von:

$$\text{Autobahn: } 4,34 \text{ MJ/km} \times 175 \text{ km} \times 69 \text{ Fahrten} = 52.406 \text{ MJ}$$

$$\text{Außerorts: } 3,36 \text{ MJ/km} \times 175 \text{ km} \times 69 \text{ Fahrten} = 40.572 \text{ MJ}$$

$$\text{Innerorts: } 0,12 \text{ MJ/km} \times 175 \text{ km} \times 69 \text{ Fahrten} = 1.449 \text{ MJ}$$

Die Transport-Dienstleistung in GEMIS wird über die erforderliche Menge an Tonnen per Kilometer basierend auf Beladung des LKW‘ s und der tatsächlichen Fahrtstrecke dargestellt und wie folgt berechnet:

$$4,13 \text{ t} \times 175 \text{ km} \times 69 \text{ Fahrten} = 49.870 \text{ tkm}$$

Die Tabelle 5-3 stellt somit die für die Analyse in GEMIS prozessrelevanten Daten zusammengefasst dar:

Bezeichnung	Linie E „DECKERT“						
Prozessmodul	Modul 3 – Transport Flasche						
Erfassungszeitraum	Referenzzeitraum	funkt. Einheit					
	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
Preforms inkl. Verpackung	49.870	tkm	4,13	tkm/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS

<sup>79</sup> Vgl. Google Routenplaner. URL: <www.maps.google.at>, verfügbar am 14.05.2012



	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
<b>ENERGIEINPUT</b>							
Diesel-EU-2010 Autobahn	52.406	MJ	4,34	MJ/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	PROBAS
Diesel-EU-2010 Außerorts	40.572	MJ	3,36	MJ/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	PROBAS
Diesel-EU-2010 Innerorts	1.449	MJ	0,12	MJ/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	PROBAS

**Tabelle 6-3: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie E – Modul 3**

### 6.1.4 Systemmodul 4 – Produktabfüllung bei Linie E

Das Modul 4 beinhaltet schlussendlich die Abfüllung der Flaschen. Die Modulgrenzen umfassen energetische Aufwendungen für den Transport der Flaschen zur Abfüllanlage und sämtliche Aufwendungen für den Abfüllprozess, wobei Herstellung und Transport von Bulk, Verschlüssen und Etiketten nicht berücksichtigt werden. Die Entsorgung des durch die Anlieferung der Flaschen verursachten Verpackungsmaterials wird mit einbezogen, für den weiteren Versand werden jedoch keine Aufwendungen mehr kalkuliert. Desweiteren wird ein gewisser Anteil an allgemeiner Energie für den Transport der Flaschen zur Abfüllanlage veranschlagt. Die funktionelle Einheit bezieht sich auf 1kg „abgefülltes“ PET, wobei nur das Gewicht der PET-Flaschen in der Betrachtung Berücksichtigung findet.

Die leeren Flaschen werden per Hand in die Abfülllinie E eingebracht. Für den anschließenden Prozess der Abfüllung, bei dem der Bulk in die Flaschen gefüllt und die Flaschen verschlossen sowie etikettiert werden, wird als direkter Energieinput ausschließlich elektrischer Strom benötigt. Die Nennleistung der Füllmaschine, der Etikettierung und den dazugehörigen Transportbändern beträgt 21kW. Der Stromverbrauch im Referenzzeitraum errechnet sich aus der Nennleistung der Maschine und der Dauer der Jahresproduktion unter Abzug einer Stillstandzeit für Revision, Reinigung und Störung von 10%:

$$21 \text{ kW} \times 7,5 \text{ h} \times 251 \text{ Werktage} \times 0,9 = 35.580 \text{ kWh}$$

Als weiteren Input benötigt die Füllmaschine Druckluft. Für das Abfüllen und Etikettieren ist ein Arbeitsdruck von 6,0 bar erforderlich. Der Verbrauch an Druckluft liegt bei 17l/min. Die Speisung erfolgt über einen Schraubenkompressor, der einen Druck von 10,0 bar erzeugt. Die Druckreduzierung erfolgt jeweils in der Füllmaschine und in der Etikettierung. Für die elektrischen Werte des Kompressors werden die Daten aus Punkt 5.2.8.4 „Erzeugung Druckluft“ herangezogen. Der Luftverbrauch ist bei den allgemeinen Maschinendaten unter Punkt 4.2.1 zu finden und beträgt 102 l/min. Diese Energie wird als indirekter Input gewertet und ergibt ebenfalls unter Berücksichtigung einer Stillstandzeit von 10% folgenden Jahresenergiebedarf:

Energiebedarf 6 bar:  $0,102 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,228 \text{ kWh}/\text{min} \times 60 \text{ min} \times 7,5 \text{ h} \times 251 \text{ Werktage} \times 0,9 = 2.364 \text{ kWh}$

Die Reinigung der Abfüllanlage erfolgt mindestens ein Mal pro Woche und benötigt folgende Aufwände:

- Schritt 1: 150 l Vollentsalztes Wasser Vorreinigung 60 °C
- Schritt 2: 100 l Vollentsalztes Wasser 60 °C mit 2% Desinfektionsmittel
- Schritt 3: 100 l Vollentsalztes Wasser 60 °C Spülen und Nachspülen

Für die Reinigung werden somit in Summe 350 Liter Wasser benötigt. Der Anteil des Desinfektionsmittels beträgt mit 2 Liter weniger als 1 % der Gesamtmenge und wird daher auf Grund der Abschneidekriterien nicht berücksichtigt. Auf Grund der Abschneidekriterien ebenfalls keine Berücksichtigung finden desweiteren die Energie- und Stoffaufwendungen für die Entmineralisierung des Wassers.

Die Erwärmung des Wassers erfolgt mit Strom, welcher wiederum als indirekter Input für das Systemmodul gewertet wird. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt  $1,163 \text{ Wh}/\text{kg} \cdot \text{K}$ .<sup>80</sup> Ein Liter Wasser wiegt ein Kilogramm und als Ausgangstemperatur des Wassers werden in der Regel 20 °C angenommen. Daraus ergibt sich ein Temperaturunterschied von 40 ° Kelvin. Die Energie, die benötigt wird, um das für die Reinigung erforderliche Wasser bereitzustellen beträgt daher:

$$(150 + 100 + 100) \text{ kg} \times 1,163 \text{ Wh}/\text{kg} \cdot \text{K} \times 40 \text{ K} = 16,28 \text{ kWh}$$

Der jährliche Bedarf an Energie zur Bereitstellung des für die Reinigung benötigten Wassers beträgt in weiterer Folge:

$$16,28 \text{ kWh} \times 52 \text{ Wochen} = 847 \text{ kWh}$$

Für den Anteil an allgemeiner Energie für den Transport der Flaschen zum Hochregallager und vom Hochregallager zur Abfülllinien werden die Daten aus Punkt 5.2.8.5 „Allgemeine energetischen Aufwendungen“ verwendet.

Verladung Flaschen:  $68 \text{ LKW} \times 7 \text{ kWh} = 476 \text{ kWh}$

Hochregal Flaschen:  $4.493 \text{ Paletten} / 30 \text{ Paletten}/\text{h} \times 15 \text{ kWh} \times 2 = 4.493 \text{ kWh}$

Der jährliche Bedarf an elektrischer Energie beträgt in Summe unter Berücksichtigung aller zuvor angeführten Elemente 43.760 kWh.

<sup>80</sup> Berger, Hans-Jürgen: Berechnungen für den Bäderbetrieb. – 1. Aufl. Kalletal: Verlag Hans-Jürgen Berger 2009, S. 53

Als Materialinput aus dem vorigen Prozessmodul 3 werden die 4.493 Paletten zu je 62,5 kg übernommen. Die Verpackung mit 3 kg/Palette und die Palette selbst mit 22 kg gelten als Produktionsabfall und werden dem Recycling bzw. der Entsorgung zugeführt.

Flaschen: 168.343 kg

Paletten: 22 kg x 4.493 Paletten = 98.846 kg

Verpackung: 3 kg x 4.493 Paletten = 13.479 kg

Stoffmenge gesamt: 168.343 kg + 98.846 kg + 13.479 kg + 350 kg = 281.018 kg

Der stoffliche Output des Prozessmoduls beinhaltet neben dem produktionsbedingten Ausschuss und dem Abwasser der Reinigung nur die abgefüllten Flaschen, wobei auf Grund der funktionellen Einheit weiterhin in 1kg PET gerechnet wird.

Tabelle 5-4 beinhaltet die entsprechenden Daten für die Analyse in GEMIS. Als Bezugs-wert für die funktionelle Einheit wird wiederum die gesamte für den Prozess relevante Stoffmenge der PET-Flaschen von 167.501 kg herangezogen.

Bezeichnung	Linie E „DECKERT“						
Prozessmodul	Modul 4 – Abfüllung Flaschen bei Linie E						
Erfassungszeitraum	Referenzzeitraum	funkt. Einheit					
	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
<b>ENERGIEINPUT</b>							
Elektrische Energie vom TIWAG-Netz	157.536	MJ	0,9405	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>STOFFINPUT</b>							
Flaschen	168.343	kg	1,0050	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Paletten für Flaschen	98.846	kg	0,5901	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Verpackung Flaschen	13.479	kg	0,0805	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Wasser entsalzt	350	kg	0,0021	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>Summe</b>	281.018	kg	1,6777	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$			

	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
<b>STOFFOUTPUT</b>							
Flaschen „abgefüllt“	167.501	kg	1,0000	$\frac{kg}{kg}$	Haupt-Output	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus 0,5% Ausschuss	842	kg	0,0050	$\frac{kg}{kg}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus Paletten für Flaschen	98.846	kg	0,5901	$\frac{kg}{kg}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus Verpackung Flaschen	13.479	kg	0,0805	$\frac{kg}{kg}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abwasser aus Reinigung	350	kg	0,0021	$\frac{kg}{kg}$	Abfall	Berechnung	KEMACOS
<b>Summe</b>	<b>281.018</b>	<b>kg</b>	<b>1,6777</b>	$\frac{kg}{kg}$			

**Tabelle 6-4: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie E – Modul 4**

## 6.2 Datenerhebung Linie Q „PET“

Im Gegensatz zur Abfülllinie E „Deckert“ kann die Abfülllinie Q „PET“ inklusive Produktion der Flaschen einen höheren Minutenabrechnungstakt von 60 Stück fahren. (Quelle: KEMACOS). Daraus ergibt sich für das Jahr 2011 folgende Jahresproduktionsmenge:

$$60 \text{ Stk./min} \times 450 \text{ min} \times 251 \text{ Werktage} = 6.777.000 \text{ Stk.}$$

Für den Ausschuss wird ein Wert von 1% angenommen, der sich zu gleichen Teilen auf die Streckblasmaschine und auf die Abfülllinie aufteilt.

$$6.777.000 \text{ Stk.} \times 0,01 = 67.770 \text{ Stk.}$$

Beide Werte gemeinsam ergeben die gesamte Jahresproduktionsmenge.

$$6.777.000 \text{ Stk.} + 67.770 \text{ Stk.} = 6.844.770 \text{ Stk.}$$

### 6.2.1 Systemmodul 1 – Transport Preform zu KEMACOS

Das Modul 1 umfasst den Transport der Preforms vom Herstellerwerk in Kaiserslautern nach Kematen in Tirol. Dort werden anschließend aus den Preforms die eigentlichen Flaschen geblasen und gleichzeitig abgefüllt. Die Modulgrenzen umfassen die bereits auf den LKW verladenen Paletten mit den Preforms und den noch nicht abgeladenen LKW an der Laderampe der Fabrik in Kematen. Die funktionelle Einheit beträgt 1 t/km.

Die für die Produktion benötigten Preforms werden auf Paletten zu je 6.144 Stück angeliefert. Für die Jahresproduktion ist somit folgende Anzahl an Paletten mit Preforms erforderlich:

$$6.844.770 \text{ Stk.} / 6.144 \text{ Stk.} = \text{ca. } 1.114 \text{ Paletten}$$

Ein für die Anlieferung erforderlicher LKW-Sattelzug mit 40 Tonnen Nutzlast verfügt über 33 Stellplätze, wobei die Paletten mit den Preforms in zwei Lagen übereinander gestapelt werden können (Quelle: Lieferant). Daraus ergibt sich die nachfolgende Anzahl an LKW-Fahrten:

$$1.114 \text{ Paletten} / 2 \times 33 \text{ Stellplätze} = \text{ca. } 17 \text{ Fahrten}$$

Das Gewicht einer Palette Preforms beträgt, wie unter Pkt. 5.2.1.1 berechnet 272 kg. Die tatsächliche Beladung eines LKW's beträgt somit, basierend auf dem berechneten Gewicht einer Palette:

$$0,272 \text{ t} \times 66 \text{ Paletten} = 17,95 \text{ t}$$

Die Entfernung von Kaiserslautern nach Kematen in Tirol beträgt 478 km, wobei der Anteil an Autobahn 70%, der Anteil an Bundesstraße 29% und der Anteil Innerorts 1% beträgt.<sup>81</sup>

Die Daten für den Energiebedarf aus der Tabelle 5-5 beziehen sich auf 1 tkm Ladung. Da der LKW jedoch pro Kilometer 17,95 t Ladung transportiert, müssen die Daten entsprechend angepasst werden. In Kombination mit den jeweiligen Straßenkategorien lassen sich folgende Werte ermitteln:

$$\text{Autobahn: } 0,676 \text{ MJ/tkm} \times 17,95 \text{ t} \times 0,70 = 8,49 \text{ MJ/km}$$

$$\text{Außerorts: } 0,701 \text{ MJ/tkm} \times 17,95 \text{ t} \times 0,29 = 3,65 \text{ MJ/km}$$

$$\text{Innerorts: } 1,120 \text{ MJ/tkm} \times 17,95 \text{ t} \times 0,01 = 0,20 \text{ MJ/km}$$

Für den gesamten Referenzzeitraum ergibt sich anschließend ein Gesamtenergiebedarf von:

$$\text{Autobahn: } 8,49 \text{ MJ/km} \times 478 \text{ km} \times 17 \text{ Fahrten} = 68.990 \text{ MJ}$$

$$\text{Außerorts: } 3,65 \text{ MJ/km} \times 478 \text{ km} \times 17 \text{ Fahrten} = 26.660 \text{ MJ}$$

$$\text{Innerorts: } 0,20 \text{ MJ/km} \times 478 \text{ km} \times 17 \text{ Fahrten} = 1.625 \text{ MJ}$$

<sup>81</sup> Vgl. Google Routenplaner. URL: <[www.maps.google.at](http://www.maps.google.at)>, verfügbar am 14.05.2012

Die für die Darstellung einer Transport-Dienstleistung in GEMIS erforderliche Menge an Tonnen per Kilometer über den Referenzzeitraum basierend auf der Beladung des Lastkraftwagens und der gesamten, tatsächlichen Fahrtstrecke lässt sich folgendermaßen errechnen:

$$17,95 \text{ t} \times 478 \text{ km} \times 17 \text{ Fahrten} = 145.862 \text{ tkm}$$

Alle prozessrelevanten Daten werden für die Analyse in GEMIS schlussendlich in der Tabelle 6-5 zusammengefasst.

Bezeichnung	Linie Q „PET“						
Prozessmodul	Modul 1 – Transport Preform						
Erfassungszeitraum	Referenzzeitraum		funkt. Einheit				
	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
Preforms inkl. Verpackung	145.862	tkm	17,95	tkm/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>ENERGIEINPUT</b>							
Diesel-EU-2010 Autobahn	68.990	MJ	8,49	MJ/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	PROBAS
Diesel-EU-2010 Außerorts	26.660	MJ	3,65	MJ/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	PROBAS
Diesel-EU-2010 Innerorts	1.625	MJ	0,20	MJ/km	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	PROBAS

**Tabelle 6-5: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie Q – Modul 1**

## 6.2.2 Systemmodul 2 – Erzeugung Flasche intern

Im Modul 2 wird das Streckblasverfahren betrachtet. Die Modulgrenzen umfassen energetische Aufwendungen für den Transport der Preforms zur Streckblasmaschine im Werk wie etwa Strom für Gabelstapler zur Entladung der Lastkraftwagen und für das halbautomatische Hochregallager sowie sämtliche Aufwendungen für den Vorgang des Streckblasens. Die Paletten und die Verpackung, die durch die angelieferten Preforms anfallen, werden in der Betrachtung als wiederverwertbare Rohstoffe entsprechend berücksichtigt. Die funktionelle Einheit beträgt 1 kg PET-Flaschen.

Für den Streckblasprozess, bei dem aus den Preforms Flaschen erzeugt werden, wird als direkter Energieinput ausschließlich elektrischer Strom benötigt. Die Nennleistung der Streckblasmaschine und des vorgeschalteten Kippers, der die Preforms automatisch in die Maschine befördert, beträgt 101,5 kW. Der Stillstand der Maschine bedingt durch Reinigung, Revision und Störung beträgt ca. 10%, wobei der Energiebedarf für die Steuerung zum Systemerhalt bereits berücksichtigt ist. Der Stromverbrauch im Referenzzeitraum errechnet sich unter Berücksichtigung der Stillstandzeit aus der Nennleistung der Maschine und der Dauer der Jahresproduktion wie folgt:

$$101,5 \text{ kW} \times 7,5 \text{ h} \times 251 \text{ Werktage} \times 0,9 = 171.966 \text{ kWh}$$

Als weiteren Input benötigt die Streckblasmaschine Druckluft. Für das Formen der Flaschen wird ein Druck von 40,0 bar benötigt und als Arbeitsdruck 6,0 bar, wobei dieser in der Maschine durch einen Druckreduziervorrichtung selbst erzeugt wird. Der Verbrauch an Druckluft liegt wie unter Punkt 4.2.2 beschrieben bei 1540 l/min Hochdruck zur Erzeugung der Flaschen und bei 12 l/min für den Arbeitsdruck. Die Speisung erfolgt über einen eigenen Kolbenkompressor, der den geforderten Druck von 40,0 bar erzeugt. Für die Ermittlung des Druckluftverbrauchs werden die Daten aus Punkt 5.2.8.4 „Erzeugung Druckluft“ herangezogen. Der Bedarf für die gesamte Produktionsdauer lautet:

$$\text{Energiebedarf 40 bar: } 1,54 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,310 \text{ kWh}/\text{min} \times 60 \text{ min} \times 7,5 \text{ h} \times 251 \text{ Werktage} \times 0,9 = 48.530 \text{ kWh}$$

$$\text{Energiebedarf 6 bar: } 0,012 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,228 \text{ kWh}/\text{min} \times 60 \text{ min} \times 7,5 \text{ h} \times 251 \text{ Werktage} \times 0,9 = 278 \text{ kWh}$$

Die allgemeine Energie für die Verladung der Preforms und Ein- bzw. Auslagerung im Hochregallager wird basierend auf den Daten aus Punkt 5.2.8.5 „Allgemeine energetischen Aufwendungen“ wie folgt ermittelt:

$$\text{Verladung Preforms: } 17 \text{ LKW} \times 7 \text{ kWh} = 119 \text{ kWh}$$

$$\text{Hochregal Preforms: } 1.114 \text{ Paletten} / 30 \text{ Paletten/h} \times 15 \text{ kWh} \times 2 = 1.114 \text{ kWh}$$

Die Summe der für die Jahresproduktion benötigten elektrischen Energie wird durch Addition berechnet und ergibt 222.007 kWh pro Jahr.

Der stoffliche Input in das Prozessmodul beinhaltet die auf Paletten verpackten Preforms aus dem bereits beschriebenen Modul 1. Wie in Punkt 5.2.1.1 beschrieben wiegt eine Palette gesamt 272 kg, wobei 22 kg auf die Palette, 10 kg auf die Verpackung und 240 kg auf die Preforms entfallen. Über den Referenzzeitraum ergeben sich bei den in Punkt 6.2.1 berechneten 1.141 Paletten folgenden Stoffmengen:

$$\text{Preforms: } 0,039 \text{ kg} \times 6.144 \text{ Stk.} \times 1.141 \text{ Paletten} = 273.402 \text{ kg}$$

$$\text{Paletten: } 22 \text{ kg} \times 1.141 \text{ Paletten} = 25.102 \text{ kg}$$

$$\text{Verpackung: } 10 \text{ kg} \times 1.141 \text{ Paletten} = 11.410 \text{ kg}$$

Der stoffliche Output des Prozessmoduls besteht in erster Linie aus den zu Flaschen verarbeiteten Preforms. Das Gewicht der Flaschen entspricht exakt dem der Preforms, da bei der Produktion außer dem Ausschuss kein Abfall anfällt. Die als Produktionsabfall deklarierten Paletten und Verpackungsmaterialien werden nicht mehr benötigt und somit dem Recycling zugeführt. Die gesammelten relevanten Daten für den Prozess werden

für die Analyse in GEMIS gebündelt und in der Tabelle 6-6 dargestellt. Gemäß den Grundprinzipien der Ökobilanz müssen Inputs und Outputs immer gleich groß sein. Die gesamte relevante Stoffmenge beträgt in Summe 309.914 kg. Als Bezugswert für die Berechnung wird jedoch gemäß der festgelegten funktionellen Einheit die Stoffmenge der produzierten Flaschen von 272.035 kg herangezogen.

Bezeichnung	Linie Q „PET“						
Prozessmodul	Modul 2 –Erzeugung Flasche intern						
Erfassungszeitraum	Referenzzeitraum		funkt. Einheit				
	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
<b>ENERGIEINPUT</b>							
Elektrische Energie vom TIWAG-Netz	799.225	MJ	2,9379	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>STOFFINPUT</b>							
Preforms	273.402	kg	1,0050	kg	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Paletten	25.102	kg	0,0923	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Verpackung	11.410	kg	0,0419	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>Summe</b>	<b>309.914</b>	<b>kg</b>	<b>1,1392</b>	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$			
<b>STOFFOUTPUT</b>							
Flaschen	272.035	kg	1,0000	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Haupt-Output	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus 0,5% Ausschuss	1.367	kg	0,0050	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus Paletten	25.102	kg	0,0923	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus Verpackung	11.410	kg	0,0419	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
<b>Summe</b>	<b>309.914</b>	<b>kg</b>	<b>1,1392</b>	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$			

Tabelle 6-6: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie Q – Modul 2

### 6.2.3 Systemmodul 3 – Produktabfüllung

Das Modul 3 beinhaltet schlussendlich die Abfüllung der Flaschen. Die Füllmaschine der Abfülllinie Q befindet sich direkt im Anschluss an die Streckblasmaschine, von wo aus die Flaschen automatisch in die Abfüllanlage transportiert werden. Die Modulgrenzen umfassen sämtliche Aufwendungen für den Abfüllprozess, wobei Herstellung und Transport von Bulk, Verschluss und Etikett nicht berücksichtigt werden. Desweiteren werden für den nachfolgenden Versand keine Aufwendungen kalkuliert. Die funktionelle Einheit



beträgt 1 kg „abgefüllte PET-Flaschen“, wobei hier ausschließlich der PET-Anteil berücksichtigt wird.

Für den Prozess der Abfüllung, bei dem der Bulk in die Flaschen gefüllt und die Flaschen anschließend verschlossen sowie etikettiert werden, wird als direkter Energieinput ausschließlich elektrischer Strom benötigt. Die Nennleistung der Füllmaschine, der Etikettierung und den dazugehörigen Transportbändern beträgt 32 kW. Der Stromverbrauch im Referenzzeitraum errechnet sich aus der Nennleistung der Maschine und der Dauer der Jahresproduktion abzüglich einer Stillstandszeit von 10%:

$$32 \text{ kW} \times 7,5 \text{ h} \times 251 \text{ Werktage} \times 0,9 = 54.216 \text{ kWh}$$

Desweiteren arbeitet die Füllmaschine mit Druckluft. Für das Abfüllen und Etikettieren ist ein Arbeitsdruck von 6,0 bar erforderlich. Der Verbrauch an Druckluft liegt bei 12 l/min. Die Speisung erfolgt über einen eigenen Schraubenkompressor, der einen Druck von 10,0 bar erzeugt. Die Druckreduzierung erfolgt jeweils in der Füllmaschine und in der Etikettierung. Der Luftverbrauch ist den allgemeinen Maschinendaten unter Punkt 4.2.2 zu entnehmen und beträgt 75 l/min. Diese Energie wird als indirekter Input gewertet und ergibt ebenfalls unter Berücksichtigung einer Stillstandszeit von 10% folgenden Jahresenergiebedarf:

$$\text{Energiebedarf 6 bar: } 0,075 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,228 \text{ kWh}/\text{min} \times 60 \text{ min} \times 7,5 \text{ h} \times 251 \text{ Werktage} \times 0,9 = 1.738 \text{ kWh}$$

Die Reinigung der Abfüllanlage erfolgt im Schnitt ein Mal pro Woche und benötigt folgende Aufwände:

- Schritt 1: 300l Vollentsalztes Wasser Vorreinigung 60°C
- Schritt 2: 450l Vollentsalztes Wasser 60°C mit 2% Desinfektionsmittel
- Schritt 3: 300l Vollentsalztes Wasser 60°C Spülen
- Schritt 4: 500l Vollentsalztes Wasser 20°C zum Nachspülen

Für die Reinigung werden somit in Summe 1.550 l Wasser benötigt. Der Anteil des Desinfektionsmittels beträgt mit 9 l weniger als 1 % der Gesamtmenge und wird daher auf Grund der Abschneidekriterien nicht berücksichtigt. Die Aufwendungen für die Behandlung des Wassers werden bei der Projektierung in GEMIS berücksichtigt.

Die Erwärmung des Wassers erfolgt mit Strom, welcher wiederum als indirekter Input für das Systemmodul gewertet wird. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt 1,163 Wh/kg\*K.<sup>82</sup> Ein Liter Wasser wiegt ein Kilogramm und als Ausgangstemperatur des Wassers werden in der Regel 20°C angenommen. Daraus ergibt sich ein Tempera-

<sup>82</sup> Berger, Hans-Jürgen: Berechnungen für den Bäderbetrieb. a.a.O., S. 5

turunterschied von 40° Kelvin. Die Energie, die benötigt wird, um das für die Reinigung erforderliche Wasser bereitzustellen beträgt daher:

$$(300 + 450 + 300) \text{ kg} \times 1,163 \text{ Wh/kg} \cdot \text{K} \times 40 \text{ K} = 48,85 \text{ kWh}$$

Der jährliche Bedarf an Energie zur Bereitstellung des für die Reinigung benötigten Wassers beträgt in weiterer Folge:

$$48,85 \text{ kWh} \times 52 \text{ Wochen} = 2.540 \text{ kWh}$$

Der jährliche Bedarf an elektrischer Energie beträgt in Summe unter Berücksichtigung aller zuvor angeführten Elemente 58.494 kWh.

Als stoffliche Inputs in das Prozessmodul werden, wie eingangs erwähnt, nur die vom vorigen Modul 2 bereitgestellten Flaschen, die im Referenzzeitraum einem Gesamtgewicht von 272.035 kg entsprechen und das für die Reinigung benötigte Wasser gewertet.

Der stoffliche Output des Prozessmoduls beinhaltet neben dem produktionsbedingten Ausschuss und dem Abwasser der Reinigung die abgefüllten Flaschen, wobei auf Grund der funktionellen Einheit weiterhin in 1kg PET gerechnet wird. Der Produktionsabfall wird als Rohstoff gewertet und dem Recycling zugeführt.

Tabelle 6-7 beinhaltet die entsprechenden Daten für die Analyse in GEMIS. Als Bezugswert für die funktionelle Einheit wird das PET-Gewicht der abgefüllten Flaschen herangezogen.

Bezeichnung	Linie Q „PET“						
Prozessmodul	Modul 3 – Abfüllung Flaschen bei Linie Q						
Erfassungszeitraum	Referenzzeitraum	funkt. Einheit					
	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
<b>ENERGIEINPUT</b>							
Elektrische Energie vom TIWAG-Netz	210.578	MJ	0,7741	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>STOFFINPUT</b>							
Flaschen	272.035	kg	1,0050	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
Wasser	1.550	kg	0,0057	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Produkt von anderen Systemen	Berechnung	KEMACOS
<b>Summe</b>	273.585	kg	1,0107	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$			

	Menge	Einheit	Menge	Einheit	Materialkategorie	Erfassungsverfahren	Datenquelle
<b>STOFFOUTPUT</b>							
Flaschen „abgefüllt“	270.675	kg	1,0000	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Haupt-Output	Berechnung	KEMACOS
Abfall aus 0,5% Ausschuss	1.360	kg	0,0050	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Koppelprodukt	Berechnung	KEMACOS
Abwasser aus Reinigung	1.550	kg	0,0057	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Abfall	Berechnung	KEMACOS
<b>Summe</b>	<b>273.585</b>	<b>kg</b>	<b>1,0107</b>	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$			

Tabelle 6-7: Eigene Darstellung – Datenerhebung Abfülllinie Q – Modul 3

### 6.3 Datenanalyse in GEMIS

Die Prozessabläufe werden mit den Daten aus Punkt 6.1 und Punkt 6.2 in der Analyse-Software GEMIS simuliert. Die daraus resultierenden Ergebnisse beziehen sich auf die kompletten Prozessabläufe gemäß den definierten Grenzen. Alle Angaben beziehen sich auf die funktionelle Einheit von 1kg PET. Desweiteren enthalten die Tabellen bereits Äquivalenzwerte, die in der folgenden Wirkungsabschätzung von Interesse sind

Treibhausrelevante Emissionen in die Luft	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“	
<b>CO2-Äquivalent</b>	801,63*10 <sup>-3</sup>	kg	218,73*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>CO2</b>	695,61*10 <sup>-3</sup>	kg	206,57*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>CH4</b>	3,9131*10 <sup>-3</sup>	kg	365,89*10 <sup>-6</sup>	kg
<b>N2O</b>	24,805*10 <sup>-6</sup>	kg	8,0748*10 <sup>-6</sup>	kg
<b>Perfluormethan</b>	89,828*10 <sup>-9</sup>	kg	67,621*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Perfluoraethan</b>	11,346*10 <sup>-9</sup>	kg	8,5415*10 <sup>-9</sup>	kg

Tabelle 6-8: Datenberechnung GEMIS – Treibhausrelevante Emissionen in die Luft

Reststoffe	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“	
<b>Asche</b>	12,877*10 <sup>-3</sup>	kg	3,5172*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>REA-Reststoff</b>	2,2683*10 <sup>-3</sup>	kg	822,03*10 <sup>-6</sup>	kg
<b>Klärschlamm</b>	149,58*10 <sup>-6</sup>	kg	208,17*10 <sup>-6</sup>	kg
<b>Produktionsabfall</b>	1,3307533	kg	166,51*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>Abraum</b>	802,38*10 <sup>-3</sup>	kg	302,38*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>Müll-atomar (hochaktiv)</b>	263,38*10 <sup>-9</sup>	kg	94,940*10 <sup>-9</sup>	kg

Tabelle 6-9: Datenberechnung GEMIS – Reststoffe

Emissionen in die Luft	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“	
SO <sub>2</sub> -Äquivalent	19,602*10 <sup>-3</sup>	Kg	704,80*10 <sup>-6</sup>	kg
TOPP-Äquivalent	3,7026*10 <sup>-3</sup>	kg	1,0606*10 <sup>-3</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	1,7049*10 <sup>-3</sup>	kg	198,97*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	2,3929*10 <sup>-3</sup>	kg	718,52*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	18,472*10 <sup>-3</sup>	kg	5,3702*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	1,1699*10 <sup>-6</sup>	kg	238,08*10 <sup>-9</sup>	kg
Staub	325,90*10 <sup>-6</sup>	kg	153,15*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	1,9678*10 <sup>-3</sup>	kg	571,35*10 <sup>-6</sup>	kg
NM <sub>VO</sub> C	511,97*10 <sup>-6</sup>	kg	116,02*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	288,00*10 <sup>-9</sup>	kg	7,4856*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	275,67*10 <sup>-9</sup>	kg	233,03*10 <sup>-9</sup>	kg
As (Luft)	2,7520*10 <sup>-9</sup>	kg	1,0771*10 <sup>-9</sup>	kg
Cd (Luft)	1,6953*10 <sup>-9</sup>	kg	680,6*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (Luft)	3,0790*10 <sup>-9</sup>	kg	1,6557*10 <sup>-9</sup>	kg
Hg (Luft)	2,1838*10 <sup>-9</sup>	kg	908,4*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (Luft)	32,968*10 <sup>-9</sup>	kg	12,367*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (Luft)	2,272*10 <sup>-12</sup>	kg	824,7*10 <sup>-15</sup>	kg
Pb (Luft)	17,921*10 <sup>-9</sup>	kg	12,319*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (Luft)	15,36*10 <sup>-15</sup>	kg	11,14*10 <sup>-15</sup>	Kg

Tabelle 6-10: Datenberechnung GEMIS – Emissionen in die Luft

Abwassereinleitungen	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“	
P	206,25*10 <sup>-9</sup>	kg	1,1603*10 <sup>-9</sup>	kg
N	1,1978*10 <sup>-6</sup>	kg	68,333*10 <sup>-9</sup>	kg
AOX	269,7*10 <sup>-12</sup>	kg	109,4*10 <sup>-12</sup>	kg
CSB	876,30*10 <sup>-6</sup>	kg	1,3042*10 <sup>-3</sup>	kg
BSB <sub>5</sub>	277,27*10 <sup>-6</sup>	kg	432,96*10 <sup>-6</sup>	kg
anorg. Salze	35,872*10 <sup>-6</sup>	kg	45,696*10 <sup>-6</sup>	kg
As (Abwasser)	21,29*10 <sup>-15</sup>	kg	25,52*10 <sup>-15</sup>	kg
Cd (Abwasser)	51,99*10 <sup>-15</sup>	kg	62,34*10 <sup>-15</sup>	kg
Cr (Abwasser)	51,43*10 <sup>-15</sup>	kg	61,66*10 <sup>-15</sup>	kg
Hg (Abwasser)	26,00*10 <sup>-15</sup>	kg	31,17*10 <sup>-15</sup>	kg
Pb (Abwasser)	339,1*10 <sup>-15</sup>	kg	406,6*10 <sup>-15</sup>	kg

Tabelle 6-11: Datenberechnung GEMIS – Abwassereinleitungen

Kumulierter Energieaufwand	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“	
KEA-nichternewerbar	5,5479143	MJ	2,9840294	MJ
KEA-ernewerbar	7,5320194	MJ	6,4976190	MJ
KEA-andere	53,906*10 <sup>-3</sup>	MJ	24,465*10 <sup>-3</sup>	MJ
KEA-Summe	13,133840	MJ	9,5061138	MJ

Tabelle 6-12: Datenberechnung GEMIS – Kumulierter Energieaufwand

Kumulierter Energieverbrauch	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“	
KEV-nichternewerbar	5,5295517	MJ	2,9698123	MJ
KEV-erneuerbar	7,5320194	MJ	6,4976190	MJ
KEV-andere	53,906*10-3	MJ	24,465*10-3	MJ
KEV-Summe	13,115477	MJ	9,4918967	MJ

Tabelle 6-13: Datenberechnung GEMIS – Kumulierter Energieverbrauch

Kumulierter Stoff-Aufwand	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“	
KSA-nichternewerbar	48,579*10-3	kg	44,209*10-3	kg
KSA-erneuerbar	5,2782424	kg	4,4202377	kg
KSA-andere	2,3960587	kg	3,4927448	kg
KSA-Summe	7,7228797	kg	7,9571917	kg

Tabelle 6-14: Datenberechnung GEMIS – Kumulierter Stoff-Aufwand

Flächenbedarf	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“	
Flächeninanspruchnahme	4,29	m <sup>2</sup>	0,53	m <sup>2</sup>

Tabelle 6-15: Datenberechnung GEMIS – Flächenbedarf

## 7 Ökobilanz – Wirkungsabschätzung

Im Zuge der Wirkungsabschätzung werden die Sachbilanzergebnisse den in Punkt 5.2.4 festgelegten Wirkungskategorien zugeordnet und einander gegenüber gestellt.

### 7.1 Ressourcenverbrauch

Weiße Energie bezeichnet jene Energie, die für die Nutzung bzw. den Betrieb eines Gutes erforderlich ist. Im Vergleich der beiden Produktionsprozesse entspricht weiße Energie den direkt bei den Prozessen benötigten Aufwendungen. Im Gegenzug bezieht graue Energie zusätzlich alle Energieaufwendungen aus den Vorketten und nachgelagerten Prozessen in die Betrachtung mit ein. Weiße Energie wird als KEV (kumulierter Energieverbrauch) gemessen während graue Energie in KEA (kumulierter Energieaufwand) angegeben wird. Der Aufwand aller Stoffe, die in den Vorketten und nachgelagerten Prozessen erforderlich sind, wird als KSA (kumulierter Stoffaufwand) angegeben.<sup>83</sup>

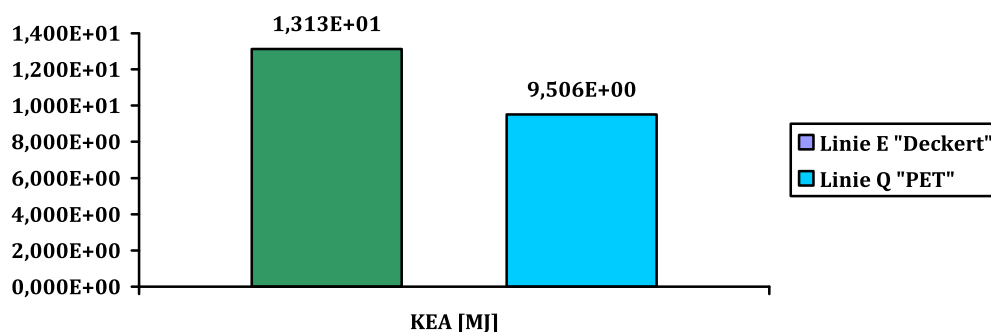


Abbildung 7-1: Eigene Darstellung – Auswertung KEA

Der 1,4 fache Mehraufwand an Energie ist hauptsächlich in den zusätzlichen Transportaufwendungen bei der Linie E zu finden. Die unter Punkt 6.3 – Datenanalyse in GEMIS – bekannt gegebenen Werte für den KEV unterscheiden sich nur im Kommabereich und somit unverhältnismäßig wenig von den Ergebnissen des KEA. Dies ist auf den hohen Energiebedarf in der Produktion und auf die sehr eng gesetzten Systemgrenzen zurückzuführen.

<sup>83</sup> Vgl. Banse, Gerhard; Ryszard, Janikowski; Kiepas, Andrzej: Nachhaltige Entwicklung, transnational. – 1. Aufl. Berlin: Edition Sigma 2011, S. 236

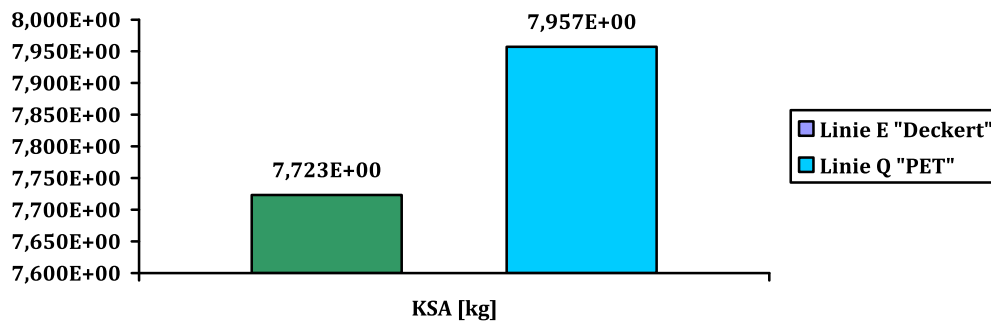


Abbildung 7-2: Eigene Darstellung – Auswertung KSA

Durch die Berechnung des KSA kann ermittelt werden, dass der Stoffaufwand in Kilo bei der Linie Q geringfügig höher als bei der Linie E ist. Im Wesentlichen verantwortlich dafür ist die Allokation nach Masse, die die Verpackungsmaterialien aus der Berechnung entfernt, da sie als neue Rohstoffe gewertet werden. Dem aus den Transportaufwendungen resultierenden stofflichen Mehraufwand bei der Linie E wird der Mehrverbrauch an Wasser bei der Linie Q gegenüber gestellt.

## 7.2 Flächenbedarf

Die benötigte Fläche pro funktioneller Einheit ist besonders bei der Analyse von Systemen interessant, in denen sich Komponenten befinden, die biologisch angebaut werden können. Als Beispiel seien hier Lebensmittel genannt. Aber auch für die Erzeugung von Biomasse wird Fläche benötigt. Die Überhöhung im Ergebnis der Linie E in der Berechnung von GEMIS kann nur auf die Verwendung der Polypropylen-Folie zur Verpackung der Flaschen zurückgeführt werden. Auf Grund der großen Differenz der Ergebnisse muss deren Richtigkeit jedoch in Frage gestellt werden.

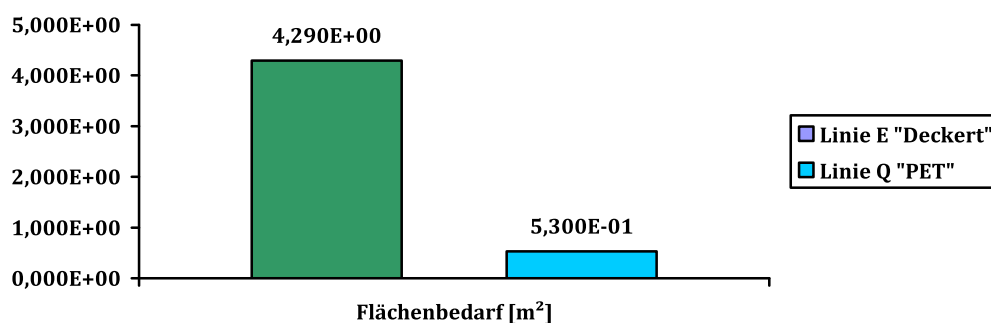


Abbildung 7-3: Eigene Darstellung – Auswertung Flächenbedarf

## 7.3 Treibhauseffekt

Stark vereinfacht trifft von der Sonne ausgehende, kurzwellige Strahlung auf die Erde und erwärmt dort die Oberfläche. Die erwärmte Oberfläche gibt wiederum Wärme in Form von langwelliger Strahlung ab. Diese langwellige Strahlung wird zum Teil in der Atmosphäre absorbiert und zum Teil ins Weltall abgegeben. Bestimmte Stoffe in der Atmosphäre hindern vermehrt den Austritt aus der Atmosphäre und führen so zu einer weiteren Erwärmung, die auch Treibhauseffekt genannt wird. Der Treibhauseffekt trägt zur allgemeinen Erderwärmung und somit auch zum Anstieg des Meeresspiegels bei.<sup>84</sup>

Mehr als 80 verschiedene Stoffe sind stark unterschiedlich am Treibhauseffekt beteiligt. Um eine Vergleichbarkeit zu schaffen wurden die unterschiedlichen Auswirkungen der Stoffe auf die Atmosphäre ermittelt und mit dem Wert von Kohlendioxid bzw. CO<sub>2</sub> ins Verhältnis gesetzt. Die Summe aller auf diese Weise angeglichenen Werte hat das sogenannte CO<sub>2</sub>-Äquivalent zum Ergebnis. Da sich die Stoffe über die Jahre unterschiedlich verändern wird zusätzlich zu den Werten ein Zeitbezug, meist von 100 Jahren, angegeben. Eine Publikation der bereits unter Punkt 3.1.2 erwähnten IPCC sieht für die in GEMIS ermittelten Werte für den Treibhauseffekt folgende Äquivalente vor:

- Methan (CH<sub>4</sub>): 21 x CO<sub>2</sub>; Verweildauer 21 Jahre
- Dickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O): 310 x CO<sub>2</sub>; Verweildauer 310 Jahre
- Perfluormethan (CF<sub>4</sub>): 6.500 x CO<sub>2</sub>; Verweildauer 6.500 Jahre
- Perfluorethan (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>): 9.200 x CO<sub>2</sub>; Verweildauer 10.000 Jahre<sup>85</sup>

Die Berechnung des Äquivalenz-Wertes erfolgt durch Summierung und Multiplikation mit einem Massenfaktor bezogen auf die funktionelle Einheit. Die Berechnung wird an Hand der genannten Werte in GEMIS direkt durchgeführt und hat basierend auf einer globalen Betrachtung die in Abbildung 7-4 dargestellten Ergebnisse zur Folge. Die Linie Q weist bei der Auswertung nahezu das Vierfache Treibhauspotenzial bezogen auf die funktionelle Einheit von 1kg PET auf. Die Ursachen liegen vor allem in den Aufwendungen für den Transport der Flaschen von Vorarlberg nach Kematen.

---

<sup>84</sup> Vgl. Kuttler, Wilhelm : Klimatologie. – 1. Aufl. Paderborn: Ferdinand Schöningh Verlag 2009, S. 218 u. S. 230

<sup>85</sup> Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 1995 – the science of Climate Change. a.a.O., S. 22



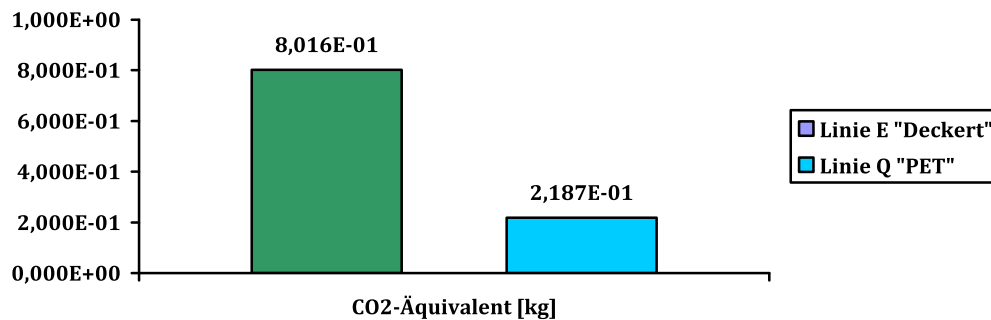


Abbildung 7-4: Eigene Darstellung – Auswertung Treibhauspotenzial

## 7.4 Versauerung

Der natürliche pH-Wert von Wasser beträgt in der Regel ca. 5,5 - 6. Die Emission bestimmter Stoffe hat eine Verschiebung des pH-Wertes von Wasser in Richtung Säure zur Folge – man spricht von Versauerung. In Gewässern kann diese Verschiebung vorhandenen Lebensraum beeinträchtigen. Saurer Regen und saure Gase haben auch, wie in den 1980er Jahren unter dem Begriff „Waldsterben“ bekannt wurde, negative Auswirkungen auf Wald und Vegetation.

Die Bewertung des Versauerungspotentials erfolgt an Hand von Schwefeldioxid bzw. SO<sub>2</sub>, welches als Referenzwert für ähnlich wirkende Stoffe herangezogen wird. Der SO<sub>2</sub>-Äquivalent, der durch Berechnung in GEMIS automatisch basierend auf der funktionalen Einheit ermittelt wird, beinhaltet die folgenden Werte:

- Stickoxide (NO<sub>x</sub>): 0,70 x SO<sub>2</sub>
- Chlorwasserstoff (HCl): 0,88 x SO<sub>2</sub>
- Ammoniak (NH<sub>3</sub>): 1,88 x SO<sub>2</sub>
- Fluorwasserstoff (HF): 1,60 x SO<sub>2</sub>
- Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S): 1,88 x SO<sub>2</sub><sup>86</sup>

Die in Abbildung 7-5 offensichtliche Überhöhung um den Faktor 27 beim Produktionsprozess der Linie E und globaler Betrachtung ist vor allem damit zu begründen, dass die

<sup>86</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit: Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. a.a.O., S. 273 - 277

für die Verpackung der Flaschen benötigte Polypropylen-Folie in der Herstellung hohe Emissionen verursacht.

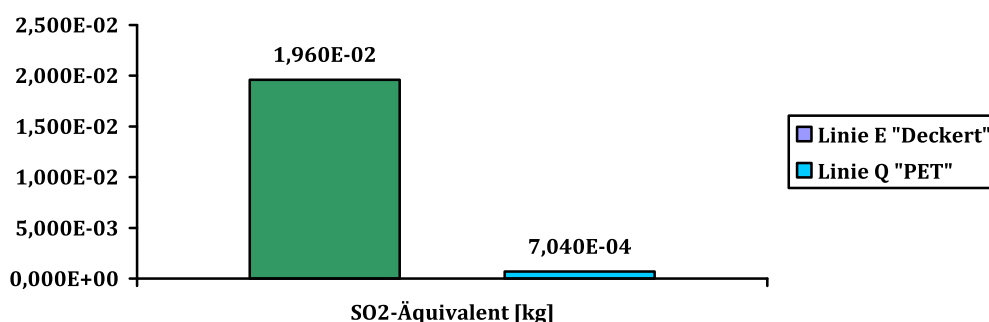


Abbildung 7-5: Eigene Darstellung – Auswertung Versauerungspotenzial

## 7.5 Eutrophierung

Eutrophierung bezeichnet die Überversorgung von nutzbarem Boden mit Stickstoff und Phosphat. Nutzbare Böden sind durch gezielte Düngung oder hohe Viehbesatzdichte häufig bis zur Aufnahmegrenze mit Nährstoffen angereichert. Immissionen von Stickstoff und Phosphat können so zu einer Überdüngung beitragen. Eutrophierung führt in Böden zu einem Rückgang der Vegetation und verursacht in Kläranlagen erhebliche Mehraufwände in der Abwasserbehandlung. In freien Gewässern ist Eutrophierung unter anderem für Veralgungen verantwortlich.<sup>87</sup>

Die Quantifizierung von Eutrophierung wird mit dem EP-Äquivalent, auch Eutrophierungspotential, durchgeführt. In GEMIS ist dieser Indikator jedoch auf Grund einer schlechten Datenlage insbesondere betreffend Phosphat-Emissionen nicht verfügbar. Ein Vergleich wird stattdessen über die drei einzelnen Indikatoren Stickstoff, Phosphat und CSB (chemischer Sauerstoff-Bedarf) erzielt.<sup>88</sup>

<sup>87</sup> Vgl. Fiedler, Hans Joachim: Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten. – 1. Aufl. Renningen: Expert Verlag 2001, S. 452

<sup>88</sup> Vgl. Öko-Institut e.V.: Handbuch zu GEMIS. a.a.O., S. 44

Verursachende Stoffe Für Eutrophierung	Linie E „Deckert“		Linie Q „PET“		Differenz
Stickstoff (N)	1,198 E-06	kg	6,834 E-08	kg	17-fach
Phosphat (P)	2,063 E-07	kg	1,160 E-09	kg	177-fach
CSB-Summe	8,763 E-04	kg	1,304 E-03	kg	1,6-fach

**Tabelle 7-1: Auswertung Eutrophierung**

Bei der Gegenüberstellung wird bei den Werten Stickstoff und Phosphat eine signifikante Mehrbelastung durch den Produktionsprozess E deutlich. Die Differenz bei Stickstoff liegt im Mehraufwand an Transportdienstleistung begründet, während die stark überhöhte Emission von Phosphat zusätzlich durch die Polypropylen-Verpackung der Flaschen verursacht wird. Die CSB-Summe ist bei der Linie Q größer, da für die Reinigung der Maschine mehr speziell aufbereitetes Wasser pro Funktionseinheit verwendet wird.

## 7.6 Sommersmog

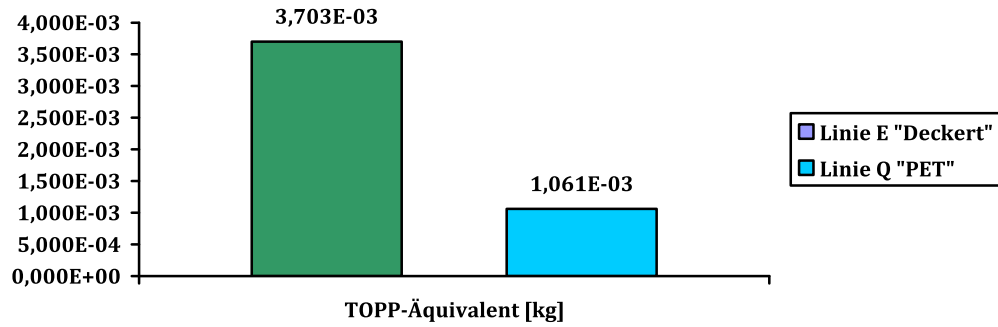
Ozon ist eine modifizierte Form des Luftsauerstoffs und bildet sich durch Bestrahlung mit kurzwelligem UV-Licht. Ca. 90 % des auf der Erde vorhandenen Ozons befinden sich in der Stratosphäre und mindern dort durch chemische Reaktionen das Eindringen von UV-Strahlung in die Erdatmosphäre.<sup>89</sup>

Die restlichen ca. 10 % verteilen sich in der erdnahen Troposphäre und stellen einen Schadstoff für Fauna und Flora dar. Einige Spurengase vermindern das Ozon in der Stratosphäre, wodurch das bekannte Ozonloch entsteht. Andere führen vor allem bei sonnigem Wetter zu einem Anstieg des bodennahen Ozons, welches daher Sommersmog genannt wird.<sup>90</sup>

In GEMIS wird die Entstehung von bodennahem Ozon als TOPP-Äquivalent (tropospheric ozone precursor potential equivalents = troposphärische Ozon- Vorläufer-Äquivalente) quantifiziert, der die Stoffe CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, CO und NMVOC beinhaltet.

<sup>89</sup> Vgl. Fabian, Peter: Leben im Treibhaus – Unser Klimasystem und was wir daraus machen. – 1. Aufl. Berlin: Springer Verlag 2002, S. 31 f.

<sup>90</sup> Vgl. Sandermann, Heinrich: Ozon - Entstehung, Wirkung, Risiken. – 1. Aufl. München: C. H. Beck Verlag 2001, S. 11 ff.



**Abbildung 7-6: Eigene Darstellung – Auswertung Sommersmog**

Aus der Auswertung resultiert, dass eine funktionelle Einheit des Produktionsprozesses der Linie E um das 3,5 fache mehr zum Sommersmog beiträgt als eine funktionelle Einheit des Prozesses der Linie Q.



## 8 Ökobilanz – Auswertung

Die unter Punkt 7 beschriebene Wirkungsanalyse enthält auf Grund der Struktur der Studie bereits einen wesentlichen Teil der Auswertung. Die Gegenüberstellungen der einzelnen Parameter lassen darauf schließen, dass der Produktionsprozess der Linie Q „PET“ deutlich weniger Umweltbelastung pro funktionelle Einheit aufweist als der Prozess der Linie E „Deckert“.

Bei einer kritischen Betrachtung ergeben sich jedoch eine Reihe von Annahmen und Einschränkungen, die bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

- Trotz sorgfältiger Abwicklung der Studie lassen sich auf Grund von Annahmen, Rundungen in den Berechnungen und deren Fehlerfortpflanzung Schwankungen in den Ergebnissen nicht vermeiden, welche bei der Interpretation der Ergebnisse unbedingt berücksichtigt werden müssen.
- Auf Grund der Rahmenbedingungen der Studie gelten die Ergebnisse ausschließlich unter den angenommenen Parametern. Beispielsweise muss bei einem Lieferantenwechsel, wie er aus Kostengründen häufig vorkommt, die Modellierung der Systeme entsprechend angepasst und neu bewertet werden.
- Die untersuchten Produktionsprozesse stellen nur einen Teil des gesamten Produktsystems dar. Es ist nicht bekannt, wie groß der Anteil der untersuchten Produktionsprozesse am gesamten Produktsystem ist. Deshalb kann sich die Differenz in den Ergebnissen bei Betrachtung aus anderem Blickwinkel stark relativieren.
- Die Ergebnisse spiegeln nur die Differenz in den beiden Prozessen wieder. Ob die Umweltbelastung beider Prozesse generell hoch oder niedrig ist, wurde nicht untersucht. Ein Vergleich mit normierten Werten würde bei einer Erweiterung der Studie über diese Umstände Klarheit verschaffen.



## 9 Ergebnisse und Ausblick

### 9.1 Ergebnisse

Entgegen dem eigentlichen Gedanken einer Nachhaltigkeitsanalyse betrachtet die Ökobilanz nur die ökologische Säule und lässt die ökonomische und die soziale Säule unbeachtet. Es kann daher keine exakte Aussage darüber getroffen werden, ob einer der untersuchten Systemprozesse nachhaltiger ist als der andere oder ob beide Prozesse generell nachhaltig sind. In Anlehnung an den ökobilanziellen Vergleich, der relativ genaue Aussagen über die Umweltauswirkungen der Prozesse liefert, können jedoch folgende Annahmen gemacht werden:

- **Ökonomische Komponente:** Die in der Sachbilanz ermittelten Einsparungen in Transport und Verpackung führen zu einer Verminderung der Selbstkosten. So kann mit der Linie Q bei größerer Produktionsmenge günstiger produziert werden als mit der Linie E. Diese beiden Umstände stärken die Position am Markt
- **Soziale Komponente:** Die Investition vom Unternehmen in die Linie Q am relativ teuren Wirtschaftsstandort Tirol kann mit Vertrauen in den Standort und den darin beschäftigten Mitarbeitern gedeutet werden. Auf Grund der Höhe der Investitionskosten und der damit verbundenen, langen Amortisationszeit ist der Standort nicht in Frage gestellt.

### 9.2 Bewertung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit stellt eine breite Basis für weitere Betätigungen auf dem Gebiet der Ökobilanzierung oder der Analyse von Nachhaltigkeit dar.

- Der erarbeitete Kriterienkatalog bietet in Kombination mit der Erörterung der Grundlagen einen breiten Einblick in die Thematik und kann bei verschiedenen Aufgabenstellungen als Hilfestellung zur Auswahl des bestmöglichen Analyseverfahrens dienen.



- Da die Norm DIN EN ISO 14040 und 14044 für die Erstellung von Ökobilanzen strenge Regeln festlegen und andererseits viel Spielraum in der Interpretation offen lassen, kann die vorliegende Ökobilanz als Leitfaden für die Erstellung neuer Ökobilanzen im Bereich Produktion und Logistik dienen.
- Die vorliegende Ökobilanz kann als Basis für weitere Untersuchungen im Unternehmen genutzt werden. So können die Systemgrenzen an andere Erfordernisse angepasst oder die Ergebnisse in weitere Studien integriert werden. Eine Möglichkeit dafür wäre beispielsweise die Implementierung in eine Ökoeffizienzanalyse.

### 9.3 Ausblick

Der Stellenwert von nachhaltiger Entwicklung wird auf Grund der Ressourcenknappheit und eines unverhältnismäßigen Lebenswandels in den Industriestaaten stark zunehmen. Auseinandersetzungen mit der Thematik sind deshalb schon jetzt eine gute Investition in die Zukunft und es könnte deshalb keinen besseren Abschluss dieser Arbeit geben als das bereits zu Beginn erwähnte Zitat von Willy Brandt:

*„Der beste Weg, die Zukunft vorauszusagen ist, sie zu gestalten.“ (Willy Brandt, ehem. deutscher Bundeskanzler und Friedensnobelpreisträger)<sup>91</sup>*

---

<sup>91</sup> Brandt, Willy: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/db/ergebnisse.php?sz=2&stichwort=&kategorie=&autor=Brandt,%20Willy>>, verfügbar am 15.04.2012

# Literatur

## Publikationen in Buchform

Hauff, Volker: Unsere gemeinsame Zukunft – Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. - 1. Aufl. Greven: Eggenkamp, 1987

Von Carlowitz, Hans Carl: Sylvieultura Oeconomica. - 1. Aufl. Leipzig: Johann Friedrich Braun, 1713

Meadow, Dennis L.: Die Grenzen des Wachstums – Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. - 1.Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, 1972

Brandt, Willy: Der Brandt-Report – Bericht der Nord-Süd-Kommission. - 1.Aufl. Frankfurt am Main: Ullstein, 1981

Volger, Helmut: Geschichte der Vereinten Nationen. - 2. Aufl. München: Oldenburger Wissenschaftsverlag, 2008

Grunwald, Armin; Kopfmüller, Jürgen: Nachhaltigkeit. – 1. Aufl. Frankfurt am Main: Campus Verlag GmbH 2006

Kirchgässner, Gebhard: Homo Oeconomicus. – 3. Aufl. Tübingen: Mohr Siebeck, 2008

Baßeler, Ulrich; Heinrich, Jürgen; Utecht; Burkard: Grundlagen und Probleme der Volkswirtschaft. – 19. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2010

Wackernagel, Mathis; Rees, William: Unser ökologischer Fußabdruck – Wie der Mensch Einfluss auf die Umwelt nimmt. – 1. Aufl. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser 1997

Feifel, S.; Walk, W.; Wursthorn, S.; Schebek, L.: Ökobilanzierung 2009 – Ansätze und Weiterentwicklung zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit. – 1. Aufl. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2009

Urban, Arnd I.; Halm, Gerhard: Praktikable Klimaschutz-Potenziale in der Abfallwirtschaft. – 1. Aufl. Kassel: kassel university press GmbH 2010

Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit: Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. – 1. Aufl. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & CoKGaA 2009

Möltner, Clemens: Life Cycle Assessment als Werkzeug zur Entwicklung umweltgerechter Produkte – Strategien zur Implementierung von Ecodesign. – 1. Aufl. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH 2009

Müller, Armin: Umweltorientiertes betriebliches Rechnungswesen. – 3. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH 2010

Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Nachhaltige Entwicklung – Grundlagen und Umsetzung. – 1. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH 2009

Schaltegger, Stefan; Sturm, Andreas: Öko-Effizienz durch Öko-Controlling. – 1. Aufl. Zürich, Stuttgart: vdf Hochschulverlag AG bzw. Schäffer-Poeschl Verlag GmbH 1995

Thielen, Michael; Hartwig, Klaus; Gust, Peter: Blasformen von Kunststoff-Hohlkörpern. – 1. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2006

Meyer, Urs B.; Creux, Simone E.; Weber Marin; Andrea K.: Grafische Methoden der Prozessanalyse – Für Design und Optimierung von Produktionssystemen. – 1. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2005

Finkbeiner, Matthias: Umweltmanagement für kleine und mittlere Betriebe – Die Normenreihe ISO 14000 und ihre Umsetzung. – 2. Aufl. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2012

Berger, Hans-Jürgen: Berechnungen für den Bäderbetrieb. – 1. Aufl. Kalletal: Verlag Hans-Jürgen Berger 2009

Banse, Gerhard; Ryszard, Janikowski; Kiepas, Andrzej: Nachhaltige Entwicklung, transnational. – 1. Aufl. Berlin: Edition Sigma 2011

Kuttler, Wilhelm : Klimatologie. – 1. Aufl. Paderborn: Ferdinand Schöningh Verlag 2009

Fiedler, Hans Joachim: Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten. – 1. Aufl. Renningen: Expert Verlag 2001

Fabian, Peter: Leben im Treibhaus – Unser Klimasystem und was wir daraus machen. – 1. Aufl. Berlin: Springer Verlag 2002

Sanderemann, Heinrich: Ozon - Entstehung, Wirkung, Risiken. – 1. Aufl. München: C. H. Beck Verlag 2001

## Normen

DIN EN ISO 14040, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingung. 2006

DIN EN ISO 14044, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. 2006

DIN Fachbericht 107 / ISO/TR 14049, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anwendungsbeispiele zu ISO 14041 zur Festlegung des Untersuchungsrahmens sowie zur Sachbilanz. 2000

## Quellen aus dem Internet

Song: „Leider Geil“, Interpret: Deichkind, Album: Befehl von ganz unten, Label: Vertigo Berlin (Universal). URL: <[http://www.songtextmania.com/leider\\_geil\\_songtext\\_deichkind.html](http://www.songtextmania.com/leider_geil_songtext_deichkind.html)>, verfügbar am 15.04.2012

Brandt, Willy: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/db/ergebnisse.php?sz=2&stichwort=&kategorie=&autor=Brandt,%20Willy>>, verfügbar am 15.04.2012

Duden Onlinewörterbuch: Definition des Begriffs „Nachhaltigkeit“. URL: <<http://www.duden.de/rechtschreibung/Nachhaltigkeit>>, verfügbar am 11.04.2012

Saint-Exupéry, Antoine de: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/db/ergebnisse.php?sz=3&stichwort=&kategorie=&autor=Saint-Exupery,%20Antoine%20de>>, verfügbar am 15.04.2012

Vereinte Nationen für Umwelt und Entwicklung: Agenda 21 – Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung. URL: <[www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda\\_21.pdf](http://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf)>, verfügbar am 07.03.2012

Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“: Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“. URL: <[dip.bundestag.de/btd/12/082/1208260.pdf](http://dip.bundestag.de/btd/12/082/1208260.pdf)>, verfügbar am 09.03.2012

Disraeli, Benjamin: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/autor/Disraeli%2C+Benjamin/>>, verfügbar am 15.04.2012

Von Hauff, Michael; Kleine, Alexandro: Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck – Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie. URL: <[https://kluedo.ub.uni-l.de/files/1597/Das\\_Integrierende\\_Nachhaltigkeits-Dreieck.pdf](https://kluedo.ub.uni-l.de/files/1597/Das_Integrierende_Nachhaltigkeits-Dreieck.pdf)>, verfügbar am 10.03.2012

Sihler, Helmut: Zitat. URL: <<http://www.zitate.de/autor/Sihler%2C+Helmut/>>, verfügbar am 15.04.2012

Global Reporting Initiative: Leitfaden zur Nachhaltigkeitsberichterstattung. URL: <<https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/German-G3-Reporting-Guidelines.pdf>>, verfügbar am 11.04.2012

Global Footprint Network: Ecological Footprint Atlas 2010. URL: <[www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological\\_Footprint\\_Atlas\\_2010.pdf](http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological_Footprint_Atlas_2010.pdf)>, verfügbar am 16.03.2012

Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 1995 – the science of Climate Change. URL: <[www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg\\_i/ipcc\\_sar\\_wg\\_i\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_i/ipcc_sar_wg_i_full_report.pdf)>, verfügbar am 18.03.2012

BASF: Life Cycle Management – Eco-efficiency Analysis by BASF. URL: <[www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/eco-efficiency-analysis/images/Eco-efficiency\\_Analysis\\_by\\_BASF.pdf](http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/eco-efficiency-analysis/images/Eco-efficiency_Analysis_by_BASF.pdf)>, verfügbar am 21.03.2012

Figge, Frank; Hahn, Tobias: Sustainable Value Added – Ein neues Maß des Nachhaltigkeitsbeitrages von Unternehmen am Beispiel der Henkel KGaA. URL: <[www.sustainablevalue.com/downloads/sustainablevalueaddedeinneuesmadesnachhaltigke.pdf](http://www.sustainablevalue.com/downloads/sustainablevalueaddedeinneuesmadesnachhaltigke.pdf)>, verfügbar am 22.03.2012

Joint Research Centre: Liste von Software-Programmen zur Erstellung von Ökobilanzen. URL: <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm>>, verfügbar am 29.05.2012

Öko-Institut e.V. URL: <[http://www.oeko.de/das\\_institut/dok/558.php](http://www.oeko.de/das_institut/dok/558.php)>, verfügbar am 29.05.2012

Öko-Institut e.V.: Software-Download GEMIS. URL: <[www.gemis.de/gemis471.zip](http://www.gemis.de/gemis471.zip)>, verfügbar am 29.05.2012

Öko-Institut e.V.: Handbuch zu GEMIS. URL: <<http://www.gemis.de/g44handbuch.07.pdf>>, verfügbar am 29.05.2012

Umweltbundesamt: Datenbank PROBAS. URL: <<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>>, verfügbar am 29.05.2012

PlasticsEurope: Eco-profile of plastic products. URL: <<http://www.plasticseurope.org/plastics-sustainability/eco-profiles.aspx>>, verfügbar am 29.05.2012

Umweltbundesamt: Datenbank PROBAS – Prozessliste für LKW und Nutzfahrzeuge.  
URL: <<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/themen.php?&id=13455327232&sid=2&step=3>>, verfügbar am 29.05.2012

STILL GmbH: Technische Daten Elektro-Gabelstapler RX 60. URL: <[www.still.de/downloads.php?filename=RX\\_60\\_25\\_35\\_DE\\_2012\\_TD\\_web.pdf&backuri=elektro-gabelstapler-rx-60-25.0.43.html&type=datasheet](http://www.still.de/downloads.php?filename=RX_60_25_35_DE_2012_TD_web.pdf&backuri=elektro-gabelstapler-rx-60-25.0.43.html&type=datasheet)>, verfügbar am 17.06.2012, S. 2

ITWMima Systems: Technische Daten vollautomatische Wickelmaschine für Palettenladung „Octopus Compact“. URL: <[http://pdf.directindustry.de/pdf/itw-muller/vollautomatische-wickelmaschine-fur-palettenladungen-octopus-compact/15107-81024-\\_2.html](http://pdf.directindustry.de/pdf/itw-muller/vollautomatische-wickelmaschine-fur-palettenladungen-octopus-compact/15107-81024-_2.html)>, verfügbar am 17.06.2012

Google Routenplaner. URL: <[www.maps.google.at](http://www.maps.google.at)>, verfügbar am 14.05.2012



# Danksagung

Mein Dank gilt allen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben. Insbesondere gilt mein Dank

<b>meinen Eltern</b>	für die breite Basis, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre
<b>Christina</b>	für die unendliche Geduld
<b>Gerhard</b>	für die „Just in time“ Korrektur
<b>Prof. Dr. Köbernik</b>	für die perfekte Betreuung
<b>KEMACOS, insb. Stefan Porpaczy</b>	für die Möglichkeit, diese interessante Arbeit zu schreiben und für die gute Unterstützung in der Recherche der Daten
<b>Nora</b>	für die Einführung in das Leben an der BIB



## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Rum, den 22.06.2012

Werner Bachmair