

Netzwerk Lebenszyklusdaten

Arbeitskreis BETRIEBSBEZOGENE STOFFSTRÖME

Gewinnung und Nutzung von Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext

Projektbericht

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

Leuphana Universität Lüneburg
Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation

Lüneburg Berlin Stuttgart Karlsruhe - Oktober 2007



Vorwort

Der vorliegende Projektbericht wird herausgegeben vom Netzwerk Lebenszyklusdaten (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 Wissenskoooperation 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

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



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



Gewinnung und Nutzung von Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext

Autoren:

Andreas Möller
Leuphana Universität Lüneburg

Volker Wohlgemuth
FHTW Berlin

Claus Lang-Koetz
Fraunhofer IAO Stuttgart

Gewinnung und Nutzung von Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext

*Andreas Möller, Leuphana Universität Lüneburg, Fakultät Umwelt & Technik
Volker Wohlgemuth, FHTW Berlin, Studiengang Betriebliche Umweltinformatik
Claus Lang-Koetz, Fraunhofer IAO, Stuttgart*

*unter Mitarbeit von Lars Schiemann und Matthias Mäusbacher,
FHTW Berlin, Studiengang Betriebliche Umweltinformatik*

*im Rahmen der „Bearbeitung des Tätigkeitsfelds Betriebliche Stoffströme im Hinblick auf
Lebenszyklusaspekte“ des Arbeitskreises „Betriebliche Stoffströme“ für das Netzwerk
Lebenszyklusdaten (<http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/content>)*

Ziel der folgenden Abhandlung ist es darzulegen, auf welche Weise Lebenszyklusdaten in betrieblichen Entscheidungs- und Handlungskontexten genutzt werden können. Lebenszyklusdaten werden in dem Zusammenhang wesentliche Informationsbausteine für das Life-Cycle Assessment betrachtet. Das Life-Cycle Assessment wird von Organisationen unterschiedlicher Art genutzt und ist daher nicht ausschließlich auf Unternehmen zugeschnitten, etwa als Komponente der internen Unternehmensrechnungen. In dieser Abhandlung wird die These vertreten, dass es zwei zentraler Perspektiverweiterungen bedarf, um die Integration in betriebliche Informationssysteme zu ermöglichen: Verknüpfung mit Instrumenten zur Abschätzung ökonomischer Wirkungen von Entscheidungen (Kostenrechnung) und softwaretechnische Integration in die betriebliche IT-System-Landschaft.



Gliederung

Gliederung.....	2
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
1. Entscheidungszusammenhänge, Informationsbedarf und konzeptionelle Basis.....	7
1.1 Paradigmen und Entscheidungszusammenhänge	7
Stoffstromparadigma	8
1.2 Abstraktionen im Rahmen der Modellbildung	9
1.3 Abstraktionen für das Stoffstrommanagement	10
1.3.1 Systeme und Netze	11
1.3.2 Transformationen.....	12
1.3.3 Bestände.....	14
1.3.4 Material – Stoffe und Energie	16
1.3.5 Zeit.....	20
1.4 Abstraktionen für die Produktionsplanung und Steuerung	24
1.4.1 Stückliste	26
1.4.2 Material	27
1.4.3 Lager.....	29
1.5 Stoffstromanalysen	31
1.6 Entscheidungsorientierte Stoffstromanalysen	32
1.7 Life-Cycle Assessment	34
1.7.1 Interpretationen von Ursache und Wirkung	34
1.7.2 Zurechnungsprinzip	37
1.7.3 Umsetzung der Prinzipien im Life-Cycle Assessment	47
1.7.4 Datenbanken für Lebenszyklusdaten	49
1.8 Stoffstromanalysen im betrieblichen Kontext.....	50
1.8.1 Leistungskonzeption eines Unternehmens.....	52
1.8.2 Effizienz der Leistungserstellung und Kostenrechnung	54
1.8.3 Stoffstrombezogene Grundrechnungen.....	61
1.8.4 Voll- und Teilkostenrechnungen	62
1.8.5 Umwelt- und Nachhaltigkeitskostenrechnungen.....	65
1.9 Zusammenfassung	69
2. Datenversorgung und softwaretechnische Umsetzung	71
2.1 ERP-Systeme	72
2.1.1 Allgemeines	72
2.1.2 SAP R/3	73
2.1.3 Andere ERP-Systeme.....	74
2.2 Datenversorgung mit internen und externen Daten zur softwaretechnischen Umsetzung	76
2.2.1 Charakterisierung der benötigten Daten	76
2.2.2 Nutzung von ERP-Systemen als Datenquelle	78
2.2.3 Innerbetriebliche und überbetriebliche Daten	79
2.3 Identifikation potentieller Lebenszyklusdaten in gängigen betrieblichen ERP- Systemen am Beispiel SAP R/3	81
2.3.1 Relevante Module des ERP-SYSTEM SAP R/3	81

2.3.2	Materialstammdaten	82
2.3.3	Buchungsstruktur	83
2.3.4	Buchungssystematik	83
2.3.5	In ERP-Systemen nicht erfasste Daten	85
2.4.	Konzeptionelle Basis eines Softwareprototypen.....	86
2.4.1	Schnittstellen von SAP/R3	87
2.4.2	Datenexport aus SAP R/3.....	92
2.4.3	Datenimport nach SAP R/3.....	117
2.4.4	Datenaustauschformate.....	119
2.5	Zusammenfassung	131
3.	Ergebnisse, Ausblicke und Empfehlungen	133
Literatur		136

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Beispiel für ein System-Dynamics-Modell: Allmende-Probleme als Referenzmodell für den gemeinen Zugriff auf knappe Ressourcen	15
Abbildung 2. Typische Auswertung eines System-Dynamics-Modells: Betrachtung der Entwicklung der Bestände in Abhängigkeit von der Zeit (Kurvenschar für das Allmende-Probleme bei Variation der Wachstumsrate der Nutzer)	15
Abbildung 3. Kategorien von Veränderungen von Beständen in der Zeit: 1. Keine Bestandsveränderungen, entweder keine Flüsse oder Zufluss = Abfluss, 2. Lineare Veränderung, netto konstanter Zufluss, 3. Diskrete Veränderungen des Bestands, 4. Kontinuierliche Veränderung des Bestands	23
Abbildung 4. Betriebliche Funktionsbereiche Beschaffung, Produktion und Absatz	28
Abbildung 5. Materialwirtschaft als Perspektive in mehreren betrieblichen Funktionsbereichen	29
Abbildung 6. Dreistufiges Produktions- und Lagersystem (aus Tempelmeier 1992, S. 369) mit Lieferzeiten der Vorstufe W_i , Produktionszeiten Z_j und Wiederbeschaffungszeiten der Lager λ_k als $\lambda_k = W_{k-1} Z_k$	30
Abbildung 7. Die Leistungserstellung als Kausalprozess und ihre rechnerische Abbildung (aus Riebel 1990, S. 71)	36
Abbildung 8. Zurechnungsprinzip als vermittelndes Element, das die Modellierung des Stoff- und Energieflussgeschehens prägt	37
Abbildung 9. Zurechnungsprinzip als verbindendes Element zwischen dem Denken in Zwecken und Mitteln (Finalprinzip) und dem Denken in vernetzten Stoff- und Energieströme (Kausalprinzip)	38
Abbildung 10. Bilanzierung „von der Wiege bis zur Bahre“ als notwendige Voraussetzung für die systematische Verknüpfung der beiden methodischen Ansätze des Life-Cycle Assessments	40
Abbildung 11. Kern- und Mantelsystem der Stoffaufbereitung und Papierherstellung (in Anlehnung an Ackermann 2000, S. 145)	41
Abbildung 12. Sequentielle Methode zur Bestimmung des Life-Cycle Inventories: Die periodenbezogenen Stoff- und Energieströme sind in normaler Schrift dargestellt (sie definieren die einzelnen Prozesse, indem sie als Produktionskoeffizienten interpretiert werden), die skalierten Größen fett und kursiv	47
Abbildung 13. Beispiel für einen Zyklus im System, der zu Problemen bei der Verwendung der sequentiellen Methode führt	48
Abbildung 14. Kostenverhalten gegenüber der Menge der verursachenden Objekte	64
Abbildung 15. SAP R/3 Module (Quelle: SAP)	74
Abbildung 16. E-Business Suite Special Edition (Quelle: Oracle)	75
Abbildung 17. Dynamics NAV (Quelle: Microsoft)	76
Abbildung 18. Schematische Darstellung des Spannungsverhältnisses zwischen Erfassungsgenauigkeit und Erfassungskosten (Quelle: Weber, J. 2002)	86
Abbildung 19. Business-Object und BAPI	92
Abbildung 20. SAP-Logon-Profil	93
Abbildung 21. Material-Browser	95
Abbildung 22. Material-Details	98
Abbildung 23. Material-Details	99
Abbildung 24. Abbildung einer Unternehmensstruktur (links) auf ein SAP-System (rechts)	105
Abbildung 25. Abbildung einer Unternehmensstruktur (links) auf ein SAP-System (rechts)	107

Abbildung 26. Software-Prototyp (mit Material-Browser, zwei Detail-Fenstern für ausgewählte Materialien, registrierte Profile und Log)	117
Abbildung 27. Beispiel von Vorketten in der Produktion (erstellt mit dem BUIS Umberto) ..	117
Abbildung 28. Das PAS 1025 PASSUS-Element.....	120
Abbildung 29. Das PAS 1025 Projekt-Element	121
Abbildung 30. Das PAS 1025 Material-Element.....	122
Abbildung 31. Das PAS 1025 Materialgruppen-Element	123
Abbildung 32. Das PAS 1025 Materialeinheiten-Element	123
Abbildung 33. Das PAS 1025 Materialeigenschaften-Element	124
Abbildung 34. Das PAS 1025 Materialsynonym-Element	124
Abbildung 35. Das PAS 1025 Materialkosten-Element	125
Abbildung 36. Das PAS 1025 Bestandsmaterialien-Element.....	126
Abbildung 37. Das PAS 1025 Kostenarten-Element	127
Abbildung 38. Das PAS 1025 Währungseinheiten-Element	127
Abbildung 39. Das PAS 1025 Lager-Element	128
Abbildung 40. Das PAS 1025 Ressourcenlisten-Element.....	128
Abbildung 41. Das PAS 1025 Ressourcen-Element	129
Abbildung 42. Das PAS 1025 Flussmaterial-Element	130
Abbildung 43. Das PAS 1025 Arbeitsprozess-Element.....	131
Abbildung 44. Nutzung eines Integrationservers zur Übersetzung von Daten aus ERP-Systemen in Daten für betriebliche Stoffstromanalysen.....	134

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Begriffe für unterschiedliche Ausprägungen der Abstraktion	18
Tabelle 2. Einteilung materieller Objekte nach der Erwünschtheit – Voraussetzung für die Verbindung mit der Zweck-Mittel-Ebene	39
Tabelle 3. Formen der Veränderung nach Bossel (1994, S. 24).....	44
Tabelle 4. Umweltrelevante Daten zu Stoff- und Energieströmen in Betrieblichen Informationssystemen (Quelle: Lang-Koetz 2006)	78
Tabelle 5. Materialbuchungsarten zur Erfassung von Materialbewegungen im ERP-System (aus Lang-Koetz in Anlehnung an Wenzel 2001).....	84
Tabelle 6. Beispiele für Bewegungsarten aus dem ERP-System SAP R/3 mit Einteilung in Bewegungsartengruppen (Quelle: Lang-Koetz 2006)	85
Tabelle 7. Datenfelder des Business-Objekts Material	97
Tabelle 8. Datenfelder des Business-Objekts Materialinventur (MaterialPhysInv)	102
Tabelle 9. Datenfelder des Business-Objekts Materialbewegung (GoodsMovement)	104
Tabelle 10. Datenfelder des Business-Objekts Buchungskreis (CompanyCode)	107
Tabelle 11. Datenstrukturen und -felder des Business-Objekts Fertigungsauftrag (ProductionOrder).....	115

1. Entscheidungszusammenhänge, Informationsbedarf und konzeptionelle Basis

Die Frage der Gewinnung und Nutzung von Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext ist eng verknüpft mit dem Sinn von Stoffstromanalysen und Life-Cycle Assessment in Unternehmen: Warum sollten Unternehmen Stoffstromanalysen durchführen? In einer überbetrieblichen Perspektive lässt sich diese Frage relativ einfach beantworten. Die Analysen leisten einen Beitrag zum betrieblichen Umweltschutz und ermöglichen es den Unternehmen, rational auf nachhaltige Entwicklungspfade einzuschwenken. Dazu ist es erforderlich, Umweltschutz bzw. Nachhaltigkeit im Zielsystem der Unternehmen zu verankern. Das Life-Cycle Assessment kann dann grundsätzlich bei jeder betrieblichen Entscheidung herangezogen werden, um die Umweltwirkungen der Entscheidung zu klären. Die entsprechenden Instrumente stehen bereits seit mehr als zehn Jahren zur Verfügung. Dennoch ist der Erfolg des Life-Cycle Assessments und allgemeiner der Stoffstromanalysen in den Unternehmen begrenzt. Es kann keine Rede davon sein, dass entsprechende Softwarekomponenten in Enterprise-Resource-Planning-Systemen (ERP-Systemen wie etwa SAP R/3) verankert worden sind. Wenn die Frage der Gewinnung und Nutzung von Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext einen Sinn haben soll, muss auch dieses Problem bzw. Phänomen ins Auge gefasst werden. Daher sollen in dieser Abhandlung praktische und softwaretechnische Fragestellungen behandelt werden sondern auch konzeptionelle. In einem ersten Abschnitt soll der Frage nach Entscheidungszusammenhängen und Informationsbedarfen nachgegangen werden. Daraus soll dann die konzeptionelle Basis abgeleitet werden. Diese wiederum ermöglicht es dann, der Frage nachzugehen, welche inner- und außerbetrieblichen Daten benötigt werden und wie diese computerbasiert genutzt werden können. Damit kann konkret angegeben werden, welche Anforderungen an Daten aus dem Netzwerk Lebenszyklusdaten aus betrieblicher Perspektive zu stellen sind.

1.1 Paradigmen und Entscheidungszusammenhänge

Wenn es um umweltschutzbezogene Zukunftsbilder für die entwickelten Industriegesellschaften geht, prägt seit über einem Jahrzehnt vor allem ein Begriff die Diskussion: Sustainable Development. Mit diesem Begriff verbindet sich die Vorstellung, nicht auf Kosten zukünftiger Generationen und somit nachhaltig zu wirtschaften und zu leben. Die Erde stellt unterschiedlich geartete Ressourcen zur Verfügung, die dem Menschen ein gutes Leben ermöglichen: sauberes Wasser, Flächen für Ackerbau und Viehzucht, eine große Vielfalt an Pflanzen und Tieren, Bodenschätze einschließlich fossiler Energieträger usw. Der Mensch kann diese Ressourcen nutzen und in ihrer Struktur verändern. Das Konzept einer nachhaltigen Entwicklung sieht aber vor, dass diese Veränderungen nicht zu einer Entwertung

führen, zum Beispiel durch Verstreuung und damit faktisch Verbrauch von Bodenschätzen, oder sich gegen Mensch und Natur wenden, zum Beispiel durch Umwandlung fossiler Energieträger in Treibhausgase.

Stoffstromparadigma

Obwohl der Mensch auf elementare Weise auf die Ressourcen angewiesen ist, hat in der Vergangenheit eine Art Buchhaltung, welche die Nutzung der Ressourcen und die damit verbundenen Veränderungen protokolliert sowie Schwachstellen aufdeckt, keine Rolle gespielt. Das betrifft vor allem auch die Unternehmen: Nachhaltigkeit ist kein Aspekt, der in den internen Unternehmensrechnungen derzeit nennenswert Berücksichtigung findet (vgl. Ewert, Wagenhofer 1995). Mit der Diskussion um eine Nachhaltige Entwicklung erhofft man sich im letzten Jahrzehnt einen Sinneswandel. Ein zentrales Strategieelement ist es dabei gewesen, die Stoff- und Energieströme stärker in den Blick zu nehmen; man spricht von Stoffstrommanagement. Mit dem Begriff Management ist angedeutet, dass es um mehr geht als um eine Buchhaltung. Stoff- und Energieströme sollen Gegenstände bewusster Gestaltung sein, und Grundlage dafür ist ein verstärktes Denken in Stoff- und Energieströmen. Man kann von einem Stoffstromparadigma sprechen. Der Begriff Management bezieht sich dabei nicht nur auf betriebliche Akteure. „Management bedeutet im stoffpolitischen Zusammenhang auch, dass die anthropogenen Stoffströme sowohl durch Veränderung der Rahmenbedingungen als auch durch verändertes Verhalten der Akteure in die Richtung einer nachhaltig umweltgerechten Entwicklung gelenkt werden“ (Lucas 1996, S. 45).

Auch wenn in den Begriffen nur von Strömen die Rede ist, geht der Anspruch weiter: Wie verändern die Stoff- und Energieströme den Materialstock einer Gesellschaft? Welche Stoff- und Energietransformationen sind an den Veränderungen beteiligt? Hierzu sind drei Grundregeln formuliert worden: „Ernteregulierung: Nutze erneuerbare natürliche Ressourcen stets derart, dass die Ernte deren natürliche Regeneration nicht überschreitet! Extraktionsregel: Extrahiere erschöpfliche natürliche Ressourcen stets in dem Maße, in dem funktionsäquivalente Substitute bereitgestellt werden können! Emissionsregel: Halte die Schadstoffeinträge in natürliche Umweltmedien stets auf oder unter deren Assimilationsfähigkeit!“ (Radke 1999, S. 15 auf der Basis von Daly 1990). Die Regeln 1 und 3 betonen auch Zeitaspekte bzw. Nutzungsraten, um das Verbrauchen wertvoller Ressourcen oder das Anhäufen von Abfällen zu verhindern. Dennoch sind, wie die ersten beiden Regeln verdeutlichen, die Bestände natürlicher Ressourcen der zentrale Bezugspunkt. Es stellt sich die Frage, warum von Stoffstrommanagement die Rede ist und nicht von Stoffbestandsmanagement. Dafür gibt es gute Gründe:

- Die Stoff- und Energiestromdaten sind als Indikatoren zu verstehen, die auf bedrohliche Veränderungen im Materialstock hindeuten und helfen, problematische Trans-

formationen zu identifizieren: Stoff- und Energieströme als Ursache von Bestandsveränderungen.

- Mit dem Begriff des Stroms wird auch bereits die Vernetzung der Stoff- und Energieströme und Bestände angedeutet. Über die vernetzten Stoff- und Energieströme sollen Wirkungsketten erkennbar werden, um mittelbare Ursachen identifizieren zu können.

Im Stoffstrommanagement drückt sich somit eine bestimmte Sichtweise aus, die als Stoffstromparadigma bezeichnet werden kann. Das Stoffstromparadigma hat zu neuen Modellierungsansätzen geführt. Ein Oberbegriff für diese Ansätze ist die Stoffstromanalyse bzw. auf Englisch Material Flow Analysis (MFA). Stoffstromanalysen können definiert werden als Modellierungsprozesse auf der Ebene der Stoff- und Energieströme, -bestände und -transformationen. Ähnlich ist die Definition von Brunner und Rechberger für Material Flow Analysis: „Material Flow Analysis (MFA) is a systematic assessment of the flows and stocks of materials within a system defined in space and time. It connects the sources, the pathways, and the intermediate and final sinks of material“ (2004, S. 3).

Begreift man die Stoffstromanalyse bzw. Material Flow Analysis wie gesagt als Oberbegriff für alle Methoden des Stoffstromparadigmas, so führen weitere Einschränkungen in der Definition schnell zur Ausgrenzung einzelner Methoden. Beispielsweise ist eine sehr bekannte und erfolgreiche Methode, vernetzte Stoff- und Energieströme zu modellieren und auszuwerten, die produktbezogene Stoffstromanalyse; andere Begriffe dafür sind Produktökobilanzierung bzw. auf Englisch Life-Cycle Assessment (LCA). Nimmt man wichtige Grundprinzipien des LCA wie das Ursache-Wirkungs-Prinzip mit in die Definition auf, werden andere Methoden ausgegrenzt. Umgekehrt wäre Forderung, bei der Modellbildung die Einhaltung des Gesetzes der Massenerhaltung zu beachten (vgl. Brunner, Rechberger 2004, S. 3) eine Einschränkung, welche zum Ausschuss des Life-Cycle Assessments führen würde, wie sich schnell zeigen lässt. Das heißt nicht, dass man das Ursache-Wirkungs-Prinzip oder das Gesetz der Massenerhaltung nicht nutzen sollte, um daraus spezielle Methoden der Stoffstromanalyse abzuleiten. Dies ist sowohl auf der Basis des Ursache-Wirkungs-Prinzips – es führt letztlich zu den Matrixmethoden – als auch beim Gesetz der Massenerhaltung (vgl. Brunner, Rechberger 2004, S. 40ff.) der Fall.

1.2 Abstraktionen im Rahmen der Modellbildung

Unter Abstraktion versteht man das Abbilden der in einer Handlungssituation relevanten Merkmale eines Originals bzw. das Weglassen des Irrelevanten und Zufälligen. Der Abstraktionsprozess verläuft dann erfolgreich, wenn aus den gewonnenen allgemeingültigen Eigenschaften, gemeinsamen Qualitäten und Strukturen sinnvolle Erkenntnisse, Ent-

scheidungen und Handlungen abgeleitet werden können. Dabei kommt es in der Regel zu einer Komplexitätsreduktion, das Wesentliche wird sicht-, versteh- und nachvollziehbar. Abstrahierendes Denken ist damit auch eine zentrale Fähigkeit des Menschen im Modellierungsprozess – eine Fähigkeit, die durch den Computer nicht ersetzt, wohl aber unterstützt werden kann.

Wenn auch die Abstraktion ein mentaler Vorgang ist, so erfordert er doch auch eine externalisierte Fixierung in Form eines Modells, sei es auf dem Papier oder im Computer. Die Abstraktion ist damit auch ein Übersetzungsvorgang. Das Modell muss in einer bestimmten, in der Regel formalen Sprache formuliert werden. Dies stellt eine erhebliche Herausforderung dar. Oft handelt es sich um mathematische Modelle, so dass die Sprachen der Mathematik beherrscht werden müssen. Beispielsweise werden nicht-lineare dynamische Systeme mit Hilfe eines Systems von Differentialgleichungen beschrieben. Computer können den Übersetzungsvorgang erheblich erleichtern.

Ein typisches Beispiel ist System Dynamics. System-Dynamics-Tools werden dazu eingesetzt, dynamische Systeme abzubilden und deren Verhalten zu simulieren. Der Modellierer formuliert das System mit Hilfe einer graphischen Benutzungsoberfläche; er platziert so genannte Stocks und Flows, er zieht Informationsverbindungen. Das Computerprogramm übersetzt diese graphischen Darstellungen in ein System von Differentialgleichungen. Werkzeuge wie Stella® bieten die Möglichkeit, sich die mathematische Darstellung anzusehen. Auch der erste Schritt der Produktökobilanzierung, die Sachbilanzierung, ist nichts anderes als die Formulierung eines linearen Gleichungssystems. Auch hier übernehmen die graphischen Benutzungsoberflächen mit der Visualisierung von Flowcharts eine Vermittlungsfunktion.

1.3 Abstraktionen für das Stoffstrommanagement

Abstrahierendes Denken für das Stoffstrommanagement zielt darauf ab, die Komplexität realer Stoff- und Energieströme, Bestände und Transformationen so zu reduzieren, dass daraus Handlungsorientierungen für eine Nachhaltige Entwicklung gewonnen werden können. Wie sich die Abstraktion konkret vollzieht, wird wesentlich durch die Modellierungsmethode mitbestimmt. Die Oberbegriffe Stoffstrommanagement und Stoffstromanalyse, selbst Abstraktionen, legen allerdings die im konkreten Einzelfall zu verwendende Modellierungsmethode noch nicht fest. Die Modellierungsmethode lässt sich erst anhand des konkreten Modellierungsziels bestimmen.

Beispielsweise könnte das Ziel darin bestehen, hinsichtlich ihres Nutzens vergleichbare Produkte in Bezug auf ihre Umweltwirkungen zu untersuchen. In dem Fall kommen die Modellierungsmethoden der Produktökobilanzierung (LCA) in Betracht. Anders sieht es aus,

wenn die Input- und Outputstoff- und -energieströme eines Betriebes für ein Bilanzjahr zu erheben und zu aggregieren sind, etwa für den jährlichen Umweltbericht. In einem solchen Fall kommen die Ansätze der betrieblichen Ökobilanzierung zum Einsatz. Typisch ist die Ergebnisdarstellung in Form einer Tabelle: Stofflicher und energetischer Input und Output während eines Bilanzjahres werden in einer Input/Output-Bilanz ausgewiesen.

1.3.1 Systeme und Netze

Ein Nachteil der so betriebenen betrieblichen Ökobilanzierung besteht darin, dass Wirkungszusammenhänge durch die Tabellenform nicht verdeutlicht werden (Black-Box-Darstellung). Auch Aussagen zu indirekten Wirkungen lassen sich nicht aus den Modellen ableiten. Damit fördert eine derart gestaltete betriebliche Ökobilanzierung auch nicht das Systemdenken, das durch die Stoffstromanalyse unterstützt werden soll, wie sich bereits bei den Zielen des Stoffstrommanagements andeutet: „Das Stoffstrommanagement ist auf die zielorientierte, ganzheitliche und effiziente Beeinflussung von Stoffsystemen ausgerichtet“ (Enquete-Kommission 1994, S. 85).

Gewünscht sind eine Auflösung der „Black-Box“ und eine differenziertere Beschreibung und Analyse. Dafür kann man den Betrieb oder jedes andere Stoff- und Energieflusssystem auf der physikalischen Ebene als einen Stoff- und Energiehaushalt auffassen. Dieser ist vollständig beschrieben, „wenn zu jeder Zeit t an jedem Ort die Energie- und Materiedichten sowie die Energie- und Materieflüsse bekannt sind... Physikalisch beschreiben die Dichten den Momentzustand des Systems, das heißt, die momentane räumliche Verteilung der Energie beziehungsweise Materie, während die Stromdichten oder Flüsse die Veränderung beschreiben. Physikalisch gesehen ist das System also ein kontinuierliches (mechanisches) System, wie es aus der Kontinuumsmechanik oder der Hydrodynamik bekannt ist“ (Baccini, Bader 1996, S. 83f., Hervorhebungen im Original). Allerdings ist es, wie Baccini und Bader dann festhalten, für die Analyse anthropogener Stoff- und Energieströme nicht nötig und möglich, „Energie- und Materiedichten zu jeder Zeit an jedem Ort zu kennen. Es ist vielmehr angebracht, für ausgewählte räumliche Einheiten... die Energie- und Materieflüsse zu bestimmen“ (Baccini, Bader 1996, S. 87). Dadurch wird der Raum in diskrete Einheiten zerlegt. Diese Diskretisierung soll als Netzabstraktion bezeichnet werden.

Die Netzabstraktion stellt eine isolierende Abstraktion dar. Isolierend ist sie, weil mit der Konstruktion eines Netzes oft quasi neue Objekte entstehen, die Erzlagerstätte beispielsweise, in der Rohstoffe abgebaut werden und die in absehbarer Zeit erschöpft sein soll, ohne die Grenzen der Lagerstätte wirklich angeben zu können. Obwohl also bei vielen Betrachtungsgegenständen die Grenzen nicht einfach festlegbar sind, müssen sie im Rahmen der Modellbildung dennoch gezogen werden.

Eine weitere Eigenschaft der Netzabstraktion besteht darin, dass sich die Struktur nicht verändert, sie wird vorab festgelegt. Die Struktur ist statisch auch dann, wenn die Prozesse, die sich innerhalb der Systeme vollziehen, dynamischer Natur sind. Die Dynamik der Prozesse wirkt sich nicht auf die Struktur aus. Entsprechend erwartet man von Stoffstromanalysen nicht, dass die Strukturveränderung ein immanenter, aus der Dynamik der Prozesse abgeleiteter Bestandteil des Modells ist.

Hiermit sind einige Probleme verbunden. Es wird ein Planungs- und Managementverständnis gefördert, das im Sinne einer „deterministischen Vorprogrammierung“ (Vester 1999, S. 110) den Anspruch erhebt, vorab in die Zukunft planen zu können. Die Stoffstromanalysen stellen dann Soll-Szenarien dar, die man gern erreichen würde. Wie der Umstrukturierungsprozess zu managen ist, geht aus dem Modell nicht hervor. Dies ist auch nicht möglich, denn das Management stellt sich außerhalb des Systems. Damit wird man allein schon aus Aufwandsgründen stets den großen Wurf modellieren wollen, kleine Impulsvorgaben zur Selbstregulation und das Antippen von Wechselwirkungen (vgl. Vester a.a.O.) wird man nicht untersuchen wollen. Probleme bei der Operationalisierung strategischer Ziele sind damit fast schon vorprogrammiert.

1.3.2 Transformationen

Die Netzabstraktion zieht weitere Abstraktionen nach sich. Die Netzabstraktion lässt Systembestandteile als „ausgewählte räumliche Einheiten“ (Baccini, Bader a.a.O.) entstehen. Die Systembestandteile können in Orte für stoffliche und energetische Transformationen sowie Bestände eingeteilt werden. Beide stellen idealisierende Abstraktionen dar. Beim Bestand wird angenommen, dass keine Stoff- und Energietransformationen stattfinden, umgekehrt versteht man unter Transformationen qualitative oder räumliche Veränderungen von Objekten bzw. deren Eigenschaften (vgl. Dyckhoff 2003, S. 710). Der Begriff der Transformation kann von der Interaktion abgegrenzt werden. „Interaktionen verändern die Objekte an sich nicht, d.h. weder ihre Qualität noch ihre räumliche oder zeitliche Verfügbarkeit, sondern lediglich die Verfügungsmacht über sie“ (Dyckhoff 2003, S. 710). Angesprochen sind hier etwa Kauf oder Miete, die sich auf materielle Objekte, Dienste, Rechte oder Informationen beziehen können; die Interaktion erstreckt sich ganz allgemein auf den Konsens, der die Einigkeit über bestimmte Sachverhalte und Handlungen ausdrückt. Die Abgrenzung zwischen Transformation und Interaktion macht deutlich, dass mit dem Stoffstromparadigma eine bestimmte Richtung der Modellierung eingeschlagen worden ist, die nicht alle Herausforderungen einer Nachhaltigen Entwicklung abdecken kann. So muss, zumal es auch Modellierungsansätze für Interaktionen gibt, hinsichtlich der sozialen Säule der Nachhaltigen Entwicklung gefragt werden, ob das Stoffstromparadigma eine geeignete Plattform bereitstellt.

Wenn es um die Bestimmung mittelbarer Wirkungen geht, stellt die Transformation das zentrale Bindeglied zwischen den Stoff- und Energieströmen dar: durch die Transformationen entsteht das Netz der Stoff- und Energieströme. Dabei stehen die Transformationen und umgebende Stoff- und Energieströme in enger Beziehung zueinander. Einerseits charakterisieren sie Stoff- und Energieströme die Transformation: In welchem Umfang die Stoff- und Energietransformationen stattgefunden haben, ergibt sich aus den Input- und Output-Stoff- und Energieströmen. Diese Daten sind dann auch der wesentliche Ausgangspunkt für den Schritt der Idealisierung: Die Beziehungen zwischen den verschiedenen Input- und Output-Stoff- und Energieströmen werden in einem Submodell beschrieben. Das Submodell ermöglicht es dann, aus bestimmten Stoff- und Energieströmen andere auszurechnen.

Ein typisches Konzept aus der Betriebswirtschaft für solch ein Submodell ist die Stückliste. Ausgehend vom herzustellenden Produkt können die Einzelteile und Baugruppen bestimmt werden, die für die Herstellung erforderlich sind. Leider decken sich die Zwecke des Stücklistenkonzepts – Produktionsplanung und -steuerung – nicht mit denen des Stoffstrommanagements. Insbesondere sind die Stücklisten im Hinblick auf die Stoff- und Energieströme unvollständig.

Das Netz aus Stoff- und Energieströmen und Transformationen eröffnet den systematischen Umgang mit der Frage: Ich nehme ein bestimmtes Produkt oder eine Dienstleistung in Anspruch. Welche Umweltwirkungen sind mit der Inanspruchnahme verbunden? Welche Umweltbelastungen allen in der Nutzungsphase an? Welche bei der Produktion? Welche bei der Entsorgung? Diese Fragen führen zum Life-Cycle Assessment (LCA). Man geht von der Inanspruchnahme aus, verbindet damit einen Stoff- oder Energiestrom und betrachtet diesen als Referenzfluss. Über die Transformationen können alle mittelbaren Stoff- und Energieströme bestimmt werden, wobei die Transformationen entsprechend der Inanspruchnahme und der Höhe des Referenzflusses skaliert werden. Grundlage für die Abschätzung der Wirkungen in der natürlichen Umwelt sind die Stoff- und Energieströme, die mit der natürlichen Umwelt ausgetauscht werden, etwa in Form von Ressourcenentnahmen oder Emissionen. Dieser Austausch soll möglichst umfassend sein. Deswegen fordert man, den gesamten Produktlebenszyklus von der „Wiege bis zur Bahre“ zu analysieren.

Die idealisierende Abstraktion, die der alleinigen Berücksichtigung von Transformationen im Rahmen des Life-Cycle Assessments vorgenommen wird, kann in gewisser Weise als radikal bezeichnet werden. Obwohl zentrale Fragestellungen der Nachhaltigkeit die Bestände betreffen, tauchen sie in den Modellen gar nicht mehr auf. In Anbetracht der Fragestellung gilt sogar, dass diese gar nicht berücksichtigt werden dürfen. Die Fragestellung ist nämlich eine Ausprägung des Verursachungsprinzips: Ich entscheide mich dafür, ein Produkt oder eine Dienstleistung in Anspruch zu nehmen, weil mir davon

bestimmte positive Wirkungen verspreche. Welche negativen Wirkungen muss ich dafür in Kauf nehmen? Da darf es keinen Unterschied machen, ob ein Produkt ab Lager lieferbar ist – die Lebenszyklusphasen der Ressourcenentnahme und Produktion würden entfallen – oder gerade produziert wird.

1.3.3 Bestände

Neben der Transformation stellt auch der Bestand eine idealisierende Abstraktion für Systembestandteile dar. Idealisierend ist sie insofern, als die Bestände keiner qualitativen oder räumlichen Transformation unterliegen. Mit Hilfe der Bestände ist es möglich, den Zeitaspekt in Stoffstrommodellen zu berücksichtigen. So kann die Frage gestellt werden, welche Stoff- und Energieströme ein Stoffsystem – zum Beispiel einen Betrieb – durchflossen haben und zu welchen Bestandsveränderungen es dabei gekommen ist. Die Bestandsveränderungen können dabei die Lager betreffen. Denkbar ist aber auch der zur Produktion notwendigen Anlagen, also des Kräftespeichers der Unternehmung (vgl. Schmalenbach 1962, S. 74, zitiert in Coenenberg 1988, S. 729). Die Überlegungen, die Schmalenbach zur dynamischen Bilanz geführt haben, lassen sich mit denen des Stoffstrommanagements und der Grundregeln einer Nachhaltigen Entwicklung verknüpfen: „Wenn die Bilanz die Aufgabe hat, im Betriebe sich abspielende Bewegungen darzustellen, so nennen wir sie eine dynamische Bilanz... Unter diesen Bewegungen steht eine durchaus im Vordergrund, das ist diejenige, die sich herausschreibt aus den Kräften, die den Erfolg eines Betriebes bestimmen. Sie steht so sehr im Vordergrund, dass man die dynamische Bilanz als Erfolgsbilanz bezeichnen kann“ (Schmalenbach 1962, S. 45, zitiert in Coenenberg 1988, S. 727f.). In der Perspektive des Stoffstrommanagements stellt die Natur den Kräftespeicher zu Verfügung, und zweckvolles Stoffstrommanagement bemisst sich danach, wie erfolgreich dieser Kräftespeicher genutzt wird („mineral resource stock“ (Yamaguchi, Ueta 2006, S. 3). Idealerweise ermöglicht die Stoffstromanalyse, die Beziehungen zwischen Beständen, deren Nutzung und dem Erfolg aufzuzeigen, wobei das Ausweisen des Erfolgs den Anschluss an Methoden des Life-Cycle Assessments, der Kostenrechnung und der Öko-Effizienz-Analyse erforderlich macht.

Aber auch innerhalb des anthropogenen Systems bilden sich Bestände, insbesondere in der Nutzungsphase von Produkten. Vielfach kann von keinem eingeschwungenen Zustand die Rede sein, so dass aus den heutigen Bestände die zukünftigen Emissionen und Abfallflüsse werden (vgl. Kleijn et al. 2000, S. 242).

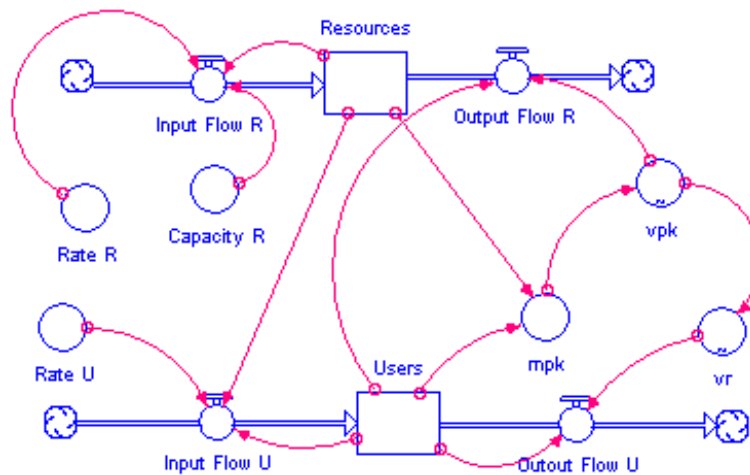


Abbildung 1. Beispiel für ein System-Dynamics-Modell: Allmende-Probleme als Referenzmodell für den gemeinen Zugriff auf knappe Ressourcen

Bemerkenswert ist, dass die Einteilung in Bestände und Flüsse auch beim System Dynamics anzutreffen ist. Sie werden als „building blocks“ (vgl. Ford 1999, S. 14) eingestuft. Während in vielen Stoffstromanalysen die Bestände eher als lästig empfunden werden, sind sie beim System-Dynamics der Dreh- und Angelpunkt der Modellierung. Das beginnt bei der Modellierung („Start with the stocks!“, Ford 1999, S. 16) und endet bei der Visualisierung: zumeist wird die Veränderung von Bestände in der Zeit protokolliert und visualisiert.

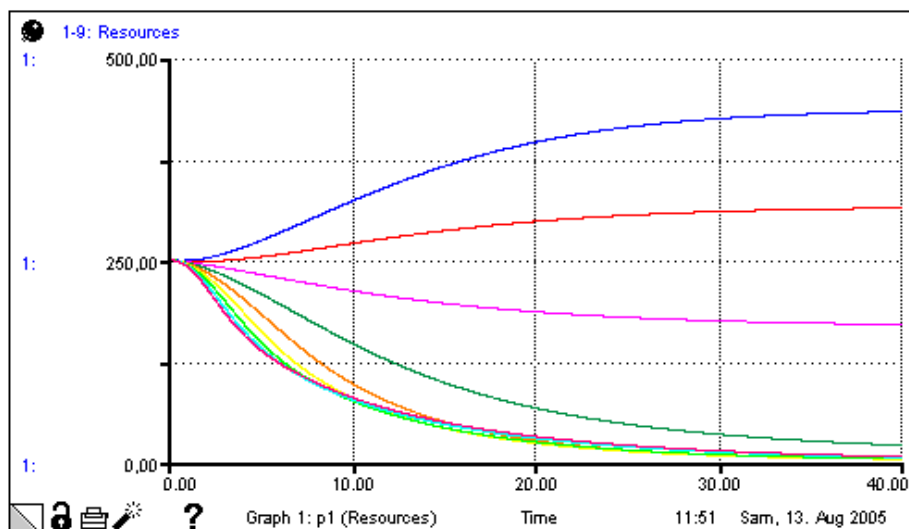


Abbildung 2. Typische Auswertung eines System-Dynamics-Modells: Betrachtung der Entwicklung der Bestände in Abhängigkeit von der Zeit (Kurvenschar für das Allmende-Probleme bei Variation der Wachstumsrate der Nutzer)

Es stellt sich die Frage, warum die Bestände in den Modellen eine so herausragende Bedeutung haben. Die Antwort ist überraschend einfach: Mit Hilfe von Beständen werden die veränderlichen Eigenschaften des Systems abgebildet. Wenn ein System Veränderungen in der Zeit unterliegt, dann hängt dies mit den veränderlichen Eigenschaften des Systems

zusammen. Man spricht von Feed-back-Systemen: Die Veränderlichen Eigenschaften / Bestände bestimmen neben Parametern die Ströme, und die Ströme wiederum führen zu Modifikationen an den veränderlichen Eigenschaften. Derart rückgekoppelte Systeme sind für den Menschen in der Regel schwer durchschaubar, so dass sich das dynamische Verhalten der menschlichen Intuition entzieht.

1.3.4 Material – Stoffe und Energie

Eine weitere isolierende Abstraktion betrifft die Stoff- und Energieströme beziehungsweise deren Bestände. Es werden in der Stoffstromanalyse verschiedene Stoffe und verschiedene Energieformen unterschieden, weil zum einen mit ihnen ein unterschiedlicher Nutzen verbunden ist und weil sie zum zweiten zu unterschiedlichen Wirkungen führen.

Von anderen Methoden unterscheiden sich die Methoden des Stoffstrommanagements grundsätzlich dadurch, dass umfassend alle Stoffe und Formen von Energie erfasst werden sollen und eine vergleichsweise feine Ausdifferenzierung vorgenommen wird. Was dabei als umfassend betrachtet wird, kann von Methode zu Methode differieren. Beispielsweise wird beim Life-Cycle Assessment alles einbezogen, was als unerwünscht oder erwünscht betrachtet wird. Dabei können oft bestimmte Stoff- und Energieströme herausfallen, unter normalen Umständen etwa die Abgabe von Wasser an die Atmosphäre oder der Verbrauch von Sauerstoff bei Verbrennungsprozessen. Bei anderen Methoden wird auch das Einbeziehen dieser Stoffströme gefordert. Beispielsweise erzwingen dies Brunner und Rechberger, wenn sie das Gesetz der Massenerhaltung zum Grundprinzip der Stoffstromanalyse erklären.

Ähnlich wie bei der Netzabstraktion hinsichtlich der Systemstruktur werden mit der Einführung von einzelnen Stoffen und Energieformen einzelne Objektklassen isoliert, die in der Realität so nicht anzutreffen sind und deren Abgrenzung sich nicht auf klare und eindeutige Prinzipien stützen kann. Vielmehr kann man fordern, dass sich die Einteilung aus den Modellierungszielen ableiten sollte. Dies ist grundsätzlich richtig. Es ergibt sich aber der Problematik, dass man verschiedene Stoffstrommodelle nicht mehr miteinander vergleichen kann. Auch die Anschlussfähigkeit an sich anschließende Auswertungsmethoden setzt dem individuellen Festlegen von Stoff- und Energieklassen Grenzen. Typisch ist daher oft ein Mix:

- Auf die Einhaltung von Standards achtet man insbesondere dann, wenn Stoffe und Energie mit der natürlichen Umwelt ausgetauscht werden. Diese Standards machen dann die Verwendung so genannter Wirkungsabschätzungsmethode möglich. Beispielsweise wird man im Rahmen der Bestimmung des Beitrags zur globalen Erwärmung darauf achten, dass die klimarelevanten Stoffe bzw. deren Emissionen im Modell auch entsprechend der Abschätzungsmethode ausgewiesen werden: Kohlendioxid, Methan, Lachgas, FCKWs usw.

- Die Bestimmung von Stoff- und Energietransformationen ist sehr aufwändig. Der Aufwand kann durch die Verwendung so genannter Prozessbibliotheken erheblich reduziert werden. Die Prozessbibliotheken enthalten zahlreiche Spezifikationen von Transformationen, die nach einer Parametrisierung an den eigenen Stoffstrommodellen verwendet werden können. Auch diese Bibliotheken setzen darüber Standards. Man wird darauf achten, bei der Modellierung „kompatibel“ zu den Bibliotheken zu bleiben.
- Bei der Modellierung interner Prozesse, die im Detail betrachtet und analysiert werden sollen, wird man oft noch über die Standards hinausgehen und eigene Objekte einführen. Bei diesen Objekten wird dann auch ein enger Bezug zum Erkenntnisziel und zum Modell hergestellt.

Die isolierten Stoff- und Energieklassen können in einer Liste verwaltet werden. Um im Stoffstrommodell eine einheitliche Verwendung der Stoff- und Energieklassen zu gewährleisten, dürfen bei der Spezifikation von Stoff- und Energieströmen, bei der Angabe von Beständen und bei der Spezifikation von Transformationen nur solche Stoff- und Energieklassen verwendet werden, die in dieser Liste stehen.

Im Stoff- und Energiestrommanagement können zwei Kategorien unterschieden werden, zum einen die Stoffe und zum anderen Energieformen. Stoffströme werden in der Einheit kg ausgewiesen, Energieströme in Joule oder einem Vielfachen. Der allgemeine Begriff Material wird für beide Kategorien verwendet. Die Zusammenfassung zum Oberbegriff Material ist deswegen sinnvoll, weil viele Aussagen und Darstellungen Stoffe und Energie gemeinsam betreffen: Flüsse, Transformationen, Darstellung in Bilanzen usw.

Die feinste in Stoffstromanalysen denkbare Unterteilung in Stoff- und Energieklassen ist die nach Substanzen, wobei Substanzen einzelne Atome oder Moleküle sind. Denkbar ist aber auch, Zusammensetzungen zu einem Material zusammenzufassen. Das kann dann bis zu komplexen Produkten wie Pkw gehen. Damit wird die Zusammengehörigkeit und Einheit verschiedener Substanzen dokumentiert, man kann nicht einzelne Bestandteile zum Gegenstand der Optimierung machen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass für Zusammensetzungen auch der Begriff „Gut“ verwendet wird. Baccini und Bader definieren Güter als „Stoffe und Stoffgemische, die vom Menschen bewertete Funktionen erfüllen“ (Baccini, Bader 1996, S. 45), wobei sie unter Stoffen chemische Elemente und chemische Verbindungen verstehen, für die hier der Begriff Substanz eingeführt worden ist. In eine ähnliche Richtung geht ein Regelblatt des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) zur Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft: „Ein Gut besteht aus einem oder mehreren Stoffen und ist handelbar. Der Wert von Gütern kann sowohl positiv (Heizöl, Mineralwasser) als auch

negativ (Restmüll, Abwasser) sein. In besonderen Fällen gibt es Güter, die keinen monetären Wert aufweisen, d.h. sie verhalten sich wertmäßig neutral. Beispiele dafür sind Luft, Abluft oder Niederschlag“ (2003, S. 11). Hier deutet sich eine weitere Kategorisierung der Materialien an, die für bestimmte Methoden sehr wichtig ist, auf die aber in anderen zu verzichten ist. Hier soll der Begriff Gut also nicht für Zusammensetzungen von Substanzen stehen, sondern bleibt für die systematische Kategorisierung dahingehend, ob ein Material erwünscht ist oder nicht, vorbehalten.

Die Zusammenfassung ist bisweilen mit Schwierigkeiten verbunden. Andererseits tauchen bestimmte Substanzen im Stoffstrommodell so nicht auf, obwohl sie für bestimmte Fragestellungen von Bedeutung sind. Beispielsweise wird bei der so genannten Substance Flow Analysis (SFA) der Fluss einer bestimmten Substanz durch ein Stoff- und Energieflusssystem verfolgt. Man denke im Rahmen einer Stoffpolitik an regionale oder nationale Blei- oder Cadmiumströme. Die Verwendung von Zusammensetzungen „verbirgt“ die einzelne Substanz, so dass die Substanz erst dann wieder sichtbar wird, wenn im Modell eine Spezifikation zur Zusammensetzung hinterlegt ist. Wir verwenden zusammenfassend folgende Begriffe:

Substanz	Der Begriff wird für chemische Elemente und chemische Verbindungen verwendet. Substanzen werden üblicherweise in der Einheit kg ausgewiesen.
Stoff	Der Begriff Stoff wird für Substanzen und Zusammensetzungen von Substanzen verwendet. Auch für Stoffe wird üblicherweise die Einheit kg verwendet.
Energie	Der Begriff Energie steht für verschiedene, in Stoffstromanalysen auftauchende Formen der Energie (elektrische Energie, Wärmeenergie) und wird in J ausgewiesen.
Material	Der Begriff Material ist ein Sammelbegriff und fasst Stoffe und Energie zusammen. Zu beachten ist im betrieblichen Kontext, dass der Begriff Material auch in anderen betrieblichen Informationssystemen Verwendung findet, v.a. in Enterprise-Resource-Planning-Systemen. Die Unterscheidung kann weniger an den Definitionen festgemacht werden (vgl. Eisert et al. 2001, S. 199), vielmehr führen die unterschiedlichen Modellierungs- und Verwendungskontexte zu unterschiedlichen Abgrenzungen und Strukturierungen.

Tabelle 1. Begriffe für unterschiedliche Ausprägungen der Abstraktion

Die Materialien können mit verschiedenen Eigenschaften versehen werden, etwa Dichte oder Aggregatzustand im Kontext des Modells. Auch Eigenschaften, die für das Umweltmanagement von Relevanz sind, können berücksichtigt werden. Zum Beispiel könnte man ein Material als einen Gefahrstoff ausweisen und alle für das Gefahrstoffmanagement erforderlichen Informationen ergänzen.

Auch die Zusammensetzung kann als eine spezielle Eigenschaft eines Materials aufgefasst werden. Diese Eigenschaft gibt dann idealerweise für alle Materialien an, aus welchen Materialien und Substanzen ein Material zusammengesetzt ist. Es ergibt sich ein Zusammensetzungsbaum, der bei den Substanzen als Blättern endet. Die Zusammensetzung muss aber nicht unbedingt umfassend sein. Wenn beispielsweise ein Stoffstrommodell unter anderen für eine Cadmium-SFA genutzt werden soll, kann man eine Materialeigenschaft „Cadmiumanteil“ einführen. Mit Hilfe dieser Eigenschaft können dann in einer speziellen Auswertung die Cadmiumströme sichtbar gemacht werden.

Im Kontexte der Stoffstromanalyse kommen noch weitere wichtige Eigenschaften hinzu:

- Dadurch, dass ein Material in einem Stoffstrommodell als Stoffstrom oder Bestand auftritt, bekommt der Stoff einen Ortsbezug. Der Ortsbezug sagt oft auch etwas über die Erwünschtheit des Stoffes aus.
- Materialien treten im Stoffstrommodell in bestimmter Menge auf: als Stoffstrom oder als Bestand. Ein wesentliches Erkenntnisziel der Stoffstromanalyse besteht darin, diese Eigenschaft für alle Materialien zu bestimmen.
- Die Transformationsprozesse können auch andere Eigenschaften eines Materials verändern. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn man mehrere Einzelsubstanzen zu einem Material zusammenfasst. So enthalten Kupfererze, so genannte Kupferkonzentrate, Kupfer in verschiedenen Konzentrationen. Bei der Modellierung der Kupferverhüttung könnte es sinnvoll sein, bei den verschiedenen Stufen der Kupfergewinnung mit einem Material Kupferkonzentrat zu arbeiten, bei dem unterschiedliche, durch den Prozess beeinflussbare Kupferkonzentrationen unterschieden werden. Die Eigenschaft Kupferkonzentration ist in dem Fall keine Konstante mehr.

Während die ersten beiden Spiegelstriche bei nahezu allen Methoden des Stoffstrommanagements eine große Rolle spielen, werden veränderliche Materialeigenschaften neben der Menge in der Regel in Stoffstromanalysen nicht modelliert. Vielmehr werden in dem Fall verschiedene Materialien unterschieden, etwa Kupferkonzentrate mit verschiedenen Kupferkonzentrationen. Dennoch kann dies eine Einschränkung bedeuten, wenn es darum geht, chemische Prozesse abzubilden. Es kann davon ausgegangen werden, dass bestimmte Methoden für das Stoffstrommanagement eine entsprechende Erweiterung erfahren werden.

1.3.5 Zeit

Das Beispiel System Dynamics zeigt, dass auch die Zeit der Modellierung unterliegt: Die Bestände eines Systems als veränderbare Eigenschaften und die Zeit können in einem komplexen Wechselverhältnis stehen. Verschiedene Zugänge zu diesem Problem sind möglich und hängen von den Problemkonstellationen und Zielen der Modellbildung ab. Je nach der Beeinflussbarkeit der Bestände lassen sich zwei verschiedene Problemkonstellationen unterscheiden:

Viele Bestandsveränderungen, etwa in der natürlichen Umwelt, entziehen sich weitgehend dem direkten Einfluss einzelner Entscheidungsträger; ihre Entwicklung ist aber dennoch entscheidungsrelevant. Das ist zum Beispiel im Tourismus der Fall. Das einzelne Hotel stellt kein Problem dar. Nimmt die Anzahl der Hotels in einer Region aber zu, wirkt sich das – mit zeitlicher Verzögerung – negativ auf die Attraktivität der Region aus. Das Modell dient dazu, die Dynamik überhaupt sichtbar zu machen. In dem Fall interessiert man sich in erster Linie für die veränderlichen Eigenschaften und damit die Bestände des Systems. Gesucht sind dann Funktionen, welche die Entwicklung der Bestände in der Zeit beschreiben. Als mathematisches Instrumentarium zur Beschreibung der Systeme dienen bei kontinuierlichen Veränderungen Differentialgleichungssysteme. Die Bestimmung der Funktionen, welche die Bestandsentwicklungen beschreiben, bei gegebenen Anfangsbeständen wird als Anfangswertproblem genannt. Oft können analytische Lösungen nicht angegeben werden; in dem Fall kommt die kontinuierliche Simulation zum Einsatz.

Modellierungsziel ist es nicht, die Entwicklung weitgehend nicht beeinflussbarer Bestände zu untersuchen und damit eine differenziertere Wirkungsabschätzung zu betreiben. Vielmehr geht es mehr um die internen, beeinflussbaren Eigenschaften und deren optimale Wahl. Man gibt also nicht wie im ersten Spiegelstrich einen Anfangswert vor und nimmt einen nicht weiter beeinflussbaren Verlauf an. Vielmehr können auf der strategischen Ebene bestimmte Sollbestände geplant werden; Aufgabe der operativen Steuerung und Regelung ist es dann, die Soll-Bestände einzuhalten, wobei auch dabei Informationsrückkopplungen etabliert werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung der Bestände auf der „operativen Ebene“ im Einklang mit den strategischen Zielen und Vorgaben erfolgt. Diese Situation ist bei Produktionssystemen in der Regel der Fall. Entscheidungsrelevant ist also im Gegensatz zum ersten Spiegelstrich nur noch der Soll-Zustand, der durch operative Maßnahmen stabilisiert wird: Es werden Soll-Zustände mit Hilfe der Modellbildung und Simulation gesucht, die übergeordneten Optimalitätszielen genügen. Allerdings kann es auch in dieser Konstellation notwendig sein, mit Hilfe der dynamischen Modellierung – etwa im Rahmen des Chemical Engineerings – die Soll-Bestände und damit die beeinflussbaren Eigenschaften der Systeme unter Einbeziehung der operativen Regelungsschleifen zu bestimmen.

Zur Modellierung der Problemkonstellation kommen grundsätzlich drei verschiedene Ansätze in Frage. Diese unterscheiden sich im Umgang mit der Modellierung der Zeit:

Bei statischen Modellen wird von der Zeit abstrahiert. Das bedeutet erstens eine deutliche Vereinfachung der Modellbildung. Zweitens drückt sich in den statischen Modellen auch ein spezifischer Entscheidungsbezug aus. Wenn gefragt wird, welche Umweltbelastungen mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produkts verbunden sind, dann geht es nicht um ein bestimmtes Einzelstück, dessen Lebenslauf dann ins Auge gefasst wird. Vielmehr wird ein durchschnittliches Produkt betrachtet, bezogen etwa auf eine Produktionslosgröße, auf eine Betrachtungsperiode oder insgesamt auf die gesamte Produktion. Ein typischer Ansatz der statischen Modelle ist die betriebliche Kostenrechnung. Auch das Life-Cycle Assessment ist den statischen Modellierungsansätzen zuzurechnen.

Das Ausblenden der Wechselwirkungen zwischen den Beständen in der Zeit bedeutet den statischen Modellen nicht, dass die Zeit gänzlich herausfällt. Wenn zwischen zu erbringenden ökonomischen Aufwand und Ertrag, der aus einem Produkt gezogen werden kann, erhebliche zeitliche Differenzen bestehen, können auf der Wertebene zeitabhängige Nutzenfunktionen zum Einsatz kommen. Dieses Thema wird insbesondere in der Investitionsrechnung behandelt. Zu beachten ist, dass hier der Zeitaspekt aus ganz anderen Gründen in die Modellbildung einfließt. Wenngleich auch bei solchen Modellen von dynamischen Modellen gesprochen wird, sollen sie hier im Rahmen einer Schwerpunktsetzung bei den Stoffströmen und –beständen den statischen Modellen zugerechnet werden.

Den statischen Modellen zugerechnet werden können auch die Periodenmodelle. Hier wird die Zeitachse in gleich lange Abschnitte, in Perioden geteilt. Typische Periodenlängen sind beispielsweise 1 Monat oder ein 1 Jahr. Auf der operativen Ebene können noch deutlich kleinere Perioden sinnvoll sein, etwa zu Steuerungs- und Regelungszwecken. Die Periodenmodelle ermöglichen insbesondere Zeitvergleiche. Man kann mehrere Perioden miteinander vergleichen und die Ergebnisse gegenüberstellen. Zum Beispiel enthalten Umweltberichte von Unternehmen oft betriebliche Umweltbilanzen mehrerer Jahre. Auch im Rahmen von Öko-Effizienz-Analysen können Zeitvergleiche und damit periodenbezogene Stoffstromanalysen als Grundlage sinnvoll sein.

Zu den dynamischen Modellierungsansätzen zusammengefasst werden die kontinuierliche und diskrete Simulation. Bei der kontinuierlichen Simulation wird davon ausgegangen, dass die Veränderungen an den Eigenschaften kontinuierlich ohne Sprünge erfolgen. Bei der diskreten Simulation hingegen führen diskrete Ereignisse zu sprunghaften Veränderungen der Eigenschaften. Die diskrete und kontinuierliche Simulation erfordern grundsätzlich unterschiedliche Modellierungsansätze.

Bei der diskreten Simulation wird das dynamische Verhalten des Realsystems im Computer in Form einer Folge von Ereignissen nachgebildet. Die Ereignisse werden entsprechend der zeitlichen Reihenfolge abgearbeitet. Diese Abarbeitung der Ereignisse bewirkt dann die Veränderungen in den Eigenschaften des Systems, wobei es als idealisierende Abstraktion zu keinerlei Veränderungen der Eigenschaften zwischen den Ereignissen kommt. Die Folge eines Ereignisses kann aber auch sein, dass ein weiteres Ereignis „erzeugt“ wird. Hier handelt es also um systemendogene Ereignisse, die wiederum in Wechselwirkungen mit den veränderlichen Eigenschaften des Systems stehen. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn der Beginn eines Produktionsprozesses modelliert wird. Dieses „Beginn-Ereignis“ legt auch bereits die mittlere Bearbeitungsdauer und damit das „Ende-Ereignis“ fest. Das Simulationsprogramm protokolliert während des Simulationslaufs die entscheidungsrelevanten Indikatoren wie Durchsätze, Kapazitätsauslastungen, Wartezeiten in Zwischenlagern, Problemfälle wie leere Eingangslager, welche die Produktion ins Stocken bringen, usw.

Bei der kontinuierlichen Simulation werden keine Einzelereignisse und zwischen den Ereignissen konstanten Eigenschaften abgebildet. Hier besteht die idealisierende Abstraktion darin, dass es grundsätzlich eben keine sprunghaften Veränderungen gibt, so dass das mathematische Instrumentarium der Analysis zum Einsatz gebracht werden kann. Auf der Ebene der Stoff- und Energieströme kann die Idealisierung allein schon aufgrund der schier unendlichen Anzahl der Einzelobjekte (Atome, Moleküle) oft angenommen werden. Allerdings führt die Idealisierung auch zu hohen Anforderungen bei der Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen den Systembestandteilen. Während man sich bei der diskreten Simulation oft einzelne Objekte vorstellen kann, die andere Objekte bearbeiten (maschinenorientierte Sicht, vgl. Page 1991, S. 28), oder die eine Produktion durchlaufen (materialorientierte Sicht, vgl. Page a.a.O.), werden bei der kontinuierlichen Simulation die Beziehungen oft auf einer höheren Abstraktionsebene.

Deutlich wird das höhere Abstraktionsniveau beispielsweise bei den so genannten Räuber-Beute-Modellen, die in der Ökologie eine Rolle spielen; Räuber-Beute-Modelle werden auch als Lotka-Volterra-Populationsmodelle bezeichnet. Bei dieser Modellklasse sind zwei Bestände auf bestimmte Weise miteinander verknüpft, welche durch die Charakterisierungen „Räuber“ und „Beute“ zum Ausdruck kommen sollen. Man geht also davon aus, dass die Beute keines natürlichen Todes stirbt, sondern alle Beutetiere von den Räubern erbeutet werden. Der Tod der Beute wird in dieser Modellklasse als eine Funktion $f: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, $(x,y) \rightarrow axy$ mit a Konstante (als Beuteverlustrate bezeichnet), x Bestand an Beute und y Bestand an Räubern modelliert. Damit wird in Lotka-Volterra-Modellen eine bestimmte Abhängigkeit des Todes der Beute von der Beutepopulation und der Räuberpopulation unterstellt. Ein Beispiel: 2 Räuber erbeuten bei einer gegebenen Populationsdichte der Beute 20 Beutetiere pro Jahr, und vier Räuber erbeuten bei der gleichen Populationsdichte der Beute dann 40

Beutetiere pro Jahr; sinkt dagegen die Populationsdichte der Beute auf die Hälfte, dann sinkt auch der Jagderfolg. In dem Fall erjagen 2 Räuber nur noch 10 Beutetiere und 4 Räuber nur noch 20 pro Jahr. Um den Tod der Beute zu bestimmen, wird entsprechend die beiden Bestände multiplikativ verknüpft und eine Konstante als linearen Faktor eingeführt. Einzelne Tiere und einzelne Jagdereignisse tauchen nicht auf; von ihnen wird abstrahiert.

Wenn im Rahmen der Stoffstromanalyse die dynamische Modellierung zum Einsatz kommt, wird von Dynamic Material Flow Analysis gesprochen (Dynamic MFA, vgl. Müller et al. 2004, S. 67ff.). Eine Herausforderung besteht darin, die Ansätze der dynamischen Modellierung an die Anforderungen des Stoffstromparadigmas anzupassen, denn die Ansätze sind bereits zu einer Zeit entwickelt worden, als das Thema Stoff- und Energieströme noch keine besondere Rolle gespielt hat; eine entsprechende Berücksichtigung in den Modellierungsansätzen fehlt. Allerdings wird bereits seit einiger Zeit an einer systematischen Erweiterung der Ansätze gearbeitet, sowohl in Richtung der diskreten als auch in Richtung der kontinuierlichen Simulation.

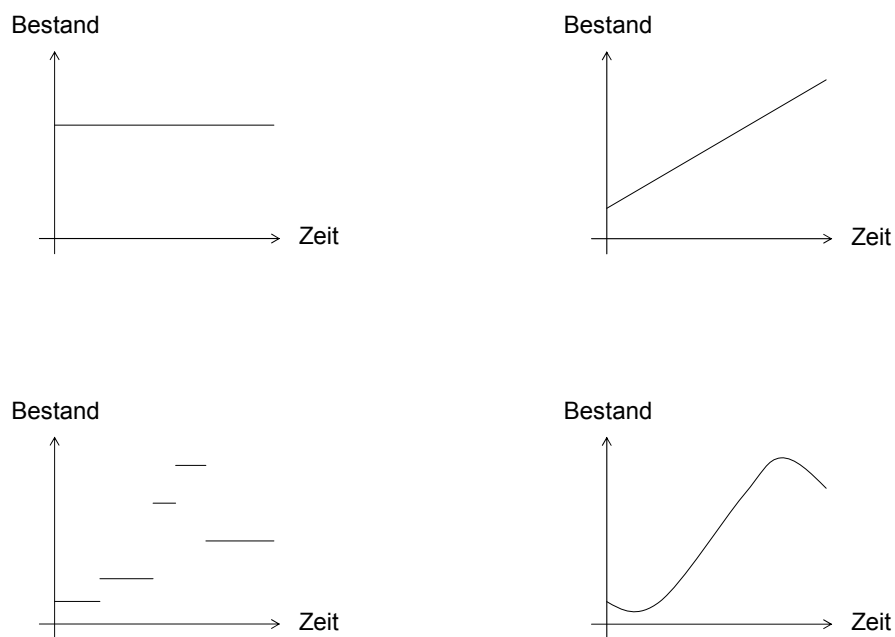


Abbildung 3. Kategorien von Veränderungen von Beständen in der Zeit: 1. Keine Bestandsveränderungen, entweder keine Flüsse oder Zufluss = Abfluss, 2. Lineare Veränderung, netto konstanter Zufluss, 3. Diskrete Veränderungen des Bestands, 4. Kontinuierliche Veränderung des Bestands

Es kann nicht generell behauptet werden, dass die dynamische Modellierung zu besseren Ergebnissen führt, es kommt vielmehr auf die Erkenntnisziele an. Innerhalb eines Projekts kann es vorkommen, dass die verschiedenen Modellierungsansätze zusammen zum Einsatz kommen, etwa dadurch dass mit Hilfe der dynamischen Modellierung genutzt wird, um bestimmte Transformationen als Mittel- oder Grenzwerte zu bestimmen, die dann in einem statischen Modell entscheidungsbezogen aufbereitet werden. Beispielsweise könnte ein

dynamisches Stoffstrommodell Grundlage für die Sachbilanzierung im Rahmen des Life-Cycle Assessments und einer stoffstrombasierten Kostenrechnung ist. Insgesamt ergibt sich eine „Toolchain“ verschiedener Methoden, die dann allerdings auch aufeinander abgestimmt sein müssen.

Die verschiedenen Abstraktionsansätze geben ein Raster vor, in das verschiedene konkrete Modellierungsmethoden für Stoffstromanalysen eingeordnet werden können. Das Raster erlaubt das Herausstellen der jeweiligen Erkenntnisziele und Vorgehensweisen; es ermöglicht aber auch die Identifikation möglicher Schnittstellen zwischen den einzelnen Methoden. Dieser Punkt ist insbesondere auch für das Fachkonzept eines entsprechenden Umweltinformationssystems notwendig, damit ein integriertes Umweltinformationssystem gewonnen werden kann.

1.4 Abstraktionen für die Produktionsplanung und Steuerung

Die Produktionsplanung und -steuerung in Unternehmen ist ein Bereich, der für das betriebliche Stoffstrommanagement von besonderem Interesse ist. Man hat es mit Materialstammdaten, Stücklisten, Arbeitsplänen und ähnlichem zu tun. Diese dienen dem Ziel, die Produktion effizient zu gestalten. Teilziele dieses Komplexes sind:

- Bestimmung des Ressourcenbedarfs ausgehend von geplanten Produktmengen: Welche Rohstoffe und Halbfertigprodukte müssen beschafft werden, um die geplanten Mengen herzustellen?
- Welche Zeiten müssen für die Produktion angesetzt werden? Wie werden die Maschinen optimal ausgelastet? Wann stehen sie zur Verfügung?
- Wie werden Produktionsplanung und Produktion mit dem Rechnungswesen verzahnt, so dass Produktion und finanzwirtschaftliche Abwicklung zwei verschiedene, aber abgestimmte Perspektiven auf das betriebliche Geschehen sind?
- Wie wird die unternehmensübergreifende Produktionsnetzwerke (die Wertschöpfungskette) optimal organisiert?

Obwohl also Abstraktionen wie Materialstamm und Stückliste eng verwandt mit Abstraktionen aus dem Stoffstrommanagement sind, unterscheiden sich die Zielsetzungen doch erheblich. Die Folge davon ist, dass die Abstraktionsvorgänge zu anderen Ergebnissen führen.

Dies wäre kein so großes Problem, wenn die Produktionsplanung und -steuerung ähnlich wie das betriebliche Stoffstrommanagement nun erst in den Unternehmen eingeführt werden würde. Man könnte die Modelle auf der Basis gemeinsamer Wurzeln entwickeln, etwa auf der Basis der Produktionstheorie Dyckhoffs (vgl. Dyckhoff 1994 und Dyckhoff 1995).

Die Modellbildung für die Produktionsplanung und -steuerung in Zeiten vorangetrieben worden, in denen Herausforderungen einer Nachhaltigen Entwicklung keine Rolle gespielt haben: An Reproduktionswirtschaft (vgl. Dyckhoff 1994, S. 10) und Kreislaufwirtschaft hat niemand gedacht, Abfälle und Emissionen sind, sofern sie zum Problem wurden, nachgeordnet behandelt (End-of-Pipe-Technologien statt produktionsintegriertem Umweltschutz).

Entsprechend sehen die Basismodelle aus: Die Produktion wird zum Input-Output-Prozess vereinfacht; der Input-Output-Prozess wird zum Leitbild in der Produktionswirtschaft: „Produktion kann daher verstanden werden als ein Transformationsprozeß, der Einsatzstoffe in Ausbringungen transformiert. Diese Transformation ist jedoch ohne Betriebsmittel und deren Leitung und Planung nicht möglich. Bezeichnet man Einsatzstoffe und Betriebsmittel als Input und das Ergebnis als Output (Ausbringung, Erzeugnis oder Produkt), so lassen sich unsere Überlegungen durch den ‚Input-Output-Prozess‘ ... zusammenfassen“ (Schneeweiß 1993, S. 2).

Dieses Leitbild erscheint auf den ersten Blick trivial. Tatsächlich ermöglicht es ein sehr einfache Verknüpfung zwei verschiedener Ebenen des Verursachungsprinzips, zum einen das Zweck-Mittel-Prinzip und zum anderen das Kausalprinzip. Das Kausalprinzip bezieht auf die physikalische Ebene der Stoff- und Energietransformationen: Input wird Output transformiert. Die Naturwissenschaften ringen darum, diese Vorgänge in Naturgesetzen zu beschreiben. Ganz anders gelagert ist die Situation beim Zweck-Mittel-Prinzip. Dieses Prinzip setzt bei der Erwünschtheit im sozialen Raum an: Wir wünschen uns Produkte, und wir müssen Mittel dafür aufwenden, an diese Produkte zu kommen.

Mit Hilfe des Input-Output-Modells aus der Produktionswirtschaft gelingt es nun, diese beiden Ebenen miteinander zu verbinden: Input = Input und Output = Output. Der Übergang erscheint problemlos. So ist auf der Inputseite von Produktionsfaktoren die Rede und als Beispiele werden genannt: Rohstoffe, Materialien oder Hilfsstoffe (vgl. Fandel 1996, S. 1); die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Transformation von Stoffen und Energie werden anerkannt („technologische Regeln“, vgl. Fandel 1996, S. 11) und ins Zweck-Mittel-Schema eingeordnet: Das Produktionsunternehmen wird sich dafür interessieren müssen, „welche Beziehungen zwischen den mengenmäßig ausgebrachten Produkten und den eingesetzten Mengen an Produktionsfaktoren bestehen und wie sich diese Zusammenhänge beschreiben lassen“ (Fandel a.a.O.).

Auf der Basis eines solchen Grundverständnisses der Abbildung von betrieblichen Produktionen lassen sich die Herausforderungen und Ziele der Produktionsplanung und -steuerung in konkrete Modellierungsansätze und Abstraktionen überführen.

Nimmt man die erste oben angeführte Frage nach der Bestimmung des Ressourcenbedarfs, dann besteht das Problem darin, dass der gesamte Produktionsprozess aus einer Reihe von

Einzelschritten besteht. Das Gesamt-Input-Output-Modell als Black-Box wird im Modell entsprechend in ein Netzwerk von einzelnen Input-Output-Modellen zerlegt. Dieses Netzwerk wird als Erzeugniszusammenhang bezeichnet (vgl. Tempelmeier 1992, S. 107). Für die Darstellung des Erzeugniszusammenhangs sind verschiedene Modellierungsansätze entwickelt worden. Ein typischer Ansatz, der unmittelbar aus dem Input-Output-Modell folgt, ist der Erzeugnisbaum. Oben an der Wurzel steht das Produkt, dann der Prozess der Endfertigung, darunter folgen dann die Prozesse für die Zwischenprodukte. Die Blätter des Erzeugnisbaums enden quasi am Fabrikator und geben die zu beschaffenden Ressourcen an, allerdings so noch auf der Detailebene (vgl. Tempelmeier 1992, S. 108).

Die Kanten im Baum können mit einem „Etikett“ versehen werden. Dieses Etikett gibt den jeweils benötigten Input an. Abgesehen von den Blättern im Erzeugnisbaum stellen die Knoten im Baum also die Input-Output-Modelle auf der Detailebene dar.

1.4.1 Stückliste

Die einzelnen Knoten im Erzeugnisbaum werden auch als Stückliste (oder Mengenstückliste, vgl. Schneeweiß 1993, S. 159) bezeichnet. Die Stückliste stellt in der Produktionswirtschaft eine zentrale Abstraktion dar. Für jeden einzelnen Prozess auf der Detailebene wird in der Mengenstückliste angegeben, wie Produktionsfaktoren in (Zwischen-) Produkte transformiert werden. Diese Beschreibung kann auf der Grundlage des Input-Output-Denkens erheblich vereinfacht werden:

- Auf der Outputseite tauchen nur (Zwischen-) Produkte auf, idealerweise nur genau ein (Zwischen-) Produkt (das macht es überhaupt erst möglich, von einem Erzeugnisbaum zu sprechen). Abfälle sind in diesem Modellierungsansatz nicht zu berücksichtigen, weil Abfälle keine Produkte sind und im Rahmen der Zielsetzung auch gar nicht das Abfallaufkommen zu bestimmen ist. Hier geht es darum zu bestimmen, welche Roh- und Hilfsstoffe zu bestellen sind, damit die Produktion durchgeführt werden kann.
- Man benötigt Ressourcen nur auf der Inputseite, so dass man auf die Unterscheidung von Input- und Outputseite in Stücklisten – im Unterschied zum Life-Cycle Assessment – verzichten kann. Es entsteht eine Liste, und es ist klar, dass diese Liste allein den Input bezeichnet.

Der Wechsel von der Detailebene der einzelnen Stücklisten auf die globale Ebene gibt Aufschluss darüber, welche Ressourcen für die Herstellung einer bestimmten Menge an Produkten („Losgröße“) benötigt werden. Diese Berechnung wird als Stücklistenauflösung oder Sekundärbedarfsermittlung bezeichnet (vgl. Schneeweiß 1993, S. 159): „Unter Primärbedarf versteht man den Bedarf an Fertigprodukten und Ersatzteilen, d.h. den Bedarf

an Erzeugnissen, die absatzbestimmt sind und damit nicht mehr in nachgelagerte Produktionsprozesse eingehen. In Betrieben mit mehrteiliger Fertigung muß aus dem Primärbedarf der Sekundärbedarf abgeleitet werden. Der Sekundärbedarf umfasst die Bedarfsmengen an Rohstoffen, Einzelteilen und Baugruppen, die zur Herstellung des Primärbedarfs notwendig sind“ (Tempelmeier 1992, S. 122). Softwaresysteme, die das leisten, werden als MRP-Systeme (Material Requirements Planning) bezeichnet. Softwarelösungen, die nur diesem Zweck dienen, findet man allerdings kaum noch.

1.4.2 Material

In der Stückliste taucht als Position ein weiteres wichtiges Betrachtungsobjekt der Produktionsplanung und -steuerung auf. Auch bei der Stücklistenauflösung tauschen diese Objekte begrifflich auf: Materialien. Der Begriff des Materials wird in der Material- und Produktionswirtschaft sehr allgemein und durch mögliche Formen charakterisiert. „Objekte der Material-Logistik sind die in der Unternehmung eingesetzten Verbrauchsfaktoren, d.h. Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe. Als Rohstoff bezeichnet man diejenigen Realgüter, die unmittelbar in die zu produzierenden Erzeugnisse eingehen und deren Hauptbestandteile bilden (z.B. Stahl). Unter dem Begriff Hilfsstoffe subsumiert man Stoffe, die ebenfalls unmittelbar in die Erzeugnisse eingehen, die im Vergleich zu den Rohstoffen aber lediglich Hilfsfunktionen erfüllen, da ihr wert- und mengenmäßiger Anteil an den zu erzeugenden Produkten gering ist... Betriebsstoffe bilden selbst keine Bestandteile der Erzeugnisse, gehen also nicht darin ein, sondern werden bei der Herstellung der Erzeugnisse verbraucht. Zu den Betriebsstoffen zählen alle Güter, die dazu dienen, den Produktionsprozess zu ermöglichen und in Gang zu halten“ (Tempelmeier 1992, S. 2).

Die enge Beziehung zum Input-Output-Modell der Produktion ist offensichtlich. Sie ermöglicht die Inklusionsbeziehung von Produktionsfaktoren und materiellen Objekten auf der Inputseite (materielle Objekte und immaterielle Objekte der Inputseite = Produktionsfaktoren) sowie die Inklusionsbeziehung von Produkten und materiellen Objekten auf der Outputseite.

Zwar wird der Begriff Material auch im betrieblichen Stoffstrommanagement verwendet. Dennoch führen die unterschiedlichen Zielsetzungen zu unterschiedlichen Abstraktionen, so dass die Bezeichnung Material ein Homonym ist: Beim Stoffstrommanagement wird unter einem Material nicht das gleiche verstanden wie in der Produktionswirtschaft. Daraus resultieren im Wesentlichen die folgenden zwei Brüche:

1.) Die Produktionswirtschaft steht in enger Beziehung zu zwei weiteren betrieblichen Funktionseinheiten, der Beschaffung und der Distribution (vgl. Schneeweiß 1993, S. 7, Fandel 1996, S. 5, Tempelmeier 1992, S. 4, vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4. Betriebliche Funktionsbereiche Beschaffung, Produktion und Absatz

Moderner computer-gestützte Informationssysteme führen diese Bereiche in integrierten Systemen zusammen, ERP-Systeme genannt. Die Integration erfordert einen Abgleich hinsichtlich der Modellbildung und im DV-Systeme gemeinsame „Business Objects“. Für das Material der Produktionswirtschaft bedeutet dies, im integrierten ERP-System auch ein Objekt der Beschaffung und des Absatzes zu sein. Es sollte also möglich sein, Materialien bestellen zu können, verkaufen zu können, transportieren zu können usw. Statt chemischer Formeln verwendet man dann besser Handelsnamen oder andere in der Geschäftswelt übliche Bezeichnungen. In der Produktionswirtschaft ist dies oft kein Problem, etwa für die Stücklistenauflösung, so dass die Bezeichnungen aus der Geschäftswelt sowie die Abgrenzungen zwischen den verschiedenen Materialien in den Modellen der Produktionswirtschaft Verwendung finden, etwa als Positionen in der Stückliste. Für das betriebliche Stoffstrommanagement, aber auch für Fragen des Gefahrstoffmanagements und des Gefahrstofftransports erweist sich diese Integration als problematisch, weil die Ziele nicht ausreichend abgedeckt werden können: Welche Umweltwirkungen gehen vom Material bzw. seiner Verwendung oder Freisetzung aus? Ergibt sich eine Gefahrstoffproblematik? Usw. Deswegen enthält beispielsweise das Modul EH&S des SAP-Systems R/3 eine Stoffdatenbank. Diese steht in einer n:m-Relation zur Materialdatenbank (vgl. Eisert et al. 2001, S. 257). Der Begriff Material aus dem betrieblichen Stoffstrommanagement ist also eher mit dem Business Object Stoff gleichzusetzen.

2.) Eine weitere Anpassung der Produktionswirtschaft an andere betriebliche Funktionsbereiche betrifft die Einheiten, in denen die Mengen ausgewiesen werden. Obwohl in der Produktionstheorie von Technologien die Rede ist, müssen die Positionen in der Stückliste und damit die Materialien nicht unmittelbar in physikalischen Größen ausgedrückt werden. In Stücklisten werden daher nur selten kg oder MJ ausgewiesen. Es ist im Gegenteil sehr unpraktisch, so zu verfahren, weil die technischen Vorgänge sowie Bestellvorgänge und die finanzwirtschaftliche Abwicklung dadurch nur suboptimal beschrieben werden. Oft sind Ressourcen nur in bestimmten Einheiten verfügbar, sie existieren in diskreten Einheiten. Kleinteile werden in Packungen zusammengefasst und so gehandelt usw. Sinnvoll ist es vielmehr, eine Brücke zu bauen und die Positionen in Stück auszuweisen. Diese mittelbare Größe verbindet die naturwissenschaftlich-technischen Aspekte mit denen der Logistik. Der nächste logische Schritt ist dann, ganz auf Einheiten wie kg zu verzichten, weil sie an keiner Stelle benötigt werden.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass der Begriff Material in der Produktionswirtschaft wesentlich von umgebenden betrieblichen Funktionsbereichen geprägt wird: Beschaffung und Absatz. Die Anforderungen in der Produktionswirtschaft selbst sind eher gering (z.B. Sekundärbedarfsbestimmung). Entsprechend unscharf und tautologisch sind auch die Objekte in ERP-Systemen definiert: „Der im SAP-System verwendete Begriff des Materialstamms oder auch einfach des Materials bezieht sich auf alle Arten von Materialien, also keineswegs nur auf Rohmaterialien, sondern z.B. auch auf Halbfabrikate und Fertigerzeugnisse. Er ist in diesem Umfeld somit ein Synonym für ebenfalls gebräuchliche Begriffe Teile, Teilstämme, Artikel, Artikelstämme oder auch Produkte und Produktstämme“ (Eisert et al. 2001, S. 199). Mit dem Material wird damit in ERP-Systemen ein softwaretechnisches Konstrukt zur Verfügung gestellt, das in betrieblichen Funktionsbereichen wie Beschaffung, Absatz / Distribution, Buchhaltung, Lagerverwaltung oder Vertrieb zur Abbildung von Betrachtungsgegenständen benötigt wird. Die Flexibilität hat ihren Preis. Die ERP-Systeme können kaum prüfen, ob ein als Material erfasstes Objekt bestimmte Anforderungen erfüllt. Die Datenvalidierung wird deutlich erschwert (sinnvolle Angaben in bestimmten Datenfeldern, Sinnhaftigkeit bestimmter Koeffizienten (zwischen Stück und kg)) usw.).

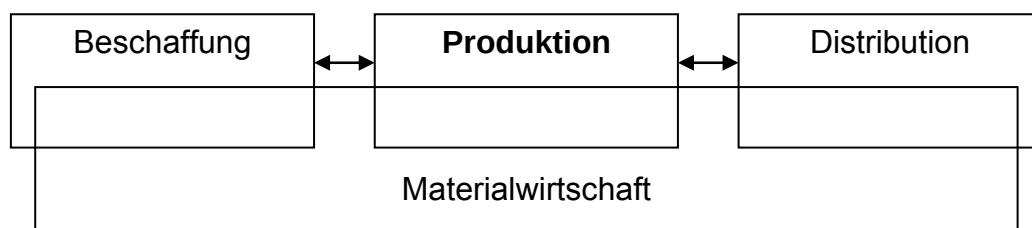


Abbildung 5. Materialwirtschaft als Perspektive in mehreren betrieblichen Funktionsbereichen

Die Verwendung der Abstraktion Material in verschiedenen betrieblichen Funktionsbereichen und die Fokussierung darauf führt auch dazu, dass man von einer Materialwirtschaft spricht: Die Materialwirtschaft führt verschiedene betriebliche Funktionsbereiche in der Perspektive des Materials zusammen: Beschaffung, Produktion, Lagerung und die Distribution. Aufgabe der Materialwirtschaft ist es dann, die bedarfsgerechte Materialversorgung sicherzustellen (vgl. Thommen, Achleitner 2006, S. 297).

1.4.3 Lager

Die Sekundärbedarfsplanung hat nicht nur eine mengenmäßige Komponente sondern auch eine zeitliche: Der Bedarf muss dann gedeckt werden können. Entsprechend erfordern die Planungsprozesse auch eine Berücksichtigung des Faktors Zeit. Neben der Stücklistenauflösung ist es daher eine Aufgabe der Produktionswirtschaft, den Produktionsablauf zu terminieren. „Ziel der Terminierung des Fertigungsablaufs ist es, die Anfangs- und Endter-

mine der Arbeitsgänge so aufeinander abzustimmen, dass die Terminvorgaben der Kunden eingehalten werden können“ (Thommen, Achleitner 2006, S. 373).

Weil die erforderlichen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe nicht zeitverzugslos beschafft werden können, muss der Bestellvorgang zeitlich vom Zeitpunkt des konkret entstehenden Bedarfs entkoppelt werden. Hinzu kommt, dass die Zeit zwischen Bestellzeitpunkt und Zeitpunkt des konkreten entstehenden Bedarfs nicht exakt kalkuliert werden kann. Hinzu kommt, dass in die Bestellung weitere betriebswirtschaftliche Überlegungen hinspielen können, z.B. Mengenrabatte oder Packungsgrößen. Die sich ergebenden Schwierigkeiten können durch Pufferung der Materialien reduziert werden. Es werden Lager als mengenmäßiger und zeitlicher Pufferungsmechanismus eingerichtet.

Eine wichtige Folgefragestellung der Materialwirtschaft ist die Lagerhaltung. Tatsächlich ist die wirtschaftliche Gestaltung der Lager und der Bestellzeitpunkte eine zentrale Optimierungsfrage; man versucht beispielsweise, die optimale Bestellpolitik mit Hilfe von Simulationsmodellen zu bestimmen. Man greift dabei zu Ansätzen der diskreten Simulation, weil der Komplexität der Fragestellung und den Unsicherheiten –erfasst mit Hilfe von Zufallsvariablen – angemessen Rechnung getragen werden kann (vgl. Page 1991).

Die folgende Abbildung (aus Tempelmeier 1992, S. 369) zeigt, dass bereits ein dreistufiges Produktionssystem zu komplexen zeitlichen Verwerfungen führen kann (in einer Petri-Netz-Darstellung würde man die Lager als Kreise darstellen):

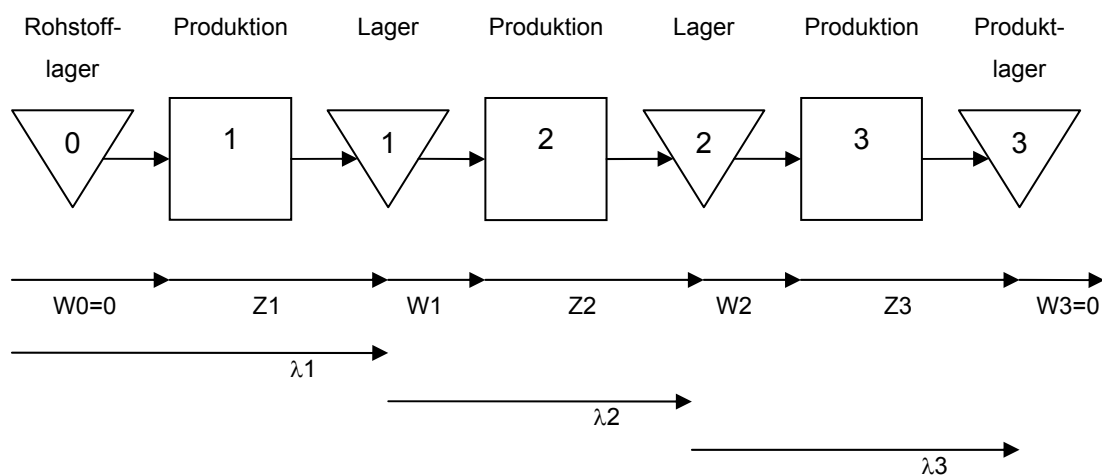


Abbildung 6. Dreistufiges Produktions- und Lagersystem (aus Tempelmeier 1992, S. 369) mit Lieferzeiten der Vorstufe W_i , Produktionszeiten Z_i und Wiederbeschaffungszeiten der Lager λ_k als $\lambda_k = W_{k-1} Z_k$

Weil die Lager insbesondere der Pufferung materieller Objekte dienen, sind sie von besonderer Bedeutung auch für das betriebliche Stoffstrommanagement. Zu beachten ist allerdings, dass sich die Abstraktion im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung von der im Stoffstrommanagement unterscheiden kann. Im Rahmen des Stoffstrom-

managements werden für ein (ideales) Lager keine Stoff- und Energietransformationen modelliert. Das kann für Lager in der Produktionsplanung anders aussehen (Verderben von Lebensmitteln o.ä.).

1.5 Stoffstromanalysen

Die Stoffstromanalyse ist ein Informationsinstrument für das Stoffstrommanagement. Mit allen Ansätzen der Stoffstromanalyse werden im Rahmen eines Stoffstrommanagements Ziele verfolgt, die sich aus dem Stoffstromparadigma ableiten und insbesondere darauf bauen, mit Hilfe der Stoffstromanalysen Stoffstromtransparenz herzustellen – bezogen auf die Beanspruchung von Ressourcen, bezogen auf Abfall- und Emissionsmengen, bezogen aber auch hinsichtlich des Verbrauchs von Beständen und des Anhäufens neuer Bestände:

- Man will das Stoff- und Energieflussgeschehen als solches sichtbar machen und erklären können. Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen Beständen und Flüssen? Wie verändert sich das Verhältnis in der Zeit?
- Man will für eine Prioritätensetzung die Schwerpunkte nicht-nachhaltiger Handlungsmuster erkennen. Welche der Grundregeln werden, oft auch mit Blick in die Zukunft, verletzt? Wie bedeutsam ist die Verletzung der Regeln?
- Man möchte im Rahmen der Gestaltung von Stoff- und Energieströmen Eingriffspunkte identifizieren und die Auswirkungen möglicher Eingriffe abschätzen.
- Man will Zusammenhänge verstehen und gegebenenfalls neu gestalten. Hierfür werden auch bereits auf sehr allgemeiner Ebene Gestaltungsmuster („Design Patterns“) vorgeschlagen, etwa mit dem Recycling oder der Kreislaufwirtschaft. Ziel ist die Ableitung konkreter strategischer Handlungsansätze aus den Gestaltungsmustern, die als Referenz dienen.

Dreh- und Angelpunkt einer Stoffstromanalyse ist das Stoffstrommodell. Die Stoffstromanalyse steht für die Erstellung und Auswertung eines solchen Modells. Dieser Modellbildungs- und -auswertungsprozess fokussiert, wie bereits skizziert, Stoff- und Energieströme, Bestände und Transformationen, wobei unter Transformationen qualitative oder räumliche Veränderungen von Objekten bzw. deren Eigenschaften verstanden werden (vgl. Dyckhoff 2003, S. 710); anderes wird ausgeblendet. Die Stoffstromanalyse kanalisiert damit den Abstraktionsprozess.

Die Methoden der Stoffstromanalyse können nach ihrem Entscheidungsbezug voneinander abgegrenzt werden:

- Wenn beispielsweise Brunner und Rechberger definieren „Material flow analysis (MFA) is a systematic assessment of the flows and stocks of materials within a

system defined in space and time“ (2004, S. 3), dann wird damit kein direkter Entscheidungsbezug hergestellt. Verstärkt wird dies, wenn die „law of conservation of matter“ (2004, S. 3) zur Anwendung gebracht wird. Auch die periodenbezogenen Stoffstromnetze selbst stellen keinen direkten Entscheidungsbezug her (vgl. Möller 2000). Erst in einem nachfolgenden Schritt, in Anlehnung an die innerbetriebliche Leistungsverrechnung aus der Kostenrechnung Leistungsverrechnung genannt, wird der Bezug zu Entscheidungen hergestellt: Im Endeffekt dient dieser Schritt der Bestimmung der Öko-Effizienz, dem Paradigma des Life-Cycle Assessments folgend, und der ökonomischen Effizienz mit Hilfe der Kostenrechnung.

- Auch wenn Simulationsansätze zum Einsatz kommen, steht nicht der unmittelbare Bezug zu Entscheidungen im Vordergrund. Vielmehr geht es darum, das Stoff- und Energieflussgeschehen in der Zeit abzubilden. Dabei können Methoden der kontinuierlichen Simulation, in Erweiterung des System-Dynamic-Ansatzes (vgl. Möller 2004b, Möller, Wohlgemuth 2004, Wohlgemuth 2005), und Methoden der diskreten Simulation (vgl. Wohlgemuth 2001, Wohlgemuth 2005) zum Einsatz kommen (vgl. Möller, Wohlgemuth 2004).

Es gibt daneben aber auch Methoden der Stoffstromanalyse, die den Entscheidungsbezug in den Vordergrund stellen bzw. bei Entscheidungen in Organisationen ihren Ausgang haben.

1.6 Entscheidungsorientierte Stoffstromanalysen

In einer Klasse von Methoden zur Stoffstromanalyse manifestiert sich eine spezifische Form des Wirtschaftlichkeitsprinzips. Die Produkte und Dienstleistungen sollen möglichst wirtschaftlich hergestellt werden. In so mancher Faktor-X-Diskussion ist versucht worden abzuschätzen, um welchen Faktor die Effizienz gesteigert werden muss, um die Prinzipien der Nachhaltigkeit einzuhalten.

Angesprochen ist sehr grundsätzliches Denken über rationales Entscheiden und Handeln in Organisationen: Das Führungshandeln ist ganz wesentlich das rationale Entscheiden durch die dann so genannten Entscheidungsträger. Für die rationale Entscheidung benötigen sie Informationen, und computergestützte Informationssysteme sollen diese Informationen zur Verfügung stellen. Verschiedene Begriffe für unterschiedliche Domänen werden zur Charakterisierung der Informationssysteme verwendet: Decision Support Systems (DSS), Executive Information Systems (EIS) usw. Ihnen gemeinsam ist ein entscheidungsorientiertes Unternehmensmodell: „Alle Aktivitäten in einem Unternehmen werden durch Entscheidungen ausgelöst und aufrechterhalten; daher sind die Entscheidungen die eigentlichen Kosten-, Erlös- und Liquiditätsquellen“ (Riebel 1992, S. 256). Das gilt aber nicht nur für Unternehmen und nicht nur für die monetären Aspekte von Entscheidungen. Ent-

scheidungsorientierten Stoffstromanalysen sind damit der Klasse der Führungsrechnungen zuzuordnen. „Ganz allgemein soll die Führungsrechnung eine rationale Unternehmensführung durch

- die Bereitstellung von Daten und Methoden,
- deren zweck- und empfängerorientierte Aufbereitung,
- Instrumente zur problemorientierten Auswertung,
- Anleitung zur sachgerechten Handhabung und Interpretation

unterstützen, ja ermöglichen“ (Riebel 1992, S. 248). Davon geprägt sind auch die entscheidungsorientierten Vorgehensmodelle für Stoffstromanalysen:

1. Ausgangspunkt ist die gesellschaftliche Wertschöpfung. Teils geht es um einzelne Produkte oder Dienstleistungen – hierfür ist dann speziell das Life-Cycle Assessment zugeschnitten worden. Teils werden aber auch ganze Nutzenbündel von Wertschöpfungssystemen ins Auge gefasst und analysiert.
2. Einen Kernbereich der Analyse sind dann alle Stoff- und Energieströme, die im Gestaltungsbereich der Entscheidungsträger liegen. Bei betrieblichen Entscheidungsträgern ist dies das eigene Unternehmen. Bei größeren Unternehmen (Netzwerkführern) erstreckt sich dieser Kernbereich auf ganze Wertschöpfungsketten. Es gilt, das Stoff- und Energieflussgeschehen wirklichkeitsnah mit seinen Bestimmungsfaktoren und Verbundwirkungen abzubilden.
3. Der Kernbereich tauscht allerdings nicht alle Stoff- und Energieströme mit der natürlichen Umwelt aus; die Unternehmen bzw. Wertschöpfungsketten sind ein Teil der anthropogenen Stoff- und Energieströme. Um etwas über Wirkungen in der natürlichen Umwelt sagen zu können, müssen die Stoff- und Energieströme über die Grenzen des Kernbereichs hinaus „von der Wiege bis zur Bahre“ erfasst und modelliert werden. Ansonsten wäre die Abschätzung von Wirkungen in der natürlichen Umwelt mit Lücken behaftet.
4. Hat man alle Stoff- und Energieströme so erfasst und in einen kausalen Zusammenhang gestellt, dass etwas über den Input aus der natürlichen Umwelt und auch etwas über den Output an die natürliche Umwelt sagen kann, können sich Abschätzungen zu den Wirkungen anschließen. Aussagen zu den Wirkungen sind dann die wesentlichen Ergebnisdaten, die von der Analyse zur Verfügung gestellt werden.

Es zeigt sich, dass im Wesentlichen die negativen Wirkungen von Handlungen und Entscheidungen geht. Setzt man diese Wirkungen in Relation zum Nutzen, kann wird die ökologische Effizienz ausgewiesen. Eine der wichtigsten Methoden zur Abschätzung von

Umweltwirkungen ist ohne Zweifel das Life-Cycle Assessment bzw. auf Deutsch die Produktökobilanzierung.

1.7 Life-Cycle Assessment

Das Life-Cycle Assessment hat zum Ziel, umfassend die Umweltbelastungen zu bestimmen, die mit der Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung verbunden sind. Oft geht es auch darum, zwei verschiedene Produkte oder Dienstleistungen zu vergleichen, die einen äquivalenten Nutzen stiften. Im Folgenden soll das Life-Cycle Assessment auf der Basis von Grundtatbestände und Prinzipien entscheidungsorientierter Stoffstromanalysen entwickelt werden. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch die Nähe des Life-Cycle Assessments zur Kostenrechnung in Unternehmen, so dass die Erkenntnisse aus der Kostenrechnung einfließen können. Darüber hinaus ergibt sich der Vorteil, dass auf der Basis auch eine stoffstrombasierte Kostenrechnung mit dem Life-Cycle Assessment verknüpft werden kann. Nicht zuletzt lassen sich konzeptionelle Herausforderungen für die die Nutzung betrieblicher Daten im LCA identifizieren.

Beim Life-Cycle Assessment werden zwei verschiedene Modellierungsphasen miteinander kombiniert. In der ersten Phase (Schritt 2 und 3 in der obigen Aufzählung) werden die anthropogenen Stoff- und Energieströme analysiert (Life-Cycle Inventory), bei der zweiten (Schritt 4) die Wirkungen in der natürlichen Umwelt (Impact Assessment).

1.7.1 Interpretationen von Ursache und Wirkung

In der ersten Phase wird streng dem Verursachungsprinzip gefolgt, wobei dieser Begriff bzw. der Begriff Ursache vieldeutig ist (vgl. Riebel 1990, S. 67). So kann das Verursachungsprinzip im kausalen Sinne interpretiert werden. Damit sind besondere Merkmale verbunden: „1. Die Ursache (als wirkender Zustand) muss der Wirkung (als bewirktem Zustand) zeitlich vorausgehen. 2. Die Ursache muss notwendige Voraussetzung für das Eintreffen der Wirkung sein, die nicht weggedacht werden kann, ohne dass die Wirkung mit Sicherheit entfiele (‘Keine Wirkung ohne Ursache’). 3. Wenn die Ursache vorliegt, muss zwangsläufig und ausnahmslos die Wirkung, und zwar stets dieselbe Wirkung eintreten. (‘Keine Ursache ohne Wirkung’. ‘Gleiche Ursache – gleiche Wirkung’)“ (Riebel 1990, S. 70). Nach dieser Interpretation führt die alleinige Betrachtung von Produkten und Umweltwirkungen im Rahmen des Life-Cycle Assessments zu erheblichen Schwierigkeiten. Beispielsweise kann das erzeugte Produkt nicht Ursache für die Umweltwirkungen angesehen werden, denn dies verstößt gegen das erste Merkmal. Umgekehrt müsste verallgemeinert werden, dass das Negative stets die Ursache des Positiven ist. Das erscheint wenig sinnvoll; jeder Kausalprozess bewirkt nicht nur positive Wirkungen sondern stets auch negative. Die Umwelt-

belastungen können daher nicht sinnvoll als die Ursache für die Nutzung der Produkte angesehen werden.

Eine weitere Interpretation des Verursachungsprinzips in der Kostenrechnung ist das Finalprinzip. Das Finalprinzip setzt beim Zweck-Mittel-Denken an und betrachtet die hervorgebrachten Produkte und Dienstleistungen als die Zwecke an, derentwillen die Prozesse betrieben werden. Nach dem Finalprinzip sind demnach jeder positiven Wirkung als Zweck genau die negativen Wirkungen zuzurechnen, die ihrerseits in Kauf genommen werden.

Aus dem Finalprinzip leitet sich bereits grob ein Vorgehen für die Analyse ab: Zunächst wird die positive Wirkung bestimmt, auch quantitativ (Schritt 1 in der obigen Aufzählung). Dann werden die mit der positiven Wirkung zusammenhängenden negativen Wirkungen bestimmt. Dabei werden auch die Realprozesse herangezogen.

Auch das Finalprinzip ist mit Problemen behaftet. Zu nennen ist die Kuppelproduktion, die eine eindeutige Zurechnung der Mittel zu Zwecken verhindert (vgl. Riebel 1990, S. 75). Riebel macht darauf aufmerksam, dass in den Prinzipien ein ganz wesentlicher Ursachenkomplex ausgeblendet wird und dieser Ursachenkomplex positive wie negative Wirkungen nach sich zieht. Es ergibt sich eine Dreiecksbeziehung zwischen dem Ursachenkomplex, den positiven Wirkungen und den negativen Wirkungen. Riebel führt für die Beziehung zwischen den positiven und negativen Wirkungen den Begriff der Zurechenbarkeit ein und bezieht ihn auf die gekoppelten Wirkungen (vgl. Riebel 1990, S. 75f.). Er kann so das Verursachungsprinzip präzisieren und kommt zum Identitätsprinzip, das eine Gegenüberstellung der gekoppelten positiven und negativen Wirkungen ein und desselben Ursachenkomplexes verlangt, wobei die Ursache in der Entscheidung besteht, die Realprozesse, welche zu den gekoppelten Wirkungen führen, zu etablieren.

Die Analyse setzt bei Riebel also systematisch bei den betrieblichen Entscheidungs- und Handlungsstrukturen an und fragt dann, welche positiven und negativen Wirkungen von ihnen ausgehen. In der Analyse gilt es dann, genau diese zu bestimmen. Dabei ist es grundsätzlich unerheblich, wie viele Arten von positiven Wirkungen auftreten; diese werden über die gemeinsame Ursache als eine Einheit betrachtet.

Die folgende Abbildung zeigt diese Zusammenhänge, wobei bei der rechnerischen Abbildung nur die ökonomischen Wirkungen berücksichtigt werden. Im Stoffstromparadigma lässt sich die rechnerische Abbildung des Wertverzehr erweitern, einerseits in Richtung des Verzehr natürlicher Ressourcen, andererseits aber auch im Hinblick auf die Anhäufung unerwünschter Bestände in der natürlichen Umwelt – mit den entsprechenden negativen Wirkungen. In der Abbildung wären somit die Kosten um die Umweltwirkungen zu erweitern.

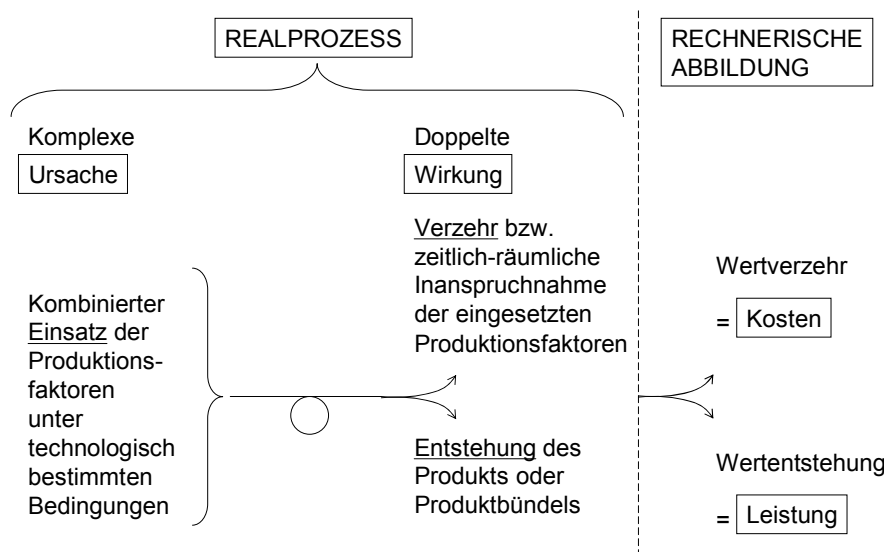


Abbildung 7. Die Leistungserstellung als Kausalprozess und ihre rechnerische Abbildung (aus Riebel 1990, S. 71)

Oft können die Umweltwirkungen nicht zu einer Größe zusammengefasst werden. Vielmehr werden Indikatoren ausgewiesen, die sich auf bestimmte Umweltprobleme beziehen, beispielsweise auf die globalen Klimaveränderungen und die Zerstörung der Ozonschicht. Die rechnerische Abbildung liefert damit in der Regel neben den Kosten einen ganzen Satz an Größen für verschiedene Umweltwirkungen.

Die Abbildung führt darüber hinaus unmittelbar auch zum Thema Öko-Effizienz. Eine Öko-Effizienzkennzahl kann demnach definiert werden als der Quotient aus der quantitativen Beschreibung der Wertentstehung und einer Größe, welche die Umweltwirkungen in einer bestimmten Perspektive abbildet, zum Beispiel Klimaveränderungen (vgl. Schaltegger, Burritt 2000, S. 50, 358).

Bemerkenswert im Zusammenhang mit dem Life-Cycle Assessment ist, dass zur Analyse der Zusammenhänge auf die Realprozesse verwiesen wird: der Realprozess als Kausalprozess (vgl. Riebel 1990, S. 71). Damit wird die Stoffstromanalyse, die dem Verursachungsprinzip in der kausalen Interpretation folgt, als Grundlage der Analyse betrachtet.

Eine unmittelbare Schlussfolgerung aus dem Identitätsprinzip, die auch Riebel zieht, besteht in der Offenheit gegenüber der Anzahl der positiven Wirkungen einer komplexen Ursache: "Zeigt sich, dass ein Güterverzehr nicht mit der Entstehung nur eines, sondern mehrerer Leistungsgüter (Einheiten oder Arten) gekoppelt ist, dann kann er auch nur der Gesamtheit dieser entstandenen Leistungsgüter (Einheiten oder Arten) eindeutig zugerechnet werden, nicht aber den einzelnen Leistungseinheiten oder Leistungsarten" (Riebel 1990, S. 76). An

diesem Punkt nimmt das Life-Cycle Assessment genauso wie die konventionelle Kostenträgerrechnung eine wesentliche Einschränkung vor. Es wird versucht, immer nur genau eine positive Wirkung zu isolieren und diesen isolierten positiven Wirkungen dann genau die gekoppelten negativen Wirkungen zuzurechnen.

Mit anderen Worten: Dem Life-Cycle Assessment liegt das Verursachungsprinzip in seiner Interpretation als Finalprinzip zugrunde. Die Modellierung setzt bei den einzelnen positiven Wirkungen an und leitet aus ihnen einen so genannten Referenzfluss ab. Im Beispiel eines Life-Cycle Assessments für Getränkeverpackungen ist dies die Getränkeverpackung für einen Liter Getränk. Diese Referenzflüsse – Getränkekarton, Glaseinwegflasche, PET-Flasche oder Glaspfandflasche – werden dann auf der Stoff- und Energieflussebene der Lebenszyklusanalyse unterzogen und anschließend hinsichtlich der Umweltwirkungen verglichen.

1.7.2 Zurechnungsprinzip

Mit der Lebenszyklusanalyse werden im Life-Cycle Assessment dann auch Realprozesse abgebildet, und auf der Ebene folgt man dem Verursachungsprinzip in der Interpretation als Kausalprinzip. Die Folge davon ist, dass im Life-Cycle Assessment zwei verschiedene Interpretationen des Verursachungsprinzips miteinander verschränkt sind. Diese Verschränkung hat wesentliche Auswirkungen auf die Modellierung.

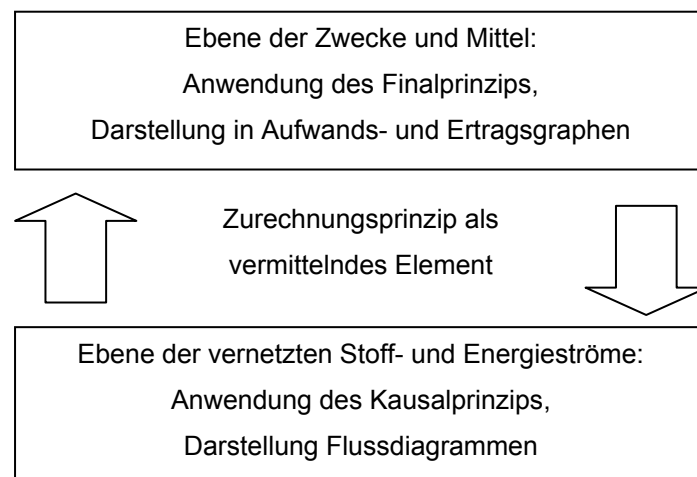


Abbildung 8. Zurechnungsprinzip als vermittelndes Element, das die Modellierung des Stoff- und Energieflussgeschehens prägt

Das diese Verschränkung prägende Prinzip soll als Zurechnungsprinzip bezeichnet werden: Zu erfassen sind beim reinen Life-Cycle Assessment genau die Stoff- und Energieströme, die mit der Nutzenstiftung (der funktionellen Einheit) zusammenhängen. Dabei können mehrere verschiedene Teilaspekte unterschieden werden (siehe nachfolgende Abbildung).

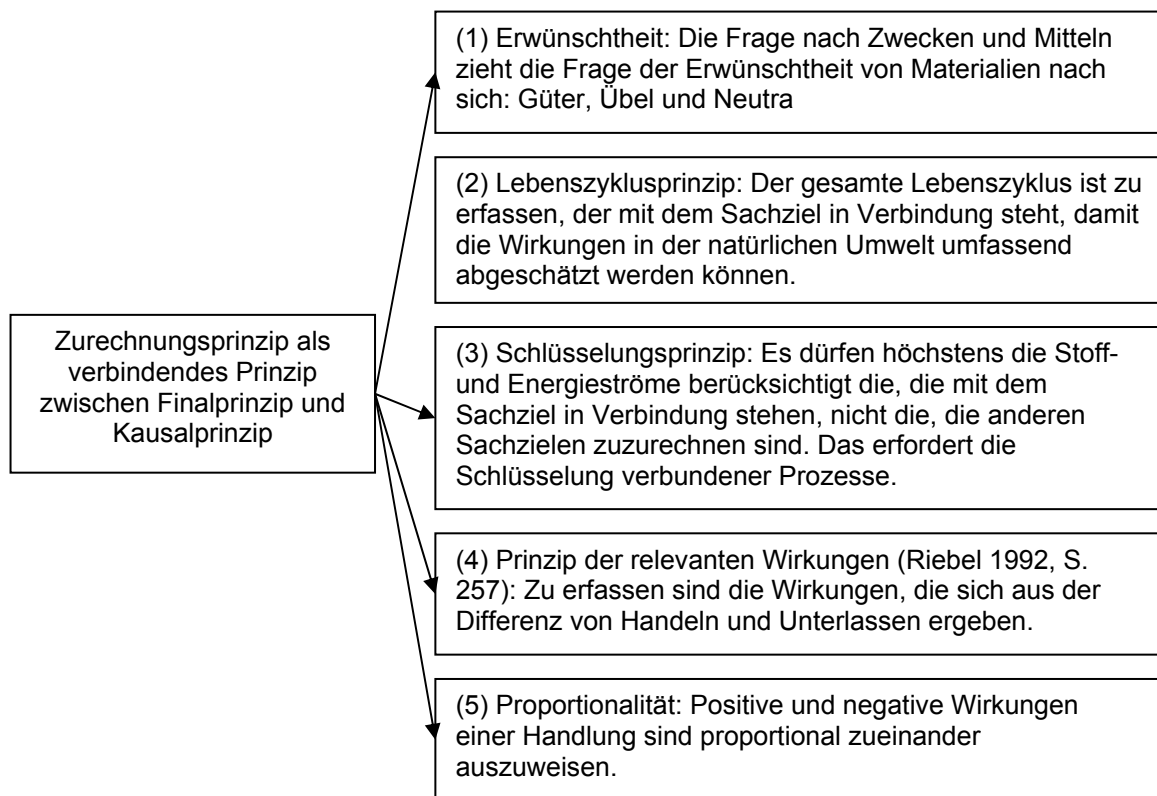


Abbildung 9. Zurechnungsprinzip als verbindendes Element zwischen dem Denken in Zwecken und Mitteln (Finalprinzip) und dem Denken in vernetzten Stoff- und Energieströme (Kausalprinzip)

(1) Erwünschtheit:

In Stoffstromanalysen hat man mit Materialien zu tun. Untersucht man die Pfade und Bestände eines Stoffs in einem System, dann muss man im Modell nichts über die Erwünschtheit des Stoffes sagen. Es kann sogar sein, dass sich diese Frage der Erwünschtheit je nach Ort und Konzentration ändert. Wenn man beispielsweise die Bleiströme und –bestände in einem Industrieland untersucht, dann verbindet sich mit dem „neutralen“ Begriff Blei in der Herstellung und Nutzung von Produkten, die Blei beinhalten, etwas Positives (Bleiakkus), dies ändert sich bei der Entsorgung (Entsorgung der Akkus) und entsprechenden Verlusten (Blei im Abwasser). Die Frage der Erwünschtheit wird im Modell ausgeklammert und kommt erst mit der Interpretation des Modells hinzu. Ein solcher Ansatz kann nicht auf entscheidungsorientierte Stoffstromanalysen angewendet werden. „Neutrale“ Materialbezeichner allerdings geben keine Auskunft darüber: Was ist uns zum Nutzen, was ist Abfall, was ist ein Rohstoff? Hier zeigt sich, dass mit Begriffen wie Rohstoff, Zwischenprodukte oder Abfall eine Kategorisierung von Materialien vorgenommen wird, in der sich die Ebene der Mittel und Zwecke ausdrückt: Man muss festlegen, was wünschenswert ist und was nicht. Der Produktionstheoretiker Dyckhoff hat daher vorgeschlagen, negative Güter als Übel und neutrale Güter als Neutra zu bezeichnen (vgl. Dyckhoff 1994, S. 65ff.).

Gut	Der Begriff Gut wird für Materialien verwendet, die in einem bestimmten Kontext als unerwünscht eingestuft werden.
Übel	Materialien werden dann als Übel bezeichnet, wenn sie in einem bestimmten Kontext als unerwünscht eingestuft werden.
Neutrum	Als Neutra werden die Materialien eingestuft, denen in einem bestimmten Kontext keinen Wert zugemessen wird, weder positiv noch negativ. Auch wird bei Neutra angenommen, dass ihre Entnahme und Emission keine negativen Umweltwirkungen hat (keine knappe Ressourcen, keine Umweltwirkungen durch Abgabe in die natürliche Umwelt, z.B. Abgabe von Wasserdampf (entsteht bei Verbrennungsprozessen, Verbrauch von Luftsauerstoff usw.)

Tabelle 2. Einteilung materieller Objekte nach der Erwünschtheit – Voraussetzung für die Verbindung mit der Zweck-Mittel-Ebene

Man muss sich vergegenwärtigen, dass es sich bei der Einteilung der Materialien in Güter, Übel und Neutra um eine Bewertung handelt, die Kategorisierung kann nicht aus den Materialien selbst oder bestimmten physikalischen Eigenschaften abgeleitet werden. Diese Kategorisierung gilt oft für das gesamte Stoffstrommodell. Es kann aber auch vorkommen, dass ein Material in dem einen Kontext als Gut einzustufen ist und in einem anderen als Übel. Das betrifft viele Schwermetalle. So ist Blei als Ressource für die Produktion von Akkumulatoren ein Gut und im Abwasser ein Übel.

Während Computerprogramme schlüssig mit dem Ortsbezug der (Un-) Erwünschtheit umgehen können, ist die Verwendung nicht zwingend. In vielen Stoffstromanalysen werden verschiedene Materialien je nach Ort ihrer Verwendung eingeführt. Man kennzeichnet den Kontext in Klammern. Beispielsweise findet man Bezeichner wie „Blei (R)“ für erwünschtes Blei als Ressource oder „Blei (W)“ für unerwünschtes Blei im Abwasser. Die Kategorisierung lässt sich dann im gesamten Stoffstrommodell anwenden.

(2) Lebenszyklusprinzip:

Die Zuordnung von Material und Energie zu erwünschten und unerwünschten Objekten erlaubt es im Rahmen der Life-Cycle Inventory Analysis (LCI Analysis), verschiedene Prozesse innerhalb des anthropogenen Systems in Beziehung zu setzen. Wenn beispielsweise ein Lkw-Transport modelliert wird, dann geht in diesen das Material Diesel ein. Dieses Gut erhält man an einer Tankstelle, vorher wurde es dort angeliefert und davor in einer Raffinerie hergestellt. Es ergibt sich eine so genannte Vorkette Diesel, die sich am erwünschten Material Diesel bzw. dessen Vorprodukten orientiert. Es muss die Frage gestellt werden,

wann diese Verfolgung von Stoffen im anthropogenen System und in der natürlichen Umwelt endet.

Es dürfen, weil die Umweltwirkungen zu bestimmen sind, nicht zu wenige Stoff- und Energieströme erfasst werden und die Modellgrenzen nicht zu eng gezogen werden. Dies hängt mit dem zweiten Modellierungsschritt zusammen, in dem Aussagen über die Wirkungen der Stoff- und Energieströme in der natürlichen Umwelt außerhalb der Anthroposphäre gewonnen werden sollen. Dieser Schritt wird als Wirkungsabschätzung bezeichnet. Die Wirkungsabschätzung ist unvollständig, wenn in der Stoffstromanalyse die Stoff- und Energieströme nicht bis zur Grenze zwischen Anthroposphäre und natürlicher Umwelt verfolgt werden. Es handelt sich dabei um eine Art Schnittstellenvereinbarung zwischen den beiden Schritten. Ein Grundsatz des Life-Cycle Assessments, das sich auch bereits in der englischen Bezeichnung der Methode manifestiert, ist, die Stoff- und Energieströme „von der Wiege bis zur Bahre“ zu modellieren.

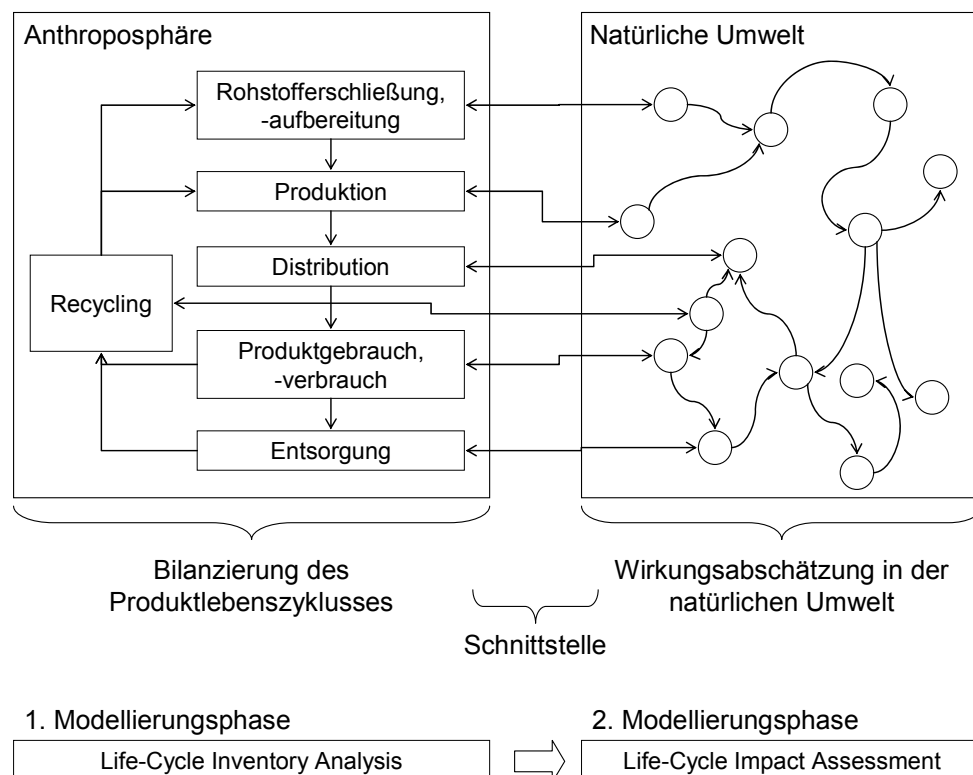


Abbildung 10. Bilanzierung „von der Wiege bis zur Bahre“ als notwendige Voraussetzung für die systematische Verknüpfung der beiden methodischen Ansätze des Life-Cycle Assessments

Die Einteilung des gesamten Lebenszyklusses in mehrere Phasen macht es unter bestimmten Umständen aber auch möglich, nur Teilabschnitte des Lebenszyklusses zu betrachten. Es sind folgende Bedingungen zu beachten:

- Innerhalb der Phase werden die eingesetzten Hilfsstoffe, die für die Stoff- und Energietransformationen benötigt werden, von den Quellen bis zu den Senken in der

natürlichen Umwelt verfolgt. Wenn zum Beispiel ein Transport modelliert wird, dann ist auch die Vorkette zur Herstellung von Diesel einzubeziehen.

- Für den Vergleich darf sich der Rahmen im Produktlebenszyklus nicht verändern. Das heißt, man kann im Rahmen der Analyse die Phase auf verschiedene Weise realisieren, aber außerhalb hat dies keine relevanten Auswirkungen.

Es können mehrere Konstellationen unterschieden werden, in denen nur Abschnitte des gesamten Produktlebenszyklusses modelliert werden: die Produktökobilanz, die nur die Herstellung eines Produkts modelliert, die Verfahrensbilanz, bei der es um die Auslegung einzelner Produktionsschritte geht, und die Abfallbilanz, bei der lediglich die Entsorgungsphase modelliert wird. Die Produktökobilanz, die nur die Herstellung eines Produkts modelliert, kann sich allerdings in der Regel nicht nur auf die Produktion beschränken. Die verschiedenen Varianten erfordern unterschiedliche Vorketten für die Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, so dass in dieser Form der Produktökobilanz auch die Rohstofferschließung und -aufbereitung einzubeziehen ist („Cradle to Gate“-Bilanzierung).

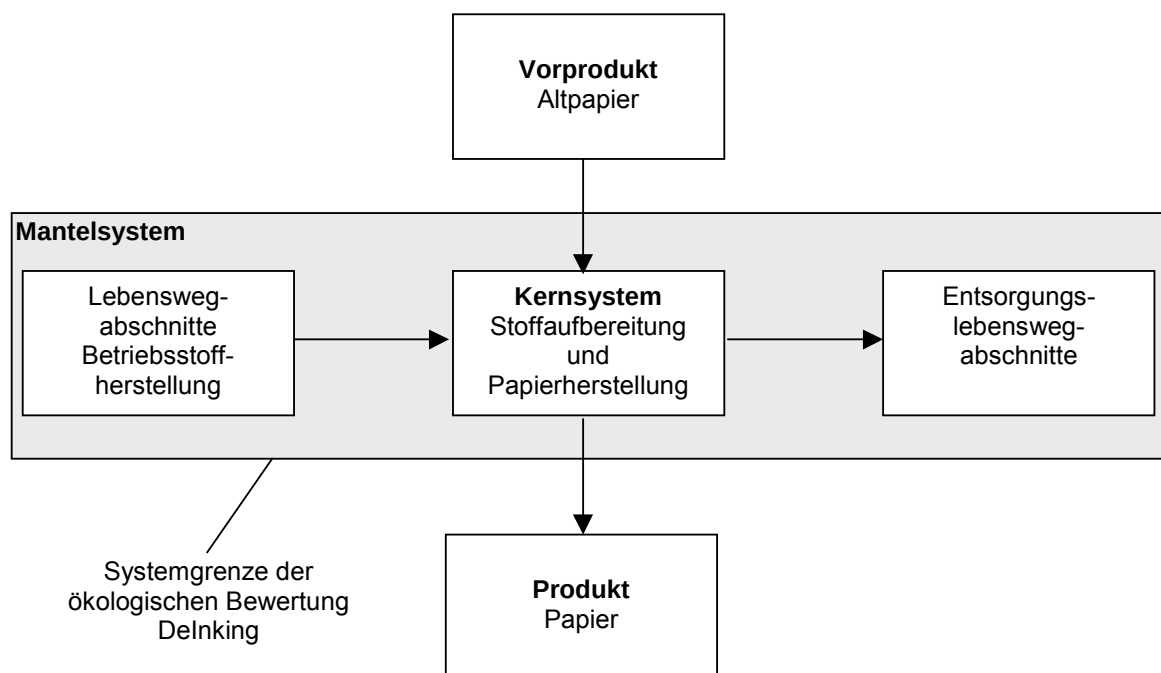


Abbildung 11. Kern- und Mantelsystem der Stoffaufbereitung und Papierherstellung (in Anlehnung an Ackermann 2000, S. 145)

Im Rahmen von betrieblichen Stoffstromanalysen und für die Nutzung von Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext von besonderer Bedeutung sind die Verfahrensbilanzen. Sie dienen dem Verfahrensvergleich. Die Verfahrensbilanzen zielen daher nicht darauf ab, einzelne Produkte über den gesamten Lebensweg hinweg zu vergleichen. Vielmehr beziehen sich die rational zu treffenden Entscheidungen auf Produktionsprozesse und deren Gestaltung. Dennoch kann die Methodik des Life-Cycle Assessments zum Einsatz kommen, wenn

die Produkte und wesentlichen Vorprodukte nicht in Frage stehen (mehr dazu siehe Relevanzprinzip!). Dadurch können die Teile des Gesamtsystems weggelassen werden, auf die sich die Umstellungen nicht direkt auswirken. Dies führt zu den Systemgrenzen der „ökologische Betriebsoptimierung“ (ÖBU), vgl. Ackermann 2000, S. 143ff).

Ein Beispiel ist die Stoffaufbereitung im Rahmen der Papierproduktion. Es können dabei verschiedene Varianten des De-Inkings untersucht werden. Die Stoffaufbereitung stellt zusammen mit der Papierherstellung folglich das Kernsystem des zu untersuchenden Verfahrens dar. Einbezogen werden allerdings auch die Vor- und Nachketten für die beteiligten Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Abfälle und Emissionen (Mantelsystem). Mit anderen Worten: Die Stoff- und Energieströme werden zwar „von der Wiege bis zur Bahre“ verfolgt, allerdings nur, soweit sie mit der Lebenszyklusphase „Stoffaufbereitung und Papierherstellung“ zusammenhängen.

(3) Schlüsselungsprinzip:

Es dürfen nicht Umweltwirkungen in die Modellierung einbezogen werden, die nicht mit der Nutzung des Produkts bzw. Dienstleistung zusammenhängen. Dies führt zur so genannten Kuppelproduktionsproblematik. Viele Transformationen bringen gleich mehrere erwünschte Objekte hervor. Man denke nur an den Raffinerieprozess im Rahmen der Erdölverarbeitung. Typische Produkte sind Benzin, Diesel oder schweres Heizöl. Weil die Erdölverarbeitung heute in nahezu jeden Produktlebenszyklus einzubeziehen ist, hat man es mit zahlreichen Nebenprodukten zu tun, die in der Analyse nichts zu suchen haben. Es dürfen nur genau die Erdölprodukte einbezogen werden, die für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung des betrachteten Produkts benötigt werden. Um dies im Stoffstrommodell zu gewährleisten, bedient man sich eines Tricks: Der Kuppelprozess wird in mehrere fiktive Einzelprozesse zerlegt. Jeder dieser fiktiven Einzelprozesse bringt genau ein erwünschtes Resultat hervor.

Formal kann man Kuppelprozesse anhand der Erwünschtheit der Inputs und Outputs eines ggf. verbundenen Prozesses identifizieren: Den Aufwand eines Prozesses machen die Güter auf der Inputseite und die Übel auf der Outputseite aus, die Erträge setzen sich zusammen aus den Übeln auf der Inputseite und den Gütern auf der Outputseite. Wenn bei dieser Prüfung festgestellt wird, dass die Anzahl der Erträge größer als eins ist, hat man es mit einem Kuppelprozess zu tun.

Beispielsweise wird für den Transport von Getränkeverpackungen in der Regel Diesel benötigt. Im produktbezogenen Stoffstrommodell des Life-Cycle Assessments wird der Dieselbedarf mit Hilfe eines fiktiven Dieselproduktionsprozesses gedeckt, der alle Schritte enthält, um Diesel herzustellen: Dieselförderung als Teil der Erdölförderung, Dieseltransport als Teil des Erdöltransports, Dieselraffinerieprozess und schließlich – nicht mehr mit der Kuppelproduktionsproblematik behaftet – der Dieseltransport zur Tankstelle. Tatsächlich ist

aber der Raffinerieprozess ein Kuppelprozess, der neben dem Ertrag Diesel noch weitere Erträge hervorbringt: leichtes und schweres Heizöl, Gas usw. Ein Ein-Ertrags-Prozess „Dieselproduktion“ ist damit ein fiktiver und künstlicher nach der Zerlegung des verbundenen Prozesses.

Während für das Life-Cycle Assessment die Frage der Allokationsregeln für Kuppelproduktion auf der Ebene geeigneter Modellansätze zur Schlüsselung diskutiert wird, wird die Schlüsselung in der Kostenrechnung grundsätzlich in Frage gestellt: „Wie besonders bei der Kuppelproduktion offenkundig und seit langem bekannt ist, lassen sich die gemeinsamen oder verbundenen Kosten nur willkürlich auf die verbundenen Produkte aufteilen“ (Riebel 1992, S. 252). Unterschieden werden hierfür Einzelkosten und verbundene Kosten wobei unter Einzelkosten die Kosten verstanden werden, die einem Bezugsobjekt zwingend und eindeutig zuzurechnen sind (vgl. Riebel 1992, S. 252). Es sind Ansätze entwickelt worden, die es ermöglichen, nur noch mit Einzelkosten zu arbeiten (Einzelkostenrechnung), Verbundene Kosten werden nicht geschlüsselt. Stattdessen wird nicht länger von einer einzelnen positiven Wirkung ausgegangen. Vielmehr werden Kosten als Einzelkosten mit Elementen eines Bezugsobjektsystems in Beziehung gesetzt, dieses Bezugsobjektsystem wiederum kann als Zweck-Mittel-Komplex aufgefasst werden, der wiederum mit Entscheidungsprozessen und -strukturen in Beziehung steht.

(4) Relevanzprinzip:

Im Life-Cycle Assessment dienen wie gesagt Entscheidungen als zentraler Ausgangspunkt für die Informationsbeschaffung. Das Ziel von Entscheidungen ist ein verändertes Verhalten des betrachteten Stoff- und Energieflusssystems. Dieses gewünschte veränderte Systemverhalten soll die Umweltschutz- bzw. Nachhaltigkeitsziele des Entscheidungsträgers mit den ändernden Strukturen des anthropogenen Systems und der natürlichen Umwelt so in Einklang bringen, dass die Ziele optimal erreicht werden.

Es können verschiedene Formen der Veränderung unterschieden werden, und diese Formen der Veränderung haben auch eine unterschiedliche zeitliche Reichweite. Bossel (1994, S. 24) grenzt die Formen nach dem Reaktionsmuster des Systems ab. So nennt er die einfachste und sofort wirkende Systemreaktion die „Ursache-Wirkungsbeziehung“. Er meint damit, dass es zu einem sofortigen und klar definierten Feed-back des Systems kommt: Man betätigt den Lichtschalter, und der Raum ist beleuchtet. Die von Bossel (1994, S. 24) vorgestellte Tabelle kann bezogen auf betriebliche Entscheidungen wie folgt angepasst werden:

Reaktionszeit	Ebene	Reaktion
Sehr lang	Evolution	Identitätswandel
Lang	Selbstorganisation	Strukturwandel
Mittel	Anpassung	Parameteränderung
Kurz	Rückkopplung	Regelung
Sofort	Prozess	Ursache-Wirkung

Tabelle 3. Formen der Veränderung nach Bossel (1994, S. 24)

Auch nachhaltigkeits- und umweltschutzbezogene Entscheidungen können mit den Reaktionen und Reaktionszeiten verknüpft werden. Beispielsweise kann versucht werden, die Lagerhaltung, unter Beachtung von Umweltschutzaspekten zu optimieren. Dieser Anstrengung soll allerdings nicht jedes Mal unterworfen, wenn sich der Lagerbestand verändert. Vielmehr wird man versuchen, eine Regelung in Form einer Lagerhaltungspolitik zu etablieren. Der so installierte Regelkreis soll gewährleisten, dass die konfligierenden Ziele der Sofortlieferfähigkeit und des möglichst geringen Lagerbestandes stets optimal abgestimmt sind (vgl. Page 1991, S. 56).

Viele betriebliche Optimierungsanstrengungen setzen auf der mittleren Ebene an: Externe Rahmenbedingungen haben sich geändert, und die Frage ist, wie sich das System optimal auf die neue Situation einstellt (Einfluss der Veränderungen der Einkaufspreise auf den Produktmix, Einfluss neuer CO₂-Abgaben usw.).

Bemerkenswert an der Tabelle von Bossel ist, dass mit der Reaktion ein Prozess der Veränderung angesprochen wird. Es geht um die Differenz „Hinterher – Vorher“ und nicht um völlig neue gedachte Strukturen, Einstellungen und Regelungen „auf der grünen Wiese“. Das Führungshandeln muss also nach den angestrebten oder, in der Rückschau, eingetretenen Veränderungen beurteilt werden. Dies klingt selbstverständlich, hat aber erheblichen Einfluss auf die Modelle und die Interpretation der Modellergebnisse.

Hierzu kann das Beispiel Life-Cycle Assessment angeführt werden. Life-Cycle Assessment modelliert und evaluiert mit dem Ansatz des „Attributional LCI Methodology“ Strukturen und nicht Strukturveränderungen. Mittlerweile gibt es aber auch eine Diskussion um eine „consequential LCI methodology“ (Ekvall, Weidema 2004, S. 161). „The consequential LCI methodology ... aims at describing how the environmentally relevant physical flows to and from the technological system will change in response to possible changes in the life cycle... The consequential LCI methodology is designed to generate information on consequences of

action“ (Ekvall, Weidema a.a.O.). Diese Definition verwundet etwas, weil auch die „Attributional LCI Methodology Entscheidungen als Grundlage hat. Der Unterschied ist eher darin zu sehen, dass mit dem Attributional LCA Strukturen untersucht werden, während es bei den Consequential LCA um Strukturveränderungen geht.

Hier ist also eine Diskussion angekommen, die man in den Wirtschaftswissenschaften bereits seit langem kennt: Für Entscheidungen ist das Relevanzprinzip zu beachten. „Nach diesem –auch als ‚Prinzip der relevanten Wirkungen‘ oder eingeeengt als ‚Prinzip der relevanten Kosten‘ bezeichneten – Grundsatz sind bei der vor- und rückschauenden Beurteilung einer Entscheidungsalternative nur die im Falle ihrer Realisierung gegenüber dem Unterlassen zusätzlich ausgelösten positiven und negativen Wirkungen zu berücksichtigen“ (Riebel 1991, S. 257).

Riebel hat aus den Prinzipien ein Kostenrechnungssystem abgeleitet, das sich erheblich von anderen unterscheidet. Wichtiger noch ist aber die Diskussion, die Riebel mit der konsequenten Umsetzung der Prinzipien ausgelöst hat: eine gründliche Aufarbeitung der theoretischen Grundlagen der Kostenrechnung. Beim Life-Cycle Assessment gibt es nur erste Anregungen, und es ist dringend erforderlich, die Diskussion auch für das Life-Cycle Assessment zu führen.

(5) Proportionalitätsprinzip:

Dieses Prinzip besagt, dass die negativen Wirkungen proportional zu den positiven ausgewiesen werden müssen. Mit anderen Worten: Man muss fordern, dass die quantitativen Ergebnisse der Analyse linear abhängig sind von der Höhe des Referenzflusses. Die Wahl der Höhe des Referenzflusses kann man daher von der Entscheidungssituation, etwa vom Alternativenvergleich, abhängig machen. So kann man die Analyse für einen Liter Getränk durchführen. Man darf daher davon ausgehen, dass man vor der Analyse den Referenzfluss mit einem Faktor 2 oder ähnlich versehen kann, nach der Analyse die Ergebnisse durch den Wert teilt und zu den gleichen Ergebnissen kommt. Die Linearitätsanforderung hat direkten Einfluss auf die Abbildung des Realprozesses, etwa auf die Modellierung der Transformationen. Zulässig sind nur noch lineare Transformationen derart, dass mit Hilfe so genannter Produktionskoeffizienten ein lineares Verhältnis zwischen den verschiedenen Input- und Outputströmen angegeben werden kann; es ergibt sich ein Vektor aus Input- und Outputkoeffizienten. Nicht-lineare Beziehungen zwischen den Inputs und Outputs einer Transformation sind nicht zugelassen. Damit lassen sich beispielsweise Aspekte der Kapazitätsauslastung nicht direkt im Rahmen des Life-Cycle Assessments erfassen und abbilden.

Der Physiker Feynmann verwendet für solche Anforderungen den Begriff der Symmetrie und greift dabei eine Definition von Weyl zurück: „Ein Gegenstand ist symmetrisch, wenn man ihn einer bestimmten Operation unterwerfen kann, nach deren Anwendung er vollkommen

unverändert erscheint“ (Feynmann 2004, S. 41). Mit dem Finalprinzip verbinden sich mehrere solcher Symmetrien. Die lineare Abhängigkeit der quantitativen Ergebnisse des Life-Cycle Assessments von der Höhe des Referenzflusses ist eine solche Symmetrie. Zweitens ist es für die Analyse prinzipiell egal, in welchem Umfang sonst noch im Umfeld Stoff- und Energieströme auftreten. Stoff- und Energieströme, die anderen Produkten bzw. Entscheidungen zuzurechnen sind, beeinflussen die Analyse nicht.

Eine weitere Symmetrie betrifft die Zeit bzw. die Wechselwirkungen zwischen Beständen und Zeit. Die weiter oben beschriebenen Wechselwirkungen zwischen veränderlichen Eigenschaften des Stoffstrommodells und der Zeit sollen auf das Ergebnis der produktbezogenen Stoffstromanalyse keinen beziehungsweise einen klar definierten Einfluss haben. Beispielsweise könnte es sein, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt t_1 die Kartonverpackungen aus dem Warenausgangslager des Verpackungsmittelherstellers geliefert worden können und zu einem anderen Zeitpunkt t_2 müssen sie erst noch produziert werden. Von solchen Effekten an den Lagern ist im Life-Cycle Assessment zu abstrahieren, und die Anforderung, den gesamten Lebenszyklus zu berücksichtigen, verlangt an dieser Stelle, unabhängig von möglichen Lagerbestandsveränderungen die Produktion der Getränkeverpackung in die Analyse einzubeziehen.

Die Schlussfolgerung, die sich aus dieser Symmetrieforderung ergibt, ist weit reichend: Im Life-Cycle Assessment werden keine Bestände modelliert. Für die Modellierung der Stoffstromsysteme ergibt sich damit, dass nur noch ein Typ von Systembestandteilen zu modellieren ist, dass also nur noch allein Transformationen abgebildet werden und diese auch keine internen Bestände umfassen dürfen.

Die Frage der Zeit hat allerdings noch eine viel grundlegendere Bedeutung beim Life-Cycle Assessment. Die Funktionen im produktbezogenen Stoffstrommodell sind festgelegt und stabil. Dies ist unter bestimmten Umständen akzeptabel: Das System bewegt sich von selbst oder durch zu ergreifende Maßnahmen (das Stoffstrommodell als Zielangabe für entsprechende Strategien) zum modellierten Zustand hin und bleibt dort stabil. Das Stoffstrommodell beschreibt einen eingeschwungenen Zustand.

Man könnte daran kritisieren, dass Systeme nur selten als statisch und stabil anzusehen seien; das sich im stabilen Gleichgewicht befindliche System sei eine unzulässige Abstraktion. Dabei muss man jedoch bedenken, dass es eine enge Wechselwirkung zwischen Modell und modellierter Welt gibt: die Realität wird nach dem Modell konstruiert. Selbst wenn die Annahmen anfangs nicht gelten, so treffen sie später zu: die Annahme später zu.

Daher können sich die Abstraktionen auch aus einer Denktradition ergeben: Wie bekommt man dynamische System in den Griff? Betrachtet man das Life-Cycle Assessment, so

werden offensichtlich Anleihen bei der Armee und bei der Bürokratie gemacht: Das Stoffstromgeschehen wird durchbürokratisiert; alles hat seinen klar definierten Platz und seine klar spezifizierte Funktion; das Verhalten des Systems ist dann optimal, wenn alle das tun, was sie sollen. Mit anderen Worten: Die sich evolutionär verändernden Stoff- und Energieströme werden der bürokratischen Organisation unterzogen, so dass das System nun tatsächlich einen entsprechenden Gleichgewichtszustand zustrebt: die Modellannahmen werden zur Realität.

1.7.3 Umsetzung der Prinzipien im Life-Cycle Assessment

Die Prinzipien für entscheidungsorientierte Informationssysteme auf der Basis der Abbildung des Stoff- und Energieflussgeschehens führen direkt zum mathematischen Instrumentarium, das zur Beschreibung der produkt- bzw. dienstleistungsbezogenen anthropogenen Stoff- und Energieströme herangezogen werden kann (Life-Cycle Inventory Analysis) und in ähnlicher Weise auch in der Kostenrechnung anzutreffen ist: die lineare Algebra. Grundlage ist dabei die Überlegung, dass die Prozessniveaus aller beteiligten (Ein-Ertrags-) Prozesse so zu bestimmen sind, dass exakt die Menge des Referenzflusses zu bestimmen ist. Daraus ergibt sich unmittelbar ein einfaches sequentielles Vorgehen (vgl. nachfolgende Abbildung).

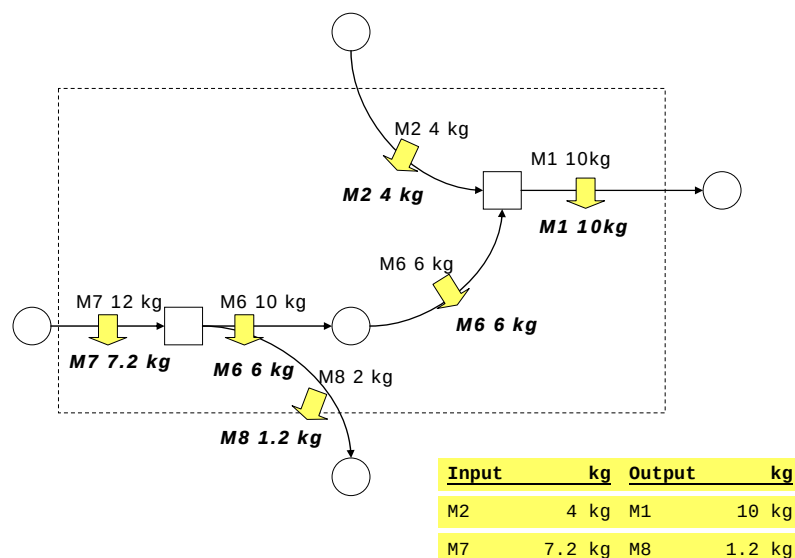


Abbildung 12. Sequentielle Methode zur Bestimmung des Life-Cycle Inventories: Die periodenbezogenen Stoff- und Energieströme sind in normaler Schrift dargestellt (sie definieren die einzelnen Prozesse, indem sie als Produktionskoeffizienten interpretiert werden), die skalierten Größen fett und kursiv.

Da es jedoch Zyklen geben kann (vgl. die sich anschließende Abbildung), verwendet man in Software-Tools üblicherweise die so genannte Matrixmethode, um die Prozessniveaus zu bestimmen (vgl. Schmidt 1995, S. 97ff., Heijungs 1994): Der Lösungsvektor eines linearen

Gleichungssystems, dass die Vernetzung des Systems beschreibt, liefert die Prozessniveaus.

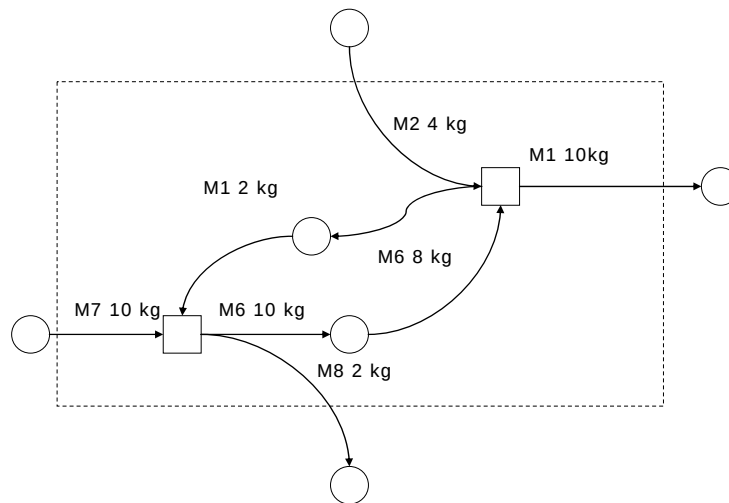


Abbildung 13. Beispiel für einen Zyklus im System, der zu Problemen bei der Verwendung der sequentiellen Methode führt

In einer Matrix wird die Vernetzung der verschiedenen beteiligten Transformationen abgebildet. Dabei kann auf die Vektoren, welche die Einzelprozesse beschreiben zurückgegriffen werden. Jede Zeile der Matrix steht für einen Stoff- oder Energiestrom, der zwischen den Transformationen ausgetauscht wird; alle Koeffizienten der Vektoren, die nicht am internen Stoff- und Energieaustausch beteiligt sind, bleiben hierbei unbeachtet. Ein lineares Gleichungssystem ergibt sich, wenn man auch noch eine rechte Seite ergänzt. Dieser Vektor ist sehr einfach aufgebaut, indem man den Koeffizienten für die Zeile des Referenzflusses auf die gewünschte Menge setzt und alle anderen Koeffizienten auf 0.

Die Lösung des Gleichungssystems liefert dann die so genannten Prozessniveaus für die beteiligten Einzelprozesse an. Nun können die Koeffizienten der Transformationen herangezogen werden, die nicht am internen Stoff- und Energieaustausch beteiligt sind und daher den Stoff- und Energieaustausch mit der Umwelt angeben. Die Prozessniveaus, multipliziert mit diesen Koeffizienten, liefern den prozessbezogenen Stoff- und Energieaustausch mit der Umwelt. Addiert man dann je Material alle Input- und Outputströme und nimmt den Referenzfluss hinzu, erhält man eine produktbezogene Input/Output-Darstellung. Auf der Inputseite wird angegeben, welche Stoff- und Energieströme in das anthropogene System auftreten, auf der Outputseite die, welche es verlassen. Eine Ausnahme bildet lediglich der Referenzfluss. Diese Darstellung bildet genau die Schnittstelle zur nachfolgenden Wirkungsabschätzung.

Beim Life-Cycle Assessment werden also die Realprozesse in einer sehr speziellen Weise modelliert, die durch die Prinzipien vorgegeben wird. Nicht-lineare Transformationen, Bestände usw. sind in den Modellen nicht erlaubt, jeder Prozess hat genau einen Ertrag

(Zerlegung verbundener Produktionen), Zeitdynamik nur aggregiert berücksichtigt usw. Die Realprozesse sind also bereits so weit aufbereitet, dass bei der Life-Cycle Inventory Analysis dann doch eine sehr spezifische Strukturähnlichkeit zwischen Realprozessen und Stoffstrommodell hinsichtlich des Kausalprinzips hergestellt wird. Deutlich wird dies vor allem, wenn man das Life-Cycle Assessment mit anderen Modellierungsansätzen des Stoffstromparadigmas vergleicht. So wird bei Simulationsansätzen sehr deutlich, dass man sich dort allein auf das Kausalprinzip stützt.

1.7.4 Datenbanken für Lebenszyklusdaten

Eine praktische Konsequenz ist, dass man die Vektoren in der LCI-Matrix zu füllen hat. Datenbanken für das Life-Cycle Assessment dienen also letztlich dazu, die LCI-Matrix mit Zahlenwerten zu füllen. LCA-Datenbanken dienen also nicht dazu, auf universell Submodelle für die Prozesse zur Verfügung zu stellen. Vielmehr muss den Anforderungen genüge getan werden, diese aus dem Zurechnungsprinzip als Link zwischen der Ebene von Zwecken und Mitteln sowie der materiellen Ebene der Stoff- und Energieströme ergibt:

- Die Prozesse werden mit Hilfe linearer Produktionskoeffizienten beschrieben: Proportionalitätsprinzip, einschließlich Herauskürzen der Bestände, kein dynamisches Verhältnis zwischen Flüssen und Beständen. Es ist zwar denkbar und sinnvoll, mit parametrisierten Daten zu arbeiten. Diese Parameter dienen aber der vorgelagerten Anpassung eines Datensatzes an den Einsatzkontext. In der LCI Analysis tauschen die Parameter nicht länger auf.
- Die Prozesse sind so genannte Ein-Ertrags-Prozesse, d.h. sie dienen dem Hervorbringen genau eines mengenmäßigen Ertrags, zumeist eines (Zwischen-) Produkts. Wenn Kuppelprozesse in die Datenbank aufgenommen werden sollen, müssen gleich auch Allokationsregeln angegeben werden, die das Erzeugen der Ein-Ertrags-Prozesse ermöglichen. Diese Rechenschritte sind, ähnlich wie die Auswerten der Parameter, der eigentlichen LCI Analysis vorgelagert: Die Kuppelprozesse sind kein Bestandteil der Matrix (Schlüsselungsnotwendigkeit). Bei der Bildung von Ein-Ertrags-Prozessen wird implizit mit der Erwünschtheit gearbeitet: Alle Inputs sind Güter und alle Outputs sind Übel, mit der entscheidenden Ausnahme des Ertrags. Er kann auf der Outputseite als Gut auftreten (Produktionsprozess) oder auf der Inputseite als Übel (Reduktionsprozess). Die Vektoren haben damit einen sehr klar definierten Aufbau.
- Die Prozesse setzen eine Attributional LCI Methodology voraus; es wird also ein System „auf der grünen Wiese“ geplant, so dass in der Datenbank Annahmen über die Strukturveränderungen getroffen werden können, während die Consequential LCI

Methodology Wissen über den Kontext erfordert und damit den Ansatz der Datenbank in Frage stellt.

Blickt man auf computerbasierte betriebliche Informationssysteme, dann ergeben sich zwei grundlegende Probleme.

- Betriebliche Informationssysteme enthalten nicht alle Daten, die für das Life-Cycle Assessment erforderlich sind. Das betrifft auch unternehmensinterne Daten.
- Selbst wenn Daten vorhanden sind, liegen sie nicht in dem spezifischen Format vor, die für die LCI Analysis erforderlich sind.

Bei der Frage der Nutzung betrieblicher Daten für das Life-Cycle Assessment müssen also zwei Herausforderungen gelöst werden: Das Schließen der Datenlücken (zum Beispiel durch Datenausgleichsrechnungen) und das Anpassen vorhandener Daten an die spezifischen Anforderungen des Life-Cycle Assessments. Bevor diese Fragen direkt bearbeitet werden, soll vorgelagert auf Stoffstromanalysen im betrieblichen Kontext näher eingegangen werden.

1.8 Stoffstromanalysen im betrieblichen Kontext

Die gemeinsame Logik aller entscheidungsorientierter Methoden ist, dass man von Entscheidungen und Handlungen der Menschen ausgeht und versucht, Aussagen über Umweltwirkungen zu gewinnen. Die Frage ist, wie anschlussfähig diese Ergebnisgrößen sind. Ruft man sich die Grundregeln der Nachhaltigkeit in Erinnerung, dann werden staatliche Akteure, die eine nachhaltige Entwicklung auf politischer Ebene verfolgen, auf Verstöße gegen die Grundprinzipien der Nachhaltigkeit mit Regelungen reagieren: Im einfachsten Falle bestehen diese Regelungen in Verboten, andere Möglichkeiten sind freiwillige Selbstverpflichtungen derjenigen, die für problematische Stoff- und Energieströme verantwortlich sind. Zu den Handlungsoptionen zählt aber auch die Etablierung eines Zertifikathandels.

Betriebliche Akteure haben keinen direkten Anlass, auf Veränderungen in der natürlichen Umwelt zu reagieren (direktes Feed-back). Die Nicht-Nachhaltigkeit des eigenen Handelns ist nicht unmittelbar entscheidungsrelevant. Hier wirkt sich das beim Life-Cycle Assessment diskutierte Relevanzprinzip konkret aus. Die Beiträge einzelner Akteure zu globalen Umweltveränderungen sind minimal, dass der Einzelne an den Prozessen nichts ändern kann. Nicht zuletzt deswegen sind auch keine entsprechenden internen Unternehmensrechnungen etabliert worden.

Man kann die Daten entscheidungsrelevant werden lassen, indem man entsprechende Ziele im Zielsystem eines Unternehmens verankert. Formuliert ein Unternehmen in seinem Zielsystem, dass es ein nachhaltiges Unternehmen sein will, bekommen die Daten aus den

Stoffstromanalysen direkte Bedeutung für Entscheidungen. Solange dies allerdings nicht der Fall ist, handeln die Unternehmen rational, die keine Stoffstromanalysen durchführen. Betrachtet man die praktische Entwicklung der letzten Jahrzehnte, dann ist festzustellen, dass der Appell, Umweltschutz und Nachhaltigkeit ins Zielsystem aufzunehmen und entsprechend zu handeln (was dann zur Sicherung der Rationalität neue Konzepte des innerbetrieblichen Informationssystems erfordert, zum Beispiel Öko-Controlling), kaum aufgegriffen worden ist (vgl. Müller-Christ 2001, S. 12f.).

Dennoch bleiben Umweltschutz und Nachhaltigkeit wichtige Themen für Unternehmen. Es scheint, als gäbe es durchaus einen betrieblichen Bedarf an nachhaltigkeitsbezogenen Informationssystemen, es scheint aber auch, als würden die erarbeiteten Lösungen wie Life-Cycle Assessment diesen Bedarf nur unzureichend abdecken. Der nahe liegende Ansatz der Aufnahme der Nachhaltigkeit in das Zielsystem scheint so einfach nicht zu greifen.

Hilfreich könnte für eine differenziertere Betrachtung die Unterscheidung von Formal- und Sachzielen zu sein. „Ein Formalziel ist ein gewünschter geldwerter Zustand. Er betrifft die Finanzsphäre eines Wirtschaftssubjekts. Zielgrößen sind Einkommen, Gewinn, Kostendeckung, Deckungsbeitrag, Umsatz, Rentabilität... Demgegenüber stellt ein Sachziel einen hinsichtlich Art, Menge, Güte, Raum und Zeit erwünschten naturalen Zustand dar. Er betrifft die Leistungssphäre eines Wirtschaftssubjekts“ (Eichhorn 2000, S. 163f.). Und weiter stellt Eichhorn fest: „Durch ihre Verknüpfung mit den Formalzielen werden die Sachziele ökonomisiert“ (Eichhorn a.a.O.).

Die Notwendigkeit der Ökonomisierung zeigt sich in der gegenwärtigen Diskussion um betriebliche Stoffstromanalysen an zwei Stellen:

- Die Diskussion um nachhaltigkeitsbezogene Effizienzkennzahlen, sei es die Materialeffizienz, die Energieeffizienz oder auch allgemein die Öko-Effizienz. Die Anschlussfähigkeit zeigt sich daran, dass sich diese Zahlen sehr gut in Managementinstrumente wie der Balanced Scorecard einfügen (vgl. Möller, Schaltegger 2005).
- Die Diskussion um Umweltkostenrechnungen (vgl. Fichter et al. 1997, Letmathe 1998): Wie sich in diesem Diskussionsstrang die Verknüpfung von Sach- und Formalzielen darstellt, wird ganz offen angesprochen: „Es gibt zahlreiche Beispiele dafür, dass Umweltschutz nicht nur Kosten verursacht, sondern dadurch auch Kosten gespart werden. Das ist kein Zufall. Viele solcher Kosteneinsparpotentiale konnten bei Unternehmen entdeckt werden, die sich systematisch und umfassend dem betrieblichen Umweltschutz widmen“ (Fichter et al. 1997, S. VII). Das verknüpfende Element sind hier also so genannte Win-Win-Situationen.

Der zweite Ökonomisierungsansatz soll unter der Überschrift „Kostenrechnung und Bezüge zu Stoffstromanalysen“ näher analysiert werden. Zunächst soll der erste problematisiert

werden. Es wird sich dabei zeigen, dass es Bezügen zwischen den beiden Ökonomisierungsansätzen gibt, die über direkte Win-Win-Situationen hinausgehen.

1.8.1 Leistungskonzeption eines Unternehmens

Der Begriff der Effizienz, der Grundlage der Ressourcen-, Material-, Energie- und Öko-Effizienzdiskussionen ist, verweist auf ein wichtiges Ziel des strategischen Managements in Unternehmen: Sicherung der langfristigen Überlebensfähigkeit eines Unternehmens durch kontinuierliche Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit (vgl. Keuper 2001, S. 7). Mit der Effizienz wird dabei insbesondere die Aufwandsseite betont, während mit der Effektivität die Leistungsseite angesprochen ist: „Während demnach die Effektivität darauf abzielt, die richtigen Dinge zu tun, fordert somit die Effizienz, die Dinge richtig zu tun“ (Keuper a.a.O.).

Mit der Frage, die richtigen Dinge zu tun, ist der Output an Leistungen eines Unternehmens angesprochen. Es bettet sich in den gesamten industriellen Metabolismus ein und stellt Wünschenswertes anderen zur Verfügung. Dieses Angebot wird als Leistungsprogramm oder Leistungskonzeption bezeichnet. „Inhalt der Leistungskonzeption sind Art, Ausmaß, Qualität, Service, Raum, Zeit und Preis der Leistungen. Man könnte zusammenfassend von einem Leistungsprogramm sprechen. Über die Kosten, Preise und Erlöse ist es mit der Finanzkonzeption verbunden. Leistungen als Ergebnis der betrieblichen Betätigung basieren auf dem Leistungsprozess“ (Eichhorn 2000, S. 168). Mit anderen Worten: In der Leistungskonzeption eines Unternehmens drückt sich der positive Beitrag des Unternehmens zur Aufrechterhaltung des industriellen Metabolismus aus.

Die Frage, in welchen Umfang das Leistungsprogramm von anderen Akteuren in Anspruch genommen wird, wird dem Markt überlassen. Auf dem Markt werden auch die Preise für die Inanspruchnahme bestimmt. Allerdings ist die Gesellschaft nicht ohne Einfluss auf diese Prozesse. Die Gesellschaft kann in die Prozesse mit Hilfe verschiedener Instrumente eingreifen. Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn sie bestimmte Formen der Nicht-Nachhaltigkeit nicht länger tolerieren will.

Sollen die Eingriffe in das Marktgeschehen auf rationaler Basis erfolgen, dann sind Instrumente gefragt, die Aussagen über Nachhaltigkeit oder Nicht-Nachhaltigkeit ermöglichen. Ein solches Instrument ist das Life-Cycle Assessment. Betrachtet man die Nutzungskontexte für das Life-Cycle Assessment, dann hat tatsächlich die Informationsbereitstellung per Life-Cycle Assessment eine nicht unerhebliche Rolle gespielt: Getränkeverpackungen, Einweg-Windeln, Mobilitätskonzepte usw. In diesem Zusammenhang macht die Anwendung der Attributional LCI Methodology Sinn: Man unterstellt in den Modellen, dass bestimmte Strukturen gar nicht erst aufgebaut oder vorhandene mittelfristig abgebaut werden.

Aus der Sicht eines Unternehmens stellen entsprechende Überlegungen der Gesellschaft zur Vermeidung von Nicht-Nachhaltigkeit Bedrohungen für das Leistungsprogramm dar. An der Stelle gewinnt das Thema Nachhaltigkeit eine strategische Bedeutung für Unternehmen:

- Das Dosenpfand hat das Leistungsprogramm der Getränkehersteller und der Getränkeverpackungshersteller verändert. Wenn ein Hersteller nur Dosen herstellt, ergibt sich eine existenzbedrohende Situation.
- Staatliche Grenzen für die Effizienz von Transportprozessen (flottenbezogene Maximalgrenzen für die Freisetzung von CO₂ pro Kilometer) gefährdet die Strategie, vor allem für den Luxussektor Automobile herzustellen.
- Stoffverbote in der Elektronikindustrie („bleifreies Lötten“) erfordern, dass sich die Hersteller entsprechender Vorprodukte auf die neue Situation einstellen und Ersatzlösungen ins Programm aufnehmen.

Die Frage der Nicht-Nachhaltigkeit wird damit zu einer wichtigen Frage der strategischen Entwicklung des Leistungsprogramms in Unternehmen. Betriebliche Informationssysteme sind erforderlich, die etwas über gegenwärtige und zukünftige Grenzüberschreitungen aussagen. Die Informationssysteme können Handlungsbedarfe und grundsätzliche Lösungsszenarien aufzeigen; sie können aber auch konkret die Umgestaltung des Leistungsprogramms betreffen:

- Aussagen über gegenwärtige und zukünftige Grenzüberschreitungen sind mit Hilfe von Stoffstromanalysen möglich: (1) Wird der Leistungsprogramm effizient hergestellt? (2) Passt das Leistungsprogramm in den sozio-technischen Metabolismus? Handelt es sich um eine nachhaltige Erfolgsposition, die vom Unternehmen eingenommen wird oder werden kann? Betroffen sind von der zweiten Frage zum Beispiel Beiträge zum nachhaltigen Konsum, Recyclingfähigkeit und Unterstützung der Kreislaufwirtschaft oder Leistungen zum Aufbau nachhaltiger Infrastrukturen.
- Gestaltungsempfehlungen für das Leistungsprogramm werden unter Titeln wie Eco Design oder Green Design diskutiert. Hier wird ganz konkret das Neue konstruiert. Eco-Design wird in der Regel als ein Projekt betrachtet: vom eigentlichen Produktdesign über das Prozessdesign bis hin zur Distribution, Nutzung und Entsorgung der Produkte (Eco-Product-Lifecycle-Management, vgl. Möller, Rolf 2001). Instrumente wie das Life-Cycle Assessment werden im Kontext des Eco-Designs genutzt, um über den Lebensweg eines Produktes hinweg Aussagen zu den Umweltwirkungen zu gewinnen und damit letztendlich die Frage zu beantworten, ob das Produkt mit den externen Anforderungen an das Leistungsprogramm eines Unternehmens verträglich ist.

Computergestützte Informationssysteme, die Daten zur strategischen Entwicklung des Leistungsprogramms zur Verfügung stellen sollen, benötigen betriebliche Stoffstromanalysen als Grundrechnung, kommen allerdings nicht mit dem Life-Cycle Assessment aus. Zwar können Life-Cycle Assessments globale Umweltwirkungen quantifizieren. Welche Konsequenzen daraus zu ziehen sind, kann aus ihnen nicht abgeleitet werden. Die indirekten Rückwirkungen über Nachhaltigkeitspolitik und Nachhaltigkeitsrecht müssen über andersartige Informationssysteme abgeschätzt werden (vgl. Funk et al. 2007). Sie sind einzubetten in ein nachhaltigkeitsbezogene SWOT-Analysen: Externe Chancen und Risiken einer nachhaltigen Entwicklung sind abzuschätzen, interne Stärken und Schwächen ihnen gegenüberzustellen, um geeignete Strategien zu bestimmen.

1.8.2 Effizienz der Leistungserstellung und Kostenrechnung

Mit den Begriffen Effizienz und Kostenrechnung wird die Inputseite der Leistungserstellung fokussiert, d.h. die Leistung werden als gegeben angenommen und davon ausgehend die Leistungserstellung analysiert: Ist sie in verschiedenen Dimensionen als effizient zu bezeichnen?

Effizienz und Öko-Effizienz

Effizienzkennzahlen setzen die geschaffenen Leistungen („Value Added“) mit den dabei in Kauf genommenen negativen Wirkungen („Impacts“) in eine Beziehung: $\text{Efficiency} = \text{Value Added} / \text{Impacts}$. Bei den negativen Wirkungen kommen verschiedene Formen in Betracht, die nicht einfach aggregiert werden können. Bezogen auf die monetären Wirkungen werden hier die Kosten eingesetzt. Im Falle von Umweltwirkungen wird versucht, Kenngrößen zu verwenden, die für bestimmte Umweltwirkungen stehen, zum Beispiel für den Treibhauseffekt, für den Verbrauch von Ressourcen oder den Verbrauch von Energie. Man spricht dann von Öko-Effizienz („Eco-Efficiency“), Ressourceneffizienz bzw. Energieeffizienz.

Die Indikatoren für „Value Added“ und „Impacts“ dürfen nur dann in Beziehung gesetzt werden, wenn diese in einem ursächlichen Zusammenhang stehen. Die Frage des Verursachungsprinzips ist bereits im Zusammenhang mit dem Life-Cycle Assessment diskutiert worden. Es zeigt sich hier, dass auch in Öko-Effizienzfragen das Finalprinzip für das In-Beziehung-Setzen von Zwecken und Mitteln zum Einsatz kommt.

Wenn es um Umweltwirkungen geht, die anhand von vernetzten Stoff- und Energieströmen verfolgt werden, dann ist, wie ebenfalls für das Life-Cycle Assessment beschrieben, eine Verknüpfung mit dem Kausalprinzips, das auf der materiellen Ebene gilt unvermeidlich. Diese Verknüpfung wird über das Zurechnungsprinzip hergestellt.

Die Methode des Life-Cycle Assessment ist daher das Mittel der Wahl, wenn es darum geht für ein Unternehmen die negativen Umweltwirkungen abzuschätzen, also auf der Mikroebene in Abgrenzung zu Öko-Effizienzüberlegungen für Regionen, Sektoren oder Staaten.

Bilanzierungsgrenzen für Effizienzbetrachtungen

Es lassen sich wie gesagt verschiedene Effizienzkennzahlen unterscheiden: monetäre, Kennzahlen, die sich auf globale Umweltveränderungen beziehen, Materialeffizienzkennzahlen, Ressourceneffizienzkennzahlen.

Diese verschiedenen Kennzahlen sind nicht einfach nur aggregierte Größen, die ein und dasselbe System charakterisieren. Vielmehr liegen diesen Kennzahlen unterschiedliche Bilanzierungsgrenzen zugrunde:

- Öko-Effizienzkennzahlen, die sich auf globale Umweltveränderungen beziehen, setzen das Lebenszyklusprinzip voraus. Zu berücksichtigen sind alle negativen Wirkungen im ökologischen Produktlebenszyklus. Ein typisches Beispiel ist der Beitrag zur globalen Erwärmung. Solche Daten liefert das Life-Cycle Assessment.
- Energiekennzahlen beziehen sich zumeist auf ein einzelnes Unternehmen (ansonsten wäre zu prüfen, ob nicht die Ressourceneffizienzkennzahlen besser geeignet sind). Energiekennzahlen können sich auch innerhalb eines Unternehmens auf einen Produktionsprozess beziehen.
- Materialkennzahlen beziehen sich oft auch auf ein Unternehmen oder einen Produktionsprozess. Dadurch tauchen auf der Ebene des Nenners in der Effizienzkennzahl auch Halbfertigprodukte auftauchen können. Es wird argumentiert, dass gerade in Produktionen in Industrieländern wie der Bundesrepublik Deutschland zunehmend hochwertige Vorprodukte aus anderen Ländern eingesetzt werden und dass dadurch Ineffizienzen zu einer erheblichen Verschwendung führen können.
- Ressourcenkennzahlen beziehen sich auf die Rohstoffe und betrachten also die Inputseite der Produktlebenszyklen: Entnahme von Ressourcen aus natürlichen Lagerstätten. Hierbei sind zwei verschiedene Formen denkbar, je nach Relevanz im Entscheidungskontext. Entweder wird der Halbe Produktlebenszyklus analysiert („Cradle to Gate“), oder aber es kommt der Ansatz der Verfahrensbilanzierung zum Einsatz. Hier wird eine Phase der Wertschöpfung analysiert. Zur Verfahrensbilanzierung kann gegriffen werden, wenn die Verfolgung der Vorketten für die Zwischenprodukte, die in diese Phase eingehen, nicht relevant ist (bei allen betrachteten Alternativen weitgehend identisch).
- Bei der monetären Effizienz werden „Value Added“ und Kosten in Beziehung gesetzt. Hier wird in der Regel das Unternehmen oder ein Verfahren als zu bilanzierendes

System betrachtet. Gerade in Bezug auf Kosten für Umwelt und Gesundheit wird diese Grenze allerdings in Frage gestellt (siehe unten: Total Cost Accounting).

Erkennbar ist hier, dass der methodische Ansatz des Life-Cycle Assessment bzw. der Kostenrechnung die entscheidende Basis für die Bestimmung des Wertes im Nenner der Effizienzkennzahlen ist. Problematisch ist, dass offensichtlich unterschiedliche Bilanzierungsgrenzen zugrunde gelegt werden. Dies hat Auswirkungen auf die Modellierung, insbesondere dadurch, dass bei frühzeitiger Anwendung des Zurechnungsprinzips für verschiedene Bilanzierungsgrenzen womöglich unterschiedliche Modelle zu erstellen sind.

Kostenrechnung

Kostenrechnungen sind für die Planung und Kontrolle der wirtschaftlichen Produktion entwickelt worden (vgl. Kilger 2002, S. 3). Einsatzschwerpunkt ist damit der Fertigungsbereich eines Unternehmens. Insbesondere in den 1950er Jahren sind Konzepte für eine Ist-, Normal- und Plankostenrechnung vorgeschlagen worden, die sich mit einer detaillierten Modellierung des Fertigungsbereichs verbinden. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang insbesondere das Kostenrechnungssystem der Grenzplankostenrechnung von Plaut und Kilger (vgl. Kilger 2002, Scheer 1991, S. 3).

Die Strukturen in den Unternehmen haben sich seit den 1960er Jahren erheblich gewandelt. Die Fertigung hat an Bedeutung verloren, andere, indirekte betriebliche Bereiche dagegen deutlich gewonnen. Dies betrifft zum Beispiel die Forschung und Entwicklung. Auf diese Entwicklung hat man mit der Entwicklung der so genannten Prozesskostenrechnung reagiert. Sie soll mit dem Bezugspunkt der betrieblichen Geschäftsprozesse einen Beitrag zur besseren Abbildung der indirekten Bereiche leisten.

Trotz des attraktiven Namens der Prozesskostenrechnung sind im Kontext betrieblicher Stoffstromanalysen allerdings die älteren Entwicklungen wie die Grenzplankostenrechnung interessant: Sie betonen die materielle Wertschöpfung und bieten detaillierte Modellierungsmöglichkeiten.

Ist- und Plankostenrechnungen

Kostenrechnungen sind für unterschiedliche Perspektiven entwickelt worden. Sie dienen erstens der Kontrolle des wirtschaftlichen Produktionsvollzugs. In dem Fall werden Istkostenrechnungen eingesetzt. Zweitens dienen sie auch der Kostenplanung. Dann kommen die Plankostenrechnungen zum Einsatz.

Die unterschiedlichen Blickrichtungen haben zu verschiedenen Vorgehensmodellen geführt. Die Istkostenrechnung ist durch ein Vorgehensmodell geprägt, das als Kostenüberwälzungsprinzip bezeichnet werden kann:

- Aufgrund des Vergangenheitsbezugs wird vorausgesetzt, dass alle Kostengrößen bereits vorliegen. Diese Eingangsdaten werden dann in der Kostenartenrechnung aufbereitet. Die Kostenartenrechnung ermöglicht eine Klassifizierung der Kostengrößen, etwa Materialkosten und Lohnkosten. Es sind Kostenartenpläne vorgeschlagen worden, die eine feine Differenzierung ermöglichen.
- Teils lassen sich die Kostenarten bereits einzelnen Kostenträgern zuordnen (zum Beispiel Materialkosten), teils aber nur bestimmten Einheiten innerhalb des Unternehmens: Kostenstellen. Die Kostenstellen sind die Knoten in einer unternehmens-internen Struktur zur Abbildung des Austausches innerbetrieblicher Leistungen. Die Kostenstellenrechnung kann als Zwischenglied zwischen Kostenartenrechnung und Kostenträgerrechnung begriffen werden: Mit ihrer Hilfe wird von der Detailebene der Kostenstellen auf die Systemebene des Unternehmens geschlossen. Die Kostenstellenrechnung hat aber auch die Funktion der Kontrolle der Wirtschaftlichkeit von Kostenstellen.
- Über die interne Leistungsverrechnung können auch die Kosten der Kostenstellen schließlich den Kostenträgern zugerechnet werden. Im Ergebnis erhält man kostenträgerbezogene Kostenaussagen (Kostenträgerrechnung). Die Kostenträgerrechnung, welche die Kosten pro Stück eines Kostenträgers bestimmt, wird als Kalkulation bezeichnet.

Die Istkostenrechnung hat scheinbar nichts mit Modellierung zu tun. Hier werden Eingangskostengrößen lediglich verursachungsgerecht den Kostenstellen und Kostenträgern zugerechnet. Tatsächlich kommen auch bei der Istkostenrechnung die Prinzipien zum Einsatz, die bereits für das Life-Cycle Assessment beschrieben worden sind. Deutlich wird dies bei der Normalkostenrechnung. Die Normalkostenrechnung ist ebenfalls in die Vergangenheit gerichtet, nutzt aber die Modellierung, um gestimmte Kostengrößen zu bestimmen, zum Beispiel die Lohnkosten in Abhängigkeit von den Fertigungsstunden.

Diese Ansätze sind in der Plankostenrechnung vervollständigt worden, da die Plankostenrechnung nicht auf bekannte Kostengrößen als Eingangsdaten zurückgreifen kann. Daher passt zu den Plankostenrechnungen auch das Denken im Kostenüberwälzungsprinzip mit den Phasen Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung nicht. Die Plankostenrechnungen gehen eher von der Modellierung der Kostenstellen aus und versuchen dann, von der Detailebene der Kostenstellen auf die Systemebene des Unternehmens zu schließen. Die Plankostenrechnungen weisen insofern eine enge Verwandtschaft mit dem Life-Cycle Assessment auf. Auch da werden in der Phase des Life-Cycle Inventory Analysis die Prozesse modelliert, und bestimmte Verfahren (sequentielle oder Matrixverfahren) leiten daraus die Life-Cycle Inventories für das betrachtete System ab. Die Pendants zum Life-

Cycle Assessment sind in der Kostenrechnung also die Plankostenrechnungen und innerhalb der Plankostenrechnungen fokussieren insbesondere die Grenzplankostenrechnungen den Bereich der materiellen Wertschöpfung.

Spezifikationen von Kostenstellen in der Plankostenrechnung

Grundlage der Plankostenrechnungen sind Modelle für die einzelnen Kostenstellen. Mit Hilfe dieser Submodelle werden die Ursache-Wirkungszusammenhänge – beim Finalprinzip ansetzend – einer Kostenstelle formal beschrieben, das heißt, die Ausbringungsmengen für die Produkte und Zwischenprodukte werden in Beziehung zu den Kosten gesetzt, wobei die Kosten nach Kostenarten differenziert modelliert werden.

Bei der Spezifikation der Kostenzusammenhänge innerhalb einer Kostenstelle ist man etwas andere Wege gegangen als bei der Life-Cycle Inventory Analysis. Man arbeitet nicht direkt mit linearen Input- und Outputvektoren. Vielmehr wird versucht, die „Performance“ der Kostenstellen mit Hilfe eines oder mehrerer Indikatoren zu charakterisieren. Kandidaten für die Indikatoren sind die Ausbringungsmengen an Zwischen- oder Endprodukten. Dann allerdings macht man sich bei der Charakterisierung des Prozesses von der Anzahl verschiedener Produkte abhängig. Eine Entkopplung ist mit Hilfe so genannter Bezugsgrößen möglich.

Typische Bezugsgrößen sind die Fertigungs- oder Arbeitsstunden (vgl. Kilger 2002, S. 247ff., für Bezugsgrößen außerhalb des Fertigungsbereichs vgl. Kilger 2002, S. 253). Ausgehend von den Bezugsgrößen werden dann die Kostenarten modelliert. Das Verhältnis zwischen Bezugsgrößen und erforderlichen Einsatzmengen von Roh- und Hilfsstoffen sowie innerbetrieblichen Leistungen wird linear angegeben (vgl. Troßmann 1992, S. 231). Ebenfalls linear, d.h. als Vektor abgebildet wird die Beziehung zwischen den Ausbringungsmengen und den Bezugsgrößen. Bei n verschiedenen Zwischen- und Endprodukten erhält man folgenden linearen Zusammenhang (vgl. Troßmann a.a.O.):

$$b = \sum_{j=1}^n \beta_j x_j$$

Hierbei wird davon ausgegangen, dass man mit Hilfe einer einzigen Bezugsgröße b den Prozess charakterisieren kann (homogene Kostenverursachung). Ausgehend von der Bezugsgröße b werden dann die fixen und variablen Kosten bestimmt (vgl. Troßmann a.a.O.):

$$f(b) = k^f + k^v b$$

wobei k^f die fixen Kosten und k^v die variablen Kosten sind. Diese Kostenfunktion gilt für eine Kostenart. Hat man es mit m Kostenarten zu tun, ergibt sich eine differenzierte Darstellung:

$$f(b) = \sum_{j=1}^m k_j^f + k_j^v b$$

Bei mehreren Bezugsgrößen für einen Prozess – man spricht in dem Fall von heterogener Kostenverursachung – führt man w verschiedene Bezugsgrößen ein. Die heterogene Kostenverursachung kann im Wesentlichen auf zwei Ursachenkomplexe zurückgeführt werden: Produktbedingte Kostenheterogenität und verfahrensbedingte Heterogenität. „Bei der produktbedingten Heterogenität verhindern die unterschiedlichen Produkteigenschaften die Verwendung einer einzigen Bezugsgröße... Bei der verfahrensbedingten Heterogenität werden dadurch mehrere Variable erforderlich, dass die gleiche Produktionsleistung auf verschiedene Weise mit unterschiedlichen Kosten erbracht werden kann“ (Troßmann 1992, S. 232). Die Kosten pro Bezugsgröße b_i werden bei heterogener Kostenverursachung gemäß

$$f(b_i) = \sum_{j=1}^m k_j^f + k_j^v b_i$$

bestimmt und additiv verknüpft:

$$f(b_1, \dots, b_w) = f_1(b_1) + \dots + f_w(b_w)$$

Eine Umsortierung der Summanden ermöglicht dabei, zunächst nach den Kostenarten zu aggregieren und die einzelnen Kostenarten dann auch getrennt auszuweisen.

Innerbetriebliche Leistungsverrechnung

Ein Teil der Kostengrößen in den Kostenfunktionen kann direkt angegeben werden, weil die Kosten verursachenden Leistungen von außen bezogen werden, zum Beispiel Rohstoffe, Betriebsstoffe, aber auch Löhne (primäre Plankosten einer Kostenstelle). Die Bestimmung erfolgt durch die Multiplikation von Menge und Marktpreis pro Stück. Bei einem anderen Teil ist dies nicht möglich, weil es sich um Kosten für innerbetriebliche Leistungen handelt (sekundäre Plankosten). Hier müssen erst die Kosten der die innerbetrieblichen Leistungen erbringenden Kostenstelle bestimmt werden. Das entsprechende Verfahren zur Bestimmung der Kosten für innerbetriebliche Leistungen wird – nahe liegend – als innerbetriebliche Leistungsverrechnung bezeichnet (vgl. Kilger 2002, S. 326). Die innerbetriebliche Leistungsverrechnung ersetzt also den Marktpreis für Leistungen, die von extern bezogen werden. Diese weist wie gesagt eine enge methodische Verwandtschaft zu den Verfahren zur Bestimmung des Life-Cycle Inventories auf.

Sind mit der innerbetrieblichen Leistungsverrechnung die Kosten für alle internen Leistungen bestimmt, kann man die Submodelle für alle Kostenstellen anwenden, um die (geplanten) Kosten für die Kostenstellen zu bestimmen und ggf. auf die Leistungen der Kostenstelle umzulegen. Von besonderem Interesse sind dabei die Kostenstellen, welche die Produkte

des Unternehmens hervorbringen, denn bei ihnen kommt man mit der Umlage der Kosten auf die Leistungen zu den Kostenträgerkosten.

Stoffstrombasierte Kostenrechnungen

Grundlage der innerbetrieblichen Leistungsaustausches bei Plankostenrechnung, welche den Fertigungsbereich fokussieren, sind die unternehmensintern ausgetauschten materiellen und immateriellen Güter. Diese Struktur entspricht der im Life-Cycle Assessment, wenn man die Methode, gedanklich gegen das Lebenszyklusprinzip verstoßend, auf die Betriebsgrenzen beschränkt. Man kann also mit Hilfe der Life-Cycle Analysis alle Stoff- und Energieströme eines Unternehmens bestimmen, die jeweils für die Kostenträger erforderlich sind. Multipliziert man diese Mengengrößen mit den Marktpreisen, erhält man kostenträgerbezogen eine Materialkostenrechnung.

Allerdings kann man sinnvollerweise nicht alle Kosten als Materialkosten ausweisen. Man denke zum Beispiel an Löhne. Diese Kostenarten müssen ergänzend ausgewiesen werden. Der Umgang mit solchen Kostenarten ist allerdings dadurch einfacher, dass sich hier nicht die Problematik des innerbetrieblichen Leistungsaustausches ergibt. Man kann also die „Nicht-Materialkosten“ ähnlich wie die Kosten für Roh- und Hilfsstoffe, die von extern bezogen werden, modellieren.

Für die Methoden der Life-Cycle Inventory Analysis ergibt sich, dass die Vektoren für den Stoffaustausch über die Bilanzierungsgrenzen hinweg um solche Kostenarten zu erweitern sind. Die Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Life-Cycle Inventories bestimmen dann nicht nur die Input- und Outputstoffströme, die ursächlich mit den Leistungen zusammenhängen, sondern eben auch die Nicht-Materialkosten. Diese tauchen zwar in den Life-Cycle Inventories auf, werden dann aber, ergänzt um die Materialkosten, in der Kostenrechnung ausgewiesen.

Die Ergänzung der Life-Cycle Inventory Analysis um eine Plankostenrechnung erweist sich damit als eine grundsätzlich einfach zu realisierende Angelegenheit. Profitiert wird hier von der Nähe der Kostenrechnung zum Life-Cycle Assessment. Diese konzeptionelle Nähe ist bei der Darstellung des Life-Cycle Assessments bereits deutlich geworden. Mit den stoffstrombasierten Kostenrechnungen basiert die Abschätzung von Kostenwirkungen und von Umweltwirkungen auf einem gemeinsamen Modell, so dass die Ergebnisse auch in Beziehung gesetzt werden können, etwa in einer Balance Scorecard.

Allerdings dürfte die Ergänzung der Berechnungsalgorithmen der einfachste Teil der Erweiterung entsprechender Software-Tools sein, weil noch zwei Punkte zu berücksichtigen sind:

- Die Kostenrechnung muss von Mehrproduktunternehmen ausgehen und kosten-trägerbezogene Daten für alle Kostenträger in einem Modell zur Verfügung stellen können.
- Das Life-Cycle Assessment verlangt als Systemgrenze zur Abschätzung der anthropogenen Stoff- und Energieströme die Anwendung des Lebenszyklusprinzips, während die Kostenrechnung an den direkten Kosten eines Unternehmens interessiert ist. Man muss daher unterschiedliche Bilanzierungsgrenzen berücksichtigen können.

Eine flexible Antwort auf diese Anforderungen bieten die stoffstrombezogenen Grundrechnungen.

1.8.3 Stoffstrombezogene Grundrechnungen

Die Methoden des Life-Cycle Assessments können als das Rückgrat strategischer Informationssysteme mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit betrachtet werden. Dennoch ergibt sich im Vergleich für Unternehmen im Vergleich zu anderen Organisationen (staatliche Organisationseinheiten, die Informationen zu umweltschonende Getränkeverpackungen zur Verfügung stellen sollen) der entscheidende Unterschied, dass sie in der Regel eine Vielzahl von Produkten herstellen.

Der Ansatz des Life-Cycle Assessment auf der Basis des Finalprinzips ergibt, dass alle Leistungen eines Unternehmens isoliert zu betrachten sind. Dies wiederum erfordert grundsätzlich, für alle Leistungen eines Unternehmens Life-Cycle Assessments zur Verfügung stellen zu können. Man kann dies dadurch organisieren, dass man eine entsprechende Anzahl an Stoffstrommodellen vorhält. Das Unternehmen wird damit durch die Modellsammlung in eine Vielzahl von Ein-Produkt-Unternehmen zerlegt. Mit einem solchen Vorgehen verbinden sich zwei Nachteile:

- Der Modellerstellungsaufwand ist sehr hoch. Man kann zwar versuchen, eine Art interner Prozessdatenbank zu arbeiten. Dennoch entwickelt sich der Modellierungsaufwand weitgehend proportional zur Anzahl der Produkte. Spätestens bei Handelsunternehmen zeigt sich, dass der Ansatz des Life-Cycle Assessments an seine Grenzen stößt.
- Man kann zwar das Leistungsprogramm als eine Sammlung von Einzelleistungen auffassen. Damit können aber die Effekte, die sich aus der verbundenen Produktion ergeben, Synergieeffekte also, nicht berücksichtigt werden. Die Gesamteffizienz eines Unternehmens ist daher nicht gleichzusetzen mit der Effizienz von Einzelleistungen realer Ein-Produkt-Unternehmen: Die Synergieeffekte fließen zwar ins Modell ein, sind aber nicht identifizierbar und quantifizierbar. Dies ist von Relevanz,

wenn es um die Umstrukturierung des Leistungsprogramms geht: unsichtbare Verbundwirkungen, die durch Umstrukturierungen in Frage gestellt werden.

Es ist daher zu überlegen, ob man das Stoff- und Energieflussgeschehen eines Unternehmens nicht in einem Stoffstrommodell erfassen kann. Ein entsprechender Ansatz liegt mit den Stoffstromnetzen vor (vgl. Möller 2000). In einem Stoffstrommodell werden periodenbezogene alle Stoff- und Energieströme erfasst, die innerhalb einer Betrachtungsperiode in einem System auftreten. Das Zurechnungsprinzip findet in diesem periodenbezogenen noch keine Anwendung. Dominierendes Prinzip ist das Kausalprinzip. Zu erfassen und zu modellieren sind alle Stoff- und Energieströme, alle Bestände und alle Transformationen.

Da das Zurechnungsprinzip im periodenbezogenen Stoffstrommodell zurückgestellt wird, müssen auch nicht alle damit verbundenen Aspekte in der Phase der Modellierung berücksichtigt werden. Hierzu zählen:

- Die Prozesse müssen nicht zwingend Ein-Ertrags-Prozesse sein. Es ist möglich, Kuppelproduktionen zu modellieren.
- Es ist nicht zwingend erforderlich, mit linearen Produktionskoeffizienten zu arbeiten (das Proportionalitätsprinzip gilt nicht), so dass nicht-lineare Prozessbeschreibungen genutzt werden können.
- Weil das Proportionalitätsprinzip nicht zu beachten ist, können auch Bestände modelliert werden. Das heißt, dass mit solchen Stoffstrommodellen auch die Wechselwirkungen zwischen Stoffströmen und Beständen analysiert werden können. Das geht hin bis zu dynamischen Stoffstromanalysen (Dynamic Material Flow Analysis (DMFA), vgl. Möller 2004a). Das periodenbezogene Stoffstrommodell erweist sich damit als Schnittstelle zur kontinuierlichen und diskrete Simulation.

Das Nicht-Anwenden des Zurechnungsprinzips im periodenbezogenen Stoffstrommodell erfordert allerdings einen nachgelagerten Modellierungsschritt, der genau der Anwendung des Zurechnungsprinzips dient. Dieser Schritt wird als Leistungsverrechnung bezeichnet (vgl. Möller 2000, S. 133ff., Schmidt, Keil 2002, S. 15ff.). Die Leistungsverrechnung generiert also aus einem periodenbezogenen Stoffstrommodell eine Mehrzahl von Life-Cycle Inventories, diese LCIs sind dann der weiteren Auswertung zugänglich: Life-Cycle Impact Assessments, Bildung von Effizienzkennzahlen u.ä..

1.8.4 Voll- und Teilkostenrechnungen

In der Diskussion um das Ausweisen relevanter Kosten ist bereits das Prinzip der Einzelkosten erwähnt worden. Der Kostenrechnungsexperte Riebel vertritt die Auffassung, dass Kosten stets eindeutig und zweifelsfrei ihren Bezugsobjekten zugewiesen werden müssen.

Die Schlüsselung verbundener Kosten ist in dem von ihm entworfenen Kostenrechnungssystem nicht zulässig.

Übertragen auf entscheidungsorientierte Stoffstromanalysen bedeutet dies, dass verbundene Produktionen nicht zerlegt werden dürfen. Dann aber gerät auch das Lebenszyklusprinzip in eine Krise: Immer wieder tauchen in den Vor- und Nachketten Kuppelprozesse auf. Es kann nicht sein, dass man dann, wenn keine Kuppelprozesse vorhanden sind, die Systemgrenzen weiter zieht als im Falle der Kuppelproduktion. Befindet sich mitten in einer Vorkette ein Kuppelprozess, man denke an die Dieselbereitstellung, dann sind die Stoff- und Energieströme vor diesem Kuppelprozess nicht mehr zweifelsfrei zuzuordnen. Analog gilt dies für Nachketten, die Nutzungsphase und die Entsorgung. Die Life-Cycle Inventory Analysis kann dann so nicht mehr durchgeführt werden, wie dies im Life-Cycle Assessment-Ansatz vorgesehen ist.

Man könnte argumentieren, dass die Situation insofern nicht so schlimm ist, als dass dieses Thema in der Diskussion um das Life-Cycle Assessment derzeit nicht problematisiert wird. Das aber ändert an der Tatsache nichts, dass man es mit einem ernsthaften Problem zu tun hat. Verdrängt werden kann das Thema aber dann nicht mehr, wenn man den Nutzen von Life-Cycle Assessment im betrieblichen Kontext sowie die Verwendung von betrieblichen Daten in dem Zusammenhang untersucht, denn in der Diskussion um die Ausgestaltung von Kostenrechnungssystemen ist diese Diskussion längst unter den Stichworten Vollkostenrechnung und Teilkostenrechnung angekommen.

Teilkostenrechnungen sind in den USA bereits in den 1930er Jahren vorgeschlagen worden (Direct Costing). In Deutschland wird die Diskussion seit den 1950er Jahren geführt. Schnell haben sich zwei wesentliche Entwicklungslinien herausgebildet. Die eine Linie wird von Riebel vertreten (Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung, vgl. Riebel 1990), die andere von Plaut und Kilger (Flexible Grenzplankostenrechnung, vgl. Kilger 2002).

Die Grenzkostenrechnung setzt nicht bei einer strengen Auslegung des Einzelkostenprinzips an, sie fokussiert eher das Verhalten der Kosten gegenüber der Variation der Bezugsgrößen. Es können verschiedene Formen des Verhaltens unterschieden werden:

- Keine Änderung: Dann werden die Kosten als Fixkosten bezeichnet. Für fixe Kosten stellt sich die Relevanzfragen (vgl. Relevanzprinzip): Sie dürfen nicht in die Rechnung einfließen, so dass man es mit einer Teilkostenrechnung zu tun hat.
- Änderung: In dem Fall spricht man von variablen Kosten. Diese sind nach dem Ansatz der Grenzkostenrechnungen in die Rechnungen einzubeziehen. Oft geht man davon aus, dass sich die variablen Kostenanteile proportional zur Menge der sie verursachenden Objekte verhalten.

Denkbar sind auch Kosten mit einem fixen und einem variablen Anteil. Weil die Grenzkostenrechnungen nur die variablen Kosten den sie auslösenden Objekten zurechnen, werden solche Kosten in den variablen und fixen Anteil gesplittet.

Ob Kosten oder Kostenanteile variabel oder fix sind, hängt vom Zeithorizont der Kostenrechnung ab. Kostenrechnungen mit einem sehr kurzen Zeithorizont haben tendenziell einen höheren Anteil fixer Kosten, während bei längeren Zeithorizonten die variablen Anteile zunehmen. Der Grund ist einfach, dass die sich mit den fixen Anteilen verbindenden Strukturen irgendwann auch beeinflussbar sind.

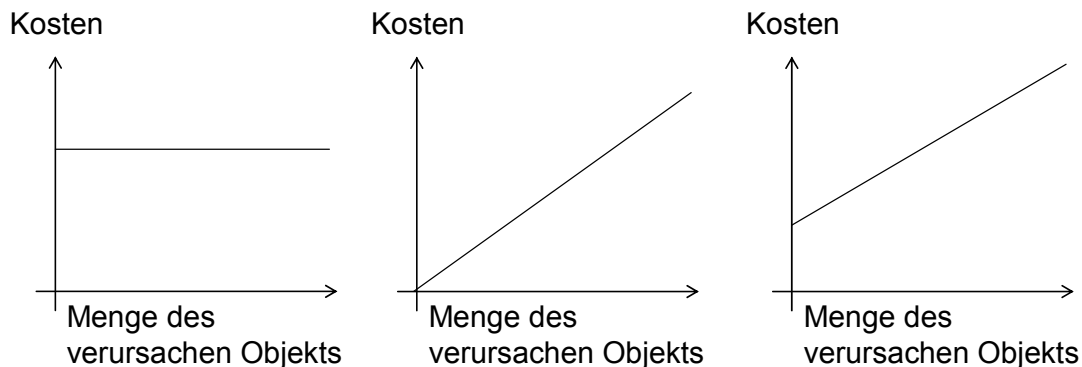


Abbildung 14. Kostenverhalten gegenüber der Menge der verursachenden Objekte

Dieses Vorgehen führt nicht zwingend dazu, dass verbundene Prozesse nicht mehr auftauchen. Die Grenzplankostenrechnung muss also ähnlich wie das Life-Cycle Assessment Antworten auf das Allokationsproblem finden. Im Ergebnisse ergeben sich Kosten, die den Kostenträgern zugerechnet werden können. Diese Kosten machen nicht alle Kosten der betrachteten Einheit aus, da es auch noch einen Fixkostenblock gibt, der den Kostenträgern nicht zugerechnet worden ist. Bildet man für die Kostenträger die Differenz aus Erlösen und den zugerechneten variablen Kosten, dann spricht man vom Deckungsbeitrag, den ein Kostenträger zur Deckung der Fixkosten leistet.

Kostenrechnungsexperten weisen darauf hin, dass der Deckungsbeitrag für kurzfristige Entscheidungen zum Produktionsprogramm heranzuziehen ist und nicht die Differenz aus Erlösen und Vollkosten, weil ein Kostenträger bei negativer Differenz aus Erlösen und Vollkosten bei positiven Deckungsbeiträgen ein positiven Beitrag zur Deckung der Fixkosten leistet. Nimmt man diesen Kostenträger wegen negativer Differenz aus Erlösen und Vollkosten aus dem Programm, dann fehlt der Beitrag zur Deckung der Fixkosten.

Während die Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung keine weite Verbreitung gefunden hat, ist die Grenzkostenrechnungen die konzeptionelle Grundlage von weit verbreiteten Enterprise-Resource-Planning-Systemen. Hier ist vor allem das ERP-System SAP R/3 zu nennen. Es ergeben sich zwei Konsequenzen:

- Die Folge dann von ist, dass man bei der Nutzung von Kostenrechnungsdaten aus dem betrieblichen Kontext grundsätzlich damit rechnen muss. Die Nutzung solcher Daten bedeutet die Kopplung zweier Konzepte, die unterschiedlich mit verbundenen Kosten bzw. verbundenen Stoff- und Energieströmen verfahren.
- Realisiert man eine mit dem Life-Cycle Assessment verknüpfte Kostenrechnung, dann müssen, um einen konzeptionellen Bruch innerhalb des Modellbildungsansatzes zu vermeiden, beide Modellierungskonzepte entweder dem Vollkosten- oder dem Teilkostengedanken folgen. Da das LCA bislang das Analogon zur Vollkostenrechnung ist, sollte auch die Kostenrechnung eine Vollkostenrechnung sein. Nun ist zwar die Vollkostenrechnung dem Laien gut vermittelbar, allerdings fällt eine mit Stoffstromanalysen verknüpfte Kostenrechnung hinter dem Diskussionsstand in der Kostenrechnung zurück. Sie wäre ein Rückschritt.

Da es für das Life-Cycle Assessment noch keine Konzepte gibt, die mit den Teilkostenrechnungen vergleichbar sind, müssen auch Softwarelösungen, die LCA und Kostenrechnung verknüpfen, an der einen oder anderen Stelle unbefriedigend sein. Das zeigt sich bei dem Stoffstromanalysesystem Umberto. Umberto bietet die Wahl zwischen zwei unbefriedigenden Ansätzen, indem man zwischen Teilkostenrechnung und Vollkostenrechnung wählen kann.

Die Teilkostenrechnung in Umberto basiert dabei auf dem Konzept der Grenzplankostenrechnungen. D.h. modelliert man die Kostenstrukturen auf der Basis eines Teilkostenansatzes. Durch einen Algorithmus können die Fixkosten proportionalisiert werden: Die fixen, nicht den Kostenträgern zugerechneten Kosten werden in variable umgewandelt, so dass im Ergebnis Vollkosten ausgewiesen werden. Durch die Fixkostenproportionalisierung wird also die Frage nach Teil- oder Vollkosten in die Berechnung und Auswertung verlagert. In der Modellierungsphase muss man sich nicht festlegen. Dadurch wird die Problematik so weit wie möglich entschärft, dennoch bleibt die Situation letztendlich unbefriedigend.

1.8.5 Umwelt- und Nachhaltigkeitskostenrechnungen

Während Teilkostenrechnung eher die relevanten Kosten eines Bezugsobjekts eher reduzieren, basieren umwelt- und nachhaltigkeitsbezogene Kostenrechnungssysteme auf der Überlegung, dass bestimmte Kosten nicht ausreichend in den Modellen und Evaluationen berücksichtigt werden. Auch diese Kostenrechnungsansätze stellen also die Relevanzfrage, allerdings in die entgegen gesetzte Richtung: Könnte es relevante Kosten geben, die von der konventionellen Kostenrechnung nicht erfasst werden, aber dennoch entscheidungsrelevant sind?

Diese Frage hat ihre Berechtigung, wenn man bedenkt, wann die Ansätze der konventionellen Kostenrechnung entstanden sind, nämlich bereits Anfang des 20. Jahrhunderts. Die Grenzplankostenrechnung und die Einzelkostenrechnung haben ihre Wurzeln in den 1950er Jahren. Damals haben beispielsweise Umweltschutz und Nachhaltigkeit keine Rolle in der Kostenrechnung gespielt. In neueren Ansätzen werden diese veränderten Rahmenbedingungen für Unternehmen aufgegriffen.

Neue Kostentypen

Ein typisches Beispiel ist das Total Cost Assessment (TCA), das in den 1990er Jahren in den USA entwickelt worden ist (vgl. CWRT 2000). Das TCA unterscheidet neben den Kosten, die durch die traditionellen Kostenrechnungssysteme erfasst werden (man spricht von direkten Kosten, die nicht mit dem Direct Costing verwechselt werden sollten), weitere Kostentypen (cost types):

- „Type I: Direct costs for the manufacturing site. Direct costs of capital investment, labor, raw materials, and waste disposal. May include both recurring and non-recurring costs. Includes both capital and operating and maintenance (O&M) costs.
- Type II: Potentially hidden corporate and manufacturing site overhead costs. Indirect costs not allocated to the product or process. May include both recurring and non-recurring costs. May include both capital and O&M costs. May include outsourced services.
- Type III: Future and contingent liability costs. Potential future contingent costs include fines and penalties caused by non-compliance, future liabilities for clean-up, personal injury and property damage lawsuits, natural resource damages, and industrial accident costs.
- Type IV: Internal intangible costs. Costs that are paid by the company. Includes difficult to measure cost entities, including consumer acceptance, customer loyalty, worker morale, worker wellness, union relations, corporate image, and community relations.
- Type V: External costs. Costs for which the company does not pay directly. Costs borne by society, including deterioration of the environment by pollutant dispersions that are currently in compliance with applicable regulations“ (CWRT 2000, S. viii).

Die neuen Kostenkategorien erfassen also auch externe Kosten (Type 5), Kosten also, die bei anderen anfallen. Begründet wird die Berücksichtigung externer Kosten damit, dass die externen Kosten zunehmend Rückwirkungen auf die Unternehmen haben: „Because the number and stringency of E&H regulations and policies has increased significantly since the 1970's in the U.S., and will most likely continue to increase, hidden or poorly understood

E&H costs have become an increasing liability for industrial organizations. Internationally, there is increasing public and regulatory pressure to assess the environmental characteristics of products and processes. In addition, pressures for external reporting of pollutant discharges have created new potential future liabilities (both for future compliance with regulatory requirements and for civil actions) and public image issues with consumers. These increasing internal and external pressures to reduce impacts to the environment and human health have created a desire within many enterprises to have the capability of making better-informed decisions regarding their operations – how to achieve the greatest reduction of human health and environmental impacts, and reduction of future liabilities, while effectively managing costs“(CWRT 2000, S. 1-4). Vor allem aus Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung soll ein Internalisierungsdruck ausgehen, so dass man die zusätzlichen Kostentypen 2 bis 5 auch zusammenfassend als Umwelt- und Gesundheitskosten bezeichnet („environmentally related human health (E&H) cost information“, CWRT 2000, S. x). Mit anderen Worten: Die Gesellschaft akzeptiert die Externalisierung der Kosten nicht länger und wird überlegen, die Kosten zu internalisieren. Für das Unternehmen ergeben sich negative Wirkungen, die grundsätzlich abzuschätzen sind.

Tatsächlich können die Kostentypen 1 bis 5 in zwei Kategorien geteilt werden:

- Die Typen 1 bis 4 sind interne Kosten. Der Begriff der internen Kosten deutet die Bilanzierungsgrenze an: das Unternehmen. Änderungen der Bilanzierungsgrenzen gegenüber konventionellen Kostenrechnungen sind mit dem TCA nicht verbunden.
- Der Typ 5 unterscheidet sich von den anderen Typen grundsätzlich: Die Bilanzierungsgrenze ändert sich. Durch die Berücksichtigung externer Kosten ergibt sich die Nähe des TCA zum Life-Cycle Assessment. Übertragen auf die Kostenrechnung wird der Lebenszyklusgedanke: Man analysiert die Lebenszyklen von Produkten und Dienstleistungen, um in allen Phasen externalisierte Kosten identifizieren zu können. Diese Kosten stellen dann Kandidaten der Internalisierung dar.

Das TCA kombiniert damit zwei verschiedene Kostenrechnungen, zum einen die unternehmensinterne und zum anderen eine lebenszyklusbezogene. Eine solche Kombination muss sehr sorgfältig und auf der Basis eines schlüssigen Konzepts erfolgen; ansonsten kann es zu Mehrfacherfassungen kommen. Diese Gefahr besteht, wenn (vermeintliche) externe Kosten bereits teils und ganz internalisiert werden.

Entscheidungskontexte und Bilanzierungsgrenzen

Die Unterscheidung externer und interner Kosten verdeutlicht zudem, dass die Kosten zunächst unterschiedlichen Entscheidungsträgern im Wertschöpfungssystem zugerechnet werden. Erst in einem zweiten Schritt wird abgeschätzt, ob die bei Externen anfallenden

Kosten durch staatliche Eingriffe internalisiert werden könnten. Es stellt sich die Frage, wie ein Kostenrechnungssystem realisiert werden kann, das eine Mehrzahl von Entscheidungsträgern umfassen kann.

Hierzu ist zunächst festzustellen, dass die frühzeitige Anwendung des Zurechnungsprinzips ein Problem darstellt: Alle Daten im Modell beziehen sich auf einen Entscheidungsträger. Dieses Problem kann dadurch gelöst werden, wenn man die bereits erwähnte periodenbezogene Stoffstromanalyse als Grundlage verwendet. Hier können unterschiedliche Entscheidungsträger berücksichtigt werden: Eine Grundrechnung, mehrere Kostenrechnungen.

Insbesondere kann im Unterschied zur konventionellen Kostenrechnung die Bilanzierungsgrenze flexibel gewählt werden. Der Wahl der Bilanzierungsgrenze liegt der Gedanke zugrunde, dass es ein Ziel der Kostenrechnung ist, aus den Daten der Detailebene (Kostenstellen) Daten für die Black-Box Unternehmen zu gewinnen:

- Die Black-Box tauscht mit der Umgebung materielle und immaterielle Objekte aus, die entweder Kostenträger darstellen oder Materialkosten nach sich ziehen.
- Die Black-Box führt interne Transformationen aus, um Input und Output zu transformieren. Auch hierfür können Kosten anfallen.

Die periodenbezogene Stoffstromanalyse ermöglicht nun, die Grenzen der Black-Box flexibel zu wählen, d.h. man ist nicht länger auf die Bilanzierung an den Unternehmensgrenzen angewiesen. In einer zweiten Rechnung kann auch das Wertschöpfungssystem oder die gesamten Lebenszyklen berücksichtigt werden.

Die Kosten des Types 5 können also mit Hilfe der periodenbezogenen Stoffstromanalysen bzw. der Stoffstromnetze mit Hilfe von zwei Rechnungen bestimmt werden: Man berechnet die E&H-Kosten des gesamten Wertschöpfungssystems bzw. der Lebenszyklen und zieht davon die direkten E&H-Kosten des betrachteten Unternehmens ab. Gemeinsames Bezugsobjekt bleibt dabei das Produkt oder die Dienstleistung des Unternehmens (in der Einbettung des Unternehmens in das Wertschöpfungssystem bzw. die Lebenszyklen handelt es sich dabei in der Regel um einen internen Fluss).

Zeithorizont des Total Cost Assessments

Für das Total Cost Assessment werden eine Reihe von Anwendungsfeldern angegeben: Process Design, Product Mix, Waste Management Decisions, Pollution Prevention Alternatives, Facility Layout u.ä. (vgl. WCRT 2000, S. 1-14). Hier zeigt sich, dass das TCA weniger kurzfristige Entscheidungen unterstützen will. Vielmehr ist es darauf ausgelegt, Investitions- und Strukturveränderungsentscheidungen zu unterstützen (vgl. WCRT 2000, S. 2-2). In einem solchen Umfeld werden auch die Gefahren relevant, die von externen Kosten und der potentiellen Internalisierung ausgehen. Entsprechend kann diese Kostenrechnung

als Vollkostenrechnung ausgelegt werden. Durch den Zeithorizont des TCA sind die Anteile fixer Kosten vergleichsweise gering.

Der lange Zeithorizont ist allerdings nicht nur typisch für das TCA; die Nähe zum Life-Cycle Assessment verdeutlicht, dass es auch beim Life-Cycle Assessment eher um langfristige Entwicklungsprozesse geht. Die oben aufgeführten Anwendungsfelder des Total Cost Accounting sind auch wichtige des Life-Cycle Assessments, insbesondere in Form der Verfahrensökobilanz. Von daher ergibt sich, dass das Total Cost Assessment ein guter Partner des Life-Cycle Assessments ist, wenn es um die ökonomischen Wirkungen langfristig wirkender Entscheidungen geht.

1.9 Zusammenfassung

Die Ausführungen zeigen, dass die Gewinnung und Nutzung von Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext keineswegs nur eine softwaretechnische Herausforderung von Schnittstellen und Mappings ist. Vorgelagert sind Fragen der Modellbildung: Welche Modellierungskonzepte liegen der Informationsverarbeitung in Unternehmen zugrunde und welche Zwecke werden damit verfolgt?

Die Analyse zeigt, dass wichtige Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Von großer Bedeutung ist die Gemeinsamkeit, dass Life-Cycle Assessment und Kostenrechnung grundsätzlich „kompatibel“ sind. Mit ihnen werden Zweck-Mittel-Relationen untersucht und in Indikatoren der Effizienz ausgewiesen. Diese „Kompatibilität“ ist eine notwendige Voraussetzung für die Gewinnung und Nutzung von Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext.

Ein wichtiger Unterschied besteht darin, dass der Modellbildung unterschiedliche Abstraktionen zugrunde liegen. Die Abstraktionen für das Stoffstrommanagement zielen darauf ab, auf der materiellen Ebene zu zweckmäßigen Abbildungen zu kommen, welche langfristige Entwicklungen aufzeigen, während in ERP-Systemen die Integration der technischen Perspektive der Fertigung und der betriebswirtschaftlichen Einbettung für operative Entscheidungen systemprägend ist („semantic gap“).

Schritte der Annäherung sind von zwei Richtungen erkennbar. Zum einen werden die Konzepte des Life-Cycle Assessments auf betriebliche Entscheidungssituationen übertragen (betriebliche Stoffstromanalysen), wobei die Konzepte mit den aus den Wirtschaftswissenschaften zusammenzuführen sind (Produktions- und Kostentheorie, Kosten- und Leistungsrechnung, Materiallogistik, neuerdings auch Operations Research). Gerade die Nutzung der Konzepte im betrieblichen Kontext und der konzeptionelle Abgleich wird eine Reihe gravierender Fragen auf, die durchaus Anlass geben, die Ansätze des Life-Cycle Assessments weiterzuentwickeln. Zu erwähnen sind in dem Zusammenhang die grundlegenden Überlegungen von Riebel zum Verursachungsprinzip und die Frage des Zeit-

horizonts. Auf der anderen Seite werden Standardinstrumente aus den Wirtschaftswissenschaften weiterentwickelt. Ein Beispiel hierfür ist das Total Cost Assessment.

2. Datenversorgung und softwaretechnische Umsetzung

Das erste Kapitel hat gezeigt, dass sich die Sichtweisen und Modellierungskonzepte, die den ERP-Systemen zugrunde liegen, trotz ähnlicher Begriffe deutlich von denen für betriebliche Stoffstromanalysen und das Life-Cycle Assessment unterscheiden. Mit Blick auf die Produktion materieller Güter („Fertigung“) zeigt sich, dass ERP-Systeme die Leistung vollbringen müssen, die Sichtweise der technischen Fertigung mit der betriebswirtschaftlichen Planung, Steuerung und Kontrolle zusammenzuführen. Das in den 1980er Jahren diskutierte CIM-Y-Modell ist ein typisches Beispiel dar.

Im Grunde geht es nun um den nächsten Schritt in dieser Integration, weil ERP-Systeme eine wesentliche Datenquelle bzw. „die“ Datenquelle für betriebliche Stoffstromanalysen darstellen und sich diese wiederum zum informationstechnischen Rückgrat des betrieblichen Nachhaltigkeitsmanagement entwickeln dürften. Im Folgenden sollen in Ergänzung der theoretischen Gemeinsamkeiten und Hürden die konkreten softwaretechnischen Fragestellungen zum Datenaustausch behandelt werden.

Darüber hinaus stellen die ERP-Systeme eine interessante Datenquelle für die Gewinnung von Lebenszyklusdaten dar. Ideal wäre für innerbetriebliche und supply-chain-bezogene Anwendungen („Sustainability Supply Chain Management“) ein Interface, das das ERP-System als eine Lebenszyklusdatenbank oder „Process Library“ erscheinen lässt, auf die auf der Basis von Standard-Datenformaten (z.B. EcoSPOLD) zugegriffen wird. Allerdings stellt sich hier das Problem der „semantic gap“, d.h. die in ERP-Systeme erfassten Daten sind in Bezug auf spezielle betriebswirtschaftliche Fragestellungen erfasst und verarbeitet worden (Hilty 1995, S.X). Ihre Verwendung im Kontext von LCA-Fragestellungen ist daher unreflektiert so einfach nicht möglich, da z.B. unterschiedliche funktionelle Einheiten in den betrieblichen Informationssystemen verwendet werden, so dass hier die Gefahr besteht, „Äpfel mit Birnen“ zu vergleichen.

Aus diesem Grund erscheint es uns sinnvoller und semantisch dringend geboten, betriebliche Informationssysteme als Datenquelle für Softwarewerkzeuge zur Durchführung von Lebenszyklusanalysen zu verwenden, die dann beispielsweise die ERP-Daten anwendungsbezogen analysieren und aufbereiten, so dass diese im Kontext von Lebenszyklusanalysen möglichst nutzbringend eingesetzt werden können. Es ist in diesem Zusammenhang die Leistung der LCA-Softwaretools und ihrer Anwender, die erwähnte „semantic gap“ zwischen den Daten aus betrieblichen Informationssystemen und ihrer Verwendung in Lebenszyklusanalysen zu schließen. Es ist deshalb zunächst analysieren, welche Daten aus betrieblichen Informationssystemen für Lebenszyklusanalysen überhaupt relevant sein könnten. Erst danach ist die Frage interessant, auf welchem technischen Weg

diese Daten dann aus den betrieblichen Informationssystemen extrahiert werden können, um sie LCA-Softwaretools bereitzustellen.

2.1 ERP-Systeme

Eine wesentliche Datenquelle für Lebensweganalysen stellen ERP-Systeme dar, da ihre Aufgabe ist, den Einsatz der betrieblichen Produktionsfaktoren innerhalb von Produktionsprozessen in Bezug auf die Rationalitätssicherungsfunktion zu kontrollieren und zu steuern. Insofern werden hier viele Daten gesammelt, die die betrieblichen Produktionsprozesse unter verschiedensten Aspekten beleuchten. Daher finden sich hier auch Daten, die für den Lebenswegabschnitt der Produktion und mit ihm zusammenhängender Logistik relevant sein könnten.

Nachfolgend werden gängige ERP-Systeme und ihre Verwendung, sowie ihre Funktion kurz erläutert. Danach werden Beispielhaft einige verbreitete ERP-Systeme beschrieben¹.

2.1.1 Allgemeines

Enterprise Resource Planning (ERP) ist eine Querschnittsaufgabe im betrieblichen Umfeld, die sich mit der Planung von Unternehmensressourcen beschäftigt. Ziel ist es, die vorhandenen Mittel möglichst effizient im betrieblichen Ablauf einzusetzen. Alle wesentlichen Funktionen wie Disposition, Administration, Planung und Führung sollen dabei von ERP abgedeckt werden. Das geschieht heute mit einem computergestützten ERP-System, welches sich aus einem oder mehreren Softwarekomponenten / -elementen zusammensetzt. Bestandteile eines solchen Systems sind:

- Materialwirtschaft
- Stammdatenpflege
- Produktion
- Personalwirtschaft
- Finanzbuchhaltung und Rechnungswesen
- Controlling
- Forschung und Entwicklung
- Projektmanagement
- Vertrieb

Damit erweitern Enterprise-Resource-Planning-Systeme den Ansatz eines Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systems (PPS), welches sich nur mit der Produktion und Materialwirtschaft beschäftigt. Hervor gegangen sind ERP-Systeme aus MRP II- (Material

¹ Marktübersicht über ERP-Systeme unter: <http://www.softguide.de/software/erp.htm> , 28.05.2007

Resource Planning) und MRP I-Systemen (Material Requirement Planning), welche die Anforderungen in einem Betrieb aber nicht befriedigend erfüllen konnten².

Abgrenzen lassen sich in einem ERP-System die Administrations- und Dispositionssysteme von den so genannten Führungssystemen. Erstere sind zum Abrechnen von Messdaten (wie z.B. Buchungen usw.), zum Verwalten von Beständen und zum Beschaffen von Material und zur Werkstattsteuerung vorgesehen. Letztere unterstützen alle Arten von Planungsprozessen und sind für die Steuerung von Prozessen vorgesehen. Im weiteren Sinne dienen Führungssysteme der Entscheidungsvorbereitung und -unterstützung für die oberen Führungsebenen. Dieser Leistungsumfang von Führungssystemen geht weit über den der ERP-Systeme hinaus, wodurch diese nur selten unterstützt werden (Vgl. Stahlknecht 2005, S.328).

Da unterschiedliche Wirtschaftszweige teils sehr stark abweichende Anforderungen an ein ERP-System stellen, bieten die meisten großen Anbieter Branchenlösungen an, deren Teilpakete speziell auf bestimmte Branchen zugeschnitten sind.

2.1.2 SAP R/3

Der Marktführer unter den ERP-Systemen ist die deutsche Firma SAP. Das bekannteste Produkt ist wohl das R/3-System, welches aus dem R/2-System hervorging. Dieses noch im Mainframe-Zeitalter entstandene System wurde in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts auf eine neue Technologie-Grundlage gestellt und um neue Funktionsmodule erweitert. Das neue Client-Server-Prinzip ermöglichte eine Entkopplung von einzelnen Technologieschichten gegenüber den anderen. Es wurde das 3-Ebenen-Modell eingeführt. Dieses trennt nun die Präsentation (Client) von der Applikation (Applikationsserver) und den eigentlichen Daten (Datenbank-Backend).

Das R/3-System ist modular aufgebaut, was soviel bedeutet, dass man nur einzelne Komponenten der Software in sein Unternehmen einzuführen braucht, um einen so genannten „Big Bang“ zu verhindern. Außerdem begünstigt das die individuelle Anpassung an der Standardsoftware an das eigene Unternehmen mit seinem Aufbau und seinen Prozessen. Die Module werden im oberen Bild beschrieben.

Der allgemeine Funktionsablauf des R/3-Systems sieht wie folgt aus: Der Benutzer erhält einen rollenspezifischen Zugang zu dem System und schickt Befehle über das Front-End (in diesem Fall das SAP-GUI) an den Applikationsserver, der dann die gewünschten Operationen ausführt und dabei Daten aus der Datenbank lädt, modifiziert und dem Benutzer zur Verfügung stellt. Die Last, die dabei auftritt, kann auf mehrere Applikationsserver verteilt

² Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Enterprise_Resource_Planning , 20.05.2007

werden. Außerdem werden Daten, die schon aufgerufen wurden, im Speicher des Applikationsserver zur Performancesteigerung vorgehalten.

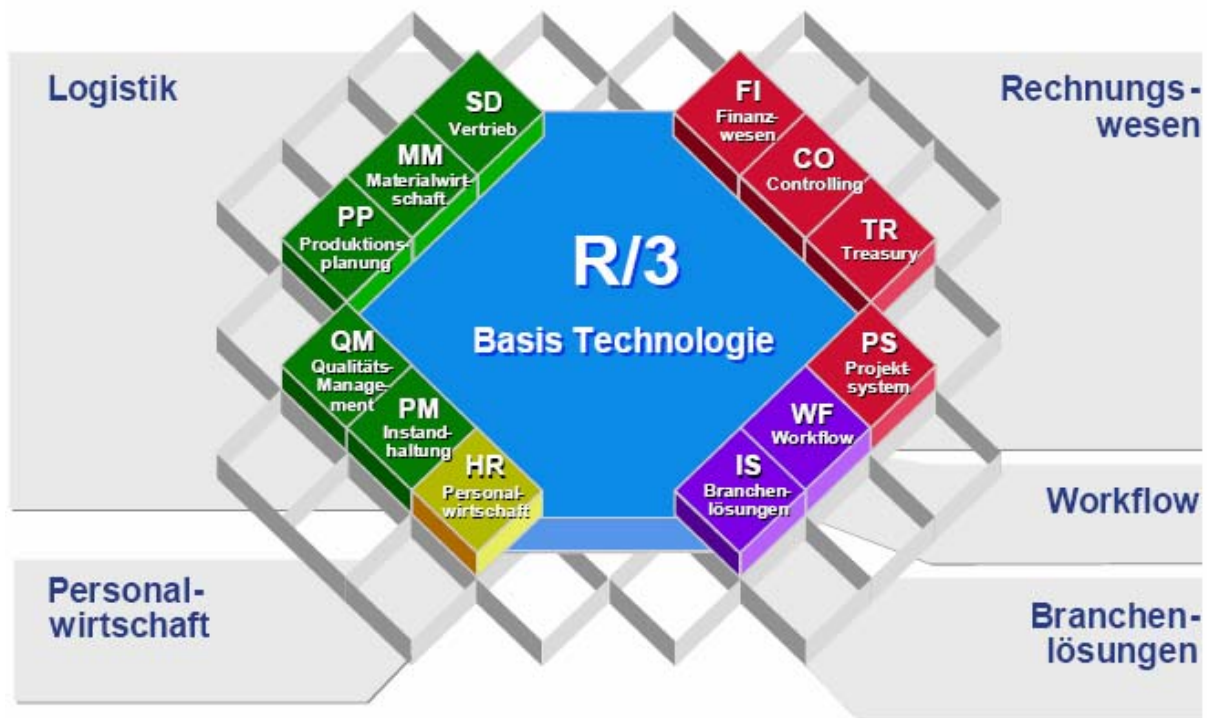


Abbildung 15. SAP R/3 Module (Quelle: SAP)

SAP R/3 ist für große Unternehmen gedacht. Der aktuelle Nachfolger ist mySAP ERP, welches auf ein Service-orientiertes Architektur-Paradigma (SOA) setzt und sich um Funktionen wie zum Beispiel in den Bereichen Customer Relationship Management, Product Lifecycle Management, Supply Chain Management und Supplier Relationship Management erweitern lässt. Für kleine und mittelständische Unternehmen ist SAP Business One vorgesehen.

2.1.3 Andere ERP-Systeme

Wie schon am Anfang erwähnt, gibt es neben SAP auch andere Hersteller, die ERP-Systeme anbieten. Ungefähr 50 Prozent des Marktes teilen sich die Global-Player der Softwarebranche untereinander auf, also SAP, Oracle und Microsoft. Den Rest teilen sich die branchenspezifischen Lösungsanbieter.

Die Auswahl an ERP-Systemen ist heute fast so vielseitig wie auch die einzelnen Unternehmen sind. Für jede Branche gibt es spezifische Lösungen, die genau auf die einzelnen Anforderungen der jeweiligen Branche eingehen. Daneben gibt es vor allem von den oben genannten Marktführern zumeist abgewandelte Versionen ihrer „großen Systeme“ (also für Großunternehmen ausgelegt) für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Diese

Versionen unterscheiden sich zumeist im Umfang der einzelnen Module, Support, Schulungsangebot und anderer Services rund um die Software von den Versionen für Großunternehmen. Preislich sollen sie damit den Anforderungen von KMUs entsprechen.

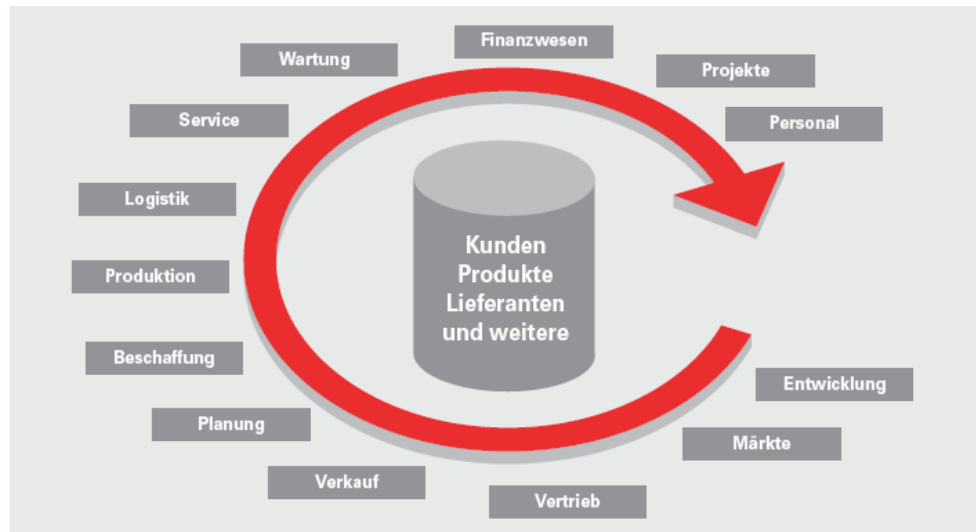


Abbildung 16. E-Business Suite Special Edition (Quelle: Oracle)

Für den Mittelstand ist zum Beispiel die E-Business Suite Special Edition³ von Oracle vorgesehen. Sie leitet sich von der E-Business Suite ab und beinhaltet die folgenden Module:

- Financials
- TeleSales
- Field Sales
- Order Management
- Procurement
- Manufacturing
- Inventory
- TeleService
- Business Intelligence

Die E-Business Suite Special Edition vereint damit alle wichtigen betriebswirtschaftlichen Funktionen um Prozesse in einem Unternehmen abbilden zu können und zu optimieren. Die Business Intelligence ist als zusätzliches Modul zu einem klassischen ERP-System zu verstehen. Es liefert Informationen in Form von Berichten und Analysen, die es einem Management ermöglichen bessere Entscheidungen für ihr Unternehmen zu treffen. Solch ein Modul bieten natürlich auch die anderen großen Softwarehäuser für ihr jeweiliges ERP-System an. Dieses gehört aber klassisch nicht zu den ERP-Systemen, welches nur die

³ Vgl. http://www.oracle.com/solutions/mid/ebs_specialedition.html , 10.06.2007

Funktionen der operativen Ebene abbildet. TeleSales ist ein Modul, das für den Verkauf über Telefon vorgesehen ist und den Mitarbeiter in seinen Informationsbedarf beim Gespräch mit einem Kunden unterstützen soll. Eine effektive Kundenbetreuung soll durch TeleService erreicht werden. Die restlichen Module entsprechen weitestgehend dem Standardreportoir eines ERP-Systems.

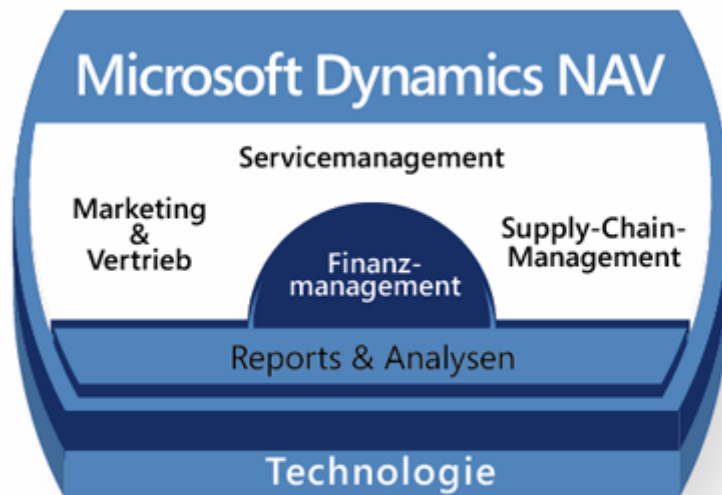


Abbildung 17. Dynamics NAV (Quelle: Microsoft)

Als weiteres ERP-System für den Mittelstand gibt es noch Dynamics NAV⁴ von Microsoft (vormals Navision). Auch hier braucht ein Unternehmen nur die Funktionen bezahlen, die es auch benötigt. Kern des Ganzen sind die Basisfunktionalitäten, die dann auf Wunsch des Unternehmens erweitert werden mit branchen- und unternehmensspezifische Funktionen. Die Software hat ihre Kernkompetenzen in den Bereichen Finanz-Management und Marketing/Vertriebssteuerung und enthält in der Version 5.0 auch Funktionen der Produktionsplanung und -steuerung. Mit so genannten Branchen-Templates, also vorkonfigurierten Modulen und Methodiken, soll sich Microsoft Dynamics NAV schneller bei kleinen Unternehmen implementieren lassen.

2.2 Datenversorgung mit internen und externen Daten zur softwaretechnischen Umsetzung

2.2.1 Charakterisierung der benötigten Daten

Umweltrelevante Daten bzw. Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext lassen sich in fünf Kategorien einteilen (Lang, Jürgens 2003 in Anlehnung und Erweiterung von Skrzypek, Wohlgemuth 2000):

⁴ Vgl. <http://www.microsoft.com/germany/dynamics/nav/default.mspx> , 14.06.2007

1. Stoff- und Materialstammdaten (Stoff- und Materialeigenschaften),
2. Strukturdaten (Organisationsstrukturen, Produktionsstrukturen und Prozessabfolgen),
3. Prozessdaten (funktionale Zusammenhänge innerhalb einzelner Prozesse),
4. Stoff- und Energieflussdaten (Art und Menge der im Unternehmen fließenden Stoffe, Materialien und Energien),
5. Organisationsdaten (Dokumentationen organisatorischer Abläufe).

Zur Abbildung der betrieblichen Stoffströme können die ersten vier Kategorien der umweltrelevanten Daten genutzt werden. Eine Zuordnung von Datenstrukturen aus Betrieblichen Informationssystemen zu diesen Kategorien findet sich in Tabelle 4.

Gerade ERP-Systeme stellen dabei eine wichtige Datenquelle dar. Umweltrelevante Daten bzw. Lebenszyklusdaten finden sich dort als Plandaten und Ist-Daten (Rey et al. 2002, Hofmann, Jänicke 2003). In der betrieblichen Praxis sind dabei Daten oft mehrfach erfasst (Redundanz), und weisen Widersprüche zwischen den verschiedenen Datenbeständen auf (Inkonsistenzen) (Möller 2000, Lang, Jürgens 2003). Zusätzlich erschweren unterschiedliche Datenformate die automatische Verarbeitung der umweltrelevanten Daten.

Weiterhin finden sich relevante Lebenszyklusdaten maschinen- oder personalbezogen in der Betriebsdatenerfassung im PPS-System oder technisch-industriellen Informationssystemen⁵, in speziellen BUIS, z. B. Emissionsdatenbanken, Abfalldatenbanken oder Gefahrstoffdatenbanken. Zum Teil sind sie nur in Listen in Papierform verfügbar (Lang, Jürgens 2003).

Umweltrelevante Daten	Nutzbare Datenstrukturen in Betrieblichen Informationssystemen
Stoff- und Materialstammdaten	Materialstammdaten im ERP-System, physikalische Stoffeigenschaften zum Großteil in technisch-industriellen Informationssystemen, umweltrelevante Eigenschaften in speziellen BUIS (Betrieblichen Umweltinformationssystemen)

⁵ Der Begriff technisch-industrielles Informationssystem umfasst Informationssysteme zur Berechnung und Simulation des Verhaltens von Produkten (CAE - Computer Aided Engineering), Werkzeuge zum Entwerfen und Konstruieren (CAD – Computer Aided Design), zur Definition von Produktionsprozessen und zur Maschinen-, Anlagen- und Roboterprogrammierung (CAP – Computer Aided Process Planning), zur computergesteuerten Produktion (CAM – Computer Aided Manufacturing) und zur Qualitätskontrolle (CAQ – Computer Aided Quality Assurance) (Schönsleben 2001).

Strukturdaten	Kostenstellenstruktur, Fertigungsstruktur, Arbeitsplätze, Stücklisten, Arbeitspläne im ERP-System
Prozessdaten	Arbeitspläne, Fertigungsaufträge im ERP-System zum Großteil auch in technisch-industriellen Informationssystemen
Stoff- und Energieflussdaten	Bestellanforderungen, Materialbuchungen, Wareneingangs- und -ausgangsbefestigungen, rückgemeldete Fertigungsaufträge, Abfall- und Gefahrstoffbilanzen, Entsorgungsaufträge und -rechnungen im ERP-System Betriebsdaten wie produzierte Stückzahlen und Ausschuss in der BDE (Betriebsdatenerfassung) Steuerungs- und Messdaten, z. B. über Stoffverbräuche, Emissionen, Schadstofffrachten, erzeugte Abfälle, Entsorgungspreise, verwendete Gefahrstoffe, in technisch-industriellen Informationssystemen und speziellen BUIS

Tabelle 4. Umweltrelevante Daten zu Stoff- und Energieströmen in Betrieblichen Informationssystemen (Quelle: Lang-Koetz 2006)

Die Sammlung von umweltrelevanten Daten bzw. Lebenszyklusdaten ist in der Praxis aus folgenden Gründen oft schlecht koordiniert (Schaltegger, Burritt 2000):

- Es existiert Vielfalt von Adressaten mit unterschiedlichen Anforderungen.
- Den aus den Daten erstellen Informationen werden oft keine hohe Priorität eingeräumt. Dies führt auch dazu, dass sie oft an verschiedenen Stellen im Unternehmen vorgehalten werden, manchmal mehrfach und zueinander im Widerspruch stehend.
- Es liegt oft keine durchdachte Strategie vor, aufgrund derer die benötigten Daten gesammelt werden.
- Zur softwaretechnischen Unterstützung werden oft vorhandene einzelne „Interimslösungen“ weiterentwickelt, statt ein neues Gesamtsystem zu schaffen.

2.2.2 Nutzung von ERP-Systemen als Datenquelle

Das erste Kapitel hat gezeigt, dass sich die Sichtweisen und Modellierungskonzepte, die den ERP-Systemen zugrunde liegen, trotz ähnlicher Begriffe deutlich von denen für betriebliche

Stoffstromanalysen und das Life-Cycle Assessment unterscheiden. Mit Blick auf die Produktion materieller Güter („Fertigung“) zeigt sich, dass ERP-Systeme die Leistung vollbringen müssen, die Sichtweise der technischen Fertigung mit der betriebswirtschaftlichen Planung, Steuerung und Kontrolle zusammenzuführen. Das in den 1980er Jahren diskutierte CIM-Y-Modell ist ein typisches Beispiel dar.

ERP-Systeme stellen deshalb eine interessante Datenquelle für die Gewinnung von Lebenszyklusdaten dar. Ideal wäre für innerbetriebliche und supply-chain-bezogene Anwendungen („Sustainability Supply Chain Management“) ein Interface, das das ERP-System als eine Lebenszyklusdatenbank oder „Process Library“ erscheinen lässt, auf die auf der Basis von Standard-Datenformaten (z.B. EcoSPOLD) zugegriffen wird.

2.2.3 Innerbetriebliche und überbetriebliche Daten

Zu den innerbetrieblichen Daten zählen die Daten, die im Unternehmen selbst gesammelt, erfasst und protokolliert werden. Überbetriebliche Daten sind Daten, die nicht im Unternehmen erfasst werden bzw. erfasst werden können und aus anderen Quellen stammen. Betrachtet man die oben identifizierten vier für Lebenszyklusdaten relevanten Kategorien, lässt sich folgendes feststellen:

- Stoff- und Materialstammdaten

Die in einem Unternehmen eigens hergestellten Halb- und Fertigprodukte sind in der Regel in betriebseigenen Informationssystemen ausführlich dokumentiert. Der Detaillierungsgrad kann dabei aber enorm schwanken, sowohl von Unternehmen zu Unternehmen, als auch von Material zu Material. So lassen sich in gängigen ERP-Systemen zwar viele material-spezifische Eigenschaften hinterlegen, viele dieser Eigenschaften haben aber lediglich informativen Charakter und eine Pflege dieser Daten ist für das Funktionieren eines ERP-Systems nicht notwendig. Oftmals werden diese Daten gesondert oder zusätzlich in BUIS oder technisch-industriellen Informationssystemen gehalten. Diese Konstellation birgt die Gefahr von Inkonsistenzen durch redundante Datenhaltung.

Nicht zu den innerbetrieblichen Daten zählen hier die meisten Informationen über Materialien, die für die Fertigstellung eines Produktes von Fremdfirmen beschafft werden müssen, wie typischerweise Verpackungsmaterialien, von Zulieferern gekaufte Einzelteile usw. Allgemeine Informationen wie Abmessung, Volumen, Gewicht etc. können zwar festgehalten werden und werden dies auch oft, aber detaillierte Informationen wie Zusammensetzung oder benötigte Energie und anfallende Emissionen bei der Herstellung können in der Regel nicht dokumentiert werden.

- Strukturdaten

Strukturdaten wie Kostenstellenstruktur, Fertigungsstruktur und Arbeitsplätze (s. o.) sind naturgemäß ausschließlich innerbetriebliche Daten.

- Prozessdaten

Arbeitspläne und Fertigungsaufträge sind wie Strukturdaten ausschließlich innerbetriebliche Daten, sofern sie die eigene Produktion betreffen. Prozessdaten von Rohstoffen und Hilfsmaterialien, die von Fremdfirmen beschafft werden müssen, liegen typischerweise nicht vor und sind meist auch nicht als überbetriebliche Daten erhältlich.

- Stoff- und Energieflussdaten

Diese Informationen liegen wie Stoff- und Materialstammdaten für eigens hergestellte Halb- und Fertigprodukte als innerbetriebliche Daten vor und sind oftmals ebenso auf unterschiedliche Informationssysteme verteilt, womit sich eine ähnliche Problematik ergibt. Für betriebsfremde Materialien gilt, dass Flussdaten zwar für die interne Verwendung festgehalten werden können, Flussdaten die in dem herstellenden oder transportierenden Betrieb angefallen sind, können jedoch nicht erfasst werden.

Überbetriebliche Daten werden insbesondere dann benötigt, wenn vorgelagerte Stufen der Wertschöpfungskette bzw. des Lebenszyklusses der verwendeten Komponenten und Materialien betrachtet werden sollen. Diese Daten müssen zum Teil von vielen unterschiedlichen Partnern beschafft werden.

Bei der physischen Weitergabe von Materialien von einem Unternehmen zum anderen werden oft detaillierte Beschreibungen mit gegeben, die direkt für Produktion und Logistik benötigt werden, wie etwa Gewicht, Maße, Inhaltstoffe, Teilkomponenten, Stücklisten. Im Allgemeinen werden solche Daten zum direkten nächsten Mitglied in der Wertschöpfungskette weitergegeben, um Aktivitäten in der Produktionsplanung besser aufeinander abzustimmen, zum Beispiel in Supply Chain-Netzwerken (siehe Steinaecker und Kühner 2001). Eine Weitergabe solcher Daten ist auch in der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung weit verbreitet⁶. Empfänger der Daten kann generell ein anderes Unternehmen sein (sog. B2B-Datentransfer), oder aber der Kunde am Ende der Wertschöpfungskette (B2C-Datentransfer).

⁶ Dabei ist der Standard for the Exchange of Product Data (STEP) weit verbreitet, der in der ISO-Norm 10303 spezifiziert ist und kontinuierlich weiter entwickelt wird (siehe <http://www.iso.org>).

Daten, die für Lebenszyklusbetrachtungen relevant sind wie Informationen zur Demontage für den Recyclingvorgänge, Entsorgungshinweise oder quantitative Informationen zu Umweltwirkungen werden oft nicht weiter gegeben. Dazu können Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations) dienen. Sog. Eco-labels informieren interessierte Kunden über umweltfreundliche Produkte, enthalten aber meist keine quantitativen Informationen über Umweltwirkungen⁷.

2.3 Identifikation potentieller Lebenszyklusdaten in gängigen betrieblichen ERP-Systemen am Beispiel SAP R/3

Ein ERP-System mit Materialstammdaten, Buchungsstruktur und Buchungssystematik kann folgendermaßen genutzt werden, um eine Informationsversorgung für Lebenszyklusdaten zu gewährleisten (vgl. Lang-Koetz 2006):

- Die Materialstammdaten dienen zur Beschreibung von betriebswirtschaftlichen und physikalischen Eigenschaften eines Materials sowie dessen Zusammensetzung.
- Die Buchungsstruktur dient dazu, jedem Stoffstrom einen Verursacher zuzuordnen. Dazu werden sog. Buchungsstellen genutzt, Elemente der Buchungsstruktur, die aus Kostenstellengruppen, Kostenstellen und Lagerorten besteht.
- In der Buchungssystematik bilden Materialbewegungen die physischen Stoff- und Energieströme ab. Die Materialbewegungen können mit Hilfe unterschiedlicher Bewegungsarten so klassifiziert werden, dass Input und Output unterschieden werden können.

Dies wird weiter unten im Detail beschrieben, wobei hier auf den Marktführer und wichtigsten Vertreter von ERP-Systemen, nämlich das System SAP R/3, fokussiert wird.

2.3.1 Relevante Module des ERP-SYSTEM SAP R/3

Die Module des ERP-Systems SAP R/3 lassen sich in drei Gruppen unterteilen: Logistik, Rechnungswesen und Personalwirtschaft. Besondere Bedeutung für Lebenszyklusdaten kommt hier den Modulen für die Materialwirtschaft, für die Produktionsplanung und -steuerung und für die Logistik aus der gleichnamigen Gruppe Logistik zu. Das SAP R/3-Modul Logistik (LO) umfasst im groben die Funktionen Materialstammverwaltung, Seriennummernverwaltung, Chargenverwaltung, Handling Unit Management, Konfigurationsmanagement und Garantierantragsabwicklung. Von Bedeutung ist hier hauptsächlich die Materialstammverwaltung.

⁷ für einen Überblick siehe <http://www.labelinfo.ch> oder <http://www.eco-labels.org>.

Das SAP R/3-Modul Materialwirtschaft (MM) besteht im Wesentlichen aus den Komponenten Grunddaten, Einkauf, Bestandsführung, Lagerverwaltung und Rechnungsprüfung und deckt den Beschaffungszyklus von der Bedarfsstellung bis hin zum Wareneingang ab. In der Bestandsführung werden alle Vorgänge, die den Bestand verändern, mit Hilfe der Bewegungsdaten erfasst, um jederzeit den aktuelle Bestand an Waren darstellen zu können.

Das SAP R/3-Modul Produktionsplanung und -steuerung (PP) baut auf dem MRP II-Konzept auf, unterstützt aber auch andere Planungs- und Steuerungskonzeptionen. Seine Stammdatenverwaltung umfasst Materialien, Erzeugnisstrukturen (Stücklisten), Arbeitspläne, Dokumente (wie z.B. Konstruktionszeichnungen), Fertigungshilfsmittel und Arbeitsplätze. Dabei dienen die Arbeitspläne als Folge von Arbeitsvorgängen zur Beschreibung eines Fertigungsablaufes. Diesen Vorgängen können benötigte Ressourcen zugeordnet werden. Arbeitsvorgänge besitzen eine bestimmte Vorgangsdauer bzw. Transportzeit und werden mit Arbeitsplätzen verknüpft. Sie dienen als Vorlage für das Anlegen von Fertigungsaufträgen (Gronau 1999). In der Fertigungssteuerung werden die in der Materialbedarfsplanung getroffenen Planvorgaben in konkrete Fertigungsaufträge umgesetzt. Diese werden manuell oder automatisch durch Planaufträge angelegt. Nach erfolgter Produktion werden die tatsächlich durchgeführten Vorgänge (Ist-Daten) rückgemeldet, ein rückgemeldeter Fertigungsauftrag ist somit ein wichtiges Element zur Verfolgung betrieblicher Stoffströme.

Das SAP R/3-Modul Finanzwesen (FI) aus der Gruppe Rechnungswesen stellt die Organisationsstruktur aus buchhalterischer Sicht dar und erfüllt alle Anforderungen, die an ein externes Rechnungswesen einer Unternehmung gestellt werden. Die Unternehmensstruktur lässt sich in Form von Gesellschaft, Buchungskreis und Geschäftsbereich abbilden. Des Weiteren umfasst dieses Modul die Funktionen Hauptbuchhaltung, Kreditoren- und Debitorenbuchhaltung, Bankbuchhaltung, Anlagenbuchhaltung, Haushaltsmanagement und einige mehr. Im Kontext des Umweltcontrollings bzw. der Extraktion von Lebenszyklusdaten ist hier aber hauptsächlich die Unternehmensstruktur von Bedeutung.

Das Modul Controlling (CO) aus der Gruppe Rechnungswesen stellt Informationen für Entscheidungen des Managements bereit. Es dient der Koordination, Überwachung und Optimierung aller ablaufenden Prozesse innerhalb eines Unternehmens. Dazu werden der Verbrauch an Produktionsfaktoren sowie die vom Unternehmen erbrachten Leistungen erfasst. Hier ist lediglich der letzte Punkt im Rahmen der Ermittlung von Lebenszyklusdaten relevant.

2.3.2 Materialstammdaten

Unter Stammdaten versteht man Daten, die über einen längeren Zeitraum unverändert bleiben. In den Materialstammdaten sind neben betriebswirtschaftlichen Daten wie der Preis auch andere Grunddaten eines Materials wie z.B. Abmessung, Masse, oder Volumen oder

Zuordnung zu einer Materialart erfassbar. Weiterhin können über Stücklisten eine Erzeugnisstruktur mit den relevanten Daten wie Teilenummern, Teilebezeichnungen und Mengenkoeffizienten etc. dargestellt und so die Zusammensetzung eines Produkts oder eines anderen Teils aus seinen Bestandteilen dargestellt werden⁸.

2.3.3 Buchungsstruktur

Mittels der Buchungsstruktur kann ein Unternehmen im ERP-System räumlich und fachlich abgebildet werden. Die Buchungsstruktur ist wie ein Kostenstellensystem hierarchisch aufgebaut. Ihre wichtigsten Elemente im ERP-System SAP R/3 sind dabei Kostenstelle, Kostenstellengruppe und Lagerort, ggf. kann auch ein Fertigungsauftragsbereich von Interesse sein. Diese Elemente können auch als Buchungsstellen bezeichnet werden (vgl. Lang-Koetz 2006).

2.3.4 Buchungssystematik

In der Buchungssystematik werden physische Stoff- und Energieströme als Materialbewegungen abgebildet. Materialbewegungen sind in der Buchungssystematik wiederum durch Materialbuchungen abgebildet. Diese enthalten Informationen über Materialien, deren bewegte Mengen und damit verbundene Materialkosten sowie über Buchungsstellen, auf die diese gebucht werden. Die geläufigsten Materialbuchungsarten sind dabei Wareneingang/Warenausgang, rückgemeldeter Fertigungsauftrag, Gemeinkostenauftrag, Investitionsauftrag und Inventurdifferenzenbuchung. Eine detaillierte Beschreibung dieser Materialbuchungsarten findet sich in Tabelle 5.

Um Buchungsregeln in der Finanzbuchhaltung und zum Fortschreiben des Materialbestandes auszulösen, sind den Materialbuchungen im ERP-System Bewegungsarten, einem klassifizierenden Schlüssel für die Art der Materialbewegung, zugeordnet (SAP 2005). Sie sind unternehmensspezifisch definiert und für alle Materialbuchungsarten gültig und dienen damit zur universellen Kennzeichnung von Materialbuchungen.

Die Bewegungsarten können in die Bewegungsartengruppen (BAG) Zugang, Abgang, und Inventurdifferenz unterteilt werden. Materialbuchungen mit Bewegungsarten in der Gruppe „Zugang“ können als Input, Buchungen in der Gruppe „Abgang“ als Output gewertet werden.

⁸ Stücklisten bilden die Grundlage für die Produktionsplanung und -steuerung, die Materialdisposition und Kalkulation. Sie werden aber auch für die Beschaffung und Bestandsführung verwendet.

Materialbuchungsart	Erläuterung	Bezug Buchungsstruktur	Auslöser der Buchung
Wareneingang/ Warenausgang	zur Buchung von in das Unternehmen eintretenden oder aus dem Unternehmen austretenden Materialien	Lagerort, Kostenstelle	Anlieferung von Gütern, Auslieferung von Ware
rückgemeldeter Fertigungsauftrag	bewertete Arbeitsvorgänge für die Leistungsverrechnung; enthalten Daten zu Materialentnahmen von Zukaufteilen und Halbfabrikaten sowie die Menge der erzeugten Produkte bzw. Zwischenprodukte	Kostenstellen oder Lagerorte in der Produktion	abgeschlossene Herstellung eines Zwischenprodukts, Produkts oder einer Produktionscharge
Gemeinkosten--auftrag	zum Sammeln von Plan- und Ist-Kosten für ein Wirtschaftsgut oder eine betriebliche Maßnahme; enthalten Daten zu Materialbewegungen von Kostenstelle zu Kostenstelle	unterschiedliche Kostenstellen	kontinuierliche Verrechnung von Gemeinkosten (Aufteilung von Kosten auf Kostenstellen)
Investitionsauftrag	Enthalten Daten zur Beschaffung von Materialien zur Errichtung neuer Anlagen o. ä.	Kostenstelle, an der Investition getätigt wird	Beschaffung von Anlagen oder Anlagenteilen
Inventurdifferenzenbuchung	Buchung zum Ausgleich der Menge, um die der festgestellte Inventurzählbestand vom Buchbestand abweicht	Lagerort, Kostenstelle	Inventur

Tabelle 5. Materialbuchungsarten zur Erfassung von Materialbewegungen im ERP-System (aus Lang-Koetz in Anlehnung an Wenzel 2001)

Weiterhin können Inventurdifferenzenbuchungen eine wichtige Rolle spielen. Sie werden genutzt, wenn ein Abgleich zwischen Soll- und Ist-Beständen nötig ist und können aus einer Stoffmenge mit positivem oder negativem Vorzeichen bestehen. Sie werden dementsprechend als Zugang oder Abgang gewertet (vgl. folgende Tabelle).

Bezeichnung der Bewegungsart	Kennzahl der Bewegungsart	Bewegungsartengruppe
Wareneingang	101	Zugang
Wareneingang Storno	102	Zugang
Diverse Rücklieferungen	114-118	Zugang
Wareneingang von anderen Werken	404	Zugang
Storno des Wareneingangs von anderen Werken	405	Zugang
Verbrauch Stücklistenmaterial (retrograde Ermittlung)	351	Zugang
Verbrauch Schüttgut und Flüssigkeiten	201	Zugang
Verschrottung	641	Abgang
Umlagerung Werk an Werk	401-403	Abgang
Abgang mit Lieferschein an Kunde	501, 502	Abgang
Diverse Inventurdifferenzen	601 bis 607	Inventurdifferenz

Tabelle 6. Beispiele für Bewegungsarten aus dem ERP-System SAP R/3 mit Einteilung in Bewegungsartengruppen (Quelle: Lang-Koetz 2006)

2.3.5 In ERP-Systemen nicht erfasste Daten

Die wichtigste Datenquelle für Daten, die nicht im ERP-System erfasst sind, ist in der Praxis die Betriebsdatenerfassung (BDE). Sie dient zur Bereitstellung der Betriebsdaten (Kurbel 2003). Die BDE kommt im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung zur Aktualisierung der Pläne und in der Auftragsüberwachung unmittelbar mit dem Fertigungsvollzug zum Einsatz (Eversheim 1996). Dabei werden Ist-Daten aus dem Betriebsgeschehen auftrags-, maschinen-, mitarbeiter- oder materialbezogen rückgemeldet, der Fertigungsfortschritt überwacht und die Kapazitätsauslastung überprüft (Zäpfel 2001)⁹.

Generell geht bei der Erfassung von Betriebsdaten eine höhere Erfassungsgenauigkeit mit höheren Erfassungskosten einher (vgl. Abbildung 18, vgl. Weber 2002).

⁹ Die Betriebsdatenerfassung kann der Produktionsplanung und -steuerung zugerechnet werden (Scheer 1990), als eigenständige Komponente betrachtet werden, oder auch in andere Informationssysteme integriert sein (Kurbel 2003).

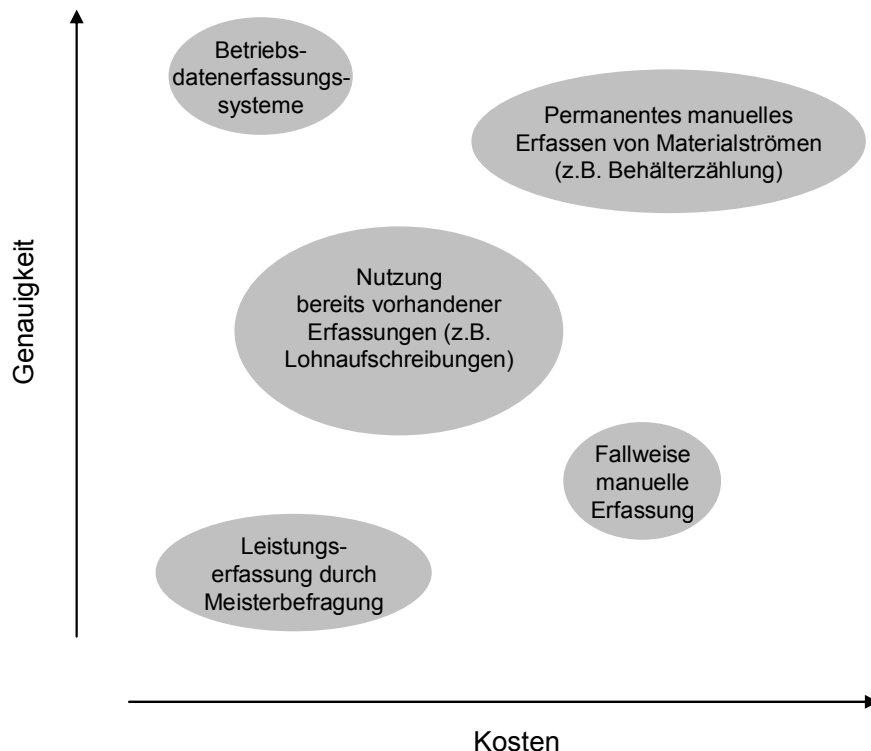


Abbildung 18. Schematische Darstellung des Spannungsverhältnisses zwischen Erfassungsgenauigkeit und Erfassungskosten (Quelle: Weber, J. 2002)

2.4. Konzeptionelle Basis eines Softwareprototypen

Nachdem geklärt ist, welche Daten für Lebenszyklusanalysen relevant sind, soll nun die technische Realisierung eines Zugriffs auf diese Daten untersucht werden. Dieses soll nicht nur aufgrund einer theoretischen Analyse der potentiell nutzbaren Schnittstellen erfolgen, sondern es soll eine konkrete technische Machbarkeitsanalyse durchgeführt werden. Die Erfahrung lehrt nämlich, dass bei der konkreten Verwendung von Schnittstellen durchaus Probleme in Bezug auf die Dokumentation und die Qualität und den Detaillierungsgrad der gelieferten Daten auftreten können. Insbesondere ist bei einem monolithischen System wie SAP/R3 kaum bekannt, welche Schnittstellen überhaupt zum Export umweltrelevanter Daten zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund wird die technische Machbarkeitsanalyse auf der Basis eines von uns entwickelten Softwareprototyps durchgeführt. Dabei stehen verschiedene Zugriffsmöglichkeiten zur Verfügung mit welchen die Daten aus dem SAP/R3-System prinzipiell extrahiert werden. Diese werden im folgenden Kapitel beschrieben.

Im Kapitel „Datenexport aus SAP/R3“ wird erläutert, wie mit dem Softwareprototyp der Zugang zum SAP-System ermöglicht wird, über welche Zugriffsmethode auf die Daten zugegriffen wird und wie die Darstellung / Verarbeitung dieser Daten erfolgt. Dabei ist die Analyse nicht proprietärer Schnittstellen zum Export von umweltrelevanten Systemen von Besonderer Bedeutung. Glücklicherweise existiert ein Datenformat zum Austausch umwelt-

relevanter Daten zwischen ERP-Systemen und Betrieblichen Umweltinformationssystemen (BUIs), welches auch für den in dieser Arbeit relevanten Kontext verwendet werden könnte. Hierbei handelt es sich um eine beim Deutschen Institut für Normung (DIN) e.V. bearbeitete „Werksnorm“ in Form einer Publicly Available Specification (PAS 1025, vgl. DIN 2003).

Anschließend folgt im Kapitel „Datenimport nach SAP/R3“ eine Beschreibung der Möglichkeiten, umweltrelevante Daten, Kennzahlen, Ergebnisse von Stoffstromanalysen etc. in das SAP-System zurückzuführen.

Ein kurzer Überblick über die PAS 1025-Spezifikation wird im letzten Kapitel dieses Abschnitts gegeben. Diese beschreibt ein Austauschformat zwischen ERP- und Betrieblichen Umweltinformations-Systemen, welches auch in diesem Softwareprototypen verwendet wird, um die aus dem SAP-System ausgelesenen Daten einem BUIs zur Verfügung stellen zu können.

2.4.1 Schnittstellen von SAP/R3

In den nächsten Abschnitten werden die von SAP für das R/3-System zur Verfügung gestellten Schnittstellen beschrieben.

Allgemeines

In einem Unternehmen wird zur Umsetzung von spezifischen Planungs-, Steuerungs-, Kontroll-, Dokumentations- und Administrationsaufgaben und Aufgaben, die das Management bei seinen Entscheidungen unterstützen, immer mehr Software eingesetzt. Auch wenn ERP-Systeme Standardsoftware ist und sie in Unternehmen immer mehr Einsatz finden, gibt es Aufgaben (wie z.B. Supply Chain Management und Customer Relationship Management), die gar nicht oder nur unzulänglich erfüllt werden (Vgl. Stahlknecht 2005, S.327f). Es gibt also nie nur eine Anwendungssoftware im Unternehmen. Die entstehende Systemlandschaft setzt sich, resultierend aus dem Best-Of-Breed-Ansatz der letzten Jahre, meist aus heterogenen Softwarekomponenten zusammen. Für jede Aufgabe wird die Beste Software für das Unternehmen gesucht und eingesetzt.

Die Abdeckung von Geschäftsprozessen durch Software lässt sich nur schwer mit einzelnen Systemen von verschiedenen Herstellern realisieren. Jeder Hersteller benutzt andere Standards und Formate, was ein Austausch von Daten, geschweige denn eine Kooperation von Prozessen unmöglich macht oder zumindest erschwert. Deshalb besteht eine der Hauptaufgaben der heutigen IT in einem Unternehmen darin, die einzelnen Systeme zu verbinden, sprich, sie zu integrieren. Überall dort, wo keine Integration stattfindet, wird der Mensch zur integrierenden Schnittstelle. Dieser muss, um Geschäftsprozesse abbilden zu können, an mehreren Systemen arbeiten und Daten mehrmals eingeben. Dies birgt viele Fehler in sich und ist dazu noch sehr kostenintensiv. Standardisierte Schnittstellen schaffen

hier Abhilfe. Sie gewährleisten einen reibungslosen Austausch von Daten und Informationen zwischen Systemen die diese Schnittstelle unterstützen.

IDoc

IDoc (Intermediate Document) ist ein Behälter für den Austausch von Daten zwischen R/3-, R/2- und Fremdsystemen. Da IDocs universell eingesetzt werden können, können die zu übertragenen Daten unterschiedlicher Typen entsprechen. Die Daten können entweder Steuerdaten, Stammdaten oder Bewegungsdaten sein. Ein IDoc besteht aus einer Kopfzeile, mehreren zusammenhängenden Datensegmenten und Statussätzen. Es werden Sender und Empfänger (Kopfzeile), die zu übertragenen Daten (Datensegmente) und die bisherigen Verarbeitungsschritte (Statussätze) beschrieben.

Hierbei werden vorhandene oder neue Softwarebausteine im SAP genutzt. Sie sorgen für den Austausch der Daten. Alle SAP-Module können IDocs lesen und schreiben/exportieren. Die Daten werden mittels IDoc an das andere System übertragen und werden dort in ein spezifisches Format geschrieben, abhängig vom Host. Die Routine zum Lesen der Daten müssen natürlich in jeder Applikation erstellt werden. Der Austausch der Daten erfolgt im einfachsten Fall über ein vereinbartes Verzeichnis, alternativ könne Protokolle wie FTP und HTTP eingesetzt werden. Die größte Verbreitung der IDocs erfolgt jedoch über das SAP eigene Protokoll RFC (siehe nächstes Kapitel). Damit wird die Programmierung von Kommunikationsabläufen zwischen Systemen wesentlich vereinfacht.

Die Daten werden in einer lesbaren Datei versendet, somit besteht die Möglichkeit, dass potenziell kritische Daten manipuliert bzw. gelesen werden können. Dies ist natürlich im Unternehmen selten erwünscht. Hierbei sollte aber berücksichtigt werden, in wie weit werden die Daten an Außenstehende weiter gegeben oder befindet sich der Datenaustausch in einem geschützten Netz. Ein weiterer Nachteil besteht in der mangelnden Fehlerbehandlung. Fehlerhafte Übergaben oder Fehler im IDoc selbst werden nicht an den Erzeuger der Daten gegeben. Ein Monitoring ist nur durch eine eigene Fehlerbehandlung möglich, die vom Anwender erstellt wird. Diese führt zu einem schlechten Handling, denn sie muss immer angepasst werden, es entsteht eine Abhängigkeit zwischen Sender und Empfänger.

RFC

RFC (Remote Function Call) stellt eine Umsetzung des RPC¹⁰ (Remote Procedure Call) dar. Der Standard wurde übernommen und mit Funktionen für den Zugriff auf Spezialfunktionsmodule erweitert (Vgl. Basler 2003, S.47). RFCs können einzeln vorliegen oder Bestandteil einer BAPI sein (siehe nächstes Kapitel).

¹⁰ Siehe http://de.wikipedia.org/wiki/Remote_Procedure_Call , 28.05.2007

Ganz allgemein werden mit Hilfe von RFCs Aufgaben eines bestehenden Systems (hier: Client) in ein anderes System (hier: Server) verlagert. Der Server stellt die Funktionen, die der Client nutzen möchte, zur Verfügung. Sowohl Client als auch Server können (müssen aber nicht) ein SAP-System sein. Es werden Funktionsbausteine innerhalb des R/3-Systems aufgerufen, wodurch der Datentransport in Fremdsysteme und SAP-Systeme möglich ist und somit die Daten in einer anderen Programmiersprache zur Verfügung zu haben.

Ganz allgemein werden mit Hilfe von RFCs Aufgaben eines bestehenden Systems (hier: Client) in ein anderes System (hier: Server) verlagert. Der Server stellt die Funktionen, die der Client nutzen möchte, zur Verfügung. Sowohl Client als auch Server können (müssen aber nicht) ein SAP-System sein. Es werden Funktionsbausteine innerhalb des R/3-Systems aufgerufen, wodurch der Datentransport in Fremdsysteme und SAP-Systeme möglich ist und somit die Daten in einer anderen Programmiersprache zur Verfügung zu haben.

Um einen Funktionsbaustein aufrufen zu können, muss dieser in der Funktionsbibliothek des SAP-Systems als RFC-fähig definiert sein. Mit RFCs kann aus diversen Sprachen heraus kommuniziert werden, beispielsweise gibt es viele Anwendungen in C, Java und .Net. RFC ist ein SAP-Schnittstellenprotokoll, das über CPI-C¹¹ oder TCP/IP übertragen wird.

Man unterscheidet den sRFC, der eine synchrone Kommunikation durchführt, den tRFC (transaktionaler RFC) für eine asynchrone Kommunikation und den qRFC (queued RFC). Der qRFC ist eine Weiterentwicklung des tRFC, der dafür sorgt, dass die von der Anwendung definierte Reihenfolge der Bearbeitung einzelner Einheiten erhalten bleibt¹².

BAPI¹³

Seit der Umstellung auf ein objektorientiertes Architekturmodell (seit Release 4.x) in R/3 können die so genannten Business-Objekte (BO) objektorientiert per BAPI (Business Application Programming Interface) von außen angesprochen werden. Als Teil des Business Frameworks stellen BAPIs und BOs die Anwendungsarchitektur von SAP dar und definieren den Schnittstellenstandard auf betriebswirtschaftlicher Ebene. Business-Objekte kapseln die betriebswirtschaftliche Daten und Funktionalitäten eines SAP-Systems. Sie repräsentieren zum Beispiel einen Mitarbeiter, ein Produkt oder eine Bestellung usw. dar (Vgl. Basler 2003, S.50).

¹¹ Common Program Interface Communication beschreibt den Datenaustausch zwischen verschiedenen Programmen. Die Dateien werden mit CPI-C verpackt.

¹² Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Remote_Function_Call , 28.05.2007

¹³ Weitere Informationen zu BAPIs, BOs und BOR unter: <http://www.tse-hamburg.de/papiere/sap/oldies/BAPI%20Beschreibung.html> , 26.05.2007

Wenn Software-Entwickler objekt-orientierte Anwendungen schreiben, identifizieren sie zunächst die Objekt-Typen, die sie in ihrem Programm verwenden werden. Zur Laufzeit greift die Anwendung dann auf die spezifischen Instanzen der definierten Objekt-Typen zu.

Wird eine Instanz eines Business-Objekts von einem Programm verwendet, so kann nur auf einen bestimmten Satz von Charakteristiken und Methoden zugegriffen werden, die für das Objekt definiert sind. SAP Business-Objekte sind folgendermaßen definiert (vgl. SAP BAPI User Guide 2001, S.15):

- Objekt-Typ

Der Objekt-Typ beschreibt die Eigenschaften, die allen Instanzen dieses Typs zueigen sind. Dies beinhaltet Informationen wie den eindeutigen Namen des Objekt-Typen, seine Klassifizierung und das zugehörige Datenmodell.

- Schlüssel-Felder

Die Schlüssel-Felder bestimmen die Struktur des identifizierenden Schlüssels, welcher einer Anwendung erlaubt, auf eine spezifische Instanz des Objekt-Typs zuzugreifen. Der Objekt-Typ Angestellter und das Schlüssel-Feld Personalnummer sind Beispiele eines Objekt-Typs und des zugehörigen Schlüssel-Feldes.

- Methoden

Eine Methode ist eine Aktivität, die auf einem Business-Objekt durchgeführt werden kann und Zugriffsmöglichkeiten auf die Daten des Objektes bietet. Eine Methode ist durch ihren Namen, einen Satz von Parametern und Ausnahmebedingungen definiert, welche von dem aufrufenden Programm unterstützt bzw. bereitgestellt werden können oder müssen, um die Methode nutzen zu können. BAPIs sind Beispiele solcher Methoden.

- Attribute

Ein Attribut beschreibt eine bestimmte Eigenschaft eines Business-Objekts. So ist zum Beispiel Angestellter.Name eine Eigenschaft des Objekt-Typs Angestellter.

- Ereignisse

Ereignisse signalisieren, dass sich der Status eines Business-Objekts geändert hat.

Durch das Business Framework können Entwickler Funktionen implementieren, die über die Funktionen von ABAP-Objekten hinausgehen (Vgl. Basler 2003, S.51):

- Vereinfachung implementierter Prozesse
- Anpassung an spezifische Bedürfnisse

- Ergänzung vorhandener Funktionen
- Anpassung und Entwicklung von Schnittstellen
- Einbindung externer Daten

BOs und BAPIs werden im Business Object Repository (BOR) gespeichert und dokumentiert. Dadurch werden Methoden, Attribute und Ereignisse für Entwickler zentral verfügbar gemacht (Vgl. Basler 2003, S.60).

Ein BAPI repräsentiert die Methoden eines BOs oder ist als Interfacetyp dazu implementiert. Ein BAPI ist ein Funktionsbaustein, der RFC-fähig ist und zusätzliche Eigenschaften mitbringt. Der Unterschied besteht darin, dass der Funktionsumfang in einem BAPI fest definiert ist, dass es definierte Input-/Output-Parameter gibt, dass der Baustein in der Regel zustandslos ist, funktionsorientiert gestaltet ist und die Parameter über Versionswechsel hinweg konstant sind¹⁴.

Der Zugriff auf BAPIs kann mit Hilfe von den verschiedensten Techniken erfolgen:

- DCOM
- CORBA
- WebServices
- Java-Connector
- .Net-Connector
- RFC u.a.

Damit ermöglichen BAPIs eine große Vielfalt und Freiheit für den Entwickler von betrieblichen Anwendungen. Die folgende Abbildung zeigt noch mal den Aufbau von BO, BAPI und den Zugriffsmöglichkeiten.

¹⁴ Vgl. <http://bueltge.de/applikationen-mit-sap-verbinden/208/> , 25.05.2007

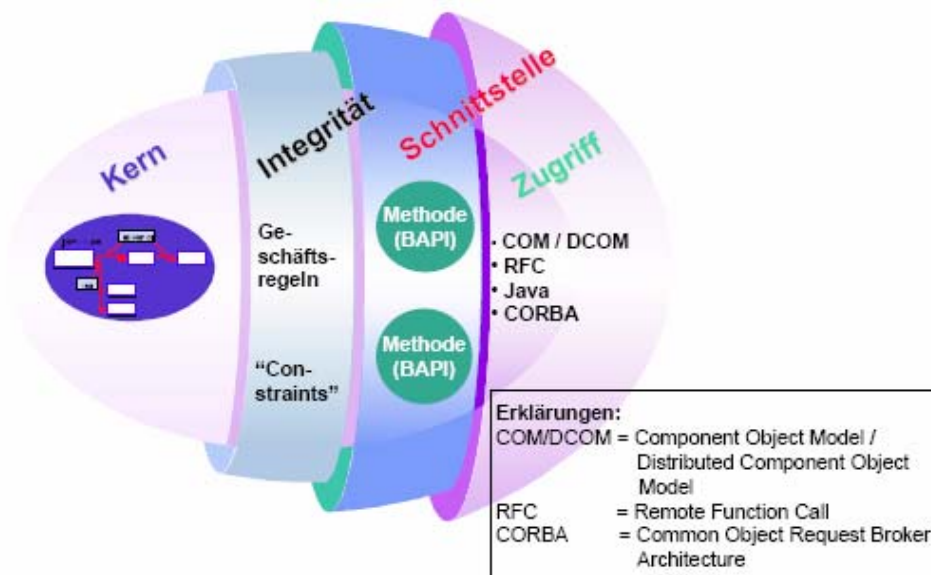


Abbildung 19. Business-Object und BAPI¹⁵

2.4.2 Datenexport aus SAP R/3

Zugriffsmethoden

Für den Softwareprototyp wurde der Zugriff über BAPIs mittels des .Net-Connectors gewählt. Der Zugriff über IDocs ist relativ kompliziert zu implementieren und wurde aufgrund der potentiellen Sicherheitsrisiken und der mangelnden Fehlerbehandlung abgelehnt. Da es zu fast allen Funktionsbausteinen, die RFC-fähig sind, eine entsprechendes Business-Object bzw. BAPI gibt, kommt der Zugriff direkt über RFC im Vergleich zum Zugriff über BAPIs nicht in Frage, da der Implementationsaufwand um ein vielfaches höher wäre.

Da die Anwendung in C# unter Verwendung des .Net-Frameworks entwickelt wurde, hat sich der .Net-Connector von SAP angeboten. Ein entscheidender Vorteil gegenüber Web-Services z.B. ist die Performance. Das Parsen von XML, was bei der Nutzung von Web-Services zwangsläufig anfällt, ist sehr zeitaufwendig, und gerade beim Abrufen von Massendaten könnte dies ein erhebliches Problem darstellen. Der Nachteil ist, dass SAP die Weiterentwicklung von BAPIs gestoppt hat und in Zukunft verstärkt auf Web-Services setzen will (Web-Services können auch auf Funktionsbausteine zugreifen, für die es keine BAPI gibt), wobei das Konzept von Business-Objects und BAPIs allerdings nicht aufgegeben werden soll. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache wurde die Anwendung so modular entwickelt, dass eine Umstellung von BAPIs auf Web-Services mit wenig Aufwand erfolgen kann, sofern es in Zukunft irgendwann nötig sein sollte. Außerdem ist auch ein Mix dieser

¹⁵ Quelle: <http://www.tse-hamburg.de/papiere/sap/oldies/BAPI%20Kurzdarstellung.html> , 25.05.2007

beiden Technologien möglich, so dass die meisten Informationen aus dem SAP/R3-System mit dem .Net-Connector über BAPIs exportiert werden können und einige wenige, für die es keine BAPIs gibt, über Web-Services abgerufen werden müssen. Dadurch wird ein guter Kompromiss zwischen Performance und Funktionalität erreicht und es wird verhindert, dass im SAP-System Anpassungen vorgenommen werden müssen, wie das Bereitstellen von im Standard-System nicht vorhandenen BAPIs.

Mandanten-Auswahl und Authentifizierung

Bevor der Softwareprototyp Daten aus einem SAP-R/3-System auslesen kann, werden verschiedenste Informationen wie Anwendungsserver, Router-String, System-Nummer, System-ID, Mandant und Sprache benötigt. Des Weiteren muss eine Authentifizierung mit Benutzername und Passwort erfolgen. Um zu verhindern, dass der Anwender diese Menge an Informationen bei jedem Zugriff auf das SAP-System angeben muss, bietet der Softwareprototyp Profile an, in denen diese Informationen persistent hinterlegt werden können. Abgespeichert werden die Profile im XML-Format, wobei Passwörter verschlüsselt werden. Sollen nun Daten beispielsweise über den Material-Browser (siehe weiter unten) abgerufen werden, muss der Anwender lediglich das Profil auswählen, mit dem sich die Anwendung am SAP-R/3-System anmelden soll. Abbildung 20 zeigt exemplarisch eine Übersicht von registrierten Profilen.

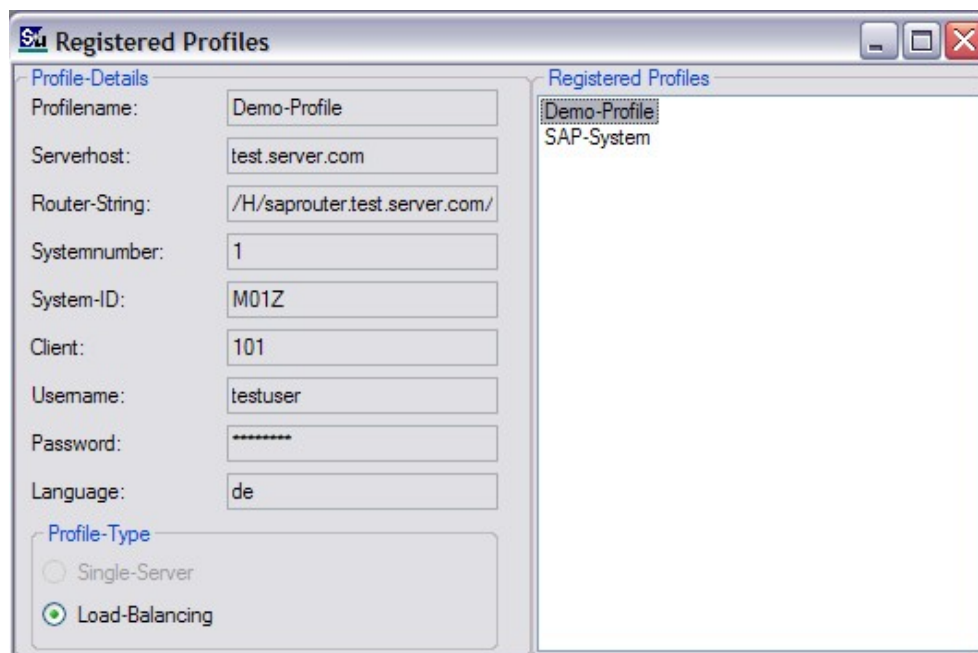


Abbildung 20. SAP-Logon-Profile

Material-Browser

Der Material-Browser (siehe Abbildung 21) bildet den Einstiegspunkt und listet sämtliche Materialien auf, die im entsprechenden SAP-System hinterlegt sind (Modul LO-MD-MM), unabhängig von Zugehörigkeit zu Buchungskreis, Werk, Lagerort o.ä..

Die Material-spezifischen Eigenschaften werden im SAP-System in verschiedenen Organisationsebenen gespeichert¹⁶:

- Mandant – Auf dieser Ebene werden Daten hinterlegt, die für jede Firma, jedes Werk und jedes Lager innerhalb eines Unternehmens gleichermaßen gelten. Ein Beispiel für allgemeine Daten sind Details über die Konstruktion eines Materials (z.B. CAD-Zeichnungen), Lagerbedingungen (z.B. Temperaturbereich) sowie physikalische Eigenschaften (Abmessungen, Volumen, Gewicht).
- Werk – Diese Ebene enthält die Daten, die für die einzelnen Betriebsstätten oder Abteilungen innerhalb einer Firma relevant sind. So gehören die für den Einkauf wichtigen Daten dieser Ebene an wie beispielsweise Kosteninformationen. Auf die Werksdaten wird über den Werksschlüssel zugegriffen.
- Lagerort – Diese Ebene enthält Daten, die für einen speziellen Lagerort relevant sind. Zum Beispiel werden die Bestände der einzelnen Materialien auf Lagerortebene geführt. Auf die Lagerortdaten wird über Werks- und Lagerortschlüssel zugegriffen.

Dabei werden Materialien im SAP-System folgendermaßen definiert: „Das Business-Objekt Material ist ein Gut, das Gegenstand der Geschäftstätigkeit ist. Mit einem Material wird gehandelt, es wird bei der Fertigung eingesetzt, verbraucht oder erzeugt. Ein Material wird mit den Parametern Materialart und Branche klassifiziert. Dadurch werden seine Verwendungsmöglichkeiten festgelegt“ (SAP BAPI-Explorer).

Die Informationen, die zunächst im Material-Browser angezeigt werden, beschränken sich auf die Materialnummer, Material-Beschreibung, lange Materialnummer, externe GUID und Versionsnummer, also hauptsächlich Daten, die für die Datenverwaltung im SAP-System von Relevanz sind. Für eine vermarktungsreife Software könnte überlegt werden, diese Daten gar nicht bzw. nur teilweise (zum Beispiel Materialnummer und –Beschreibung) anzuzeigen, für die weitere Verarbeitung und Zusammenführung von Informationen von Daten zu einem bestimmten Material sind diese Informationen aber essentiell.

¹⁶ vgl. http://help.sap.com/saphelp_46c/helpdata/de/75/ee0af555c811d189900000e8322d00/content.htm

26.06.2007

Material	Matl_Desc	Material_External	Material_Guid	Material_Version
00000000000000000023				
00000000000000000038	Klassifikationstest			
00000000000000000043	Massage			
00000000000000000058				
00000000000000000059				
00000000000000000068				
00000000000000000078				
00000000000000000088				
00000000000000000089				
00000000000000000098	PCB Unterbaugruppe			
00000000000000000170	Bonusabrechnung: Lackfarben			
00000000000000000178	Bonusabrechnung: Grundierun...			
00000000000000000188	Wertkontraktmaterial			
00000000000000000288	Schutzblech 1			
00000000000000000358	SMS Easter Package			

Materials loaded: (50 / 13041)

Abbildung 21. Material-Browser

Zu jedem einzelnen Material kann im SAP-R/3-System aber eine Fülle von weiteren Informationen hinterlegt werden (Standard-Preis, Größen-, Volumen- und Gewichtsinformationen, Materialgruppe und vieles mehr). Diese Daten werden ebenfalls abgefragt und können in einem separaten Fenster angezeigt werden. Tabelle 7 listet die über das SAP Business-Objekt Material abrufbaren Informationen auf:

Objekt-Typ	Modul	Hierarchie	Felder	Bedeutung
Material	LO-MD-MM	Logistik Allgemein / Grunddaten Logistik	MATERIAL	Materialnummer
			MATL_DESC	Materialkurztext
			MATERIAL_EXTERNAL	Lange Materialnummer
			MATERIAL_GUID	Externe GUID
			MATERIAL_VERSION	Versionsnummer
			PRICE_CTRL	Preissteuerungs-kennzeichen
			MOVING_PR	Gleitender Durchschnittspreis / Periodischer Verrechnungspreis
			SRD_PRICE	Standardpreis
			PRICE_UNIT	Preiseinheit
			CURRENCY	Währungsschlüssel
			CURRENCY_ISO	ISO-Code der Währung
			PUR_GROUP	Einkäufergruppe
			ISSUE_UNIT	Ausgabemengeneinheit
			OLD_MAT_NO	Alte Materialnummer

			MATL_TYPE	Materialart
			IND_SECTOR	Branche
			DIVISION	Sparte
			MATL_GROUP	Warengruppe
			PROD_HIER	Produkthierarchie
			BASIC_MATL	Werkstoff (Inhaltsstoff eines Materials) - veraltet
			STD_DESCR	Normbezeichnung (z.B. DIN)
			LAB_DESIGN	Labor / Konstruktionsbüro
			PROD_MEMO	Fertigungs-/Prüfhinweis
			PAGEFORMAT	DIN-Format des Fertigungshinweises
			CONTAINER	Behältervorschrift
			STOR_CONDS	Raumbedingungen
			TEMP_CONDS	Kennzeichen für Temperaturbedingungen
			BASE_UOM	Basismengeneinheit
			EAN_UPC	Europäische Artikelnummer (EAN)
			EAN_CAT	Nummerntyp der EAN
			SIZE_DIM	Größe/Abmessung
			GROSS_WT	Bruttogewicht
			NET_WEIGHT	Nettogewicht
			UNIT_OF_WT	Gewichtseinheit
			VOLUME	Volumen
			VOLUMEUNIT	Volumeneinheit
			LENGTH	Länge
			WIDTH	Breite
			HEIGHT	Höhe
			UNIT_DIM	Einheit für Länge/Breite/Höhe
			MANU_MAT	Herstellerteilennummer
			MFR_NO	Nummer eines Herstellers

			BASE_UOM_ISO	Basismengeneinheit im ISO-Code
			UNIT_OF_WT_ISO	Gewichtseinheit im ISO-Code
			VOLUMEUNIT_ISO	Volumeneinheit im ISO-Code
			UNIT_DIM_ISO	Einheit für Länge/Breite/Höhe im ISO-Code
			CREATED_ON	Erstellungsdatum
			CREATED_BY	Name des Sachbearbeiters, der das Objekt hinzugefügt hat
			LAST_CHNGE	Datum der letzten Änderung
			CHANGED_BY	Name des Sachbearbeiters, der das Objekt geändert hat
			MATL_CAT	Materialtyp
			EMPTYBOM	Kennzeichen: Leergutstückliste
			BASIC_MATL_NEW	Werkstoff

Tabelle 7. Datenfelder des Business-Objekts Material

Die abgerufenen Daten lassen sich vom Anwender editieren, um ggf. fehlende Informationen nachzutragen. Wie in Abbildung 22 exemplarisch zu sehen, müssen im SAP-R/3-System nicht alle Material-Details gepflegt werden, um damit arbeiten zu können. Die Änderungen, die hier vorgenommen werden, werden in diesem Stadium des Softwareprototyps allerdings nicht ins SAP-System zurück geschrieben, sondern werden lediglich für die Speicherung im PAS-1025-Format (siehe unten) zur weiteren Verwendung in einem BUIS übernommen.

Vorstellbar wäre ebenfalls eine Darstellung der Materialien nach Buchungsstruktur, so dass sich der Anwender bereits hier einen Überblick über die Verwendung einzelner Materialien in den entsprechenden Buchungskreisen, Werken, Lagerorten etc. verschaffen kann (siehe unten). Diese Darstellung wurde aus Zeitgründen für den Prototyp allerdings nicht implemen-

tiert. Informationen über die Buchungsstruktur werden aber ausgelesen (Modul FI), um diese dann in einem BUIS abbilden zu können.

The screenshot shows a window titled 'Details' with a subtitle 'SMS Easter Package'. It contains a table of material attributes and their values. The 'Matl_Group' attribute is highlighted. Below the table, there is a section for 'Options' with three radio buttons: 'Valuation', 'Plant', and 'General' (which is selected).

Sonstiges	
Base_Uom	ST
Base_Uom_Iso	PCE
Basic_Matl	
Basic_Matl_New	
Changed_By	1021066
Container	
Created_By	BRUNNERT
Created_On	20010222
Division	00
Ean_Cat	
Ean_Upc	
Emptiesbom	
Gross_Wt	500.000
Height	0.000
Ind_Sector	M
Lab_Design	
Last_Chnge	20030122
Length	0.000
Manu_Mat	
Matl_Cat	
Matl_Desc	SMS Easter Package
Matl_Group	002
Matl_Type	HAWA
Mfr_No	
Net_Weight	500.000
Old_Mat_No	
Pageformat	
Prod_Hier	00125
Prod_Memo	
Size_Dim	
Std_Descr	
Stor_Conds	
Temp_Conds	
Unit_Dim	
Unit_Dim_Iso	
Unit_Of_Wt	G
Unit_Of_Wt_Iso	GRM
Volume	0.000
Volumeunit	
Volumeunit_Iso	
Width	0.000

Matl_Group

Options

- ☐ Valuation
- ☐ Plant
- ☒ General

Abbildung 22. Material-Details

Ausgehend von den bis hier gesammelten Informationen können nun weitere Daten extrahiert werden.

Details

SMS Easter Package

☰ A Z ↓ ☰

☑ **Sonstiges**

Base_Uom	ST
Base_Uom_Iso	PCE
Basic_Matl	
Basic_Matl_New	
Changed_By	I021066
Container	
Created_By	BRUNNERT
Created_On	20010222
Division	00
Ean_Cat	
Ean_Upc	
Emptiesbom	
Gross_Wt	500.000
Height	0.000
Ind_Sector	M
Lab_Design	
Last_Chnge	20030122
Length	0.000
Manu_Mat	
Matl_Cat	
Matl_Desc	SMS Easter Package
Matl_Group	002
Matl_Type	HAWA
Mfr_No	
Net_Weight	500.000
Old_Mat_No	
Pageformat	
Prod_Hier	00125
Prod_Memo	
Size_Dim	
Std_Descr	
Stor_Conds	
Temp_Conds	
Unit_Dim	
Unit_Dim_Iso	
Unit_Of_Wt	G
Unit_Of_Wt_Iso	GRM
Volume	0.000
Volumeunit	
Volumeunit_Iso	
Width	0.000

Matl_Group

Options

☐ Valuation

☐ Plant

☒ General

Abbildung 23. Material-Details

Materialstücklisten

Zu jedem Material kann eine Materialstückliste hinterlegt werden, in der aufgelistet wird, aus welchen Einzelmaterien und welchen zugehörigen Mengen das entsprechende Material besteht. Diese Einzelmaterien können selbst auch wieder Materialstücklisten enthalten, so dass eine beliebig hohe Verschachtelungstiefe erzeugt werden kann.

Für Materialstücklisten gibt es im Standard-SAP-R/3-System kein BAPI, um diese auszu-
lesen. Zwar gibt es BAPIs zum Erzeugen und zur Existenzprüfung von Materialstücklisten,
aber kein BAPI zum Abrufen der Inhalte einer solchen. Aus diesem Grund muss an dieser
Stelle auf einen Web-Service zurückgegriffen werden, welcher im SAP-System vorhanden
ist.

Bestandsführung

Grundlage der Bestandsführung sind die Materialbestände. Diese werden in Form von
Inventurbelegen hinterlegt und sind über das Modul MM-IM abrufbar. Hierüber wird
festgehalten, in welchem Werk/Lager welche Mengen welchen Materials zu einem
bestimmten Zeitpunkt vorrätig sind. Die Informationen, die über das SAP Business-Objekt
Materialinventur abrufbar sind, werden in Tabelle 8 dargestellt:

Objekt-Typ	Modul	Hierarchie	Feld	Bedeutung
MaterialPhysInv	MM-IM	Materialwirtschaft - Bestandsführung	ADJUST_STATUS	Status der Differenzenausbuchung
			ALT_UNIT	Abwicklung in Alternativmengeneinheit
			BASE_UOM	Basismengeneinheit
			BASE_UOM_ISO	ISO-Code Maßeinheit
			BATCH	Chargennummer
			BOOK_QTY	Buchmenge zur Zählung
			BOOK_VALUE	Buchwert zu Verkaufspreisen zur Zeit der Zählung
			CC_PH_INV	Inventurkennzeichen für Cycle-Counting
			CHANGE_DATE	Datum der letzten Änderung
			CHANGE_USER	Geändert von
			COUNT_DATE	Datum der letzten Zählung
			COUNT_STATUS	Status der Zählung
			COUNT_USER	Gezählt von
			COUNTED	Position ist gezählt
			CURRENCY	Währungsschlüssel
			CURRENCY_ISO	Iso-Code Währung
			CUSTOMER	Kontonummer des Kunden
			DELETE_IND	Position ist gelöscht
			DELETE_STATUS	Status der Löschvormerkung
			DIFF_POSTED	Differenz wurde gebucht
			DIFF_VALUE	Inventurdifferenzwert bei Zählungserfassung
			DIFFERENCE	Differenzbetrag in Hauswährung
			DIFFSALCNT	Verkaufswert Inv.diff. (ohne MwSt.) bei Zählerfassung
			DIFFSALCNTVAT	Verkaufswert Inv.diff. (mit MwSt.) bei Zählerfassung
			DOC_DATE	Belegdatum im Beleg
			DOC_YEAR	Materialbelegjahr

			ENTRY_QNT	Menge in Erfassungsmengeneinheit
			ENTRY_UOM	Erfassungsmengeneinheit
			ENTRY_UOM_ISO	ISO-Code Maßeinheit
			EVENT_TYPE	Vorgangsart
			FIS_PERIOD	Geschäftsmonat
			FISCALYEAR	Geschäftsjahr
			FREEZEBOOKINV	Buchbestand fixieren
			GROUPING_CRIT	Gruppierungskriterium der Inventurbelegpositionen
			GROUPING_TYPE	Art des Gruppierungskriteriums
			ITEM	Zeilennummer
			MAT_DOC	Nummer des Materialbelegs
			MATDOC_ITM	Position im Materialbeleg
			MATERIAL	Materialnummer
			MATERIAL_EXTERNAL	Lange Materialnummer zum Feld MATERIAL
			MATERIAL_GUID	Externe GUID zum Feld MATERIAL
			MATERIAL_VERSION	Versionsnummer zum Feld MATERIAL
			PH_INV_REF	Inventurreferenznummer
			PH_INV_REF_LONG	Inventurreferenznummer (Abhängigkeiten s.Langtext)
			PHYS_INV_NO	Inventurnummer
			PHYS_INV_NO_LONG	Inventurnummer (Abhängigkeiten s.Langtext)
			PHYS_INV_REF	Inventurreferenznummer
			PHYS_INV_REF_LONG	Inventurreferenznummer (Abhängigkeiten s.Langtext)
			PHYSINVENTORY	Inventurbeleg
			PLAN_DATE	Geplantes Datum der Inventurzahlung
			PLANT	Werk
			POST_BLOCK	Buchungssperre wegen Inventur
			PRODBINLOC	Verteilung Differenzen
			PSTNG_DATE	Buchungsdatum im Beleg
			PSTNG_NAME	Ausgebucht von
			QUANTITY	Menge
			REASON	Grund der Inventurdifferenz
			RECOUNT	Position wird nachgezählt
			RECOUNTDOC	Nummer des Nachzahlbelegs
			S_ORD_ITEM	Positionsnummer im Kundenauftrag
			SALES_ORD	Kundenauftragsnummer
			SALES_VAL	Extern eingegebener Verkaufswert in Hauswährung
			SCHED_LINE	Einteilung Kundenauftrag
			SPEC_STOCK	Sonderbestandskennzeichen

			STGE_LOC	Lagerort
			STOCK_TYPE	Bestandsart
			SV_INC_VAT	Wert zu Verkaufspreisen (mit MwSt.)
			SV_W_O_VAT	Wert zu Verkaufspreisen (ohne MwSt.)
			USERNAME	Name des Benutzers
			VALBOOKAMT	Wert der Buchmenge
			VALCOUNTQNT	Wert der Inventurzahl
			VENDOR	Kontonummer des Lieferanten
			VO_MAT	Wertmaterial inventarisieren
			WBS_ELEMENT	Projektstrukturplanelement (PSP-Element)
			ZERO_COUNT	Nullzahl

Tabelle 8. Datenfelder des Business-Objekts MaterialInventur (MaterialPhysInv)

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Bestandsführung sind Materialbewegungen. Diese sind ebenfalls über das Modul MM-IM abzurufen und werden in Form von Materialbelegen zur Verfügung gestellt. Wie oben beschrieben werden nicht nur Warenzu- und -abgänge erfasst, sondern auch Stornierungen und Inventurdifferenzen, so dass eine Auswertung der Bewegungsdaten notwendig ist. Abrufbare Informationen aus Materialbewegungen sind in Tabelle 9 aufgelistet:

Objekt-Typ	Modul	Hierarchie	Feld	Bedeutung
GoodsMovement	MM-IM	Materialwirtschaft / Bestandsführung	ACTIVITY	Vorgangsnummer
			ACTTYPE	Leistungsart
			AMOUNT_LC	Extern eingegebener Buchungsbetrag in Hauswährung
			AMOUNT_SV	Extern eingegebener Verkaufswert in Hauswährung
			ASSET_NO	Anlagen-Hauptnummer
			CALC_MOTIVE	Berechnungsmotiv
			CMMT_ITEM	Finanzposition
			CMMT_ITEM_LONG	Finanzposition
			CO_BUSPROC	Geschäftsprozess
			COMP_SHIP	Einhaltung der Versandvorschrift
			COST_OBJ	Kostenträger
			COSTCENTER	Kostenstelle
			CURRENCY	Währungsschlüssel
			CURRENCY_ISO	ISO-Code Währung
			EXPIRYDATE	Verfallsdatum oder Mindesthaltbarkeitsdatum
			FUNC_AREA_LONG	Funktionsbereich
			FUND	Fonds
			FUNDS_CTR	Finanzstelle
			GR_RCPT	Warenempfänger
			GRANT_NBR	Förderung
			ITEM_TEXT	Positionstext
			LINE_DEPTH	Hierarchiestufe der Zeile im Beleg

			LINE_ID	Eindeutige Identifikation der Belegzeile
			MATERIAL_EXTERNAL	Lange Materialnummer zum Feld MATERIAL
			MATERIAL_GUID	Externe GUID zum Feld MATERIAL
			MATERIAL_VERSION	Versionsnummer zum Feld MATERIAL
			MOVE_BATCH	Empfangende/Abgebende Charge
			MOVE_MAT	Empfangendes/Abgebendes Material
			MOVE_MAT_EXTERNAL	Lange Materialnummer zum Feld MOVE_MAT
			MOVE_MAT_GUID	Externe GUID zum Feld MOVE_MAT
			MOVE_MAT_VERSION	Versionsnummer zum Feld MOVE_MAT
			MOVE_PLANT	Empfangendes/Abgebendes Werk
			MOVE_REAS	Grund der Bewegung
			MOVE_STLOC	Empfangender/Abgebender Lagerort
			MOVE_VAL_TYPE	Bewertungsart der Umlagerungscharge
			MVT_IND	Bewegungskennzeichen
			NETWORK	Netzplannummer für Kontierung
			NO_MORE_GR	Endlieferungskennzeichen
			ORDER_ITNO	Nummer der Auftragsposition
			ORDERID	Auftragsnummer
			PARENT_ID	Identifikation der unmittelbar übergeordneten Zeile
			PART_ACCT	Kundennummer des Partners
			PROD_DATE	Herstelldatum
			PROFIT_CTR	Profit Center
			PROFIT_SEGM_NO	Nummer für Ergebnisobjekte (CO-PA)
			REF_DATE	Bezugsdatum für Abrechnung
			REF_DOC	Belegnummer eines Referenzbeleges
			REF_DOC_IT	Position eines Referenzbeleges
			REF_DOC_YR	Geschäftsjahr eines Referenzbelegs
			RES_ITEM	Positionsnummer der Reservierung / des Sekundärbedarfs
			RES_TYPE	Satzart
			RESERV_NO	Nummer der Reservierung / des Sekundärbedarfs
			RL_EST_KEY	Interner Schlüssel für Immobilienobjekt
			SHIPPING	Versandvorschrift
			SUB_NUMBER	Anlagenunternummer
			SUPPL_VEND	Lieferant für Lieferung
			UNLOAD_PT	Abladestelle
			VAL_S_ORD_ITEM	Kundenauftragsposition des bewert. Kundenauftragsbestandes
			VAL_SALES_ORD	Kundenauftragsnummer des bewert. Kundenauftragsbestandes

			VAL_WBS_ELEM	Projektstrukturplanelement (PSP-Element)
			WBS_ELEM	Projektstrukturplanelement (PSP-Element)
			WITHDRAWN	Endausfassung der Reservierung
			X_AUTO_CRE	Position automatisch erzeugt
			PO_ITEM	Positionsnummer des Einkaufsbelegs
			BATCH	Chargennummer
			CUSTOMER	Kontonummer des Kunden
			DOC_DATE	Belegdatum im Beleg
			DOC_YEAR	Materialbelegjahr
			ENTRY_DATE	Tag der Erfassung des Buchhaltungsbelegs
			ENTRY_QNT	Menge in Erfassungsmengeneinheit
			ENTRY_TIME	Uhrzeit der Erfassung
			ENTRY_UOM	Erfassungsmengeneinheit
			ENTRY_UOM_ISO	ISO-Code Maßeinheit
			EXPIMP_NO	Nummer der Außenhandelsdaten in MM- und SD-Belegen
			HEADER_TXT	Belegkopftext
			MAT_DOC	Nummer des Materialbelegs
			MATDOC_ITM	Position im Materialbeleg
			MATERIAL	Materialnummer
			MOVE_TYPE	Bewegungsart (Bestandsführung)
			ORDERPR_UN	Bestellpreismengeneinheit
			ORDERPR_UN_ISO	ISO-Code Maßeinheit
			PLANT	Werk
			PO_NUMBER	Bestellnummer
			PO_PR_QNT	Menge in Bestellpreismengeneinheit
			PSTNG_YEAR	Buchungsdatum im Beleg
			REF_DOC_NO	Referenz-Belegnummer
			REF_DOC_NO_LONG	Referenz-Belegnummer (Abhängigkeiten siehe Langtext)
			S_ORD_ITEM	Positionsnummer im Kundenauftrag
			SALES_ORD	Kundenauftragsnummer
			SCHED_LINE	Einteilung Kundenauftrag
			SPEC_STOCK	Sonderbestandskennzeichen
			STCK_TYPE	Bestandsart
			STGE_LOC	Lagerort
			TR_EV_TYPE	Vorgangsart
			USERNAME	Name des Benutzers
			VAL_TYPE	Bewertungsart
			VENDOR	Kontonummer des Lieferanten
			VER_GR_GI_SLIP	Version für den Druck des Warenbegleitscheines

Tabelle 9. Datenfelder des Business-Objekts Materialbewegung (GoodsMovement)

Die Materialbelege enthalten unter anderem Informationen über den Lieferanten und Empfänger (wobei diese auch betriebsinterne Werke oder Lagerorte sein können), das

Material, die transportierte Menge, das Datum, zugehörige Charge, auslösender Auftrag etc., wodurch eine sehr genaue Interpretation einer Materialbewegung ermöglicht wird.

Buchungsstruktur

Durch die Buchungsstruktur kann eine räumliche Abgrenzung durchgeführt werden, so dass die aus dem SAP-R/3-System gesammelten Informationen über Materialbestände und -bewegungen beispielsweise in einem BUIS als Netz dargestellt werden können. In Abbildung 25 ist ein typisches Szenario dargestellt.

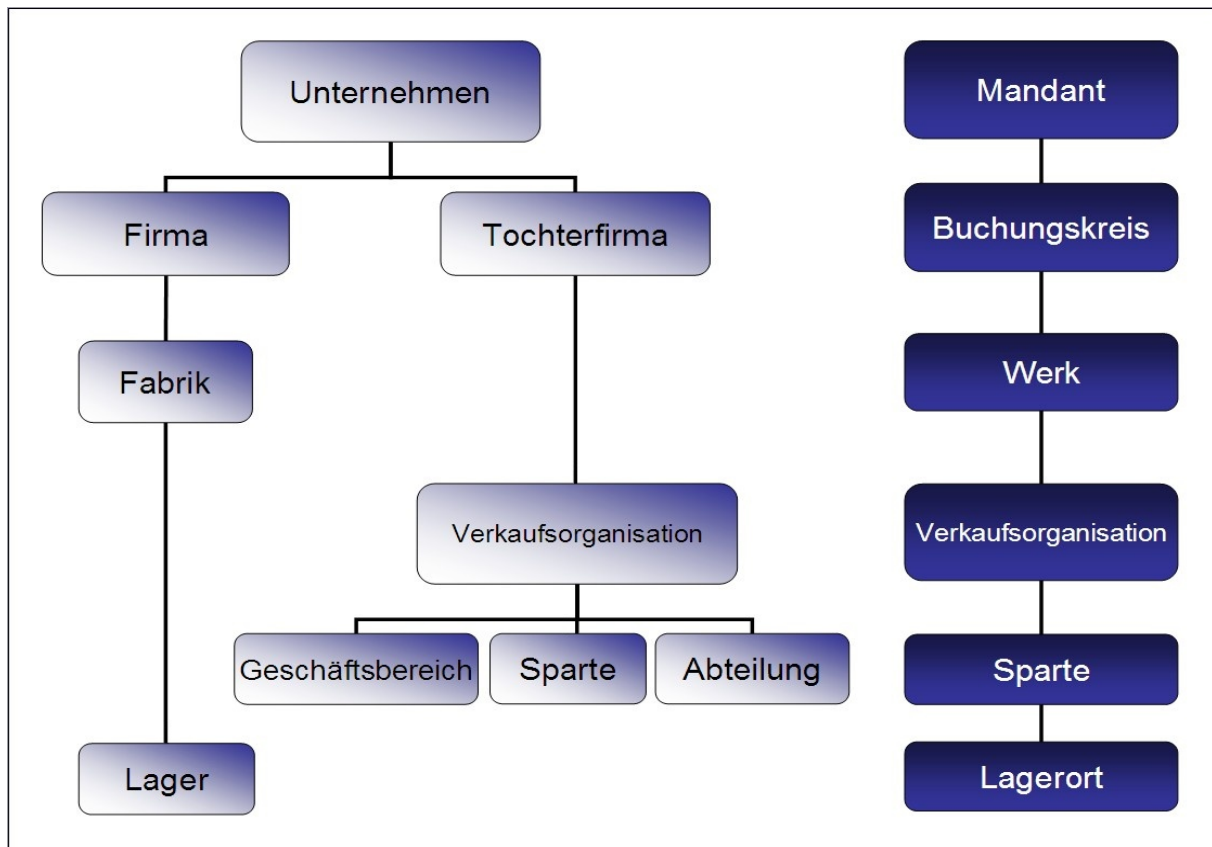


Abbildung 24. Abbildung einer Unternehmensstruktur (links) auf ein SAP-System (rechts)

Im Kontext der Untersuchung von Lebenszyklusdaten sind die Strukturen Buchungskreis, Werk und Lagerort am bedeutungsvollsten. Über das Modul FI sind die einzelnen Strukturen über BAPIs (Buchungskreis, Geschäftsbereich, Gesellschaft, Funktionsbereich...) oder aber über Web-Services (Werk). Exemplarisch sind in Tabelle 10 die abrufbaren Informationen des SAP Business-Objekts Buchungskreis aufgelistet:

Objekt-Typ	Modul	Hierarchie	Feld	Bedeutung
CompanyCode	FI	Finanzwesen	ADDR_NO	Adressnummer
			ADR_NOTES	Bemerkungen zur Adresse
			BUILDING	alt: Gebäude (Nummer oder Kürzel)
			C_O_NAME	c/o-Name
			CHRT_ACCTS	Kontenplan
			CITY	Ort

			CITY_NO	Codierung des Orts für Orts- und Straßendatei
			COMM_TYPE	Kommunikationsart (Schlüssel) (Business Address Services)
			COMP_CODE	Buchungskreis
			COMP_NAME	Buchungskreis- oder Firmen- Bezeichnung
			COMPANY	Gesellschaft
			COUNTRY	Länderschlüssel
			COUNTRY_ISO	ISO-Code des Landes
			CURRENCY	Währungsschlüssel
			CURRENCY_ISO	Iso-Code Währung
			DELIV_DIS	Postzustellbezirk
			DISTRICT	Ortsteil
			FAX_EXTENS	Erste Fax-Nr.: Durchwahl
			FAX_NUMBER	Erste Fax-Nr.: Vorwahl + Anschluß
			FLOOR	Stockwerk im Gebäude
			FORMOFADDR	Anredetext
			FY_VARIANT	Geschäftsjahresvariante
			HOUSE_NO	Hausnummer
			LANGU	Sprachenschlüssel
			LOCATION	Straße 5
			NAME	Name 1
			NAME_2	Name 2
			NAME_3	Name 3
			NAME_4	Name 4
			PO_BOX	Postfach
			PO_BOX_CIT	Ort des Postfachs
			POSTL_COD1	Postleitzahl des Orts
			POSTL_COD2	Postleitzahl des Postfachs
			POSTL_COD3	Postleitzahl der Firma (bei Großkunden)
			REGION	Region (Bundesstaat, Bundesland, Provinz, Grafschaft)
			ROOM_NO	Nummer einer Wohnung, eines Appartements oder eines Raumes
			SORT1	Suchbegriff 1
			SORT2	Suchbegriff 2
			STR_ABBR	Abkürzung der Straßenbezeichnung (z.B. in Spanien)
			STR_SUPPL1	Straße 2
			STR_SUPPL2	Straße 3
			STREET	Straße
			STREET_NO	Codierung der Straße für Orts- und Straßendatei
			TAXJURCODE	Tax Jurisdiction Code - Standort für Steuerrechnung
			TEL1_EXT	Erste Telefon-Nr.: Durchwahl

			TEL1_NUMBR	Erste Telefon-Nr.: Vorwahl + Anschluß
			TIME_ZONE	Zeitzone der Adresse
			VAT_REG_NO	Umsatzsteuer-Identifikationsnummer

Tabelle 10. Datenfelder des Business-Objekts Buchungskreis (CompanyCode)

Eine Ausnahme bilden die Lagerorte, für die es weder BAPIs noch WebServices im Standard-SAP-R/3-System gibt. Will man eine Liste aller Lagerorte bzw. Beschreibungen zu einzelnen Lagerorten abrufen, ist es nötig, im SAP-System entsprechende Erweiterungen durchzuführen. Für diesen Prototyp wurde dies vernachlässigt und stattdessen die Bezeichnung der Lagerorte aus den Materialbelegen der Bestandsführung entnommen. Für eine detailliertere und aussagekräftigere Analyse ist es aber empfehlenswert, das SAP-System um entsprechende BAPIs oder Web-Services manuell zu erweitern, um spezifische Informationen zu jedem Lagerort auslesen zu können.

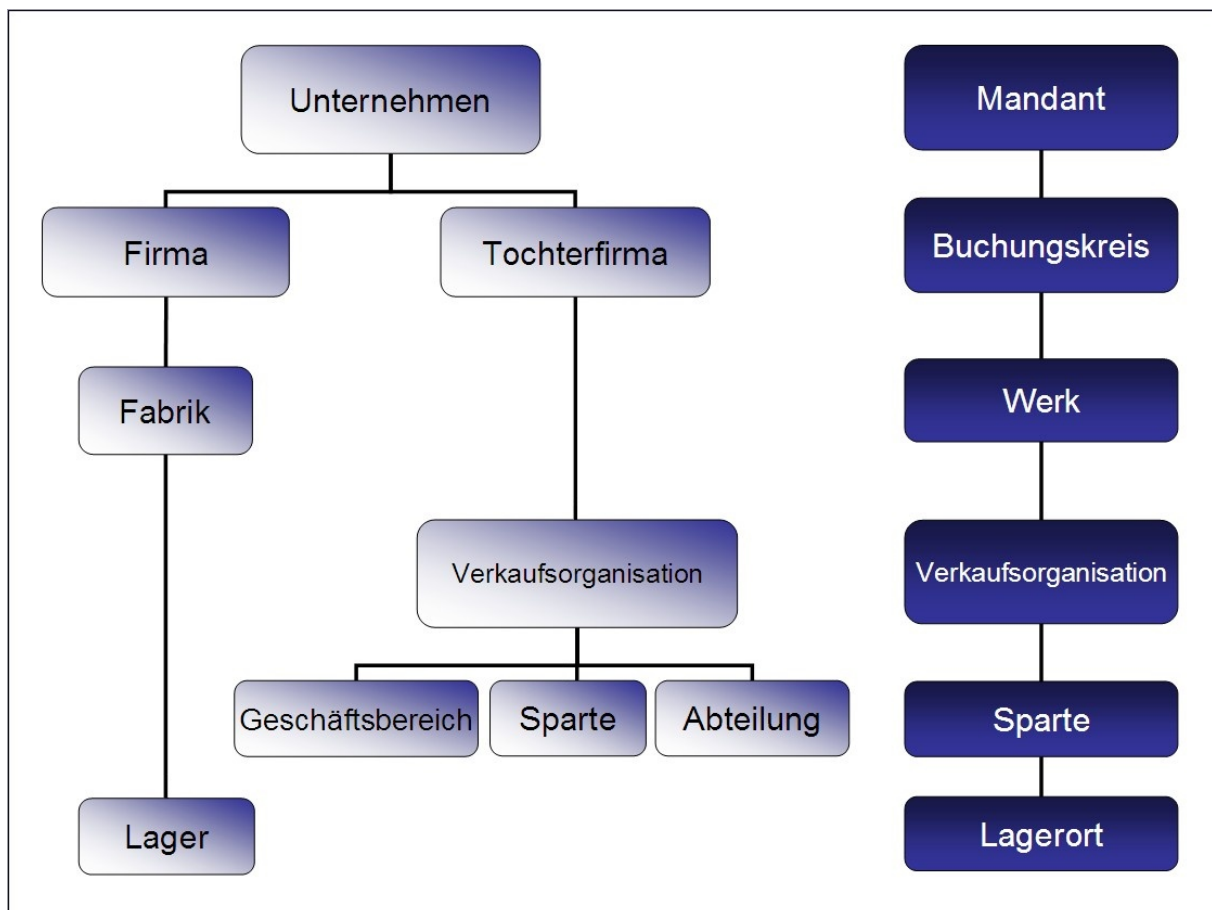


Abbildung 25. Abbildung einer Unternehmensstruktur (links) auf ein SAP-System (rechts)

Weitere Strukturinformationen finden sich im Modul CO-OM, wie Kostenrechnungskreis und Kostenstelle.

Prozessdaten

Produktionsvorgänge werden im SAP-R/3-System in Arbeitsplänen (Modul PP-BD-RTG) geplant und in Fertigungsaufträgen (Modul PP-SFC) zur Ausführung gebracht, wobei sich nur letztere über ein vorhandenes BAPI abrufen lassen.

Das Business-Objekt Arbeitsplan ist eine Beschreibung eines Fertigungsablaufs zur Herstellung von Werksmaterialien bzw. zur Erbringung von Leistungen in der Fertigungsindustrie. Ein Arbeitsplan enthält Folgen von Vorgängen, wobei ein Vorgang beschreibt, wie ein Arbeitsschritt durchzuführen ist. Die Zusammenfassung von Vorgängen in Folgen ermöglicht die Darstellung von parallelen oder alternativen Abläufen.

Des Weiteren kann ein Vorgang zur detaillierteren Beschreibung in Untervorgänge unterteilt werden und eine bestimmte Menge von Materialkomponenten bzw. Fertigungshilfsmitteln zur Durchführung benötigen. Ein Arbeitsplan kann zur Fertigung mehrerer Werksmaterialien verwendet werden und dient als Vorlage für die Erstellung von Fertigungsaufträgen.

Das Business-Objekt Fertigungsauftrag ist ein Produktionsauftrag, der im Rahmen der diskreten Fertigung verwendet wird. In Fertigungsaufträgen werden verschiedenste Informationen festgehalten, neben zeitlichen Informationen wie Start- und Enddatum der Durchführung auch Informationen über das ausführende Werk und Lagerort, ggf. empfangendes Werk und Lagerort, herzustellendes Material und Materialmenge, Ausschussmenge, zugehöriger Arbeitsplan, Arbeitsplatz usw. Zusammen mit den Bewegungsdaten aus der Bestandsführung lassen sich so sehr genaue Angaben über Stoffströme in einem Unternehmen erstellen.

Objekt-Typ	Modul	Hierarchie	Struktur	Feld	Bedeutung
ProductionOrder	PP-SFC	Produktionsplanung und -steuerung - Fertigungsaufträge	Auftragskopfdaten	ORDER_NUMBER	Auftragsnummer
				PRODUCTION_PLANT	Werk
				MRP_CONTROLLER	Disponent für Auftrag
				PRODUCTION_SCHEDULER	Fertigungssteuerer
				MATERIAL	Materialnummer
				EXPL_DATE	Auflösungsdatum für Stückliste und Arbeitsplan
				ROUTING_NO	Plannummer zu Vorgängen im Auftrag
				RESERVATION_NUMBER	Nummer der Reservierung / des Sekundärbedarfs
				SCHED_RELEASE_DATE	Terminierter Freigabetermin
				ACTUAL_RELEASE_DATE	Istfreigabetermin
				FINISH_DATE	Eckendtermin
				START_DATE	Eckstarttermin

				PRODUCTION_FINISH_DATE	Terminiertes Ende
				PRODUCTION_START_DATE	Terminierter Start
				ACTUAL_START_DATE	Iststarttermin
				ACTUAL_FINISH_DATE	Istendtermin
				SCRAP	Gesamte Ausschußmenge Auftrag
				TARGET_QUANTITY	Gesamte Auftragsmenge
				UNIT	Gemeinsame Mengeneinheit über alle Auftragspositionen
				UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit
				PRIORITY	Auftragspriorität
				ORDER_TYPE	Auftragsart
				ENTERED_BY	Name des Erfassers
				ENTER_DATE	Erfassungsdatum
				DELETION_FLAG	Löschvormerkung
				WBS_ELEMENT	Projektstrukturplanelement (PSP-Element)
				CONF_NO	Rückmeldenummer des Vorgangs
				CONF_CNT	Interner Zähler
				INT_OBJ_NO	Konfiguration (interne Objektnummer)
				SCHED_FIN_TIME	Terminiertes Ende (Uhrzeit)
				SCHED_START_TIME	Terminierter Start (Uhrzeit)
				COLLECTIVE_ORDER	Kennzeichen: Auftrag Teil eines Auftragsnetzes
				ORDER_SEQ_NO	Sequenznummer Auftrag
				FINISH_TIME	Eckendtermin (Uhrzeit)
				START_TIME	Eckstarttermin (Uhrzeit)
				ACTUAL_START_TIME	Iststarttermin (Uhrzeit)
				LEADING_ORDER	Führender Auftrag im Rahmen der aktuellen Bearbeitung
				SALES_ORDER	Kundenauftragsnummer
				SALES_ORDER_ITEM	Positionsnummer im Kundenauftrag
				PROD_SCHED_PROFILE	Fertigungssteuerungsprofil
				MATERIAL_TEXT	Materialkurztext
				SYSTEM_STATUS	Systemstatus
				CONFIRMED_QUANTITY	Bestätigte Menge für Auftrag nach ATP Prüfung Komponenten
				PLAN_PLANT	Planungswerk
				BATCH	Chargennummer

			Auftragspositionsdaten	ORDER_NUMBER	Auftragsnummer
				ORDER_ITEM_NUMBER	Nummer der Auftragsposition
				SALES_ORDER	Kundenauftragsnummer
				SALES_ORDER_ITEM	Kundenauftragsposition
				SCRAP	Positionsausschußmenge
				QUANTITY	Positionsmenge Auftrag
				DELIVERED_QUANTITY	Wareneingangsmenge zu Auftragsposition
				BASE_UNIT	Basismengeneinheit
				BASE_UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit
				MATERIAL	Materialnummer zu Auftrag
				ACTUAL_DELIVERY_DATE	Liefer-/Endtermin Ist
				PLANNED_DELIVERY_DATE	Liefertermin aus Planauftrag
				PLAN_PLANT	Planungswerk für den Auftrag
				STORAGE_LOCATION	Lagerort
				DELIVERY_COMPL	Endlieferungskennzeichen
				PRODUCTION_VERSION	Fertigungsversion
				PROD_PLANT	Werk
				ORDER_TYPE	Auftragsart
				FINISH_DATE	Eckendtermin
				PRODUCTION_FINISH_DATE	Terminiertes Ende
				BATCH	Chargennummer
				DELETION_FLAG	Löschvormerkung
				MRP_AREA	Dispobereich
				MATERIAL_TEXT	Materialkurztext
			Auftragsfolgendaten	ROUTING_NO	Plannummer zu Vorgängen im Auftrag
				COUNTER	Interner Zähler
				TASK_LIST_TYPE	Plantyp
				TASK_LIST_GROUP	Schlüssel der Plangruppe
				GROUP_COUNTER	Plangruppenzähler
				SEQUENCE_NO	Folge
				SEQUENCE_CATEGORY	Folgenart
				DESCRIPTION	Kurztext Folge
				LOT_SZ_MIN	Losgröße von
				LOT_SZ_MAX	Losgröße bis
				BRANCH_OPERATION	Vorgangsnummer des Absprungvorganges
				RETURN_OPERATION	Vorgangsnummer des Rücksprungvorganges
				ORDER_NUMBER	Auftragsnummer
				TASK_MEASURE_UNIT	Mengeneinheit des Planes

				TASK_MEASURE_UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit
			Auftragsvorgangsdaten	ROUTING_NO	Plannummer zu Vorgängen im Auftrag
				COUNTER	Allgemeiner Zähler des Auftrags
				SEQUENCE_NO	Folge
				CONF_NO	Rückmeldenummer des Vorgangs
				CONF_CNT	Zähler der Rückmeldung
				PURCHASE_REQ_NO	Nummer der Bestellanforderung
				PURCHASE_REQ_ITEM	Positionsnummer der Bestellanforderung im Auftrag
				GROUP_COUNTER	Plangruppenzähler
				TASK_LIST_TYPE	Plantyp
				TASK_LIST_GROUP	Schlüssel der Plangruppe
				OPERATION_NUMBER	Vorgangsnummer
				OPR_CNTRL_KEY	Steuerschlüssel
				PROD_PLANT	Werk
				DESCRIPTION	Kurztext Vorgang
				DESCRIPTION2	Vorgangsbeschreibung: 2. Textzeile
				STANDARD_VALUE_KEY	Vorgabewertschlüssel
				ACTIVITY_TYPE_1	Leistungsart
				ACTIVITY_TYPE_2	Leistungsart
				ACTIVITY_TYPE_3	Leistungsart
				ACTIVITY_TYPE_4	Leistungsart
				ACTIVITY_TYPE_5	Leistungsart
				ACTIVITY_TYPE_6	Leistungsart
				UNIT	Vorgangsmengeneinheit
				UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit
				QUANTITY	Vorgangsmenge
				SCRAP	Ausschußmenge Vorgang
				EARL_SCHED_START_DATE_EXEC	Frühester terminierter Start: Durchführen (Datum)
				EARL_SCHED_START_TIME_EXEC	Frühester terminierter Start: Durchführen (Uhrzeit)
				EARL_SCHED_START_DATE_PROC	Frühester terminierter Start: Bearbeiten (Datum)
				EARL_SCHED_START_TIME_PROC	Frühester terminierter Start: Bearbeiten (Uhrzeit)
				EARL_SCHED_START_DATE_TEARD	Frühester terminierter Start: Abrüsten (Datum)
				EARL_SCHED_START_TIME_TEARD	Frühester terminierter Start: Abrüsten (Uhrzeit)
				EARL_SCHED_FIN_DATE_EXEC	Frühestes terminiertes Ende: Durchführen (Datum)

				EARL_SCHED_FIN_TIME_EXEC	Frühestes terminiertes Ende: Durchführen (Uhrzeit)	
				LATE_SCHED_START_DATE_EXEC	Spätester terminierter Start: Durchführen (Datum)	
				LATE_SCHED_START_TIME_EXEC	Spätester terminierter Start: Durchführen (Uhrzeit)	
				LATE_SCHED_START_DATE_PROC	Spätester terminierter Start: Bearbeiten (Datum)	
				LATE_SCHED_START_TIME_PROC	Spätester terminierter Start: Bearbeiten (Uhrzeit)	
				LATE_SCHED_START_DATE_TEARD	Spätester terminierter Start: Abrüsten (Datum)	
				LATE_SCHED_START_TIME_TEARD	Spätester terminierter Start: Abrüsten (Uhrzeit)	
				LATE_SCHED_FIN_DATE_EXEC	Spätestes terminiertes Ende: Durchführen (Datum)	
				LATE_SCHED_FIN_TIME_EXEC	Spätestes terminiertes Ende: Durchführen (Uhrzeit)	
				WORK_CENTER	Arbeitsplatz	
				WORK_CENTER_TEXT	Kurztext zum Arbeitsplatz	
				SYSTEM_STATUS	Systemstatus	
				Ereignispunktendaten	MILESTONE_NUMBER	Nummer des Meilensteins
					VALID_FROM_DATE	Datum gültig ab
					DELETION_INDICATOR	Löschkennzeichen
			CREATED_BY		Meilenstein angelegt von	
			CREATED_ON		Meilenstein angelegt am	
			CHANGED_BY		Meilenstein geändert von	
			CHANGED_ON		Meilenstein geändert am	
			STD_NET_WORK		Standardnetznummer	
			STD_NET_TYPE		Standardnetztyp	
			ALT_NET_WORK		Alternative eines Standardnetzes	
			IND_FUNCTIONS		Kennzeichen: Meilenstein wird für Mlst.-Funktionen verwendet	
			DESCRIPTION		Bezeichnung	
			OPERATION		Vorgangsnummer	
			ORDER_NUMBER	Auftragsnummer		
			Auftragskomponentendaten	RESERVATION_NUMBER	Nummer der Reservierung / des Sekundärbedarfs	
				RESERVATION_ITEM	Positionsnummer der Reservierung / des Sekundärbedarfs	
				RESERVATION_TYPE	Satzart	

				DELETION_INDICATOR	Position ist gelöscht	
				MATERIAL	Materialnummer	
				PROD_PLANT	Werk	
				STORAGE_LOCATION	Lagerort	
				SUPPLY_AREA	Produktionsversorgungsbereich	
				BATCH	Chargennummer	
				SPECIAL_STOCK	Sonderbestandskennzeichen	
				REQ_DATE	Bedarfstermin der Komponente	
				REQ_QUAN	Bedarfsmenge	
				BASE_UOM	Basismengeneinheit	
				BASE_UOM_ISO	ISO-Code Maßeinheit	
				WITHDRAWN_QUANTITY	Entnommene Menge	
				ENTRY_QUANTITY	Menge in Erfassungsmengeneinheit	
				ENTRY_UOM	Erfassungsmengeneinheit	
				ENTRY_UOM_ISO	ISO-Code Maßeinheit	
				ORDER_NUMBER	Auftragsnummer	
				MOVEMENT_TYPE	Bewegungsart (Bestandsführung)	
				ITEM_CATEGORY	Positionstyp (Stückliste)	
				ITEM_NUMBER	Nummer der Stücklistenposition	
				SEQUENCE	Folge	
				OPERATION	Vorgangsnummer	
				BACKFLUSH	Kennzeichen: retrograde Entnahme	
				VALUATION_SPEC_STOCK	Bewertung Sonderbestand	
				SYSTEM_STATUS	Aufbereiteter Statustext	
				MATERIAL_DESCRIPTION	Materialkurztext	
				COMMITTED_QUANTITY	Bestätigte Menge	
				SHORTAGE	Fehlmenge	
				PURCHASE_REQ_NO	Bestellanforderungsnummer	
				PURCHASE_REQ_ITEM	Positionsnummer der Bestellanforderung	
				Fertigungshilfsmitteldaten	ROUTING_NO	Plannummer zu Vorgängen im Auftrag
					COUNTER	Interner Zähler
					PRT_ITEM_COUNT	Positionszähler Fertigungshilfsmittel
					DELETION_INDICATOR	Löschkennzeichen
					TASK_LIST_TYPE	Plantyp
					TASK_LIST_GROUP	Schlüssel der Plangruppe

				CTRL_KEY	Steuerschlüssel Verwaltung Fertigungshilfsmittel
				EARL_SCHED_START_DATE	Frühester terminierter Start (Datum) FertHilfsmittel-Einsatz
				EARL_SCHED_START_TIME	Frühester terminierter Start (UZeit) FertHilfsmittel-Einsatz
				EARL_SCHED_FINISH_DATE	Frühestes terminiertes Ende (Datum) FertHilfsmittel-Einsatz
				EARL_SCHED_FINISH_TIME	Frühestes terminiertes Ende (UZeit) FertHilfsmittel-Einsatz
				LATEST_SCHED_START_DATE	Spätester terminierter Start (Datum) FertHilfsmittel-Einsatz
				LATEST_SCHED_START_TIME	Spätester terminierter Start (UZeit) FertHilfsmittel-Einsatz
				LATEST_SCHED_FINISH_DATE	Spätestes terminiertes Ende (Datum) FertHilfsmittel-Einsatz
				LATEST_SCHED_FINISH_TIME	Spätestes terminiertes Ende (UZeit) FertHilfsmittel-Einsatz
				ACTUAL_START_DATE	Ist-Start (Datum) FertHilfsmittel-Einsatz
				ACTUAL_START_TIME	Ist-Start (UZeit) FertHilfsmittel-Einsatz
				ACTUAL_FINISH_DATE	Ist-Ende (Datum) FertHilfsmittel-Einsatz
				ACTUAL_FINISH_TIME	Ist-Ende (UZeit) FertHilfsmittel-Einsatz
				DURATION	Dauer Fertigungshilfsmittel-Einsatz
				DURATION_UNIT	Einheit der Dauer des Fertigungshilfsmittel-Einsatzes
				DURATION_UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit
				STD_VALUE_FOR_PART_QTY	Vorgabewert Menge Fertigungshilfsmittel
				STD_VALUE_UNIT	Einheit Menge Fertigungshilfsmittel
				STD_VALUE_UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit
				TOTAL_QUANTITY	Gesamte Menge Fertigungshilfsmittel
				QUANTITY_UNIT	Einheit Menge Fertigungshilfsmittel
				QUANTITY_UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit

				FORMULA_TOT_QTY	Formel zur Berechnung Gesamtmenge Fertigungshilfsmittel
				STD_USAGE_VALUE_ FOR_PRT	Vorgabewert Einsatzwert Fertigungshilfsmittel
				STD_USAGE_VALUE_ UNIT	Einheit Einsatzwert Fertigungshilfsmittel
				STD_USAGE_VALUE_ UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit
				USAGE_VALUE	Gesamter Einsatzwert Fertigungshilfsmittel
				USAGE_VALUE_UNIT	Einheit Einsatzwert Fertigungshilfsmittel
				USAGE_VALUE_UNIT_ ISO	ISO-Code Maßeinheit
				FORMULA_TOT_USAG E	Formel Berechnung Gesamteinsatzwert Fertigungshilfsmittel
				ORDER_NUMBER	Auftragsnummer
				PRT_CATEGORY	Fertigungshilfsmittel-Art
				PRT_NUMBER	Fertigungshilfsmittel-Nummer
				PRT_PLANT	Werk Fertigungshilfsmittel
				MATERIAL	Materialnummer
				DOCUMENT_TYPE	Dokumentart
				DOCUMENT_NUMBER	Dokumentnummer
				DOCUMENT_VERSION	Dokumentversion
				DOCUMENT_PART	Teildokument
				EQUIPMENT	Equipmentnummer
				MEASURING_POINT	Meßpunkt
				DESCRIPTION_MEAS URING_POINT	Bezeichnung des Meßpunktes
				DESCRIPTION	Bezeichnung des Fertigungshilfsmittels
				BASE_UNIT	Basismengeneinheit Fertigungshilfsmittel
				BASE_UNIT_ISO	ISO-Code Maßeinheit
				SYSTEM_STATUS	Systemstatus

**Tabelle 11. Datenstrukturen und -felder des Business-Objekts Fertigungsauftrag
(ProductionOrder)**

Kosteninformationen

Allgemeine Kosten zu jedem Material können über das Business-Objekt Material abgerufen werden. Hier werden Standard- und gleitender Preis festgehalten. Über die Business-Objekte Kundenauftrag (SalesOrder) und Bestellung (PurchaseOrder) lassen sich tatsächlich durchgeführte Transaktionen zu einem bestimmten Material herausfiltern und auswerten.

Eine Verknüpfung zu den entsprechenden Kostenbelegen wird in den Belegen zu Materialbewegungen mitgeführt, so dass sich zu jeder Materialbewegung auch eine entsprechende Kosteninformation (Einnahme, Ausgabe) finden lässt, sofern diese Materialbewegung mit Kosten verbunden war.

Eine weitere Informationsquelle für Kosteninformationen findet sich in den Leistungen (z.B. Arbeitsstunden), die bei der Produktion anfallen können. Eine Referenz hierzu findet sich in dem Business-Objekt Fertigungsauftrag, in dem die in Anspruch genommenen Leistungen protokolliert werden.

Auswertung und Speicherung im PAS-1025-Format

Die aus den einzelnen Kategorien gesammelten Daten können nun automatisiert ausgewertet werden und im PAS 1025-Format abgespeichert werden, so dass sie einem Betrieblichen Umweltinformationssystem zur Verfügung stehen, sofern es die PAS 1025-Schnittstelle unterstützt. Nicht im SAP-System gefundene Daten, wie der Materialtyp (gut, neutral, schlecht), werden in diesem Software-Prototypen auf Default-Werte gesetzt, in einer marktreifen Software wäre hier eine Benutzerinteraktion empfehlenswert. Je nach Masse der Daten kann dies aber zu einem sehr zeitaufwendigem Unterfangen werden, so dass die Daten im SAP-System möglichst vollständig erfasst werden bzw. geeignete Automatismen für die Behandlung von nicht gefundenen Daten implementiert werden sollten, da die Software ansonsten unter Umständen vom Anwender als Benutzerunfreundlich abgelehnt werden würde.

Abbildung 26 zeigt den Softwareprototypen mit einigen geöffneten Fenstern, wie dem Material-Browser.

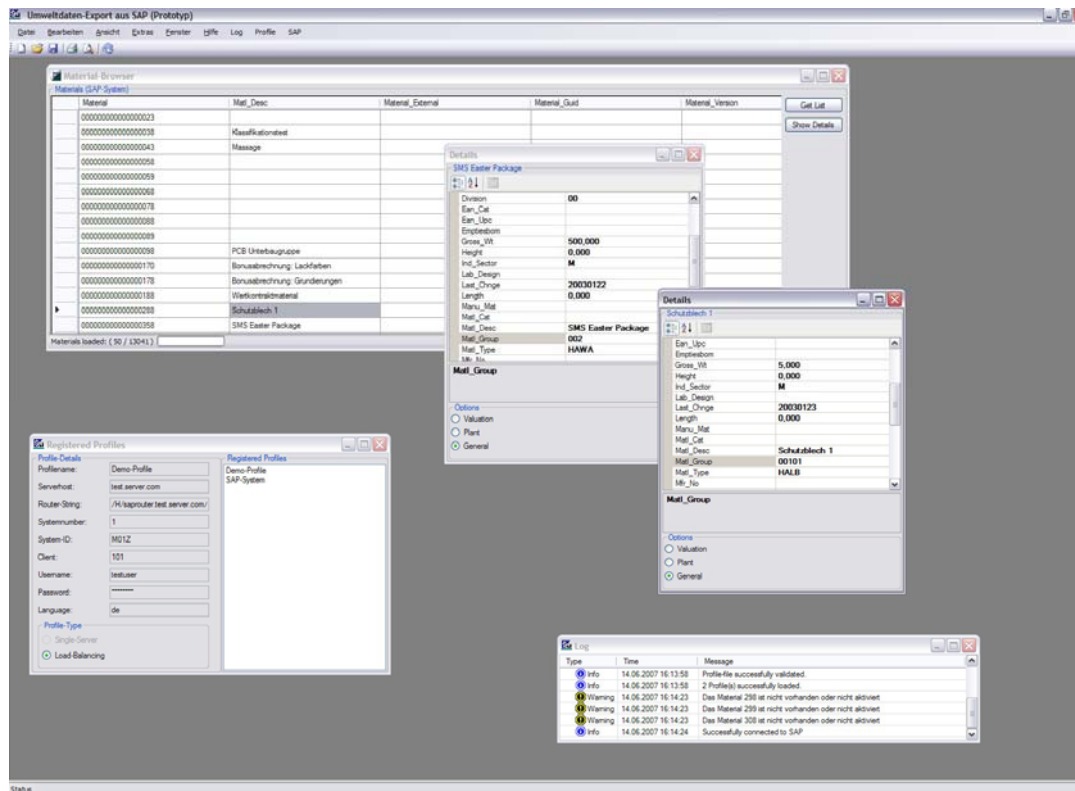


Abbildung 26. Software-Prototyp (mit Material-Browser, zwei Detail-Fenstern für ausgewählte Materialien, registrierte Profile und Log)

2.4.3 Datenimport nach SAP R/3

Für den Import von Daten ins SAP-R/3-System gibt es verschiedenste vorstellbare Szenarien. Zunächst muss geklärt werden, welche Daten importiert werden sollen.

Wie weiter oben beschrieben, gibt es eine große Anzahl Datenlücken, wenn es um Informationen über Produktions- und Transportprozesse von Rohstoffen oder Hilfsmaterialien geht, die aus Fremdfirmen bezogen wurden. Ein einfaches Beispiel einer solchen Vorkette ist in Abbildung 27 dargestellt.

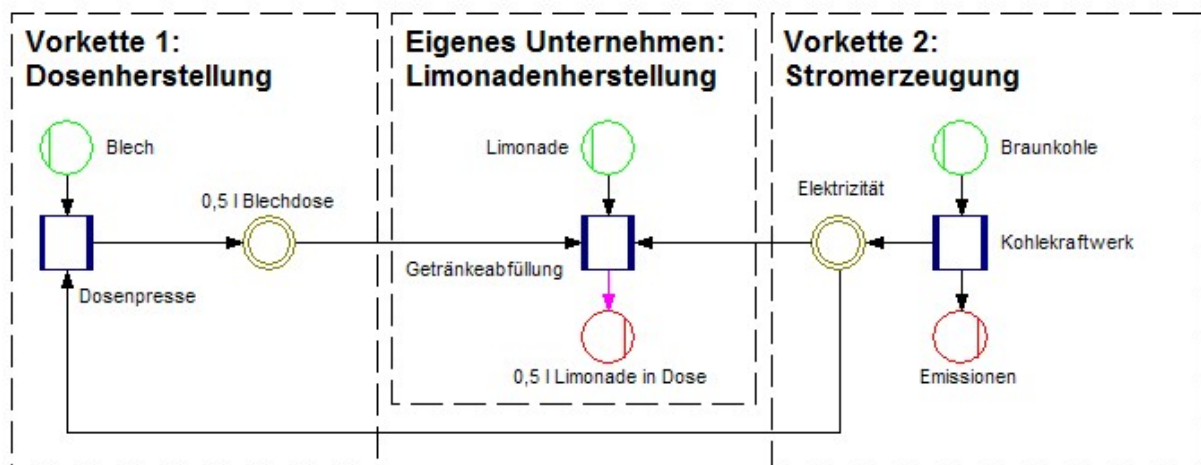


Abbildung 27. Beispiel von Vorketten in der Produktion (erstellt mit dem BUIS Umberto)

Für ein vom Unternehmen beispielsweise hergestelltes Produkt „0,5 l Limonade in Dose“ wird im Unternehmen selbst lediglich in betriebliche Informationssystemen in der Regel festgehalten, welche Menge Limonade, Elektrizität und Blechdosen verwendet wurden, um eine bestimmte Menge des Produkts herzustellen. Es wird aber nicht festgehalten, welche Menge Blech und Elektrizität pro Dose und welche Menge Braunkohle und Emissionen pro Einheit Elektrizität verbraucht bzw. erzeugt wurden. Hinzu kommt, dass im SAP-System selbst Energien nicht unbedingt als Material festgehalten werden, da diese als nicht lagerbare oder transportierbare Güter gelten und im Allgemeinen nicht als Leistungen verbucht werden. Diese können nicht wie Materialien mit Stücklisten oder Fertigungsaufträge mit Vorgängen detaillierter beschrieben werden.

Sofern es überhaupt möglich ist, an solche Informationen zu gelangen, ist es denkbar, diese in Form von detaillierteren Materialbeschreibungen und Stücklisten in das unternehmens-eigene SAP-System zu übernehmen. Hierfür können die gleichen Mechanismen gewählt werden, wie für den Datenexport. Über BAPIs und Web-Services lassen sich Daten nicht nur aus einem SAP-System auslesen, sondern auch hineinschreiben.

Außerdem könnte überlegt werden, diese Vorketten als Vorgänge in Arbeitspläne und Fertigungsaufträge zu integrieren, also so zu tun, als ob die Blechdosen und Elektrizität aus obigem Beispiel im eigenen Unternehmen erzeugt werden würden. Dies hätte aber weit reichende Konsequenzen und wirft einige Probleme auf. Hier gilt es unter anderem zu überprüfen, wie bisher unberücksichtigten Materialien wie Braunkohle oder Blech aus obigem Beispiel für die Planung von Lagerkapazitäten, für die Bilanzerstellung des Rechnungswesens usw. als virtuelle Materialien in das SAP-System integriert werden könnten, da sie auf diese keinen Einfluss nehmen dürfen. Ein vernichtendes Argument gegen diesen Ansatz der Integration von Vorketten tut sich aber schon früher auf. Das Material Blechdose aus obigem Beispiel muss, wenn nicht mehr vorrätig, beim Zulieferer bestellt und bezahlt werden. Dieser Vorgang löst im SAP-System mehrere Buchungen aus, wie beispielsweise im Rechnungswesen, in der Bestandsführung usw. Somit ist eine detailgetreue Übernahme der Vorkette zu diesem Material nicht möglich, da die angeforderte Menge des Materials nicht auch noch zusätzlich im Rahmen eines Fertigungsauftrages erzeugt werden kann. Um dies zu umgehen müssten im SAP-System tiefgehende Änderungen vorgenommen werden, die nur von Experten durchzuführen und zeitaufwendig sind.

Eine Alternative hierzu stellt der Advanced Planer and Organizer (APO) von SAP dar, welcher aber nicht standardmäßig im SAP-R/3 System vorhanden ist. Dieser stellt Supply-Chain-Management Funktionalitäten zur Verfügung und es können mit ihm Absatz-Produktions- und Distributionspläne für alle an der Logistikkette beteiligten Teilnehmer (Hersteller, Lieferanten, Distributionszentren, Kunden, etc.) erstellt werden. Es handelt sich

dabei allerdings um ein reines Planungswerkzeug, so dass reale Ist-Daten nicht ausgewertet werden können

Ein weiteres Szenario ist die Übermittlung von Ergebnissen aus Analysen mittels Betrieblichen Umweltinformationssystemen an das SAP-System. Hierfür kommen mehrere Möglichkeiten in Betracht. Beispielsweise könnten errechnete Kennzahlen (z.B. MI-Daten) als weitere Eigenschaften eines Materials im SAP-System angelegt werden, um diese dann mit Ergebnissen aus Bewertungssystemen zu füllen. Auch dies ließe sich wie der Datenexport über BAPIs oder Web-Services realisieren, allerdings sind hierfür einige Modifikationen am SAP-System notwendig. Zum einen müssen diese Kennzahlen in der SAP-Datenbank abgespeichert werden können, die Views im SAP-System müssen erweitert werden, so dass sie die neuen Kennzahlen anzeigen, und die entsprechenden BAPIs bzw. Web-Services müssen überarbeitet werden, um diese Informationen in das SAP-System schreiben bzw. aus dem SAP-System wieder auslesen zu können.

Insgesamt gesehen lässt sich festhalten, dass ERP-Systeme wie das SAP/R3-System LCA-Daten nicht ohne wahrscheinlich erhebliches Customizing integrieren können. Dies liegt, wie bereits diskutiert daran, dass das SAP/R3-System semantisch nicht dahingehend konzipiert ist, Vorketten oder Nachketten adäquat abzubilden, da diese Thematik eben nicht im Fokus der Arbeitsweise des SAP-Systems liegt und ist Ausdruck der bereits diskutierten „semantic gap“.

2.4.4 Datenaustauschformate

PAS 1025 – Spezifikation

Im folgendem wird ein Einblick gegeben, warum Schnittstellen für eine Systemlandschaft in einem Unternehmen notwendig sind und wie die konkrete Umsetzung für Umweltdaten aussieht. Weiterhin wird die PAS 1025 in ihrem Aufbau eingehend erläutert.

Allgemeines

Viele Daten und Informationen, die ein Betriebliches Umweltinformationssystem (BUI) benötigt um arbeiten zu können, sind bereits im Unternehmen vorhanden. Für das Umweltcontrolling kommen insbesondere ERP-Systeme mit Ihrer breit gefächerten Datenbasis für einen Austausch von Informationen mit Betrieblichen Umweltinformations-Systemen in Frage. Leider ist der Betrachtungswinkel auf die Daten der beiden Systeme oft sehr unterschiedlich, was sich in der Relevanz, Konsistenz und Vollständigkeit der Informationen widerspiegelt.

Um diesem Problem zu begegnen, hat sich das PASSUS-Konsortium, bestehend aus der infor business solutions AG, der TechniData AG und dem Institut für Umweltinformatik

Hamburg GmbH (ifu), gegründet und eine Schnittstelle für den Austausch von umweltrelevanten Informationen zwischen ERP-Systemen und BUIS spezifiziert. Diese Spezifikation wurde über die DIN als PAS (Publicly Available Specification) 1025 veröffentlicht. Ziel ist es „durch die Bereitstellung von ‚ökonomischen‘ Daten aus dem ERP-System die notwendige Datengrundlage für die Unterstützung von Funktionen des Umweltcontrollings, welche durch das BUIS umgesetzt werden, zu legen. Die Systeme sollen sich der Art ergänzen, dass eine Integration des Umweltcontrollings als Querschnittsaufgabe in alle Geschäftsprozesse ermöglicht, zumindest aber angestrebt werden kann“ (DIN 2003, S.1).

Ein PAS kann als „Werksnorm“ betrachtet werden, die im Gegensatz zu Normen nicht konsensbasiert zu sein brauchen und damit nicht das Ergebnis eines normativen Prozesses darstellen. Sie können aber sehr wohl als Ausgangspunkt für eine Normung verwendet werden. Eine PAS soll daher das Normungsverfahren ggf. beschleunigen und verschlanken.

Aufbau¹⁷

Bei der Dokumentation der Schnittstelle wird XML eingesetzt. Dieser firmen- und plattformunabhängige Standard ging aus dem ISO-Standard SGML hervor und wird von der W3C¹⁸ entwickelt und gepflegt. Es werden nachfolgend die einzelnen Elemente der Spezifikation beschrieben. Die hier verwendete Darstellungsform wurde der Übersichtlichkeit wegen aus dem Programm XML-Spy® von Altova¹⁹ entnommen. Gestrichelte Rahmen repräsentieren optionale Elemente.

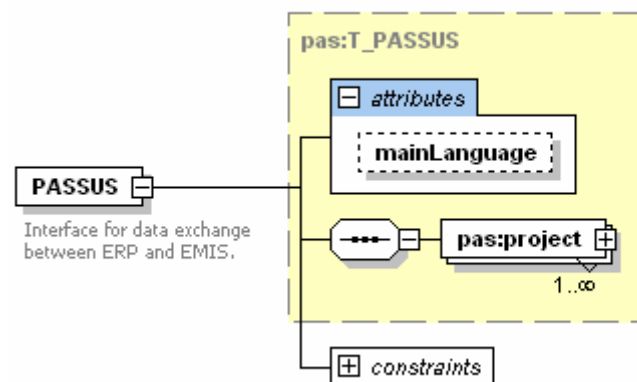


Abbildung 28. Das PAS 1025 PASSUS-Element

Der Ausgangspunkt für die PAS 1025-Spezifikation ist das Wurzelement PASSUS, das für den Austausch von umweltrelevanten Daten eine Aufteilung in Projekte vorsieht und damit

¹⁷ Das Kapitel wurde modifiziert aus Niebuhr 2004, S.40ff entnommen

¹⁸ Vgl. <http://www.w3.org/xml/> , 20.05.2007

¹⁹ Siehe http://www.altova.com/products/xmlspy/xml_editor.html , 21.05.2007

alle Bestandteile eingrenzt, die für eine Stoffstromanalyse benötigt werden. Die einzige Eigenschaft des PASSUS-Elements ist die benutzte Sprache (mainLanguage).

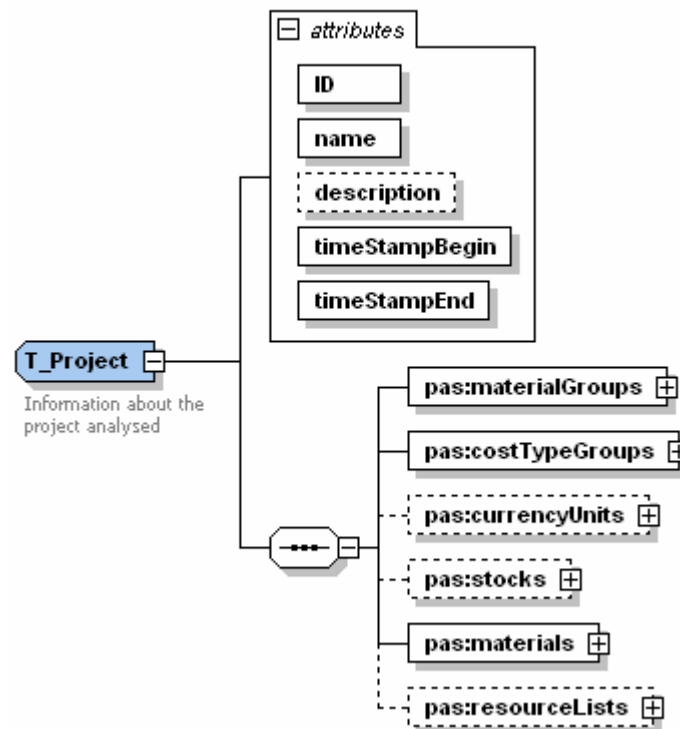


Abbildung 29. Das PAS 1025 Projekt-Element

Das Projekt gibt dabei ein Grundgerüst aller erforderlichen Informationen für die Erstellung von Stoffstrommodellen vor. Zu jedem Projekt (project) gehört ein Satz von Stammdaten, wie die Materialien (materials) inkl. Materialgruppen (materialGroups), deren Lagerorte und -bestände (stocks), Kostenartenschlüssel (costTypeGroups) und Umrechnungsfaktoren der Währungseinheiten (currencyUnits). Darauf aufbauend können in jedem Projekt eine Reihe von Herstellungs- bzw. Verarbeitungsprozessen in Form von Ressourcenlisten (resourceLists) abgebildet werden. Die Projekte werden anhand eines eindeutigen Bezeichners (ID), eines Namens (name), einer Beschreibung (description) und eines Gültigkeitszeitraumes (timeStampBegin, timeStampEnd) voneinander abgegrenzt.

Eine technische und ökologische Beschreibung der Materialien ist Grundvoraussetzung für die Betrachtung von Stoff- und Energieströmen in betrieblichen Wertschöpfungsprozessen. Um zusätzlich ökonomische Bewertungen dieser Stoffströme im Rahmen der Kostenrechnung vornehmen zu können, muss es die Möglichkeit geben, Kosten sowohl für Produktionsvorgänge als auch für einfache Materialien anzugeben. Dafür bedarf es der Strukturierung von Kosten innerhalb eines Kontenrahmens und ggf. die Festlegung von unterschiedlichen Währungen.

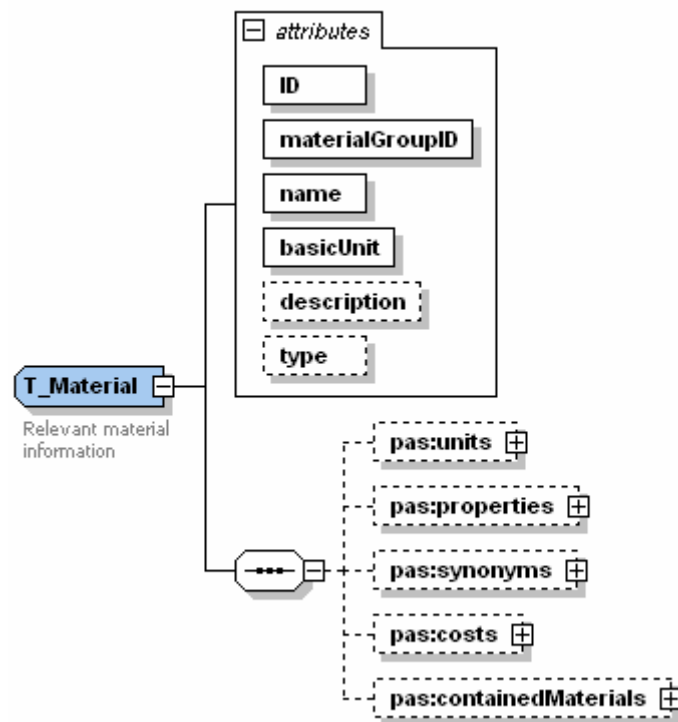


Abbildung 30. Das PAS 1025 Material-Element

Das Material ist eines der zentralen Bestandteile der Spezifikation und steht für alle möglichen materiellen Dinge, wie z.B. Rohstoffe, Betriebs- und Hilfsstoffe, Produkte, Zwischenprodukte, Stücklisten, Abfälle, Emission usw., die während des betrieblichen Wirtschaftens von ökonomischer und ökologischer Bedeutung sind. Materialien werden durch einen eindeutigen Bezeichner (ID), einen Namen (name), eine Beschreibung (description) und einen Verweis auf eine Materialgruppe (materialGroupID) eindeutig identifiziert, während der Materialtyp (type) in den Ausprägungen *Gut*, *Neutral* oder *Übel* Auskunft über dessen ökologische Beschaffenheit gibt. Damit jedes Material quantitativ erfasst und verarbeitet werden kann, benötigt es zudem eine physikalische Basiseinheit (basicUnit), wie *kg* oder *kJ*. Zusätzlich zu den Grunddaten können die Materialien durch Angabe von weiteren Einheiten (units), Materialeigenschaften (properties), Synonymen (synonyms), Kosteninformationen (costs) und Materialinhaltsstoffen (containedMaterials) näher beschrieben werden.

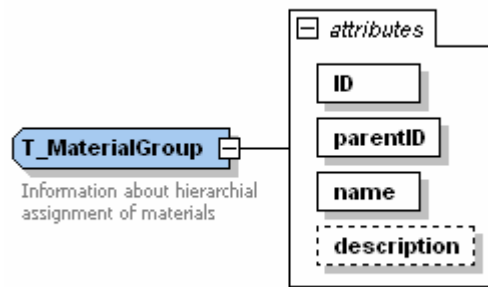


Abbildung 31. Das PAS 1025 Materialgruppen-Element

Um gleichartige Materialien zusammenzufassen und diese in geeigneten Hierarchien nach frei wählbaren Kriterien anzuordnen, können Materialgruppen angelegt werden. Jedes Material muss dann genau einer Materialgruppe zugeordnet sein. Zur Identifikation erhält jede Gruppe einen eindeutigen Bezeichner (ID), einen Namen (name) und optional eine Beschreibung (description). Durch einen Verweis auf eine übergeordnete Materialgruppe (parentID) wird jede Materialgruppe in eine baumartige Struktur eingeordnet, die je nach Ebenentiefe Aussagen über die Merkmale der darin enthaltenen Materialien macht.

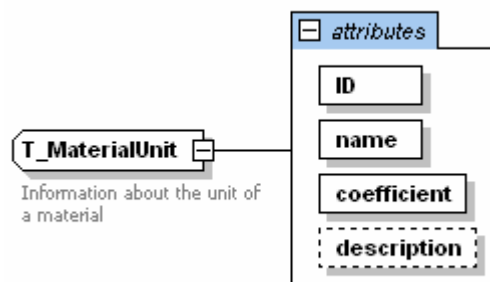


Abbildung 32. Das PAS 1025 Materialeinheiten-Element

Um sich von der Basiseinheit zu lösen und z.B. Güter in Stück oder in t anzugeben, ist die Einführung von weiteren physikalischen Einheiten möglich. Jedem Material kann auf diese Weise basierend auf dessen Basiseinheit eine beliebige Anzahl von Einheiten zugewiesen werden. Die Materialeinheiten werden neben einem eindeutigen Bezeichner (ID), einem Namen (name) und seiner Beschreibung (description) auch durch einen Umrechnungsfaktor (coefficient) zur entsprechenden Basiseinheit beschrieben.

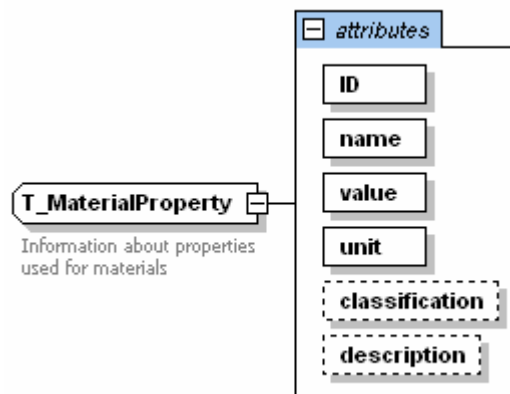


Abbildung 33. Das PAS 1025 Materialeigenschaften-Element

Durch die Angabe von Materialeigenschaften kann auf die Besonderheiten eines Materials hingewiesen werden. So sind Eigenschaften wie z.B. Dichte, Siedepunkt oder die Gefahrstoffklasse dort anzugeben. Neben dem eindeutigen Bezeichner (ID), dem Namen (name) und einer Beschreibung (description) ist für jede Materialeigenschaft ein Wert (value), eine physikalische Einheit (unit) und eine Klassifikation (classification) anzugeben. Die Klassifikation grenzt dabei die Eigenschaften eines Materials in die Gruppen mit ökonomischen, ökologischen und technischen Merkmalen voneinander ab.

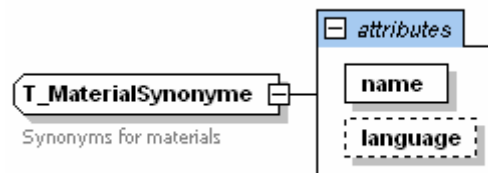


Abbildung 34. Das PAS 1025 Materialsynonym-Element

Da Materialien mehrere Bezeichnungen haben können, wie z.B. Kohlendioxid und CO₂, ist es möglich, jedem Material durch Angabe von Synonymen eine Reihe sinnverwandter Namen zuzuordnen. Die Synonyme eines Materials werden durch einen Namen (name) und optional durch Angabe einer Sprache (language) beschrieben.

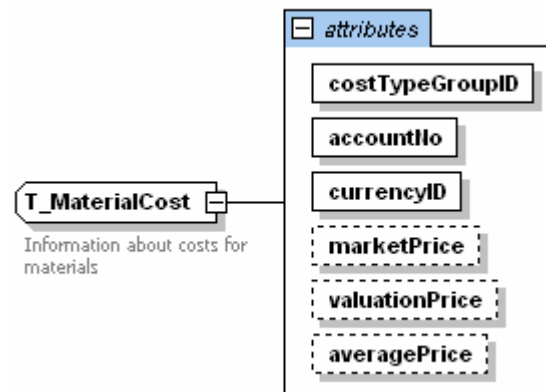


Abbildung 35. Das PAS 1025 Materialkosten-Element

Durch Angabe von Kosteninformationen ist es möglich, die Materialien im Rahmen der Stoffstromanalyse nach Methoden der Kostenrechnung monetär zu bewerten. Jedes Material muss dann auf einen existierenden Kostenartenschlüssel (costTypeGroupID) und eine Währungseinheit (currencyID) verweisen sowie eine Kontonummer (accountNo) angeben. Zusätzlich kann das Material mit einem Marktpreis (marketPrice), Bewertungspreis (valuationPrice) und Durchschnittspreis (averagePrice) ausgezeichnet werden.

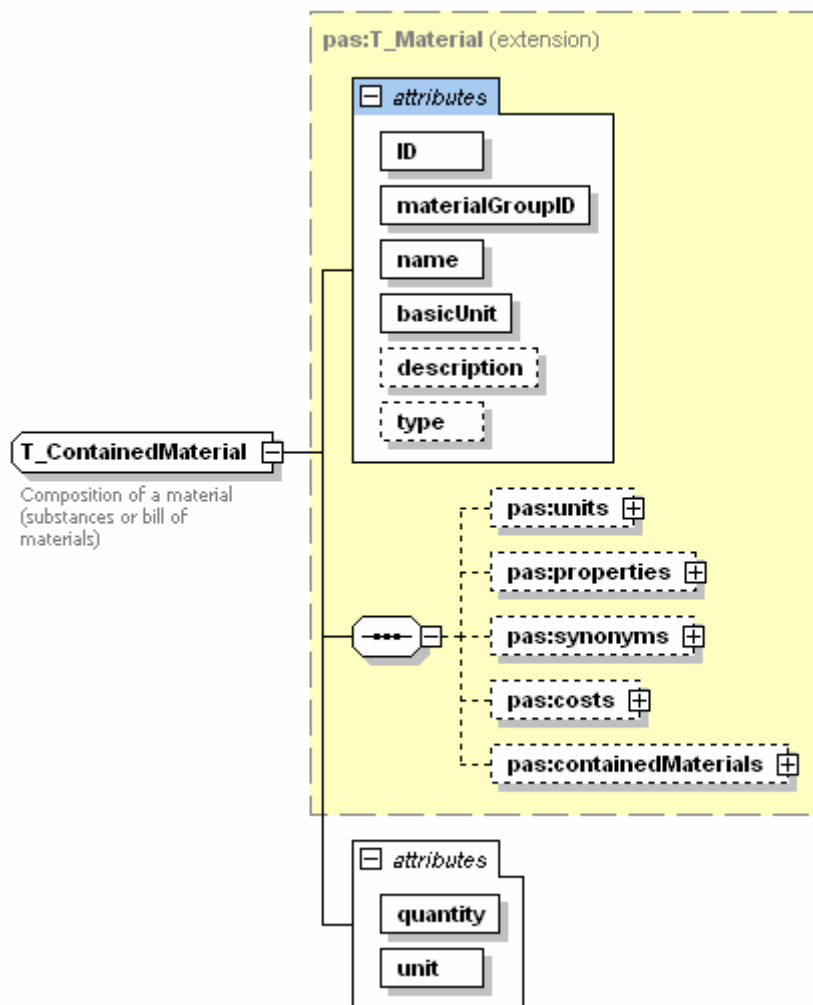


Abbildung 36. Das PAS 1025 Bestandsmaterialien-Element

Um den Inhalt von bestimmten Materialien anzugeben, kann jedem Stoff eine Liste von Bestandsmaterialien zugewiesen werden. Die Bestandsmaterialien besitzen, wie die „normalen“ Materialien, von der Basiseinheit abgeleitete Einheiten (units), Materialeigenschaften (properties), Synonyme (synonyms), Kosteninformationen (costs) und auch Bestandsmaterialien (containedMaterials). Da Bestandsmaterialien selber wieder Bestandsmaterialien beinhalten können, ist es möglich, die Materialinhaltsstoffe beliebig genau zu beschreiben. Wie die Materialien besitzen Bestandsmaterialien ebenfalls einen eindeutigen Bezeichner (ID), einen Namen (name), eine Beschreibung (description), eine Materialgruppe (materialGroupID), einen Materialtyp (type) und eine physikalische Basiseinheit (basicUnit). Durch Angabe der zusätzlichen Eigenschaften Menge (quantity) und Einheit (unit) wird der Inhalt innerhalb des Materials, also dessen Bestand, festgelegt.

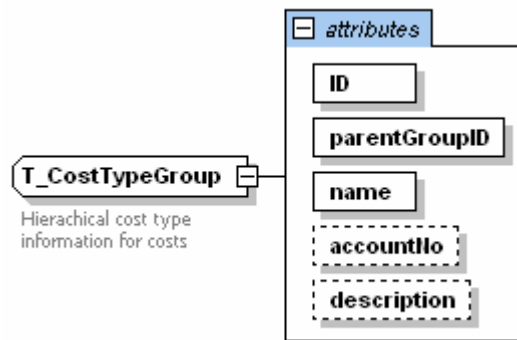


Abbildung 37. Das PAS 1025 Kostenarten-Element

Im Projekt können, ähnlich wie die Materialien bei den Materialgruppen, die Kostenarten mit Hilfe der Kostenartenschlüssel in einem beliebig strukturierten Kontenrahmen nach bestimmten Merkmalen gruppiert werden. Bei einem Kostenartenschlüssel (costTypeGroup) wird ein eindeutiger Bezeichner (ID), ein Name (name) und optional eine Beschreibung (description) sowie eine Kontonummer (accountNo) angegeben. Ebenso kann durch den Verweis auf einen übergeordneten Kostenartenschlüssel (parentGroupID) eine hierarchische Anordnung erreicht werden.

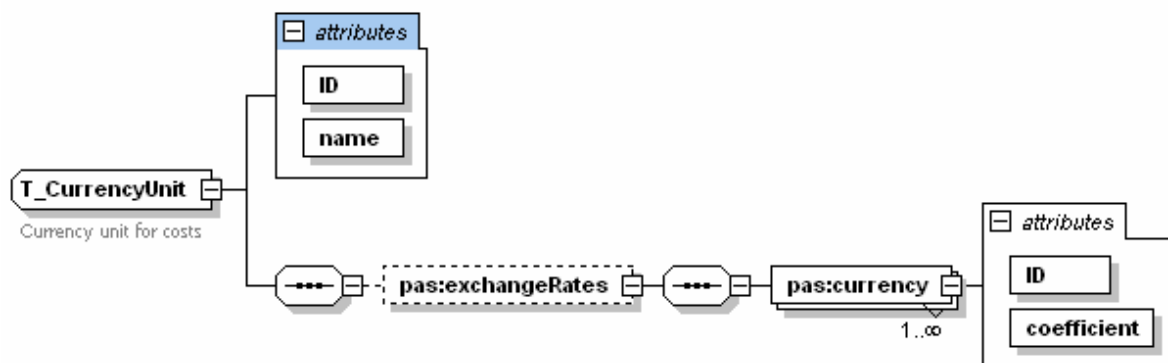


Abbildung 38. Das PAS 1025 Währungseinheiten-Element

Überall dort, wo mit Kosten gearbeitet wird, sollten auch Währungen festgelegt werden. Um die Nutzung von unterschiedlichen Währungen in einem Projekt zu handhaben, sind diese anzulegen und mit den zugehörigen Umrechnungsfaktoren zu versehen. Die Währungseinheit (currencyUnit) wird ebenfalls mit einem eindeutigen Bezeichner (ID) und einem Namen (name) festgelegt. Jede Währungseinheit kann Wechselkurse (exchangeRates) beinhalten. Dabei wird eine beliebige Anzahl von Wechselkursen in Form von Währungen (currency) angelegt und über einen Faktor (coefficient) sowie einem Bezug zu einer anderen eindeutigen Währungseinheit (ID) umgerechnet.

Um eine Grundlage für die Durchführung von Stoffstromanalysen zu schaffen, müssen im Rahmen der betrieblichen Wertschöpfung die zu untersuchenden Fertigungsprozesse so beschrieben werden, dass die dabei entstehenden Stoff- und Energieströme quantitativ erfasst werden können. Dazu gehören zum einen die Festlegung von festen Verarbeitungsstrukturen und zum anderen die Bereitstellung einer genauen Datenversorgung der zu untersuchenden Transformationsvorgänge.

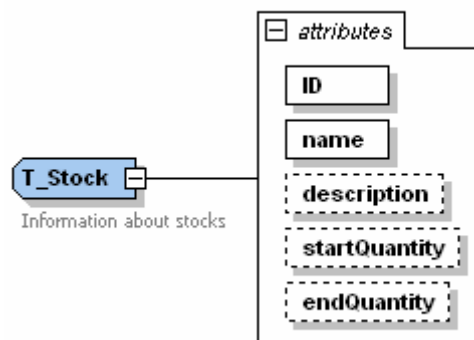


Abbildung 39. Das PAS 1025 Lager-Element

Mit der Einführung des Lager-Elements können Lager- bzw. Materialbestände über einen Gültigkeitszeitraum verwaltet werden. Die Lager beschreiben dabei die Quellen bzw. Senken des zu erstellenden Stoffstrommodells. Jedes Lager hat einen Bestand an Materialien bei dem deren Anfangs- bzw. Endbestand angegeben wird. Das Lager (stock) erhält zur Identifikation neben dem eindeutigen Bezeichner (ID) auch einen Namen (name) und eine Beschreibung (description). Der Anfangsbestand (startQuantity) bzw. Endbestand (endQuantity) des Lager wird angegeben.

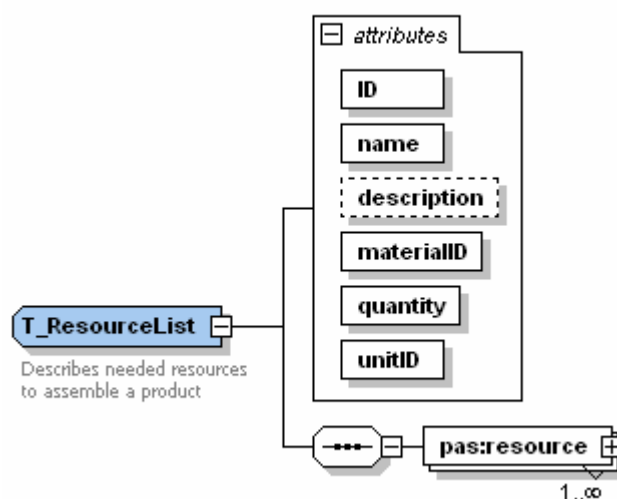


Abbildung 40. Das PAS 1025 Ressourcenlisten-Element

Zur Spezifikation eines beliebigen Herstellungsprozesses zur Fertigung von genau einem Produkt müssen Ressourcenlisten angelegt werden, die sowohl die Systemstruktur als auch die Datenversorgung eines Stoffstrommodells vorgeben. Jedes Projekt kann eine Vielzahl von Herstellungsprozessen beschreiben, die sich als parallele Produktionsvorgänge im Modell widerspiegeln oder sich untereinander in Form von Produktionsvorketten für Zwischenprodukte referenzieren können. Die Ressourcenliste (resourceList) gibt eine Liste von atomaren Produktionsabwicklungen (resources) an, die, miteinander kombiniert, einen komplexen Fertigungsprozess zur Herstellung eines Hauptproduktes darstellen. Natürlich beinhaltet die Ressourcenliste auch einen eindeutigen Bezeichner (ID), einen Namen (name) und eine Beschreibung (description). Zur Identifikation des zu produzierenden Produktes ist ein Verweis auf ein Material (materialID), auf eine seiner Einheiten (unitID) und eine herzustellende Menge (quantity) erforderlich.

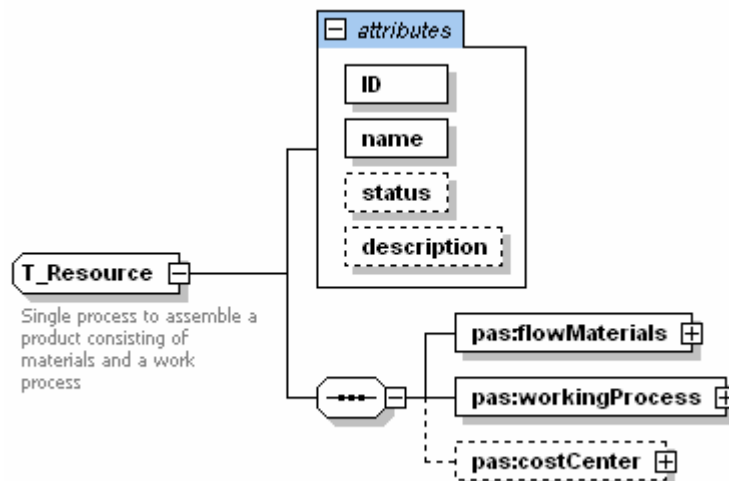


Abbildung 41. Das PAS 1025 Ressourcen-Element

Produktionsabwicklungen sind als Kombination aus Stoffflüssen und Arbeitsgängen zu verstehen und können untereinander zu Herstellungsprozessen, mit dem Ziel das angegebene Produkt der Ressourcenliste zu fertigen, vernetzt werden. Unter einer Produktionsabwicklung versteht man die kleinste und unteilbare Einheit eines Fertigungsprozesses, bei der lediglich die Beziehungen zwischen eintretenden und austretenden Materialien zueinander und nicht dessen interne Vorgänge bekannt sind. Je nach Abstraktionsgrad können das z. B. Gütertransporte oder Maschinen zur Produktverpackung sein, die nicht näher betrachtet werden sollen. Innerhalb einer Produktionsabwicklung werden die für die Transformation benötigten Materialien durch Flussmaterialien (flowMaterials) beschrieben und über den Arbeitsprozess (workingProcess) benannt. Optional ist auch die Zuweisung zu einer Kostenstelle (costCenter) möglich. Auch die Produktionsabwicklungen müssen durch einen Bezeichner (ID) eindeutig identifiziert werden. Hinzu kommen ein Name (name), eine Beschreibung (description) und ein Status (status).

Der Status gibt an, ob es sich um eine aktuelle (actual), alternative (alternative) oder zukünftige (prospective) Produktionsabwicklung handelt und legt damit dessen Nutzungskontext im Herstellungsprozess fest.

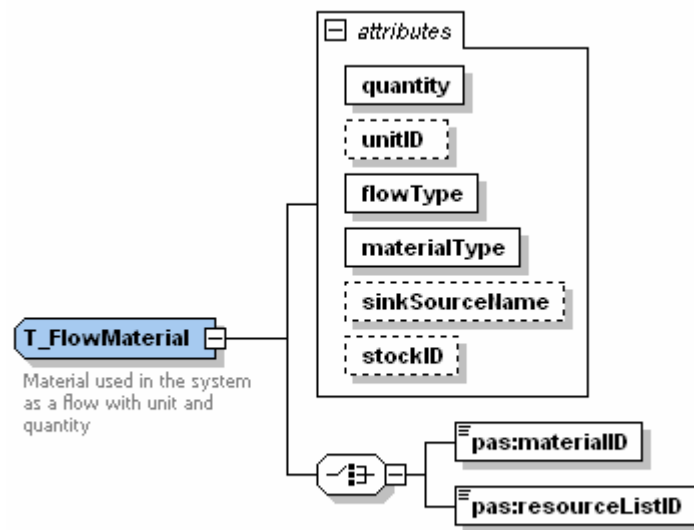


Abbildung 42. Das PAS 1025 Flussmaterial-Element

Jedes Material, das in den Transformationsprozess einer Produktionsabwicklung involviert ist, wird durch ein Flussmaterial beschrieben. Dabei geben die Flussmaterialien sowohl die Struktur der Produktionsabwicklungen zueinander als auch den mengenmäßigen Fluss innerhalb des Stoffstrommodells an. Jedes eintretende und austretende Material einer Produktionsabwicklung wird entweder durch einen Verweis auf ein Material (**materialID**) aus dem Materialstamm oder auf ein Zwischenprodukt aus einer weiteren Ressourcenliste (**resourceListID**) identifiziert. Dazu kommen natürlich noch die Informationen zur Menge (**quantity**), Einheit (**unitID**), Materialtyp (**materialType**), Flussrichtung (**flowType**) und Herkunft oder Ziel (**sinkSourceName**, **stockID**) des Materials. Da die Angabe einer Einheit optional ist, bezieht sich die Menge des Flussmaterials, die in einer Produktionsabwicklung verwendet wird, entweder auf dessen Basiseinheit oder auf einer in der Materialbeschreibung festgelegten Einheit. Die Flussrichtung gibt unterdessen an, ob es sich dabei um ein eintretendes (**input**, **internalInput**) oder austretendes (**output**, **internalOutput**) Material handelt, wobei hier durch die Unterscheidung in interne (**internalInput**, **internalOutput**) und nicht interne (**input**, **output**) Flüsse auch die Überschreitungen von Systemgrenzen berücksichtigt werden. Die Herkunft bzw. das Ziel wird entweder durch ein Lager (**stockID**) oder den Namen einer Quelle bzw. Senke (**sinkSourceName**) im Stoffstrommodell angegeben. Der Materialtyp entspricht dabei wieder der ökologischen Beschaffenheit des Materials im Nutzungskontext der Produktionsabwicklung. Durch die Verweise der Flussmaterialien auf weitere Ressourcenlisten wird eine transparente Betrachtung der

Vorketten im Produktionsprozess erreicht und lässt eine beliebige Verschaltungstiefe zu. Da bei den Ressourcenlistenverweisen Zwischenprodukte in die Verarbeitung einer Produktionsabwicklung integriert werden, kann es sich dabei nur um eintretende Materialflüsse handeln.

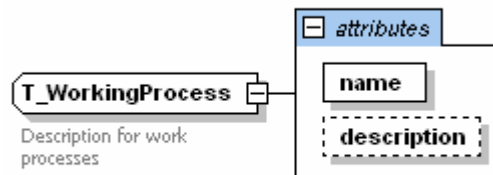


Abbildung 43. Das PAS 1025 Arbeitsprozess-Element

Die Aufgabe des Arbeitsprozesses ist es, die Produktionsabwicklung zu beschreiben und damit den eigentlichen Transformationsvorgang zu benennen. Zusätzlich kann noch eine Zuweisung der Produktionsabwicklung zu einer Kostenstelle erfolgen. Der Arbeitsprozess wird nur durch einen Namen (name) und eine Beschreibung (description) festgelegt. Bei der Zuordnung der Kostenstelle sind wieder ein Name (name) und eine Beschreibung (description) sowie ein Verweis auf einen Kostenartenschlüssel (costTypeGroupID) anzugeben.

2.5 Zusammenfassung

ERP-Systeme, hier am Beispiel von SAP R/3 veranschaulicht, stellen mit ihrer breiten Datenbasis, die im Rahmen von betrieblichen Vorgängen gesammelt wird, eine solide Grundlage für Erfassung, Analyse und Protokollierung von Lebenszyklusdaten dar. Das SAP R/3-System bietet verschiedene Möglichkeiten an, diese Informationen auszulesen. BAPIs und Web-Services wurden von dem Softwareprototyp als Zugangsmöglichkeiten gewählt, um die Informationen aus den als für Lebenszyklusdaten relevant identifizierten Kategorien zu exportieren. Die identifizierten Kategorien sind:

- Stoff- und Materialstammdaten
- Strukturdaten
- Prozessdaten
- Stoff- und Energieflussdaten

Sowohl BAPIs als auch Web-Services sprechen SAP-Business-Objekte an, um diese Informationen auszulesen. Die wichtigsten Business-Objekte sind:

- Material (Material; Modul LO)
- Stückliste (MaterialBOM, Modul PP)
- Bestandsdaten (MaterialPhysInv, Modul MM)
- Bewegungsdaten (GoodsMovement, Modul MM)
- Buchungskreis (CompanyCode, Modul FI)
- Arbeitsplan (Routing, Modul PP)
- Fertigungsauftrag (ProductionOrder, Modul PP)
- Kostenrechnungskreis (ControllingArea, Modul CO)
- Leistung (ActivityType, Modul CO)
- Kundenauftrag (SalesOrder, Modul SD)
- Bestellung (PurchaseOrder, Modul MM)

Wurden diese Informationen ausgelesen, können sie automatisiert von dem Software-prototypen ausgewertet und im PAS 1025-Format abgespeichert werden, um sie einem Betrieblichen Umweltinformationssystem zur Verfügung zu stellen. Bei der PAS 1025 handelt es sich um eine Schnittstelle, die vom PASSUS-Konsortium zum Austausch von umwelt-relevanten Informationen zwischen ERP-Systemen und BUIS spezifiziert wurde. Beim Auslesen der Daten ist es notwendig, dass die Informationen möglichst vollständig vorliegen, da der Anwender ansonsten bedingt durch die Masse der Daten zu viele Informationen von Hand nachtragen muss. Dies könnte dazu führen, dass die Software abgelehnt wird, auch wenn die eigentlichen Probleme nicht in der Software selbst liegen.

Für den Datenimport gibt es einige interessante Szenarien, um Lebenszyklusdaten ins SAP R/3-System zu integrieren, allerdings erfordern diese fast alle Modifikationen am System selbst, wozu teilweise Expertenwissen nötig ist. Eine leichter durchzuführende Erweiterung am SAP-System ist z.B. der Import von MI-Daten, während die Abbildung von kompletten Vorketten im SAP-System große Schwierigkeiten mit sich bringt.

3. Ergebnisse, Ausblicke und Empfehlungen

Das Netzwerk Lebenszyklusdaten steht in zwei unterschiedlichen Beziehungen zu betrieblichen Informationssystemen. Zum einen können computerbasierte betriebliche Informationssysteme eine wichtige Datenquelle für Lebenszyklusdaten sein. Zum anderen können Lebenszyklusdaten im betrieblichen Kontext genutzt werden. In beiden Fällen sind die Lebenszyklusdaten mit den Daten aus den computergestützten betrieblichen Informationssystemen zusammenzuführen.

Die beiden unterschiedlichen Quellen des betrieblichen Stoffstrom- und Nachhaltigkeitsmanagements müssen eine gewisse „Mindestkompatibilität“ aufweisen, damit sie in einem Gesamtmodell genutzt werden können. Die Voraussetzung dafür sind gemeinsame oder eng verwandte Modellierungsgrundlagen. In dieser Hinsicht ist festzustellen, dass sich betriebswirtschaftliche Wirtschaftlichkeitsrechnungen sehr gut mit produktbezogenen Ökobilanzierungen vergleichen lassen; beide Rechnungen sind im Kern Wirtschaftlichkeitsrechnungen, allerdings mit unterschiedlichen Kategorien von negativen Wirkungen. Daher sind auch die Ansätze und Indikatoren übertragbar, und es wundert kaum, dass von Material-, Energie- und Ökoeffizienz gesprochen werden kann.

Die Nutzung von Daten aus betrieblichen Informationssystemen scheint nach heutigem Stand durchaus inhaltlich möglich zu sein, wenngleich eine direkte Verwendung der betrieblichen Daten aufgrund der „semantic gap“ unreflektiert nicht empfohlen werden kann. Zu groß ist hier die Gefahr, dass Daten aus unterschiedlichen Verwendungskontexten und auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus ohne Zusammenhang in einen „Brei“ gerührt werden. In diesem Zusammenhang wird explizit empfohlen, einen Zwischenschritt einzuführen, der die aus den betrieblichen Informationssystemen stammenden Daten aggregiert und eine semantische menschlichen Überprüfung erlaubt. Dieser Zwischenschritt sollte auch durch eine auf Aggregation oder LCA-Aspekte spezialisierte Software (z.B. SAP BW als Zwischendatenbank oder ein LCA-Tool) unterstützt werden.

Ein weiterer Ansatz wird mit den deutet sich mit dem aus der Plankostenrechnung eingeführten Ansatz der Bezugsgrößen an: Geeignete Daten aus den betrieblichen Informationssystemen dienen als Bezugsgrößen von Stoff- und Energietransformationsprozessen. Auch die Überlegungen zur homogenen und heterogenen Kostenverursachung lassen sich analog anwenden, im Sinne von homogener und heterogener „Stoff- und Energiestromverursachung“. Dies bedeutet, dass die Daten zur Spezifikation von Stoff- und Energiestromprozessen aus zwei Quellen stammen:

- Die Bezugsgrößen stammen aus ERP-Systemen und computerbasierten betrieblichen Informationssystemen, die bereits eine Aggregation zu Bezugsgrößen für Stoffstromanalysen ermöglichen (Data-Warehouse-Konzepte).
- Die eigentlichen Prozessbeschreibungen stammen aus Prozessbibliotheken. Diese Bibliotheken müssen nicht zwingend öffentlich zugänglich sein. Denkbar wäre, eine Prozessbibliothek für ein Unternehmen oder eine Supply Chain aufzubauen.

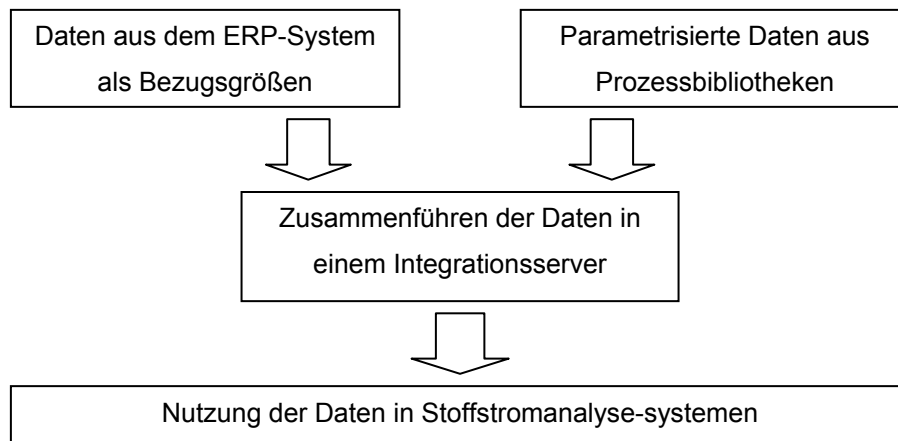


Abbildung 44. Nutzung eines Integrationservers zur Übersetzung von Daten aus ERP-Systemen in Daten für betriebliche Stoffstromanalysen

Ein solcher Ansatz erfordert die Parametrisierung der Prozessspezifikationen: Die aus den ERP-Systemen bestimmten Bezugsgrößen fließen als Parameter ein. Die LCA-Softwarewerkzeuge enthalten bereits Konzepte zur Parametrisierung, diese sind allerdings nicht standardisiert. Gemeinsame Standards können in erster Linie von Netzwerken wie dem Netzwerk Lebenszyklusdaten definiert werden.

Aus der Sicht des computergestützten Stoffstromanalysesystems ließe sich eine solche Kombination transparent gestalten, indem man einen Integrationsserver wie etwa SAP XI (SAP Exchange Infrastructure): Für das Stoffstromanalysesystem stellt sich der Zugriff auf den Integrationsserver als Zugriff auf eine Prozessbibliothek dar, während innerhalb des Integrationservers die Daten aus den beiden unterschiedlichen Quellen zusammengeführt werden.

Die Verwendung von LCA-Ergebnissen direkt innerhalb betrieblicher Informationssysteme scheint mit einem viel größerem Aufwand verbunden zu sein, als die in den vorherigen Absätzen beschriebene Gegenrichtung. Wie in diesem Bericht beschrieben worden ist, sind die durch Lebensweganalysen bereitgestellten Daten nur mit sehr hohem Aufwand semantisch in ERP-System integrierbar, weil die Abbildung von beispielsweise Vorketten oder Nachketten in der in LCA-Kreisen gewohnten Art und Weise nicht durchführbar ist. Hier treffen dann unterschiedliche Denkweisen aufeinander, die in der Welt der betrieblichen

Informationssysteme nur unter Umwegen bzw. hohem Customizingaufwand umsetzbar sind. Hierbei handelt es sich jedoch hauptsächlich um ein konzeptionelles Problem: Die betrieblichen Informationssysteme, insbesondere wenn sie internen Wirtschaftlichkeitsrechnungen dienen, setzen implizit das Unternehmen als System voraus. Es gibt jedoch eine Reihe von Hinweisen, dass diese implizite Annahme zunehmend in Frage gestellt wird; sie reichen vom Supply Chain Management bis zum Total Cost Assessment. Im Ergebnis müssen beide „Welten“ hinsichtlich der System- und Bilanzierungsgrenzen flexibler werden:

- Die Ansätze des Life-Cycle Assessments müssen in der Lage sein, zwischen Modellierungsgrenze, orientiert am Lebenszyklusprinzip, und Bilanzierungsgrenze unterscheiden können, so dass man etwa für die Bestimmung der direkten Kosten eines Unternehmens auch die Bilanzgrenzen für das Unternehmen wählen kann.
- Die Ansätze für betriebliche Wirtschaftlichkeitsrechnungen müssen die Grenzen des Unternehmens ebenfalls überwinden können. Dann kann man nicht mehr internen Wirtschaftlichkeitsrechnungen sprechen, weil die Frage, was intern und was extern ist, von den Fragestellungen der Auswertung der Modelle abhängt. Auch hier muss die Möglichkeit bestehen, zwischen Systemgrenze (Grenze des Modells) und Bilanzierungsgrenze (Grenzen für eine Auswertung des Modells) zu unterscheiden.

Eine weitere Unterscheidung betrifft die zeitlichen Horizonte. ERP-Systeme dienen dem operativen Management. In dem Zusammenhang werden auch große Datenmengen benötigt, während die Stoffstromanalyse Entscheidungen mit größerer Reichweite dienen. Dies hat zu unterschiedlichen Modellierungsansätzen geführt: Während man in den internen Wirtschaftlichkeitsrechnungen Regelung und Parameteränderung zu Ziel und dem kurzen Zeithorizont entsprechend Teilkostenrechnungen entwickelt hat, gehen die Stoffstromanalysen von der „grünen Wiese“ aus. Dies wird zum Problem, wenn betriebliche Kostenrechnung und Life-Cycle Assessment zu integrieren sind.

Auf der technischen Seite ist es kein Problem, Daten in ERP-Systeme über die in dieser Arbeit beschriebenen Schnittstellen zu importieren.

Zusammenfassend wird empfohlen, relevante Daten aus den betrieblichen Informationssystemen über die hier beschriebenen Schnittstellen zu exportieren und in speziellen Betrieblichen Umweltinformationssystemen (BUIS) oder in Integrationsservern aufzubereiten. Diese sind in der Lage, mit gewissen Aufwand und menschlichen Know-Hows, die aus den betrieblichen Systemen stammenden Daten mit den aus Lebenszyklusanalysen bereitgestellten Informationen zu verbinden bzw. den Integrationsprozess zu unterstützen. Technisch stellt eine derartige Zusammenarbeit auch kein Problem dar, weil bereits standardisierte Schnittstellen sowohl für den Export aus ERP-System in BUIS als auch aus LCA-Systemen in BUIS zur Verfügung stehen.

Literatur

- Ackermann, R. (2000): Ökologische Betriebsoptimierung als Strategie zur Verfahrensverbesserung. In: Systemumwelttechnik und Abfallwirtschaft im Institut für Technischen Umweltschutz der TU Berlin (Hrsg.): Umweltschutz im neuen Jahrhundert – Vom medialen Umweltschutz zum Sicherheitsdenken, Neuruppin
- Baccini, P., Bader, H.-P. (1996): Regionaler Stoffhaushalt – Erfassung, Bewertung und Steuerung, Heidelberg, Berlin, Oxford
- Baldwin, J.S., Ridgeway, K., Winder, B., Murray, R. (2004): Modelling industrial ecosystems and the 'problem' of evolution. In: Progress in Industrial Ecology, Vol. 1, Nos. 1/2/3, S. 39-60
- Basler, D. (2003): Komponenten für SAP mit Java: Komponenten- und Schnittstellenprogrammierung, Frankfurt
- Brunner, P. H., Rechberger, H. (2004): Practical Handbook of Material Flow Analysis, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- Coenenberg, A. G. (1988): Jahresabschluß und Jahresabschlußanalyse, 10. Auflage, Landsberg am Lech
- CWRT (American Institute of Chemical Engineers' Center for Waste Reduction Technologies) (2000): Total Cost Assessment Methodology – Internal Managerial Decision Making Tool, ISBN 0-8169-0807-9, Download als pdf-Datei von www.earthshift.com, letzter Abruf vom 21.06.2006
- Daly, H. (1990): Toward some operational principles of Sustainable Development. In: Ecological Economics, Vol. 2, S. 1-6
- DIN (2003): PAS 1025: Austausch umweltrelevanter Daten zwischen ERP-Systemen und betrieblichen Umweltinformationssystemen, Berlin
- Dyckhoff, H. (2003): Neukonzeption der Produktionstheorie. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 73. Jg., H. 7, S. 705-732
- Dyckhoff, H. (1994): Betriebliche Produktion, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York
- Dyckhoff, H. (1995): Grundzüge der Produktionswirtschaft, Berlin, Heidelberg, New York
- Eichhorn, P. (2000): Das Prinzip Wirtschaftlichkeit, 2. Auflage, Wiesbaden
- Eisert, U. et al. (2001): mySAP Product Lifecycle Management, Bonn
- Ekvall, T., Weidema, B. (2004): System Boundaries and Input Data in Consequential Life Cycle Inventory Analysis. In: International Journal of Life-Cycle Assessment Vol. 9, No. 3, S. 161ff.
- Enquete-Kommission (1994): Die Industriegesellschaft gestalten - Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen, Bonn
- Enzler, S. (2003): Methodik der materialflussorientierten Modellierung von ERP-Systemen, imu Augsburg, Augsburg

- Eversheim, W. (1996): Organisation in der Produktionstechnik. Grundlagen. Band 1, 3., vollst. überarb. Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Ewert, R., Wagenhofer, A. (1995): Interne Unternehmensrechnungen, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York
- Fandel, G. (1996): Produktionstheorie I, 5. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York
- Feynmann, R. P. (2004): Physikalische Fingerübungen für Fortgeschrittene, München
- Fichter, K., Loew, T., Seidel, E. (1997): Betriebliche Umweltkostenrechnung, Berlin, Heidelberg, New York
- Ford, A. (1999): Modeling the Environment - An Introduction to System Dynamics Models of the Environment, Washington, DC, Covelo, CA
- Funk, B., Möller, A., Niemeyer, P. (2007): Development of computer science tools for solving the environmental engineering problems. In: Proceedings of the EnviroInfo 2007 – Environmental Informatics meets Systems Research, Warsaw, Poland (im Druck)
- Gronau, N.: Management von Produktion und Logistik mit SAP R/3, 3. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, Wien, 1999
- Grupp, B.: Materialwirtschaft mit EDV im Mittel- und Kleinbetrieb, 4. Auflage 1994
- Hartmann, G., Schmidt, U. (2005): Product Lifecycle Management with SAP, Galileo Press, Bonn
- Heijungs, R. (1994): A Generic Method for the Identification of Options for Cleaner Products. In: Ecological Economics Vol. 10, pp. 69-81
- Hofmann, P., Jänicke, W. (2003): Kann man den in Standardsoftware vorhandenen Datenschatz für das Umweltcontrolling heben?, in M. Tschandl und A. Posch (Hrsg.): Integriertes Umweltcontrolling, Gabler, Wiesbaden: S. 199-216.
- Kessler, K., Tillert, P., Dobrikov, P. (2005): Java-Programmierung mit dem SAP Web Application Server, Galileo Press, Bonn
- Keuper, F. (2001): Strategisches Management, München, Wien
- Kleijn, R., Huele, R., van der Voet, E. (2000): Dynamic substance flow analysis: the delaying mechanism of stocks, with the case of PVC in Sweden. In: Ecological Economics Vol. 32, pp. 241-254
- Kurbel, K. (2003): Produktionsplanung und -steuerung, 5. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, Wien.
- Lang, C., Jürgens, G. (2003): Aufgaben betrieblicher Umweltinformationssysteme, in Kramer (Hrsg.): Internationales und interdisziplinäres Umweltmanagement in Zukunftsmärkten, II. Band: Grundlagen des ganzheitlichen Umweltmanagements, Gabler Verlag, Wiesbaden
- Lang-Koetz (2006): Ein Vorgehensmodell zur Einführung eines integrativen Umweltcontrollings auf Basis eines ERP-Systems, Jost-Jetter Verlag, Heimsheim, zugl. Universität Stuttgart, Diss.

- Letmathe, P. (1998): Umweltbezogene Kostenrechnungen, München
- Meiners, J., Nüßler, W. (2004): SAP-Schnittstellenprogrammierung, Galileo Press, Bonn
- Lucas, R. (1996): Netzwerk der Akteure. In: Politische Ökologie 44, Jan./Feb. '96
- Möller, A. (2000): Grundlagen stoffstrombasierter Betrieblicher Umweltinformationssysteme, Bochum
- Möller, A. (2004a): Continuous Simulation in Material Flow Networks. In: Pahl-Wostl, C., Schmidt, S., Rizzoli, A.E. and Jakeman, A.J. (Hrsg.) (2004): Complexity and Integrated Resources Management, Transactions of the 2nd Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, iEMSs. Manno, Switzerland, S. 379-384
- Möller, A. (2004b): Life Cycle Thinking and Systems Thinking - How to Support Systems Thinking in Material Flow Analysis. In: The 6th International Conference on EcoBalance - Developing and Systematizing of EcoBalance Tools based on Life-Cycle-Thinking, Epochal Tsukuba, Tsukuba, Japan
- Möller, A. (2005): Dynamic Material Flow Analysis in the Life Cycle Assessment Tool Chain. In: Geldermann, J., Treitz, M., Schollenberger, H., Rentz, O. (Eds.): Challenges for Industrial Production, Karlsruhe
- Möller, A., Rolf, A. (2001): Eco Product Lifecycle Management. In: EcoDesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE Computer Society, Los Alamitos, Washington, Brussels, Tokyo
- Möller, A., Schaltegger, S. (2005): The Sustainability Balanced Scorecard as a Framework for Eco-Efficiency Analysis. In: Journal of Industrial Ecology Vol. 9, Issue 4 (Fall 2005), S. 73-83
- Möller, A., Wohlgemuth, V. (2004): Einsatz von diskreten und kontinuierlichen Simulationsansätzen in Stoffstromanalysen. In: Wittmann, J., Wieland, R. (Hrsg.): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop Müncheberg 2004. Aachen, S. 124-139
- Müller-Christ, G. (2001): Umweltmanagement – Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung, München
- Müller, D.B., Bader, H.-P., Baccini, P. (2004): Long-term Coordination of Timber production and Consumption Using a Dynamic Material and Energy Flow Analysis. In: Journal of Industrial Ecology Vol. 8, No. 3, pp. 65-87
- Niebuhr, C. (2004): Konzeption und prototypische Implementierung einer Austauschkomponente für umweltrelevante Daten zwischen ERP-Systemen und Betrieblichen Umweltinformationssystemen (BUIS). Diplomarbeit, Universität Hamburg. Hamburg
- Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (2003): ÖWAV-Regelblatt 514 – Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft, Wien
- Page, B. (1991): Diskrete Simulation, Berlin, Heidelberg, New York
- Radke, V. (1999): Nachhaltige Entwicklung – Konzept und Indikatoren aus wirtschaftstheoretischer Sicht, Heidelberg

- Rey, U., Lang, C., Beucker, S. (2002): ERP-Systeme und ihr Datenangebot für die Ressourceneffizienz-Rechnung - Ergebnisbericht aus dem Forschungsprojekt CARE, IAT - Universität Stuttgart, Stuttgart
- Riebel, P. (1990): Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung, 6. Auflage, Wiesbaden
- Riebel, P. (1992): Einzelerlös-, Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung als Kern einer ganzheitlichen Unternehmensführung. In Männel, W. (Hrsg.): Handbuch Kostenrechnung, Wiesbaden
- SAP (2001): BAPI User Guide CA-BFA, SAP AG, Walldorf
- SAP (2005): Bewegungsartenkonzept. SAP-Bibliothek, Bestandsführung und Inventur (MM-IM), SAP AG, http://help.sap.com/saphelp_47x200/helpdata/de/a5/63319343a211d189410000e829fbbd/frameset.htm (Abruf: 30.11.2005), Walldorf.
- Schaltegger, S., Burritt, R. (2000): Contemporary Environmental Accounting – Issues, Concepts and Practice, Sheffield, UK
- Scheer, A. W. (1990): Computer Integrated Manufacturing: CIM = Der computergestützte Industriebetrieb, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Scheer, A.-W. (1991): Der wissenschaftliche Beitrag von Hans Georg Plaut zur Gestaltung des innerbetrieblichen Rechnungswesens. In: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Grenzplankostenrechnung – Grenzen und aktuelle Probleme, 2. Auflage, Wiesbaden
- Schmidt, M. (1995): Die Modellierung von Stoffrekursionen. In: Schmidt, M., Schorb, A. (Hrsg.): Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits, Berlin, Heidelberg, New York
- Schmidt, M., Keil, R. (2002): Stoffstromnetze und ihre Nutzung für mehr Kostentransparenz sowie die Analyse der Umweltwirkung betrieblicher Stoffströme, Beiträge der Hochschule Pforzheim Nr. 103, Pforzheim
- Schneeweiß, C. (1993): Einführung in die Produktionswirtschaft, 5. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York
- Schönsleben, P. (2001): Integrales Informationsmanagement: Informationssysteme für Geschäftsprozesse; Management, Modellierung, Lebenszyklus und Technologie., 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York
- Skrzypek, V., Wohlgemuth, V. (2000): Anwendung und Integration von Umberto in die betriebliche IT-Struktur am Beispiel der Bertelsmann Großdruckerei MOHN Media Mohndruck GmbH, in H.-J. Bullinger und S. Beucker (Hrsg.): Stoffstrommanagement - Erfolgsfaktor für den betrieblichen Umweltschutz, Tagungsband zum 3. Management-Symposium Produktion und Umwelt, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Stahlknecht, P., Hasenkamp, U. (2002): Einführung in die Wirtschaftsinformatik, 10. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York

- Stahlknecht, P.; Hasenkamp, U. (2005): Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 11. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York
- Steinaecker, Jörg v., Kühner, Michael (2001): Supply Chain Management - Revolution oder Modewort? In: Lawrenz, Oliver, Hildebrand, Knut, Nenninger, Michael (Hrsg.) Supply Chain Management - Konzepte, Erfahrungsberichte und Strategien auf dem Weg zu digitalen Wertschöpfungsnetzen, 2. Auflage, Braunschweig, Wiesbaden
- Thommen, J.-P., Achleitner, A.-K. (2006): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 5. Auflage, Wiesbaden
- Troßmann, E. (1992): Flexible Plankostenrechnung nach Kilger. In: Männel, W. (Hrsg.): Handbuch Kostenrechnung, Wiesbaden
- Vester, F. (1999): Die Kunst vernetzt zu denken, 6. Auflage, Stuttgart
- Weber, J. (2002): Logistikkostenrechnung. Kosten-, Leistungs- und Erlösinformationen zur erfolgsorientierten Steuerung der Logistik, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Wenzel, P. (2001): Rechnungswesen mit SAP R/3, Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden
- Wohlgemuth, V., Bruns, L., Page, B. (2001): Simulation als Ansatz zur ökologischen und ökonomischen Planungsunterstützung im Kontext betrieblicher Umweltinformationssysteme (BUIS). In: Hilty, L.M., Gilgen, P.W. (Hrsg.): Sustainability in the Information Society. 15. Internationales Symposium "Informatik für den Umweltschutz" der Gesellschaft für Informatik (GI), Zürich 2001. Metropolis Verlag, Marburg, Band 2, S. 999-1008
- Wohlgemuth, V. (2005): Komponentenbasierte Unterstützung von Methoden der Modellierung und Simulation im Einsatzkontext des betrieblichen Umweltschutzes, Aachen
- Yamaguchi, R., Ueta, K. (2006): Substance Flow Analysis and Efficiency Conditions: A Case of Lead, Discussion Paper No. 119, Kyoto University, Japan
- Zäpfel, G. (2001): Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement, 2. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.