



# Netzwerk Lebenszyklusdaten

Arbeitskreis METHODIK



PE INTERNATIONAL  
EXPERTS IN SUSTAINABILITY

## AP 6 Allokation des AK Methodik

### Projektbericht

im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag  
des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

PE International

Leinfelden-Echterdingen Karlsruhe – Juni 2007

Hrsg.: Forschungszentrum Karlsruhe  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse –  
Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme



Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

## Vorwort

Der vorliegende Projektbericht wird herausgegeben vom Netzwerk Lebenszyklusdaten ([www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de](http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de)).

Das Netzwerk Lebenszyklusdaten ist die gemeinsame Informations- und Koordinationsplattform aller in die Bereitstellung und Nutzung von Lebenszyklusdaten in Deutschland involvierten Gruppen – von Wissenschaft und Wirtschaft über Politik und Behörden hin zu Verbraucherberatung und allgemeiner interessierter Öffentlichkeit. Ziel des Netzwerks Lebenszyklusdaten ist es, das umfangreiche Knowhow auf dem Gebiet der Lebenszyklusdaten innerhalb Deutschlands zusammenzuführen und als Basis zukünftiger wissenschaftlicher Weiterentwicklung und praktischer Arbeiten für Nutzer in allen Anwendungsgebieten von Lebenszyklusanalysen bereitzustellen.

Das Netzwerk Lebenszyklusdaten wird getragen vom Forschungszentrum Karlsruhe. Die vorliegende Studie wurde im Rahmen der Projektförderung (2004 – 2008) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Förderung der Wissenskooperation zum Aufbau und Umsetzung des deutschen Netzwerks Lebenszyklusdaten“ erstellt. Weitere im Rahmen dieser Projektförderung erstellte Studien sind erhältlich unter <http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/content/Projektberichte>.

### Kontakt Netzwerk Lebenszyklusdaten:

E-Mail: [info@netzwerk-lebenszyklusdaten.de](mailto:info@netzwerk-lebenszyklusdaten.de)

Anschrift: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse,  
Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme (ITAS-ZTS)  
Postfach 3640  
76021 Karlsruhe  
[www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de](http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de)



Das Netzwerk Lebenszyklusdaten wird gefördert durch das  
Bundesministerium für Bildung und Forschung



# **AP 6 - Allokation des AK Methodik**

## **Autoren:**

Dr. Martin Baitz  
PE International

Dipl.-Ing. Johannes Kreisig  
PE International

## **Kontakt:**

PE International GmbH  
Hauptstraße 111 – 113  
D – 70771 Leinfelden – Echterdingen

Tel. +49 (0) 711 34 18 17 – 0  
Fax +49 (0) 711 34 18 17 – 25  
E-mail [info@pe-international.com](mailto:info@pe-international.com)  
Internet [www.pe-international.com](http://www.pe-international.com)



## Inhaltsverzeichnis

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Inhaltsverzeichnis .....    | 3   |
| Abbildungsverzeichnis ..... | 4   |
| Tabellenverzeichnis .....   | 5   |
| Nomenklatur .....           | 6   |
| Zusammenfassung .....       | 7   |
| 1                           | Allgemeines..... 8  |
| 1.1                         | Definitionen und Grundsatz nach ISO..... 8  |
| 1.2                         | Grundsatz / Ziel..... 9   |
| 1.3                         | Vorgehensweise..... 9   |
| 2                           | Mögliche Vorgehen bei Mehrproduktsystemen..... 12   |
| 2.1                         | Direkte Verwendung der Koppelprodukte im Prozessnetz..... 15  |
| 2.2                         | Allokation nach einem Kriterium..... 16   |
| 2.3                         | Systemraumerweiterung..... 17   |
| 2.4                         | Substitution..... 18  |
| 2.5                         | Allokation nach mehreren Kriterien (innerhalb eines Prozesses)..... 19                                  |
| 2.6                         | Sonderfall gekoppelte Verwertung (Multi-Input)..... 21  |
| 2.7                         | Zusammenfassende Matrix..... 22   |
| 3                           | Kriterien zur Auswahl geeigneter Allokationsmethoden..... 23  |
| 3.1                         | Allgemein..... 23   |
| 3.2                         | Mengenverteilung (Masse/Molmenge/Normvolumen/Volumen)..... 23   |
| 3.3                         | Energiegehalt, Exergiegehalt..... 23  |
| 3.4                         | Marktwert, Preis, Kosten..... 24  |
| 3.5                         | Inhaltsstoffverteilung (Wertstoffgehalte/Erzgehalte/Ressourcengehalte)..... 24                          |
| 4                           | Wichtige Beispiele von Allokation bei Mehrproduktsystemen..... 25                                       |
| 4.1                         | Raffinerieprodukte..... 26  |
| 4.2                         | Chlor-Alkali-Elektrolyse..... 26  |
| 4.3                         | Steam-Cracker..... 27   |
| 4.4                         | Epichlorhydrin-Synthese..... 27   |
| 4.5                         | Edelmetall-Raffination und Bunt-Metall-Raffination..... 27  |
| 4.6                         | Kraftwerke..... 28  |
| 4.7                         | Verallgemeinerungen..... 28   |
| 5                           | Allokation bei der Weiterverwertung und Weiterverwendung beim Eintritt<br>in neue Lebenszyklen..... 30  |
| 6                           | Aspekte der Methodenwahl und Dokumentation..... 33  |
| 6.1                         | Einfluss der Methodenwahl auf die Allokation Thema: Attributional vs.<br>Consequential Approach..... 33 |
| 6.2                         | Dokumentation von Allokationsschritten..... 35  |
| 7                           | Literaturverzeichnis..... 36  |

---

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Allokation nach mehreren Kriterien am Beispiel Sägewerk..... | 19 |
| Abbildung 2: Recyclingformen und Kreislaufarten IKP 1996 .....            | 30 |
| Abbildung 3: Sekundärmaterial und Recyclingpotential .....                | 31 |

---

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Schlagworte „Direkte Verwendung“ .....                      | 15 |
| Tabelle 2: Schlagworte „Allokation nach einem Kriterium“ .....         | 16 |
| Tabelle 3: Schlagworte „Systemraumerweiterung“ .....                   | 17 |
| Tabelle 4: Schlagworte „Substitution“ .....                            | 18 |
| Tabelle 5: Allokation von Ressourcen und Aufwand/Umwelteinträge“ ..... | 19 |
| Tabelle 6: Schlagworte „Allokation nach mehreren Kriterien“ .....      | 20 |
| Tabelle 7: Matrix der Vorgehensweisen bei Mehrproduktsystemen .....    | 22 |

---

## Nomenklatur

**Abkürzung**

AETP  
AP  
BAT  
COD  
DFE  
EoL  
FAETP  
GWP  
HTP  
IPP  
ISO  
LCA  
LCI  
LCIA  
MAETP  
MSWI  
NP  
ODP  
POCP  
PrEn  
TETP  
TOC

**Erläuterung**

Aquatic Eco-Toxicity Potential  
Acidification Potential  
Best Available Technology  
Chemical Oxygen Demand  
Design for Environment  
End of Life  
Freshwater Aquatic Eco-Toxicity Potential  
Global Warming Potential  
Human Toxicity Potential  
Integrated Product Policy  
International Standard Organisation  
Life Cycle Assessment  
Life Cycle Inventory  
Life Cycle Impact Assessment  
Marine water Aquatic Eco-Toxicity Potential  
Municipal Solid Waste Incineration  
Nitrification oder Eutrophication Potential  
Ozone Depletion Potential  
Photochemical Ozone Creation Potential  
Primary Energy  
Terrestrial Eco-Toxicity Potential  
Total Organic Carbon



## Zusammenfassung

*Präambel:*

*Dies ist ein Dokument für Fachleute, nicht für Laien. Daher ein Gleichnis:*

*Ein Autofahrer, der die Bedienungsanleitung seines KFZ liest, ist noch lange kein verantwortungsbewusster Verkehrsteilnehmer. Genauso wenig ersetzt das Lesen dieser methodischen Grundlagen und Vorgehensweisen wohlwollendes Mitdenken bei Arbeiten mit LCA.*

Die methodischen Vorgaben und Überlegungen stellen eine wichtige Grundlage zum konsistenten Aufbau von Datensätzen und Datenbank dar. Sie adressieren die wichtigen Punkte, können aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit haben. Da die Übertragung der Theorie auf die Praxis des Datenbankaufbaus immer auch Interpretationsspielraum lässt (es handelt sich oft um einen iterativen Prozess), ist hier Situationsbedingtes „Mitdenken“ erforderlich.

Diese Regeln sollten daher wohlwollend gelesen, interpretiert und angewandt werden.

Ferner sind die in diesem Bericht aufgeführten Aspekte als prinzipielle Vorgehensweisen aus übergeordneter Sicht zu verstehen. Die Arbeitsgruppen der jeweiligen Materialien werden fall-spezifische Vorgehen aus dem Blickwinkel der jeweiligen Materialien und Branchen erarbeiten. Dem soll hier nicht vorgegriffen werden.

# 1 Allgemeines

## 1.1 Definitionen und Grundsatz nach ISO

Ausgangspunkt aller Überlegungen ist die „Fluss – Prozess – Systemdefinition“ nach ISO.

Die Definition der Allokation ist: Die Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem oder zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen.

Allokationsverfahren werden benötigt um Systeme zu verrechnen, die mehr als ein Produkt bereitstellen (z.B. Koppel- und Nebenprodukte in der Erdölraffinerie). Die Materialien und die Energieflüsse, sowie dazugehörige Umweltwirkungen werden den unterschiedlichen Produkten entsprechend einem eindeutig beschriebenen Verfahren zugeteilt (dies ist zu dokumentieren und rechtfertigen).

Weitere allgemeine Details siehe prEN ISO 14044 : 2006, Kapitel 4.3.4.2 Allokationsverfahren und 4.3.4.3 Allokationsverfahren für Wiederverwendung und Recycling.

Allozierte Prozesse müssen eindeutig gekennzeichnet sein.

Die Summe aller allozierten Inputs und Outputs der Prozesse muss die Gesamtmenge aller allozierten Inputs und Outputs darstellen.

Einflüsse möglicher verschiedener Verteilungsschlüssel sollten über Sensitivitätsanalysen beschreiben werden.

Allokation kann vermieden werden durch

- a) Aufteilung der Prozesse oder
- b) (sinnvolle ) Systemraumerweiterung (oder Substitution)

Kann Allokation nicht (sinnvoll) vermieden werden sollen physikalische Beziehungen (z.B. Masse, Energieinhalt, Molmengen, Normvolumen) die erste Wahl, nicht physikalische Beziehungen (z.B. Wert, Preis) die zweite Wahl sein.

**Generell gilt aber, dass die Prozessintention durch die Verteilung untermauert werden soll.** Ist es z.B. Ziel eines Prozesses ein heizwertreiches Produkt zu produzieren, macht es keinen Sinn den Hauptteil der Belastungen einem ev. heizwertarmen aber masse-dominantem Produkt zuzuordnen.

Falls Koppelprodukte nur zum Teil Wertstoffe enthalten, ist die Allokation nur auf den Wertstoffteil durchzuführen (Rest ist Abfall). An dieser Stelle spielen ökonomische Kriterien implizit in jedem Fall eine Rolle.

Falls das gleiche Produkt in das System kommt und auch als Nebenprodukt in einem Prozess anfällt sollen gleiche Allokationsregeln angewandt werden.

## 1.2 Grundsatz / Ziel

Oberster Grundsatz einer sinnvollen Allokation in der Praxis ist, dass die Allokation die Prozessintention eindeutig widerspiegeln soll.

Da es keine pauschale Regel gibt, die eine sinnvolle Allokation immer sicherstellt (die gewählte Allokation bzw. die Prozessintention kann abhängig sein vom Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie), ist es wichtig eine einheitliche und sinnvolle Vorgehensweise zur Identifikation der geeignetsten Allokation anzuwenden.

Diese sinnvolle Vorgehensweise zur Identifikation und Formulierung von Auswahlkriterien von geeigneten Allokationsmethoden wird im Folgenden beschrieben.

Dieses Dokument hat eine gewisse übergeordnete Rolle und fokussiert auf eingängig Beispiele um den Sachverhalt kurz zu präzisieren und an den geeigneten Stellen an die jeweiligen Arbeitskreise zu verweisen, die sich im Detail mit der Allokation und den geeigneten Vorgehensweisen je Thematik beschäftigen.

Somit ist es primäres Ziel des Dokumentes, ein vergleichbares Verständnis der Allokationsmethoden und ihrer Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis herzustellen.

## 1.3 Vorgehensweise

Die vorgeschlagene Vorgehensweise gliedert sich in 4 Schritte.

1. Systemabhängigkeiten von Koppelprodukten prüfen
2. Mögliche Allokationsprinzipien identifizieren
3. Eignung (im Hinblick auf Ziel und Untersuchungsrahmen) überprüfen
4. Allokationsprinzip anwenden, dokumentieren und rechtfertigen

Zu 1.) In einem ersten Schritt muss geprüft werden, welche Rolle die Koppelprodukte im System spielen. Dass heißt konkret, dass

- Koppelprodukte zwanghaft anfallen (z.B. durch chemische Gleichgewichtsreaktionen) oder zielgerichtet erzeugt werden können (z.B. durch gewisse Prozessführung). Es ist also durchaus möglich, dass zwanghafte Koppelprodukte keine oder kaum individuelle Prozessenergie oder Edukte bedürfen, zielgerichtet erzeugte Koppelprodukte aber durch Zugabe spezieller Edukte oder energetisch auf sie abgestimmte Prozessführung sehr wohl individuelle Aufwände verursachen. Dies sollte in der Allokation berücksichtigt werden, falls es in relevantem Umfang Einfluss auf das Gesamtergebnis hat.
- nicht jedes vergleichbare Koppelprodukt auch einen vergleichbaren Wert bzw. vergleichbare Verwertungsmöglichkeiten hat (selbst wenn es dieselbe CAS Nr. hat). Somit können chemisch gleiche Produkte unterschiedlich bezüglich Verteilung zu behandeln sein, je nachdem welchem System sie entstammen, wo sie zur Verfügung stehen, wie oder wo sie benötigt werden und in welchem Umfang sie anfallen.

Zu 2.) In einem zweiten Schritt muss geprüft werden, welche möglichen Allokationsprinzipien im System zur Verfügung stehen. Dass heißt konkret, dass

- alle an der Allokation beteiligten Flüsse in einer ihrer physikalischen oder nicht-physikalischen Eigenschaft übereinstimmen müssen, nach der schlussendlich verteilt werden soll. Zum Beispiel können in einem Kraftwerk die Verbräuche und Emissionen des Stroms, der Wärme und des REA-Gips nicht einfach nur nach Energie verteilt werden, da sonst der REA-Gips lastenfrei mit 0 MJ/kg Energieinhalt zur Verfügung steht. Dies ist nicht gerechtfertigt, da der REA-Gips ein Baumaterial von Wert ist, und Kraftwerksbetreiber die Fahrweise der Anlage mit Blick auf den gewünschten REA-Gips nicht völlig entkoppeln.
- alle physikalischen oder nicht-physikalischen Eigenschaften, die allen Koppelprodukten zugewiesen werden können, identifiziert werden.

Zu 3.) In einem dritten Schritt wird die Eignung der möglichen Allokationsprinzipien im System geprüft. Dass heißt konkret, dass

- geprüft wird, ob die physikalischen oder nicht-physikalischen Eigenschaften sinnvolle Verteilungsergebnisse liefern oder offensichtlich nicht sinnvolle Allokationen vorliegen. Es können mögliche Abhängigkeiten der Eignung der Allokationsregel von „Ziel und Untersuchungsrahmen“ vorliegen. Soll zum Beispiel ein Steam Cracker verteilt werden, haben alle (vergleichbaren) Produkte eine „wertvolle“ Eigenschaft, die auch deren weitere Verwendung zum Großteil beeinflusst: den Energieinhalt. Somit eignet sich der Energieinhalt als Verteilungsschlüssel, da die Verhältnismäßigkeiten sinnvoll wiedergegeben werden. Diese Eigenschaft könnte also offensichtlich ein geeigneter Allokationsschlüssel sein. Handelt es sich bei den zu allozierenden Produkten eher um Nebenprodukte (z.B. ein anorganisches Salz als Nebenprodukt einer organischen Synthese), sollten sinnvolle Verteilungsergebnisse dem Nebenprodukt nur einen geringen Teil der Lasten zuschreiben. Hier könnte der Marktwert ein sinnvolles Kriterium sein (Bem.: Wenn der Marktwert „Null“ ist und sich z.B. eine andere Industrie bereit erklärt, das Nebenprodukt kostenneutral zu „übernehmen“, trägt das Hauptprodukt 100% der Herstellung, doch die „Entsorgung“ des Nebenproduktes geschieht zu Lasten des anderen Prozesses. Das heißt, durch die Allokation mit dem Faktor Marktwert „Null“ spart sich der Hersteller die Entsorgung.).
- falls keine sinnvollen physikalischen oder nicht-physikalischen Eigenschaften vorliegen, ist es ratsam „manuell“ zu verteilen (d.h. die Lasten manuell, zum Beispiel durch Werteinschätzung, zu verteilen). Diese Vorgehensweise ist zwar nicht streng reglementiert, doch besteht dadurch die Möglichkeit sinnvoller zu verteilen, indem man nicht auf offensichtlich nicht sinnvolle physikalische Zusammenhänge zurückgreifen muss, die die Prozessintention nicht annähernd wiedergeben. Diese Vorgehensweise erlaubt es die real entstehenden Lasten nach dem Verursacherprinzip zu verteilen und dementsprechend gerechter aufzuteilen.

Zu 4.) In einem vierten Schritt wird das gewählte Allokationsprinzip dokumentiert, angewendet und gerechtfertigt. Die Rechtfertigung kann dabei auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen.

Sollten mehrere sinnvolle Allokationsschlüssel existieren, ist eine Sensitivitätsanalyse ein gutes Mittel den Einfluss der Wahl zu quantifizieren, darzustellen und zu analysieren.

Sollte durch die Sensitivitätsanalyse deutlich werden, dass die Allokationsschlüssel keinen relevanten Einfluss auf das Gesamtergebnis haben, braucht die Wahl eines Allokationskriteriums auch nicht weiter gerechtfertigt werden.

Sollte durch die Sensitivitätsanalyse deutlich werden, dass die Allokationsschlüssel relevanten Einfluss auf das Gesamtergebnis haben, sollte dieser quantifiziert werden. Somit kann dann zunächst der Rahmen möglicher Abweichungen im Ergebnis „eingegrenzt werden“. Dann sollten die Argumente, die zur Wahl in Punkt 3 geführt haben, aufgearbeitet werden. Es sollte entweder deutlich werden, warum die Wahl auf den entsprechenden Allokationsschlüssel fiel oder warum kein anderer sinnvoll ist.

Im Zeitalter der software-gestützten Modellierung von Lebenszyklusanalysen bietet es sich auch an, unterschiedliche Szenarien zu rechnen und in den Ergebnissen „Fehlerbalken“ entsprechend der Allokationsvarianzen auszuweisen.

## 2 Mögliche Vorgehen bei Mehrproduktsystemen

Bevor die einzelnen Möglichkeiten der Allokation, Systemraumerweiterung bzw. Substitution erläutert werden, wird kurz auf das in der Norm so hervorgehobene Vermeidungsprinzip der Allokation eingegangen.

Die Norm ISO 14044 : 2006 sagt: Im Rahmen der Studie müssen die Prozesse gekennzeichnet werden, die mit anderen Produktsystemen gemeinsam benutzt werden, und diese entsprechend dem nachfolgend dargestellten schrittweisen Verfahren behandelt werden:

a) **Schritt 1: Wo auch immer möglich, sollte eine Allokation vermieden werden durch**

- 1) Teilung der betroffenen Prozessmodule in zwei oder mehrere Teilprozesse und Sammlung der Input- und Outputdaten bezogen auf diese Teilprozesse oder
- 2) Erweiterung des Produktsystems durch Aufnahme zusätzlicher Funktionen, die sich auf Koppelprodukte beziehen [...].

b) **Schritt 2:** Wenn eine Allokation nicht vermieden werden kann, sollten die Inputs und Outputs des Systems zwischen ihren unterschiedlichen Produkten oder Funktionen so zugeordnet werden, dass die zugrunde liegenden **physikalischen Beziehungen zwischen ihnen widerspiegelt werden**; d. h., diese sollten die Art und Weise widerspiegeln, in der sich Inputs und Outputs durch quantitative Änderungen in den vom System gelieferten Produkten oder Funktionen verändern.

c) **Schritt 3:** Wenn physikalische Beziehungen allein nicht aufgestellt oder nicht als Grundlage für die Allokation benutzt werden können, sollten die Inputs zwischen den Produkten und Funktionen so zugeordnet werden, dass sich darin **andere Beziehungen zwischen ihnen widerspiegeln**. Zum Beispiel können Daten auf der Input- und Outputseite im Verhältnis zum ökonomischen Wert der Produkte den Koppelprodukten zugeordnet werden.

Man könnte annehmen, dass die Allokation vermieden werden sollte, weil sie eine qualitativ ungünstigere Lösung als die Teilung oder die Erweiterung darstellt. **DAS IST NICHT DER FALL. Allokation, Teilung der Prozessmodule, Systemraumerweiterung und Substitution stellen gleichberechtigte Möglichkeiten im Rahmen des jeweiligen Ziel und Untersuchungsrahmen dar.**

Die Überprüfung der Sinnhaftigkeit ist jedoch unterschiedlich aufwendig.

Die Norm zielt deshalb vielmehr auf eine konsistente Reihenfolge der Überprüfung der unterschiedlichen Möglichkeiten von Allokation, Teilung der Prozessmodule, Systemraumerweiterung und Substitution (siehe oben Schritt 1 bis 3).

Die Teilung der Prozessmodule in zwei oder mehrere Teilprozesse und Sammlung der Input- und Outputdaten bezogen auf diese Teilprozesse ist wohl der in der Praxis am seltensten sinnvolle bzw. mögliche Weg, da die Aufteilung in Prozessmodule im Normalfall schon vor der ersten Allokation geschehen ist. Diese Aufteilung richtet sich meist nach den prozess- und verfahrenstechnischen Randbedingungen der zu untersuchenden Prozesse und nicht nach methodischen Möglich- oder Notwendigkeiten.

*Beispiel: Es soll eine Polyamid-Herstellung untersucht werden. Hierzu ist z.B. Acrylnitril nötig. Eine bekannte chemische Synthese liefert Acrylnitril, Acetonitril und Cyanwasserstoff als Koppelprodukte. Die nötigen Inputs Ammoniak, Dampf, Propen, Wasser, Schwefelsäure, Strom, Thermische Energie und Luft können nicht aufgeteilt werden, da (Gleichgewichts-) Reaktionen zwischen den am Ende isolierten Koppelprodukten und (chemisch instabilen) Zwischenprodukte ablaufen. Die Output-Emissionen entstehen nicht gleichzeitig, sondern auch als Ergebnis von (Gleichgewichts-) Reaktionen, was die (sinnvolle und verursacherge-rechte) Aufteilung auf die Koppelprodukte unmöglich macht.*

Option 1) „Teilung“ aus Schritt 1 scheidet für alle chemischen Synthesen und für sehr viele weitere komplex gekoppelte Produktionsschritte aus.

Option 1 ist somit in der Norm die erstgenannte, da sie meist schnell auf „Nichteignung“ geprüft werden kann.

Die Erweiterung des Produktsystems durch Aufnahme zusätzlicher Funktionen, die sich auf Koppelprodukte beziehen, ist in der Reihenfolge der Norm als zweite Option genannt. Dies ist mit Blick auf konsistente Ergebnisse (von Vergleichen) eine richtige Schlussfolgerung.

*Erweiterung des Beispiels: Ziel der Untersuchung (und des Vergleiches) wäre dann nicht mehr nur „Polyamid“ (aus Acrylnitril) sondern „Polyamid, Acrylnitril, Acetonitril und Cyanwasserstoff“ in den entsprechend anfallenden Mengen bezogen auf den Zieloutput Polyamid. Die Daten der Koppelproduktroute könnten ohne Verteilung direkt in der Polyamid-Herstellung verwendet werden. Untersucht man nun eine Alternativroute in der kein Acrylnitril benötigt, muss man die Daten zu Acetonitril und Cyanwasserstoff zusätzlich aufnehmen, um die Vergleichbarkeit herzustellen. Dies kann sehr aufwendig werden. Neben den Prozessinformationen zur Acetonitril- und Cyanwasserstoff-Herstellung wären noch Informationen zur Chlor-, Natriumhydroxid-, Ethylenamin-, Ethylendichlorid-, Ethen-, Schwefelsäure-, Ammoniak-, Methan-Herstellung...usw. nötig. Man erkennt, dass an dieser Stelle mit der Entscheidung der Allokationsvermeidung durch Erweiterung eher mehr Allokation hinzukommen können (viele der Erweiterungsprozesse beinhalten ebenfalls wieder Allokationen), anstatt das Problem zu verkleinern.*

Option 2) „Erweiterung des Produktsystems“ aus Schritt 1 scheidet daher auch oft auf Grund vieler Prozesse und Produktionsschritte aus.

**Ergo:** Die Allokation ist keine zweitrangige Methode sondern ein sehr wichtige und extrem hilfreiche Methode im Rahmen einer zielgerichteten Auswertung. Es ist kein Problem, die Einflüsse von verschiedenen Allokationsschlüsseln auf das Ergebnis in Sensitivitätsanalysen transparent, schnell und klar darzustellen. Dies ermöglicht heute eine konsistente und folgegerechte Auswertung von Allokationen beinhaltenden Produktsystemen.

Die Allokationsvermeidung steht in der Norm an erster Stelle, da die Möglichkeit bzw. Unmöglichkeit der Teilung bzw. Erweiterung meist schneller und einfacher abgeklärt werden können (durch gegebenes Ziel und Untersuchungsrahmen, Zeitgrenzen, Daten (-bank) Verfügbarkeit, usw. in der gegebenen individuellen Situation) und man sich nach Ausschluss dieser Möglichkeiten dann auf das Prozedere zu einer (sinnvollen) Allokation befassen kann.

Im Folgenden werden die 5 grundlegenden Möglichkeiten der Behandlung von Mehrproduktsystemen (Direkte Verwendung, Allokation nach einem Kriterium, Systemraumerweiterung, Substitution, Allokation nach mehreren Kriterien) diskutiert.



## 2.1 Direkte Verwendung der Koppelprodukte im Prozessnetz

Die direkte Verwendung im Prozessnetz ist die sinnvollste Verwendungsmöglichkeit, falls sichergestellt werden kann, dass das (Neben-) Produkt auch direkt im System Verwendung findet.

*Beispiel: In einer organischen Synthese fällt unreines Ethen an, das gereinigt wird. Nach diesem Schritt liegt reines Ethen und Brenngas vor. Das Brenngas könnte nun verteilt oder substituiert werden oder aber zur Bereitstellung von thermischer Energie im gleichen System genutzt werden. Handelt es sich um entkoppelte bzw. frei geschnittene Sub-Systeme aus integrierten Produktionen, ist zu prüfen, ob die thermische Energie aus dem Ethen tatsächlich für die Produktion der Zielsubstanz eingesetzt wird.*

Die direkte Verwendung macht oft nur für energetische Nebenprodukte Sinn.

|  |
|--|
| <b>Bedingungen</b>   |
| Nebenprodukt muss für die Herstellung des Hauptproduktes auch verwendet werden             |
|  |
| <b>Vorteil</b>   |
| Koppelprodukte in der Auswertung nicht mehr vorhanden, keine inversen Substitutionseffekte |
| Einfache Begründung, closed-loop   |
| Kein Verteilungsschlüssel nötig  |
|  |
| <b>Nachteil:</b>   |
| Annahmen müssen immer überprüft werden   |
| Technisches Hintergrundwissen benötigt (Recherche, Erfahrung)                              |

**Tabelle 1: Schlagworte „Direkte Verwendung“**

## 2.2 Allokation nach einem Kriterium

Wie oben bereits erläutert, kann die Allokation nicht nur sinnvoll sondern auch notwendig sein, da zum Beispiel keine Teilung oder Systemraumerweiterung möglich ist.

Unter Allokation nach einem Kriterium versteht man die Verteilung aller Inputs und Outputs entsprechend der den Prozess verlassendem Quantum an ein und demselben Kriterium der Produkte.

*Beispiel: In der Chlor-Alkali-Elektrolyse fallen Chlor, Natriumhydroxid und Wasserstoff mengenmäßig ca. im Verhältnis (1:1:0,025) an. Alle Produkte gehen auf die gleichen Ressourcen Steinsalz und Wasser zurück. Da alle Produkte unter Berücksichtigung ihrer Masse eingesetzt werden, kann ein Kriterium wie zum Beispiel die produzierte Masse (oder auch Preis oder Marktwert) in der Allokation angewendet werden. Alle Inputs (Ressourcen) und Outputs (Emissionen) werden dann anteilig der produzierten Masse verteilt.*

Die Verhältnisse werden verursachergerecht abgebildet.

|   |
|---|
| <b>Bedingungen</b>  |
| Gleiche Eigenschaften (Masse, Energie...)   |
| Verteilung der Eigenschaften spiegelt Intention wieder (Hauptzielprodukt trägt auch Hauptlasten).   |
|   |
| <b>Vorteil</b>  |
| „Wegverteilung“ (Koppelprodukte nicht mehr vorhanden)   |
| Summe aller Teilprozesse spiegelt die Realität wieder (ist gleich Gesamtprozess), dies ist Grundvoraussetzung für alle Allokationen                           |
| Einfache Begründung (transparente Aufteilung nach Masse, Energie, Preis...)   |
|   |
| <b>Nachteil:</b>  |
| Diskussionspunkt welcher Allokationsschlüssel der richtige ist  |
| Entweder stimmt die Massen- oder die Energiebilanz, bei Allokation nach Preis weder die Massen- noch die Energiebilanz – pro Einzel- bzw. allokiertem System. |

**Tabelle 2: Schlagworte „Allokation nach einem Kriterium“**

## 2.3 Systemraumerweiterung

Entsprechend Ziel und Untersuchungsrahmen kann auch die Systemraumerweiterung in Mehrproduktsystemen angewendet werden.

Der eigentliche Untersuchungsrahmen wird somit erweitert (siehe Beispiel oben). Bei der Systemraumerweiterung wird nun neben Polyamid auch Acetonitril und Cyanwasserstoff und deren Umweltwirkungen untersucht. Es steht nun nicht mehr nur ein Produkt und dessen Wirkungen zur Diskussion, sondern unter Umständen (falls mehrere Mehrproduktsysteme auftreten) eine mitunter große Menge an unterschiedlichen Produkten.

Daher kann die Systemraumerweiterung unter Umständen die Ergebnisinterpretation „verwässern“, da der Fokus auf den eigentlichen Kern der Untersuchung verloren gehen kann. Vor allem in praxisnahen Untersuchungen, die z.B. zeitnah in der Forschung und Entwicklung eingesetzt werden sollen, ist dies oft nicht zuträglich. Hier wird Systemraumerweiterung oft vermieden und nur das eigentliche Produkt „freigeschnitten“ und analysiert.

In einfacheren Fällen (z.B. wenn nur ein verhältnismäßig einfaches Nebenprodukt auftaucht, um das erweitert werden muss) kann Systemraumerweiterung sehr sinnvoll sein, falls z.B. auch geeignete Allokationen schwierig erscheinen.

|   |
|---|
| <b>Bedingungen</b>  |
| Zeitbudget vorhanden (ev. aufwendig)  |
| Wissen und Daten über Erweiterungsprozesse vorhanden (ev. viele).   |
|   |
| <b>Vorteil</b>  |
| Funktioniert auch ohne Vorliegen eines Allokationsschlüssels  |
|   |
| <b>Nachteil:</b>  |
| Ev. sehr große Systeme  |
| Ev. undurchsichtige Analyse<br>Ergebnis ist ev. stark von den gewählten Erweiterungsprozessen abhängig, damit kann die Wahl der Methode ergebnisbestimmend werden<br>Funktioniert eigentlich nur stabil, wenn es sich bei den Erweiterungsprozessen um Prozesse handelt, die einen großen Markt (Commodities) oder eine einzige Herstellroute haben |

**Tabelle 3: Schlagworte „Systemraumerweiterung“**

## 2.4 Substitution

Unter Substitution versteht man das Herausrechnen der Umweltwirkungen der Nebenprodukte aus dem Gesamtsystem (ähnlich wie die Allokation lediglich anhand einer anderen Vorgehensweise). Dabei werden die Umweltwirkungen einer Alternativ-Herstellungsrouten des Nebenproduktes vom Gesamtsystem subtrahiert. Ergebnis sind dann die um die Umweltwirkungen des Nebenproduktes bereinigten Umweltwirkungen des Hauptproduktes.

Methodisch betrachtet ist die Substitution ebenfalls eine Systemraumerweiterung, nur dass der erweiterte Teil bei beiden Systemen nach der Erweiterung abgezogen wird, so dass nur noch das gewünschte Produkt übrig bleibt.

*Beispiel: Im obigen Beispiel der Produktion von Acrylnitril, Acetonitril und Cyanwasserstoff“ würde das bedeuten, dass im Falle des Hauptproduktes Acrylnitril für Cyanwasserstoff die Umweltwirkungen einer Alternativ-Herstellungsrouten (z.B. über Erdgas und Ammoniak) vom System subtrahiert werden, um nur noch den Teil der Umweltwirkungen des Acrylnitril als Resultat vorzufinden.*

Hierbei ist die Wahl der Alternativ-Herstellungsrouten von immenser Bedeutung. Werden z.B. nicht mehr repräsentative Prozesse mit unverhältnismäßig hohen Umweltlasten substituiert, kommt es zu unverhältnismäßig guten Ergebnissen für das Hauptprodukt, da „zu viel“ Umweltlast herausgerechnet wurde.

Daher ist wichtig nur höchst repräsentative Alternativ-Herstellungsrouten oder so genannte „Best Available Technologie“<sup>1</sup> Prozesse zu subtrahieren. Die Verwendung der BAT Prozesse entspricht einem konservativen Ansatz.

**Tabelle 4: Schlagworte „Substitution“**

|  |
|--|
| <b>Bedingungen</b>   |
| Alternativ-Herstellungsrouten muss vorhanden sein (z.B. BAT)   |
| Alternativ-Herstellungsrouten sollte deutlich weniger Umweltlasten als betrachtetes Mehrproduktsystem haben (ansonsten Definition Hauptprodukt – Nebenprodukt prüfen)        |
| <b>Vorteil</b>   |
| Herausrechnung des Nebenproduktes (Koppelprodukt nicht mehr vorhanden)   |
| Kein Allokationsschlüssel notwendig  |
| Quantifizierung von Gutschriften (inverse Prozesse)  |
| <b>Nachteil:</b>   |
| Charakteristik des Alternativprozesses stimmt u.U. nicht mit der Charakteristik des Kopplungsprozesses überein (z.B. Emissionen im Input bzw. negative Emissionen im Output) |
| Interpretation der Gesamtwirkungen durch Gutschriften oft nicht mehr transparent möglich   |

<sup>1</sup> BAT .Prozesse sind die jeweils aktuell besten (umweltfreundlichsten) Prozesse des zu substituierenden Prozesses.

## 2.5 Allokation nach mehreren Kriterien (innerhalb eines Prozesses)

Unter Allokation nach mehreren Kriterien versteht man die Verteilung aller Inputs und Outputs entsprechend der den Prozess verlassendem Quantum an verschiedenen Kriterien. D.h. verschiedene Produkte werden in einem Produktionsprozess hergestellt, der Aufwand an Energie und Vorketten sowie die Emissionen werden den Produkten jedoch nach unterschiedlichen Kriterien zugeordnet. Ziel hierbei ist eine besonders verursachergerechte Aufteilung bei Wahrung von Stoff- und Energiebilanzen für das Gesamtsystem.

*Beispiel: In einem Sägewerk werden Schnittholz, Hackschnitzel und Sägespäne hergestellt. Die Allokation des Aufwands und der Umwelteinträge der jeweiligen Prozesskette erfolgt nach ökonomischem Wert der Produkte/Outputs (verursachergerechte Aufteilung). Die Allokation der Ressourcen erfolgt nach physikalischer Zuordnung. Ein Sägewerk produziert aus 1000 kg Input folgende Produkte: 500 kg Schnittholz, 200 kg Späne und 300 kg Hackschnitzel. Die Verteilung der Ressourcen erfolgt nach Masse. Der Erlös für die Produkte ist 250,- € für das Schnittholz, 20,- € für die Späne und 45,- € für die Hackschnitzel. Daraus ergibt sich folgende Verteilung:*

Abbildung 1: Allokation nach mehreren Kriterien am Beispiel Sägewerk

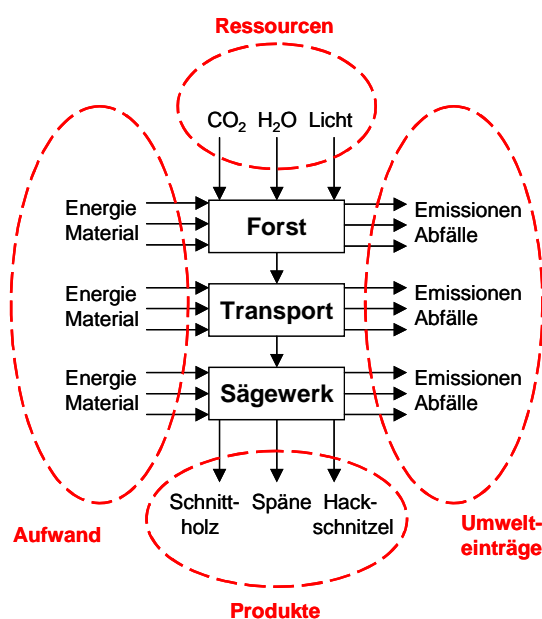


Tabelle 5: Allokation von Ressourcen und Aufwand/Umwelteinträge“

|                            | Schnittholz | Späne | Hackschnitzel |
|----------------------------|-------------|-------|---------------|
| Ressourcen (Holz)          | 50%         | 20%   | 30%           |
| Aufwand und Umwelteinträge | 79%         | 6%    | 15%           |

Somit sind die Ressourcenmengen physikalisch verteilt - was für konsistente Energie und Stoffbilanzen im Gesamtsystem wichtig ist – und der Aufwand und die Umwelteinträge sind entsprechend der Prozessintention (höherer Wert – höhere Wahrscheinlichkeit, dass der Prozess mit Blick auf dieses Produkt gefahren wird – höherer Ertrag - höhere Umweltlasten).

Wird diese Vorgehensweise konsistent über die Prozesskette angewandt, kann man Datensätze erstellen, bei denen sowohl die Prozessintention als auch die Stoffbilanz der Ressourcen stimmt.

*Beispiel: Die Herstellung von Blei und Zink aus vergesellschafteten Erzen erfordert die Allokation der beiden Metalle. Dies hat bei Allokation nach einem Kriterium zur Folge, dass die Metallbilanz (Ressource – Produkt) nicht stimmt, da ein Teil des Metallanteils der Ressource dem Koppelprodukt zugerechnet wurde. Bei direkter Zuordnung des Metall-Stoffstroms über den Metallgehalt der Produkte und Allokation des Aufwands (Energie, Hilfsstoffe, Verluste) und der Abfälle entsprechend der Massenverteilung kann dieses Problem vermieden werden.*

**Tabelle 6: Schlagworte „Allokation nach mehreren Kriterien“**

|  |
|--|
| <b>Bedingungen (siehe Allokation nach einem Kriterium, zusätzlich...)</b>                    |
|  |
| <b>Vorteil (siehe Allokation nach einem Kriterium, zusätzlich...)</b>                        |
| Besonders verursachergerechte Verteilung, bei Wahrung der Stoff- und Energiebilanzen möglich |
| Ermöglicht „Ressourcenkorrigierte Allokation“ falls über Prozesskette konsistent angewendet  |
|  |
| <b>Nachteil (siehe Allokation nach einem Kriterium, zusätzlich...)</b>                       |
| Mehr Information nötig   |
| Höherer Aufwand zur Dokumentation  |

## **2.6 Sonderfall gekoppelte Verwertung (Multi-Input)**

Verschiedene Produkte werden innerhalb eines Prozesses gemeinsam verwertet, eine getrennte Verwertung ist aufgrund technologischer Randbedingungen in dieser Anlage nicht möglich (z.B. Müllverbrennungsanlage, Deponie)

Die Allokation erfolgt auf der Basis der physischen Stoffströme und Umweltauswirkungen, die mit den Inputs verknüpft sind bzw. wie sie den folgenden Produktionsprozess beeinflussen.

## 2.7 Zusammenfassende Matrix

In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Aspekte der verschiedenen Vorgehensweisen im Überblick dargestellt.

**Tabelle 7: Matrix der Vorgehensweisen bei Mehrproduktsystemen**

|   | <b>Allokation (ein oder mehrere Kriterien)</b>      | <b>Systemraum-Erweiterung</b>   | <b>Substitution</b>   |
|---|---|---|---|
| Nebenprodukt-Output wird überwiegend oder fast ausschließlich nur über diese eine Route hergestellt                     | sinnvoll  | wenig sinnvoll, da alternativ Prozess nur virtuell vorhanden          | wenig sinnvoll, da alternativ Prozess nur virtuell vorhanden  |
| Sehr viele Nebenprodukt-Outputs in geringer Menge und geringem Wert fallen an   | sinnvoll  | wenig sinnvoll, da hoher Modell-Aufwand und wenig Effekt zu erwarten. | sinnvoll  |
| Wenige Nebenprodukt-Outputs mit hohem Wert  | sinnvoll  | sinnvoll  | oft weniger sinnvoll, da Alternativroute wahrscheinlich nicht vergleichbare Charakteristik aufweist |
| Nebenprodukte, denen keine sinnvollen gemeinsamen Eigenschaften zugewiesen werden können.                               | wenig sinnvoll, da Zuteilung der Lasten willkürlich | sinnvoll  | sinnvoll  |
| Nebenprodukte, die auf das Ergebnis keinen Einfluss haben (sollen).   | sinnvoll  | wenig sinnvoll, da Ergebnisinterpretation verwässert wird             | sinnvoll  |
| Quasi marktwertlose Nebenprodukte, die jedoch einen Teil der Ressource beanspruchen und weiter verwendet werden können. | Sinnvoll (nach mehreren Kriterien)                  | Sinnvoll, wenn möglich  | wenig sinnvoll, da meist kaum Alternativroute vorliegt  |



### 3 Kriterien zur Auswahl geeigneter Allokationsmethoden

Im Folgenden sollen die wichtigsten Aspekte der Wahl geeigneter Allokationsmethoden diskutiert werden, um den Weg in Richtung einer geeigneten Auswahl weiter zu systematisieren.

#### 3.1 Allgemein

Einige Outputs können teils Koppelprodukte und teils Abfall sein. In solchen Fällen ist es notwendig, das Verhältnis zwischen den Koppelprodukten und dem Abfall zu ermitteln, da die Inputs und Outputs nur den Koppelprodukten zugeordnet werden dürfen.

Im betrachteten System muss für ähnliche Inputs und Outputs ein einheitliches Allokationsverfahren angewendet werden. Wird zum Beispiel eine Allokation für nutzbare Produkte (z. B. Zwischenprodukte oder Wertstoffe) durchgeführt, die das System verlassen, muss dieses Allokationsverfahren dem Allokationsverfahren für entsprechende dem System zugeführte Produkte gleichen.

Die Sachbilanz beruht auf Massenbilanzen zwischen Input und Output. Allokationsverfahren sollten deshalb so genau wie möglich solchen grundlegenden Input-Output-Beziehungen oder –Kennwerten entsprechen.

Mögliche Allokationskriterien sind: Masse, Molmenge, Normvolumen, Volumen, Energiegehalt, Exergiegehalt, Marktwert, Preis, Kosten, Wertstoffgehalt oder Ressourcegehalt.

Alle zu verteilenden Outputs eines gleichen Prozesses müssen das gewählte Allokationskriterium besitzen (ansonsten wird der entsprechende Output mit „0“ lastenfrei wegverteilt).

Im Folgenden werden nun Aspekte diskutiert, die die Auswahl einer etwaigen Allokationsmethode rechtfertigen.

#### 3.2 Mengenverteilung (Masse/Molmenge/Normvolumen/Volumen)

Alle Haupt- und Nebenprodukte sollten mit Fokus auf ihre Masse eingesetzt werden und der Anteil an Nebenprodukten als Vor- oder Endprodukt anderweitig relativ problemlos verwendet werden.

Die Produktmasse oder -menge sollte den Wert des Produktes ungefähr widerspiegeln (z.B. Schüttgüter, Grundchemikalien).

#### 3.3 Energiegehalt, Exergiegehalt

Alle Haupt- und Nebenprodukte werden mit Fokus auf ihren Energieinhalt eingesetzt und der Anteil an Nebenprodukten kann als Vor- oder Endprodukt anderweitig problemlos verwendet werden.

Der Energieinhalt spiegelt den Wert des Produktes wieder (z.B. bei Brennstoffen die „Arbeitsfähigkeit“).

Die Herstellung der Hauptprodukte und Nebenprodukte ist mit Blick auf deren Energieinhalt optimiert oder eingestellt (Steam Cracker).

### **3.4 Marktwert, Preis, Kosten**

Der Wert der Hauptprodukte lässt sich nicht einheitlich über Masse oder Energie beschreiben, da entweder geringe Massenanteile einen sehr hohen Wert (z.B. Edelmetalle im Vergleich zu Nichteisenmetallen) oder große Massenanteile einen sehr geringen Wert haben und/oder nicht alle Produkte mindestens ein gemeinsames sinnvolles physikalisches Allokationskriterium besitzen.

Der ökonomische Wert spiegelt den Wert des Produktes wieder.

Es ist technisch möglich, das Produktspektrum zu variieren und die Prozessintention wird überwiegend durch den ökonomischen Wert der Produkte bestimmt.

### **3.5 Inhaltsstoffverteilung (Wertstoffgehalte/Erzgehalte/Ressourcengehalte)**

Der Wert der Hauptprodukte lässt quasi ausschließlich über die Menge an enthaltenem Wertstoff, Rohstoff oder Ressource beschreiben. Die Wertschöpfung des Prozesses liegt also in der Konzentration der Inhaltsstoffe.

## 4 Wichtige Beispiele von Allokation bei Mehrproduktsystemen

Um die Vorgehensweise greifbarer zu machen, werden einige wichtige Mehrproduktsysteme im Beispiel diskutiert. Die prinzipiellen Aspekte lassen sich dann auf andere Beispiele innerhalb gewisser Gruppen von Mehrproduktsystemen übertragen.

Innerhalb dieser Gruppen von Mehrproduktsystemen tauchen prinzipielle Parallelen auf. Im Folgenden sind die wichtigsten Gruppen von Prozessen aufgelistet, die vergleichbaren Allokationsbedingungen unterworfen sind.

- **Nicht-Eisen-Metall-Prozesse** aus vergemeinschafteten Erzen wie z.B. Blei-Zink-Silber-Erz, Kupfer-Gold-Erz, Kupfer-Gold-Silber-Erz, Kupfer-Molybdän-Gold-Silber-Erz, Kupfer-Silber-Erz, Edelmetallerze, Seltene Erden Erze, Zink-Blei-Kupfer-Erz, Zink-Blei-Silber-Erz, Zink-Blei-Erz, Zink-Kupfer-Erz
- **Brenn- und Kraftstoffe** wie z.B. Raffinerieprodukte, Benzine, Heizöle, Brenngase, Rohbenzine, Synthesegase
- **Produkte organischer Synthesen** wie z.B. Alkane, Alkene, Alkine, Butadiene, BTX, Glycole, Ether, Ester, Diöle.
- **Produkte anorganischer Synthesen** wie z.B. anorganische chemische Grundstoffe wie Chlor, Natriumhydroxid, Salze, Chloride, Sulfate.
- **Transporte** wie z.B. LKW, Schiffe, Bahn, Pipeline
- **End-Energieerzeugungsprozesse** wie z.B., Braunkohle-Kraftwerke, Torf-Kraftwerke, Öl-Kraftwerke, Erdgas-Kraftwerke, Biogas-Kraftwerke, Hochofengas-Kraftwerke, Steinkohle-Kraftwerke, Holzfeuerung-Kraftwerke, Deponiegas-Kraftwerke
- **Alternative End-Energieerzeugungsprozesse** wie z.B. Wasserkraftwerke, Windkraftwerke, Gezeitenkraftwerke, Geothermiekraftwerke.
- **Agrarprozesse** wie z.B. Getreideanbau, Futtermittelanbau, Faseranbau.
- **Entsorgungsprozesse** wie z.B. Müllverbrennung, Deponie

Im Folgenden werden einige wichtige Beispiele konkret herausgegriffen und charakterisiert.

#### 4.1 Raffinerieprodukte

Die Raffinerie verlassen sehr viele heizwertreiche Produkte. Gase, Benzine, Öl, und Rückstände. Eine reine Massenverteilung scheidet recht schnell aus, da die Charakteristik und der Wert des Produktes eher über dessen Heizwert (Energieinhalt) bestimmt sind. Jedoch ist z.B. der Wert von Benzin im Verhältnis zum schweren Heizöl höher als das Verhältnis der Heizwerte an sich.

Des Weiteren sollte der Energieinhalt dieser Raffinerieprodukte nicht höher sein als der Energieinhalt des zugeordneten Rohöls. Wäre das der Fall könnte man in einem System ein Quantum an End-Energie einsetzen, dass energetisch auf eine kleinere Menge Primärenergie zurückzuführen wäre. Das macht keinen Sinn. Eine Tonne Benzin mit ca. 43 GJ Energieinhalt sollte ein Rohölverbrauch von > 43 GJ Energieinhalt zugeordnet sein.

Die Summe der Rohölverbräuche aller Raffinerieprodukte muss dem Energieinhalt des gesamten eingesetzten Rohöl entsprechen.

Somit empfiehlt es sich meist, die benötigten Rohöl Ressourcen der zugeordneten Produkte entsprechend ihrem Energieinhalt zu verteilen.

Die Aufwendungen, um die Raffinerie zu betreiben, und die zugeordneten Emissionen müssen nicht zwanghaft dem Energiekriterium entsprechen. Da die verfahrenstechnische Fahrweise der Raffinerien auf die Produktion von Benzin und Diesel abgestimmt ist, macht es durchaus Sinn, diesen Produkten eine höhere Last an den Umweltwirkungen der Raffinerie mitzugeben, als den schweren Heizölen oder den Gasen.

**Zusammenfassung:** Ein sinnvolles Vorgehen zur Allokation der Raffinerieprodukte ist somit die Verteilung des Rohölinputs nach dem Energieinhalt der Produkte und die Verteilung der Aufwendungen und Emissionen der Raffinerie an sich über die Anzahl der durchlaufenen Raffinerie-Stufen (bzw. dem Wert) des Produktes. Somit ist gewährleistet, dass kein Perpetuum Mobile Effekt erreicht wird und die Prozessintention wiedergegeben wird.

#### 4.2 Chlor-Alkali-Elektrolyse

Die Chlor-Alkali-Elektrolyse verlassen zwei mengenmäßig vergleichbare chemische Grundprodukte und ein vielseitig einsetzbares energiereiches Gas: Chlor, Natriumhydroxid und Wasserstoff.

Eine Verteilung nach Energie kommt nicht in Frage, da weder Chlor noch Natriumhydroxid über einen Heizwert verfügen. Eine Verteilung nach Preis oder Marktwert wäre denkbar.

Bezüglich des Kriteriums Masse wurde bereits erarbeitet, dass alle Hauptprodukte einen hohen Mengenanteil haben sollten und der Anteil an Nebenprodukten als Vor- oder Endprodukt anderweitig relativ problemlos verwendet werden kann. Chlor und Natriumhydroxid fallen in vergleichbaren Mengen in der Chlor-Alkali-Elektrolyse an und es wird um Größenordnungen weniger Wasserstoff-Masse produziert, die sehr flexibel eingesetzt werden kann und wird.

**Zusammenfassung:** Ein sinnvolles Vorgehen zur Allokation der Chlor-Alkali-Elektrolyse-Produkte ist somit die Verteilung nach Masse.

#### 4.3 Steam-Cracker

Der Steam Cracker ist Ausgangspunkt vieler chemischer Synthesen. Naphtha, Erdgas und LPG wird in Alkene und einige organische und anorganische heizwertreiche Produkte gespalten.

Alle Hauptprodukte Ethen, Propen, C4-Schnitt, Pyrolysegas haben einen hohen Energieinhaltsanteil und die Nebenprodukte Pyrolyseteer, Raffineriegas und Wasserstoff können als Vorprodukt oder Brennstoff anderweitig problemlos verwendet werden.

Die Fahrweise des Steam Cracker ist mit Blick auf die Alkene optimiert. Die Aufwendungen sind abhängig von der „Schärfe der Fahrweise“, was sich gewissermaßen in der Heizwertverteilung der Endprodukte widerspiegelt.

**Zusammenfassung:** Ein sinnvolles Vorgehen zur Allokation der Steam Cracker Produkte ist somit die Verteilung aller Umweltlasten nach dem Energieoutput der Produkte.

#### 4.4 Epichlorhydrin-Synthese

In der Epichlorhydrin Synthese entsteht ein organisches Hauptprodukt (Epichlorhydrin) und zwangsläufig die zwei anorganische Nebenprodukte Calciumchlorid und Salzsäure.

Eine Verteilung nach Masse würde ca. 50% der Aufwendungen auf Salzsäure und Calciumchlorid verteilen. Dies würde diesen relativ geringwertigen Produkten sehr viel Umweltwirkung zuordnen und das recht aufwendig herzustellende Epichlorhydrin – dessen Synthese Chlor-Komponenten im Allylchlorid und Calciumkomponenten im Kalkhydrat bedingt - würde vergleichsweise wenig Umweltlast zu verantworten haben.

D.h. große Massenanteile haben einen geringen Wert und die Massenströme müssen „wertkorrigiert“ werden durch ökonomische Kenngrößen.

**Zusammenfassung:** Ein sinnvolles Vorgehen zur Allokation der Epichlorhydrin-Synthese-Produkte ist somit die Verteilung nach ökonomischen Kenngrößen wie Marktwert oder Preis.

#### 4.5 Edelmetall-Raffination und Bunt-Metall-Raffination

In der Edelmetall- und Bunt-Metall-Raffination werden sehr breite Spektren an unterschiedlichen Metallen hergestellt. Ursprung sind oft vergemeinschaftete Erze, d.h. es handelt sich um klassische Koppelprodukte unterschiedlicher Metalle wie Platin, Ruthenium, Palladium, Rhodium, Iridium, Gold, Silber, Osmium, Kupfer, Blei, Zink oder Molybdän. Der Wert dieser Metalle ist sehr unterschiedlich.

Reine Energie- oder Massenverteilung kommen somit nicht in Frage. Die Aufwendungen der Erzaufbereitung und der Raffination sollten den Wert des Produktoutputs widerspiegeln. Ferner sollte der Verbrauch an Erz (bzw. der Metallgehalt) dem des schlussendlich produzierten Metalls gleichen.

**Zusammenfassung:** Ein sinnvolles Vorgehen zur Allokation der Edelmetall-Raffination und der Bunt-Metall-Raffination ist die Aufwendungen der Aufbereitung in der Raffination nach ökonomischen Kenngrößen der Produkte und die Anteile an Erzressourcen nach Metallgehalten zu verteilen.

#### 4.6 Kraftwerke

Das Mehrproduktspektrum eines Kraftwerkes umfasst die Energieprodukte (z.B. Strom und Dampf, Baustoffe z.B. Gips und Reststoffe z.B. Flug- und Kesselasche. Hauptprodukte sind eindeutig die Energieprodukte, doch hat der Gips aus der Rauchgasentschwefelung Eingang in sehr viele Anwendungen als Baustoff (z.B. REA-Gipsplatten) gefunden. Flug- oder Kesselasche wird in der Zement- und Betonindustrie eingesetzt .

Somit sind der Gips und die Kesselasche nicht einfach Abfall, sondern es ist ihnen ein gewisser - wenn auch geringer - Wert zuzuordnen. Problematisch ist dabei allerdings, dass die Preise in der Regel keine freien Marktpreise sind.

Sofern das Produkt direkt nach der „Entstehung“ (z.B.  $\text{CaSO}_4$  aus  $\text{SO}_2$  und  $\text{CaCO}_3$  als Sulphatschlamm) einen negativen Marktwert hat, kann die Allokation vermieden werden, indem der „Abfall“ (in diesem Fall Sulphatschlamm) ohne Lasten aus dem Kraftwerk freigeschnitten wird und alle Aufwendungen zur Aufbereitung des Gips als marktfähiges Produkt (Waschen, Entwässern, Trocknen, Abwasseraufbereitung) der Gipsherstellung zugerechnet werden.

**Zusammenfassung:** Ein sinnvolles Vorgehen zur Allokation der Kraftwerksprodukte ist die Verteilung nach ökonomischen Größen. Der größte Teil entfällt damit auf die Energieprodukte. Die Herstellung von Gips kann im Kraftwerk „freigeschnitten“ werden,

#### 4.7 Verallgemeinerungen

Verallgemeinerungen können nur insofern getroffen werden, als dass das beschriebene Vorgehen innerhalb der Gruppen von Mehrproduktsystemen auf Parallelen geprüft wird. Ausnahmen sind jedoch nicht ausgeschlossen.

Im Allgemeinen liegt es nahe heizwertreiche Produkte nach Energie und Produkte sehr unterschiedlichen Wertes nach ökonomischen Größen verteilt. Oft spiegeln diese Verteilungen dann die Prozessintention oder die Werteverteilung der Produkte ausreichend genau wieder.

Sollte es sich nicht um heizwertreiche Produkte oder Produkte sehr unterschiedlichen Wertes handeln, spiegelt oft eine Massenallokation die Prozessintention oder die Werteverteilung der Produkte ausreichend genau wieder.

Die Sinnhaftigkeit sollte aber auf alle Fälle immer geprüft werden (siehe Präambel).

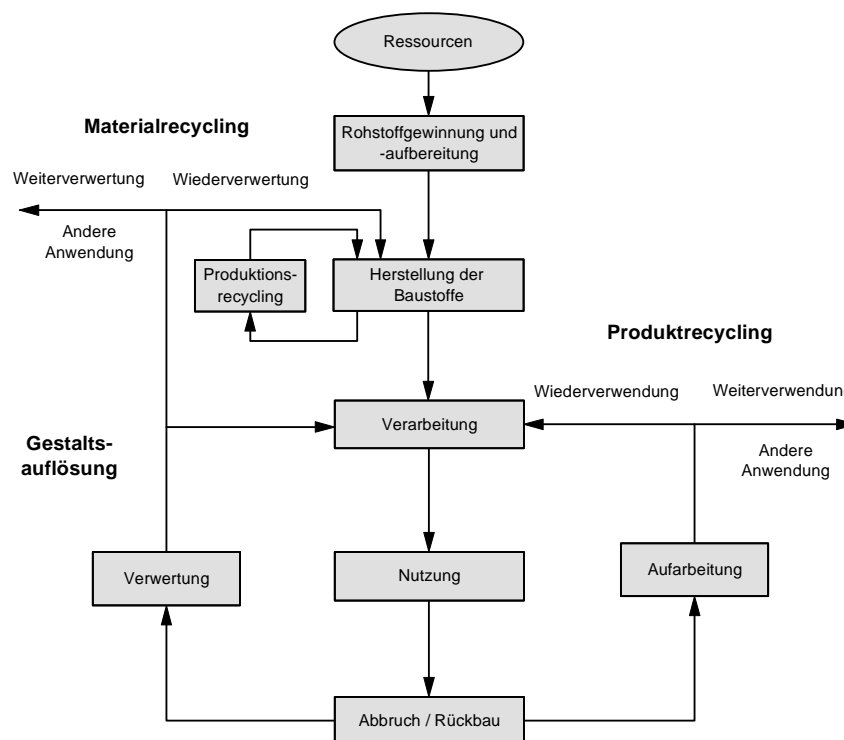
Die in Kapitel 4 aufgeführten allgemeinen Aspekte sind als prinzipielle Vorgehensweisen aus übergeordneter Sicht zu verstehen. Die Arbeitsgruppen der jeweiligen Materialien werden fallspezifische Vorgehen aus dem Blickwinkel der jeweiligen Materialien und Branchen erarbeiten. Dem soll hier nicht vorgegriffen werden.

## 5 Allokation bei der Weiterverwertung und Weiterverwendung beim Eintritt in neue Lebenszyklen

Das Recycling hat die Hauptaufgabe, Wirtschaftsgüter möglichst lange im Wirtschaftskreislauf zu halten, um die natürlichen Ressourcen zu schonen und Abfälle zu vermeiden oder zu vermindern und damit Deponieraum zu schonen. Gleichzeitig sind durch die Wahl des entsprechenden Recyclingverfahrens die damit verbundenen ökologischen Aufwendungen und Belastungen zu minimieren. Im Zusammenhang mit der Bilanzierung eignen sich die Definitionen des „Vereins Deutscher Ingenieure“ (VDI) besonders.

Das folgende Bild zeigt die unterschiedlichen Recyclingpfade nach der Definition der VDI-Richtlinie 2243 /VDI 1991/ unterteilt. Es wird darin unterschieden, ob ein Produkt dem gleichen (Wieder-) oder einem anderen (Weiter-) Anwendungsfall zugeführt wird, und ob es sich um ein Produktrecycling (-verwendung) oder ein Materialrecycling (-verwertung) handelt.

**Abbildung 2: Recyclingformen und Kreislaufarten IKP 1996**



Man spricht beim Einsatz für den gleichen Anwendungsfall auch von "Closed Loop Recycling", bei einem anderen Anwendungsfall von "Open Loop Recycling".

Alle diese Recyclingmöglichkeiten setzen voraus, dass es sich um ein Produkt handelt, welches bereits eine Nutzungsphase durchlaufen hat. Wird ein Produktionsreststoff wieder in den Verarbeitungs- oder Herstellungsprozess zurückgeführt, spricht man dagegen von Produktionsrecycling.

Die Behandlung von Recyclingströmen in der Ökobilanz stellt eine Frage der Verteilung dar. Daher ist - wenn die Lebenszyklusgrenzen überschritten werden - über eine Verteilung der Lasten nachzudenken.



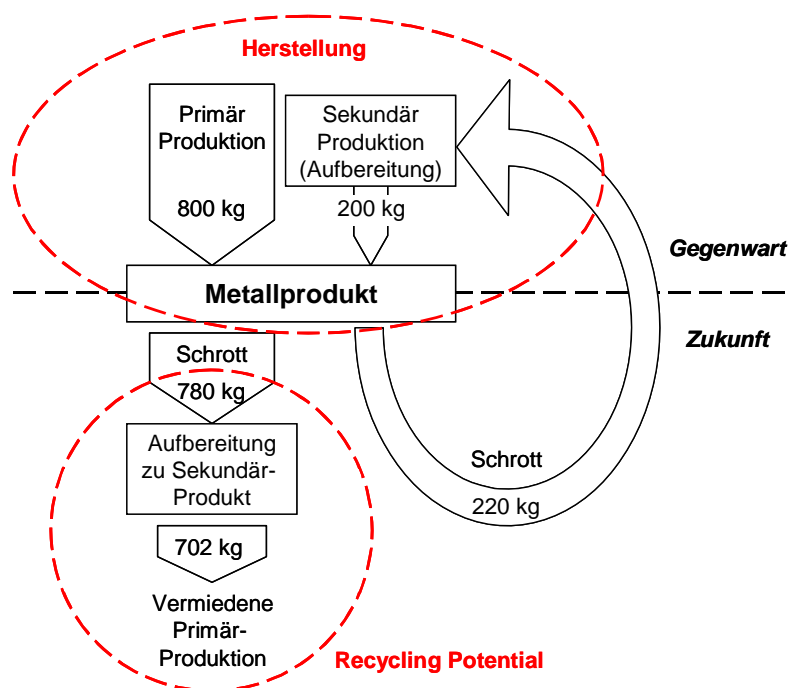
Das "Closed Loop Recycling" in eine gleiche Anwendung ist hier methodisch einfacher zu greifen. Es ist jedoch zu beachten, wie Zeitaspekte sinnvoll abgedeckt werden können, da zwischen Primärproduktion und dem Anfallen von potentiell Sekundärmaterial oft lange Zeit der Nutzung vergeht. Bei Allokationen über Lebenszyklusgrenzen hinweg ist daher bei langlebigen Produkten dem zeitlichen Aspekt Rechnung zu tragen und die Situation der heutigen Herstellung und eines zukünftigen Recyclings zu trennen. Es handelt sich methodisch um eine Überlagerung eines Stoffstromansatzes und einer Produkt-Lebenszyklusbetrachtung.

Für die Herstellung ist die heutige durchschnittliche Marktsituation anzusetzen (Verhältnis von Primärmaterial zu Recyclat). Parallel dazu kann ein Recycling Potential dargestellt werden, welches den potentiellen „Wert“ des Produkts nach einer Aufbereitung widerspiegelt. Der für die heutige Sekundärproduktion benötigte Schrottteil ist davor abzuziehen.

*Beispiel: Für die Herstellung von 1000 kg Metallprodukt werden heute 80% Primärmaterial und 20% Sekundärmaterial eingesetzt. Die Herstellung umfasst demnach 800 kg Primärproduktion und 200 kg Sekundärproduktion. Unter der Annahme, dass für diese Sekundärproduktion 220 kg Schrott benötigt werden, stehen noch 780 kg Schrott für die Sekundärproduktion zu Recycling-Potential zur Verfügung, woraus entsprechend der Annahmen 702 kg Sekundärmaterial hergestellt werden.*

*Das Recyclingpotential errechnet sich demnach aus der „vermiedenen Produktion“ von 702 kg Primärmaterial.*

**Abbildung 3: Sekundärmaterial und Recyclingpotential**



Ferner ist sicherzustellen, dass die geschlossene Kreislaufführung in die gleiche Anwendung (closed loop) und die offene Kreislaufführung open in andere Anwendungen (open loop) entsprechend verrechnet werden.

Kommt es zum "Open Loop Recycling" wird unterschieden zwischen Produkten und Abfällen. Eine alleinige Unterscheidung in Produkte und Abfälle reicht im Falle des Recycling/Verwertung nicht aus. Die Aussageschärfe im Rahmen einer Ökobilanz an dieser Stelle ist zu gering. Daraus ergeben sich die folgenden Fälle:

### **Recycling von Produkten und Abfällen zur Verwertung mit positivem Marktwert**

Werden Produkte recycelt führt dies normalerweise dazu, dass nach einer Aufbereitung ein Material das betrachtete System verlässt und von einem anderen System aufgenommen wird. Die Aufbereitung ist dabei immer dem betrachteten System zuzuordnen. Das über die Systemgrenze tretende, aufbereitete Material ist als Kopplprodukt zu behandeln.

Hier greifen die ganz normalen Allokationskriterien, wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben. **Stoffliche und energetische Verwertung von Abfällen mit negativem Marktwert**

Werden Abfälle zur Verwertung mit negativem Marktwert aus dem betrachteten Lebenszyklus in einen anderen Lebenszyklus abgegeben, so wird weder eine Verteilung der Lasten aus der Primärmaterialherstellung, noch eine Verteilung der nun nicht benötigten Entsorgung vorgenommen. Die Systemgrenze wird zwischen die Lebenszyklen vor einer Aufbereitung und den Transport gelegt, d.h. dass der zweite Lebenszyklus außer der Aufbereitung und dem Transport keine Lasten zu tragen hat. (Beispiel: Altreifen im Zementwerk)

### **Beseitigung von Abfällen**

Grundsätzlich soll die Abfallbehandlung in Müllverbrennungsanlagen (MVA) oder der Deponiebetrieb in die Systemgrenze integriert werden, d.h. es ist keine Allokation zu einem anderen Lebenszyklus notwendig. Die „Produkte“ der Abfallentsorgung (z.B. Strom oder thermische Energie) können im Produktsystem verwendet oder allokieren werden.

Die in Kapitel 5 hier aufgeführten allgemeinen Aspekte sind als prinzipielle Vorgehensweisen aus übergeordneter Sicht zu verstehen. Die Arbeitsgruppen der jeweiligen Materialien werden fallspezifische Vorgehen aus dem Blickwinkel der jeweiligen Materialien und Branchen erarbeiten. Dem soll hier nicht vorgegriffen werden.

## 6 Aspekte der Methodenwahl und Dokumentation

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit Aspekten der Methodenwahl und Dokumentation.

### 6.1 Einfluss der Methodenwahl auf die Allokation Thema: Attributional vs. Consequential Approach

Es wird seit Jahren eine Diskussion um die sogenannten Bilanzierungsansätze „attributional vs. consequential“ geführt. Häufig werden diese auch als „average vs. marginal“ bezeichnet.

Soll ein System über unmittelbar ausgelöste, ökologisch relevante Flüsse beschrieben werden, wird der Ansatz „average oder attributional“ genannt. Eine Analyse, die jedoch auf die eventuellen ökologischen Konsequenzen eines Systems fokussiert (dieser Ansatz wird „consequential oder marginal“ genannt), kann auch Flüsse beinhalten, die zwar nicht unmittelbar technisch mit dem Prozess, aber eventuell über den Markt oder sonstige gesellschaftliche Interaktion zusammenhängen.

Mit Blick auf die Allokation heißt das, dass bei einem „attributional oder average“ Ansatz, die in der Realität, direkt bedingt durch die betrachtete Technik hervorgerufenen Umweltwirkungen auf die zur Diskussion stehenden Teil-Systeme (bzw. Produkte) verteilt werden. Somit werden die konkret der jeweiligen Technik zuzuordnenden Umweltwirkungen eines konkreten Einflussbereiches auf die Sub-Systeme aufgeteilt.

Bei einem „consequential oder marginal“ Ansatz werden die potentiellen Folgen von Handlungen untersucht. Es werden die direkten und indirekten ökologisch relevanten Flüssen auf die zur Diskussion stehenden Teil-Systeme verteilt. So werden die Auswirkungen von Veränderungen im Lebenszyklus eines Systems auf relevante Ströme über die Grenzen des Bilanzsystems untersucht. Ziel ist, alle Vorgänge innerhalb und außerhalb des Lebenszyklus entsprechend dem Ausmaß ihrer Veränderungen durch die entsprechenden Handlungen einzuschließen. Somit werden auch potentielle (noch nie aufgetretene oder eventuell erst in der Zukunft auftretende) Umweltwirkungen eines über den eigentlichen Bilanzraum hinausgehenden indirekten Einflussbereiches auf die Sub-Systeme aufgeteilt.

Die Wahl des adäquaten Ansatzes richtet sich nach dem Erkenntnisinteresse, des Einflussbereiches und der Zielgruppe der Information.

*Einfaches Beispiel: Ein Hersteller möchte ein neues Waschmaschinen-Konzept untersuchen. Ein neuer Waschautomat benötigt bei vergleichbarer Beladung durch technische Innovation 10 min. weniger Waschzeit und die Wäsche kommt nahezu trocken aus der Maschine. Daher hat der Waschautomat einen geringeren Wasch-Energieverbrauch, eine kürzere Trockenzeit und ersetzt ev. auch noch Energiebedarf im Trockner. Es soll aber nur das Waschen untersucht werden, da der Hersteller keine Trockner im Programm hat und er lediglich an den durch seine Produkte verursachten Umwelteinflüssen interessiert ist. .*

*Die „attributional“ LCA könnte nun die Auswirkungen des geringeren Energieverbrauches des Waschens im Gegensatz zu einer herkömmlichen Maschine*

*derart darstellen, dass der Teil des Wasch-Energieverbrauchs auf das „Trocknen“ allokiert wird (die Energie, die ein Trockner braucht, um eine vergleichbare Trockenheit bereitzustellen). Die Systeme hätten den gleichen direkten Nutzen (nahezu trockene Wäsche) erreicht, dies jedoch in unterschiedlicher Zeit und unter der konstanten momentanen Märkten und Nutzerprofilen. Die attributional LCA würde diesen Unterschied ausweisen.*

*Die consequential LCA würde zudem hinterfragen, ob dies Auswirkungen auf den Trocknermarkt (geringerer Bedarf), den Strommarkt (geringerer Bedarf), und das Freizeitverhalten (mehr Zeit) der Nutzer hat. Potentielle Änderungen der Märkte durch Angebot und Nachfrage und eventuelle Änderungen im Nutzerverhalten würden versucht zu quantifizieren. Die gesparte Zeit könnte der Nutzer in letzter Konsequenz ja auch dazu nutzen, sich ins Auto zu setzen und eine Spazierfahrt zu unternehmen, was die positiven ökologischen Wirkungen aus Sicht einer consequential LCA verringern würde.*

### **Zusammenfassung:**

Ist es Ziel die Veränderungen innerhalb des eigenen Verantwortungsbereiches eines Produktes oder Produktgruppe unter den momentan (oder in näherer Zukunft) herrschenden Bedingungen zu analysieren und zu quantifizieren, ist der „attributional oder average“ Approach geeignet. Dies trifft wohl oft zu, wenn z.B. Firmen in einem gewissen bestehenden Markt konkret ihre neuen Produkte in Richtung einer Zielvorgabe verbessern wollen. Mit Hilfe des „attributional oder average“ Approach ist mit Blick in die Zukunft die Richtung einer Verbesserung klar erkenn- und quantifizierbar. Gegebenenfalls ist in Zukunft das Ergebnis zu rekalkulieren und die absolute Höhe der Veränderung anzupassen, falls sich die durchschnittlichen Randbedingungen relevant verändert haben sollten. Somit wird die Ist-Situation des Betrachtungsraumes sehr genau abgebildet und die Aussage in die Zukunft wird unschärfer und sollte in geeigneten Zeitabschnitten aktualisiert werden (da auch weiterhin die aktuelle Situation als Durchschnitt genommen wird).

Ist es Ziel mögliche Veränderungen über den eigenen Verantwortungsbereich eines Produktes oder einer Produktgruppe hinaus, unter den durch das neue Produkt potentiell veränderten Bedingungen (auch in weiterer Zukunft) zu analysieren und zu quantifizieren, ist der „consequential oder marginal“ Approach geeignet. Naturgemäß wird es dann eine größere Anzahl an Zukunftsszenarien geben, da die zukünftige Situation von vielen Umständen und Einflussfaktoren abhängt. Das Ergebnis wird dann eine Bandbreite an möglichen Veränderungen in einem übergeordneten Gesamtsystem darstellen. Somit ist die Ist-Situation des Betrachtungsraumes nicht Kern der Analyse sondern deren Wirkung auf die Zukunft, die möglichst mit allen veränderten Aspekten über den eigenen Verantwortungsbereich hinaus quantifiziert werden soll. Dies trifft wohl oft zu, wenn in der Wissenschaft die Bandbreiten von Veränderungen und übergeordneter Rahmenbedingungen in der Zukunft ausgelotet werden sollen, um die Extrema eines Handlungskorridors zu analysieren.

## 6.2 Dokumentation von Allokationsschritten

Eine sinnvolle Dokumentation der Allokationsschritte muss alle nötigen Aspekte der Allokation hinreichend detailliert beschreiben.

Hierbei ist zu beachten, dass es nicht notwendig ist alle Details (z.B. Primär- oder Basisdaten), die an einer Allokation beteiligt sind, zu kennen, um eine Sinnhaftig- und Gültigkeit einer Allokation nachvollziehen zu können.

Heutige softwaregestützte Methoden und Vorgehensweisen der Sensitivitätsanalysen bieten vielfältige, schnelle und genaue Möglichkeiten jenseits einer kompletten Rekalkulation des Modells.

Dies ermöglicht es, in einem breiten Nutzerkreis LCA anzuwenden und Ergebnisse zu diskutieren ohne auf geschützte (Einzel- oder Teil-) Daten oder proprietäre Informationen verzichten zu müssen

Zu dokumentierende Aspekte der Allokation sind:

- Kurzbeschreibung des Prozesses (wichtig ist zu beschreiben, ob es sich um einen freigeschnittenen Teilprozess einer integrierten Produktion handelt oder um einen autarken Prozess)
- Haupt-Intention des Prozesses
- Beteiligte Haupt- und Nebenprodukte
- Beteiligte Energie- Nebenprodukte
- Beschreibung des Ausmaßes der Nebenprodukte
- Verwendbarkeit, Nachfrage oder Verbleib der Nebenprodukte
- Kriterium der Verteilung (Masse, Preis, Energie, Volumen, Wertstoffgehalt,...)
- Nennung eventuell noch anderer sinnvoller Kriterium der Verteilung mit Nennung der Gründe der Nichtberücksichtigung.
- Bei potentiell großem Einfluss auf die Ergebnisse bei Wahl eines anderen sinnvollen Kriteriums, ist eine Quantifizierung der Einflüsse sinnvoll.
- Einsatzmöglichkeit der Energie- Nebenprodukte (intern, bei integrierter Produktion, Verkauf/Export bei autarker Produktion)

Das Format der Dokumentation sollte den vorhandenen Software-Lösungen zugänglich sein, d.h. ein gewisses Standardformat darstellen.

## 7 Literaturverzeichnis

|                    |   |
|--------------------|---|
| GABI 2006          | GaBi 4: Software und Datenbank zur Ganzheitlichen Bilanzierung. IKP, Universität Stuttgart und PE Europe GmbH, Leinfelden-Echterdingen, 2006.“  |
| ISO 14040 : 2006   | ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework  |
| ISO 14044 : 2006   | ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines   |
| KREISSIG 1999      | Kreißig, J. und J. Kümmel (1999): Baustoff-Ökobilanzen. Wirkungsabschätzung und Auswertung in der Steine-Erden-Industrie. Hrsg. Bundesverband Baustoffe Steine + Erden e.V.   |
| VDI 1991           | Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-2243: Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte. VDI-Verlag: Düsseldorf, 1991.  |
| IKP 1996           | Becker, A.: Ganzheitliche Bilanzierung eines Einhandwinkelschleifers. Diplomarbeit am Institut für Kunststoffprüfung, Universität Stuttgart, 1996.  |
| KrW- /AbfG. 1994   | KrW- /AbfG: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27. September 1994.   |
| AUB LEITFADEN 2006 | Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt: Leitfaden für die Formulierung der Anforderungen an die Produktkategorien der AUB Deklarationen (Typ III), AUB 2006, <a href="http://www.bau-umwelt.com">www.bau-umwelt.com</a> |