

# Modellierung und Prognose von Entwicklungs- und Recyclingkosten in frühen Entwicklungsphasen

David Hellenbrand, Maximilian Kissel, Jonathan Rohloff und  
Udo Lindemann

*Lehrstuhl für Produktentwicklung  
Technische Universität München*

Due to a rising number of variants and a decreasing number of sold items per unit indirect costs like development or recycling costs gain more importance. Existing cost estimation approaches do not deal with the challenges of high uncertainty in early phases of PD in an appropriate way. Therefore, a method to model, estimate and analyse different kinds of costs is presented. This method is based on existing process costing approaches and combines them with a statistical simulation to deal with uncertainties and the high level of complexity. The method can be used within target costing to define cost goals, continuous cost calculation during the process as well as documentation and controlling of estimated and actual costs.

## 1 Einleitung und Motivation

Vor dem Hintergrund eines dynamischen Wettbewerbs und sowie einem Trend zu individuellen Produkten, sehen sich Unternehmen vor der Herausforderung eine erhöhte Anzahl von Varianten ihrer Produkte anzubieten. Durch den Anstieg der Varianten und gleichzeitig sinkende Stückzahlen pro Variante gewinnen die „indirekten“ Kosten, wie Entwicklungs- oder Vertriebskosten, zunehmend an Bedeutung. Der Anteil dieser Kosten an den einzelnen Produk-

---

ten steigt bei sinkender Stückzahl, so dass sie zukünftig detailliert betrachtet werden müssen (vgl. [1]).

Aus Kostensicht des Produkerstellers stehen über dem Produktlebenszyklus primär die Phasen Planung, Entwicklung, Herstellung sowie das Ende des Produktlebenszyklus im Mittelpunkt der Betrachtungen, da in diesen Kosten entstehen bzw. anfallen können. Auf die Herstellkosten wird in diesem Rahmen nicht weiter eingegangen, da in diesem Bereich bereits eine Vielzahl von Methoden und Ansätzen existiert und da der Fokus hier auf der Modellierung und Prognose indirekter Kosten liegt. Die Betrachtung des Endes des Produktlebenszyklus gewinnt hingegen zunehmend an Bedeutung, da diverse Vorschriften und Gesetze existieren, welche die Hersteller zur Rücknahme und Entsorgung ihrer Produkte verpflichtet [vgl. VDI4413]. Die damit verbundenen Aktivitäten verursachen somit Kosten und müssen Verkaufspreis berücksichtigt werden. Aufgrund dieses direkten Bezugs zu den Selbstkosten des Unternehmens wurde die Lebenszyklusendphase mit in die Betrachtungen aufgenommen. Unter Lebenszyklusendphase werden in diesem Rahmen sämtliche Aktivitäten und Prozesse verstanden, die nach der eigentlichen Nutzungsphase für Recycling und/oder Entsorgung Produktes anfallen. Da hierbei unterschiedlich Handlungsoptionen zur Verfügung stehen, wird auch allgemeiner der Begriff End-of-Life (EOL) Strategien verwendet. Aufgrund der einfacheren Verwendbarkeit sowie der Einprägsamkeit werden die Lebenszyklusendkosten hier vereinfachend auch als Recyclingkosten bezeichnet, obwohl dies nur eine Teilmenge der möglichen Handlungsoptionen abbildet.

## 2 Bestehende Ansätze zur Berücksichtigung indirekter Kosten

Eine verbreitete Methode zur Berücksichtigung von Kosten die einem Produkt nicht direkt zugeordnet werden können, ist die Zuschlagskalkulation mit Gemeinkostensätzen. In diesem Ansatz werden die „indirekten“ Kosten wie Entwicklungs-, Verwaltungs- und Vertriebskosten über definierte Gemeinkostenzuschlagssätze aus den Herstellkosten abgeschätzt und anschließend die Selbstkosten des Unternehmens ermittelt [2]. Der Vorteil dieses Kalkulationsverfahrens liegt darin, dass es eine einfache und schnelle Berechnung der Selbstkosten über definierte unternehmensspezifische Zuschlagssätze erlaubt. Eine genauere Betrachtung dieses Vorgehens zur Berücksichtigung von indirekten Kosten zeigt jedoch vor dem oben beschriebenen Hintergrund der steigenden Variantenzahl einige Probleme auf.

Die Entwicklungskosten sind zum Beispiel für ein bestimmtes Produkt als Fixkosten anzusehen und daher von der produzierten Stückzahl weitgehend unabhängig. Mit einer zunehmenden Produkt- und Variantenvielfalt (bei sin-

kenden Stückzahlen pro Variante) nimmt der Anteil der Entwicklungskosten an den Selbstkosten zu und müsste über stückzahlabhängige Zuschlagssätze berücksichtigt werden (vgl. Bild 1). Da dies normalerweise nicht der Fall ist, führt die Zuschlagskalkulation zu einer „Quersubvention“ der Varianten mit geringen Stückzahlen durch die Standardprodukte [2, 3]. Weitere verfälschende Einflüsse, welche zu Differenzen zwischen kalkulierten und wirklichen Kosten führen, sind neben der Stückzahl auch Neuheit, Komplexität und Baugröße des betrachteten Produktes [2].

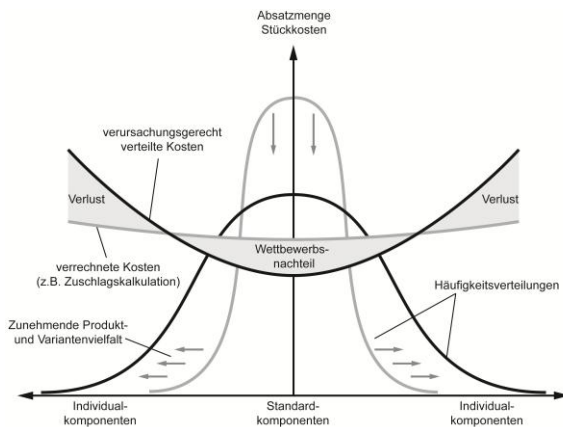


Bild 1: Problematik der Anwendung von Gemeinkostenrechnung nach [3, 4]

Zur Schaffung einer höheren Kostentransparenz in den indirekten Bereichen, welche bisher lediglich über die Gemeinkosten berücksichtigt wurden, existieren prozessorientierte Kalkulationsverfahren wie Prozesskostenrechnung [5] oder Activity Based Costing [6]. Die Grundidee dieser Ansätze besteht darin, die in diesen Bereichen (analog zur Produktion) ablaufenden Aktivitäten bzw. Prozessschritte zu erfassen und kostenmäßig zu bewerten. In der Prozesskostenrechnung können diese Kosten auf Grundlage von geeigneten Bezugsgrößen berechnet und verursachungsgerecht zugeordnet werden [2]. Ein Ansatz zur ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung in frühen Phasen von individualisierten Produkten mit geringen Stückzahlen ist die Pfadkostenrechnung [4]. Dieser Ansatz wurde für die hier dargestellte Methode aufgegriffen und entsprechend angepasst.

Die wesentliche Schwachstelle bei der Übertragung dieses Ansatzes der Pfadkostenrechnung auf die Prognose von Entwicklungskosten bildet die Ermittlung der Gesamtpfadkosten, da diese mit der gewählten Berechnungsmethode eine statistischen Unabhängigkeit der Prozessschritte erfordert [1]. In

---

Entwicklungsprozessen laufen jedoch eine Vielzahl von Iterationen und Prozessschritten sequentiell oder parallel ab und die Ergebnisse der verschiedenen Aktivitäten beeinflussen sich gegenseitig. Somit kann nicht von einer statistischen Unabhängigkeit der Prozessschritte ausgegangen werden [1].

Aus diesem Grund wurde der Ansatz der Pfadkostenrechnung um eine stochastische Simulation (Monte-Carlo-Simulation) erweitert. Diese eignet sich zur Modellierung komplexer Systeme, deren innerer Zusammenhang nicht bekannt oder nur sehr aufwändig beschrieben werden kann. Die Verwendung von Verteilungsfunktionen für den Ressourcenverzehr erlaubt zudem den Umgang mit Unsicherheiten und die Ermittlung einer Gesamtkostenverteilung. Einen ähnlichen Ansatz findet sich auch zur Kostenbewertung von Produktionsprozessen [7, 8].

### **3 Methode zur Modellierung und Prognose von Entwicklungs- und Recyclingkosten**

In folgenden wird der entwickelte Ansatz dargestellt. Zunächst wird das entwickelte Modell der modifizierten Pfadkostenrechnung eingegangen und anschließend das Vorgehensmodell zur Prozessmodellierung und Kostenprognose dargestellt. Die Methode wurde in einer weiterentwickelten Version der Tools CoCoS (Cost Consulting System, [4]) prototypisch implementiert.

#### **3.1 Grundlagen der modifizierten Pfadkostenrechnung**

Die Schätzung der Entwicklungs- und Recyclingkosten basiert auf dem Prinzip der Pfadkostenrechnung, bei der über den Ressourcenverzehr eines definierten Prozesspfades eine Prognose der Gesamtkosten erfolgt [4]. Analog zum Vorgehen der Pfadkostenrechnung wird zunächst der Prozess mit Hilfe von Prozessschritten bzw. Prozessbausteinen auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen beschrieben. Diesen Prozessschritten wird im weiteren Verlauf ein Ressourcenverzehr und somit ein Kostenwert zugeordnet. Die Angabe des Ressourcenverzehrs kann ebenfalls direkt als Kosten oder über Verbrauchswert und Kostensatz erfolgen. Über die Summer der einzelnen Kosten ergeben sich die Gesamtkosten des betrachteten Prozesses. Für den Fall, dass nur bestimmte Prozessteile oder alternative Pfade (bei oder-Verzweigungen) betrachtet werden sollen, ergibt sich die Möglichkeit zur Analyse unterschiedliche Varianten. Das Grundprinzip ist in Bild 2 dargestellt.

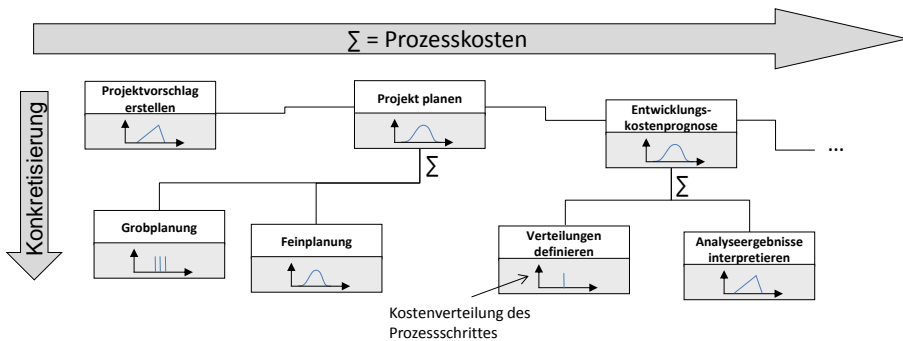


Bild 2: Modell der modifizierten Pfadkostenrechnung

Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten bzw. zur fortwährenden Konkretisierung im weiteren Verlauf der Planung und Durchführung sind zwei grundsätzliche Ansätze vorgesehen. Zum einen besteht die Möglichkeit zur weiteren Konkretisierung und Detaillierung der ursprünglich definierten Prozessschritte. Diese können auf beliebig vielen weiteren Abstraktionsebenen detaillierter zerlegt und untergliedert werden (senkrechter Pfeil Bild 2). Dabei kann für jeden Prozessschritt individuell eine beliebige Anzahl Subprozesse und Konkretisierungsstufen definiert werden. In Bild 2 werden die Schritte „Projekt planen“ und „Entwicklungskostenprognose aufstellen“ in jeweils zwei Schritte mit höherem Detaillierungsgrad unterteilt. Auf diese Weise können (abstrakte) Schritte mit großem Kostenanteil detaillierter beschrieben werden um zu genaueren Ergebnissen zu gelangen. Bei der Berechnung der Kosten wird im Anschluss immer mit dem Ressourcenverzehr auf detailliertesten (unterster) Abstraktionsebene gerechnet. Die Kosten für die darüber abstrakteren Prozesse ergeben sich aus der Summe der Subprozesse, wobei evtl. früher definierte Werte auf den höheren Ebenen ignoriert werden. Somit dann der Detaillierungsgrad dem Kenntnisstand der Projektplanung angepasst werden. Die zweite Möglichkeit zur Berücksichtigung der Unsicherheit besteht in der Definition von Verteilungen für den Ressourcenverzehr. Es können somit nicht nur einzelne Werte definiert werden sondern ebenso unterschiedliche Verteilungsarten. Diese können für jeden Prozessschritt und auf jeder Konkretisierungsebene individuell festgelegt werden. Auch hier werden wieder nur die Eingaben auf der jeweils höchsten Detaillierungsebene für die Berechnung herangezogen.

Die Ermittlung der Kosten des Gesamtprozesses erfolgt anschließend mit Hilfe einer stochastischen Simulation (konkret: Monte-Carlo-Simulation) in der eine hohe Anzahl von separaten Simulationsläufen durchgeführt wird. Zu

Beginn eines Laufes wird jedem Prozessschritt ein den definierten Verteilungen gehorchender Wert zugeordnet. Diese Werte können anschließend zu den Prozesskosten aufsummiert werden (waagrechter Pfeil Bild 2). Durch die mehrfache Wiederholung ergibt sich eine Gesamtkostenverteilung für den Prozess. Da in diesem Fall pro Durchlauf nur einzelne Werte und keine Verteilungen aufaddiert werden, muss die statistische Unabhängigkeit der einzelnen Prozessschritte nicht gegeben sein. Die Abhängigkeiten sind vielmehr implizit in den definierten Einzelverteilungen enthalten. Die resultierende Gesamtkostenverteilung kann anschließend einer detaillierten statistischen Auswertung unterzogen werden um Wahrscheinlichkeitsaussagen über die erwarteten Kosten abzuleiten. Zur entwicklungsbegleitenden Kalkulation sowie zur Dokumentation ist es weiterhin möglich, den bereits abgearbeiteten Prozessschritten einen festen (bereits angefallenen) Ressourcenverzehr zuzuordnen. Dieser repräsentiert die angefallenen Ist-Kosten und wird für alle nachfolgenden Simulationsläufe als fix angenommen.

### 3.2 Vorgehensmodell zur Modellierung und Kostenprognose

Das grundsätzliche Vorgehen zur Schätzung von Entwicklungs- und Recyclingkosten ist identisch. In beiden Fällen werden die betrachteten Aktivitäten und Prozesse zunächst über Prozessschritte beschrieben. Im Fall der Entwicklungskostenschätzung handelt es sich dabei um Entwicklungstätigkeiten, im Fall des Recyclings um die durchzuführenden Tätigkeiten bzw. Verfahrensschritte (analog zur Produktion). Das Vorgehensmodell besteht aus vier Schritten (siehe Bild 3) und wird im Folgenden anhand der Entwicklungskostenprognose erläutert. Eine Übertragung auf die Betrachtung von alternativen EOL-Strategien erfolgt im Anschluss.

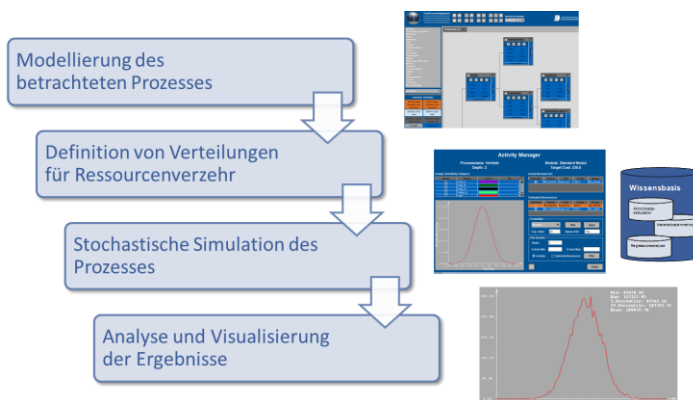


Bild 3: Vorgehensmodell zur Modellierung und Kostenprognose

Der erste Schritt „Modellierung des betrachteten Prozesses“ besteht aus der Definition des betrachteten Prozesses und der zugehörigen Prozessschritte. Diese können aus generischen Vorgehensmodellen wie VDI2221, VDI2206 oder aus einem firmenspezifischen Entwicklungsprozess abgeleitet werden. Der Konkretisierungsgrad ist abhängig vom jeweiligen Kenntnisstand zu wählen und folgt dem Grundprinzip „vom Abstrakten zum Konkreten“. Der Detaillierungsgrad kann jederzeit angepasst werden.

Im zweiten Schritt „Definition von Verteilungen für Ressourcenverzehr“ wird den Prozessschritten ein Ressourcenverzehr zugeordnet und die Kosten damit bewertbar gemacht. Dazu stehen in der implementierten Version des Tools CoCoS mit entsprechenden Funktionalitäten zur Verfügung (siehe Bild 4). Eine separate Beschreibung des Prozesses und seiner Verknüpfungen ist nicht erforderlich, den modellierten Prozessschritten können sofort die Ressourcenverbräuche zugeordnet werden. Zur Verbesserung der Ergebnisqualität kann auf eine Wissensbasis zugegriffen werden, in der Informationen über die Dauer bereits beendeter Projekte abgelegt werden können.

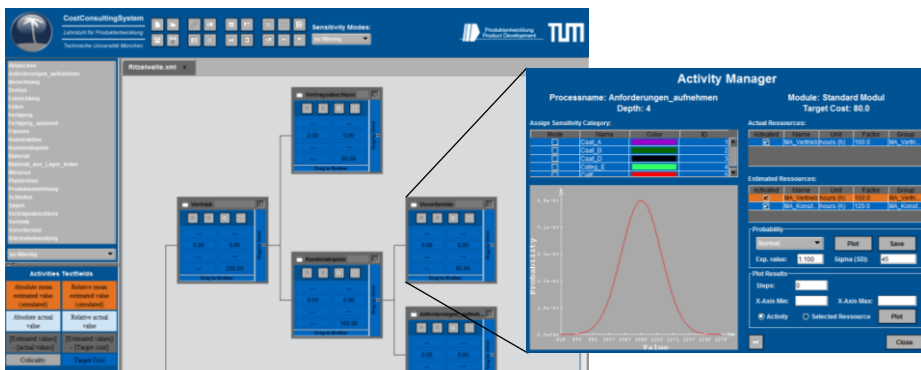


Bild 4: Definition von Prozessschritten und Ressourcenverzehr in CoCoS

Das Tool erlaubt die Definition von unterschiedlichen Verteilungsarten für den Ressourcenverzehr (Bild 4 rechts). Es stehen stetige Gleichverteilung, Dreiecksverteilung, Normalverteilung, Exponentialverteilung, Weibull-Verteilung sowie fixer Wert zur Verfügung. Für den praktischen Gebrauch haben sich die Verwendung von Gleichverteilung, Dreiecksverteilung und Normalverteilung als sehr einfach handhabbar erwiesen, da diese Verteilungen und die beschreibenden Parameter dem Entwickler vertraut sind. Die Bewertung des Ressourcenverzehrs kann entweder direkt monetär oder über eine bestimmende Größe (Zeit, Gewicht, etc.) erfolgen. Bei den Entwicklungs-

kosten kann so beispielsweise eine Zeitverteilung und ein Stundensatz (Kosten pro Stunde) angegeben werden. Es könne auch mehrere Ressourcen (Zeit, Material, Raummiete) einem Prozessschritt zugeordnet werden. Weiterhin bietet CoCoS die Möglichkeit zur Definition von Subprozessen zur weiteren Konkretisierung abstrakter Prozessschritte.

Im dritten Schritt „Stochastische Simulation des Prozesses“ werden die Prozesskosten mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation prognostiziert. Das Ergebnis der Simulation ist ein Kostenwert für jeden Prozessschritt in jedem Durchlauf sowie ein Gesamtkostenwert für den Prozess. Die Genauigkeit der Simulation verbessert sich mit der Anzahl der Durchläufe, wobei gleichzeitig die erforderliche Rechenzeit steigt. Diese befindet sich je nach Anzahl der Prozessschritte im Bereich von Sekunden bis wenigen Minuten, so dass auf aktueller Standardhardware problemlos einige tausend Durchläufe berechnet werden können.

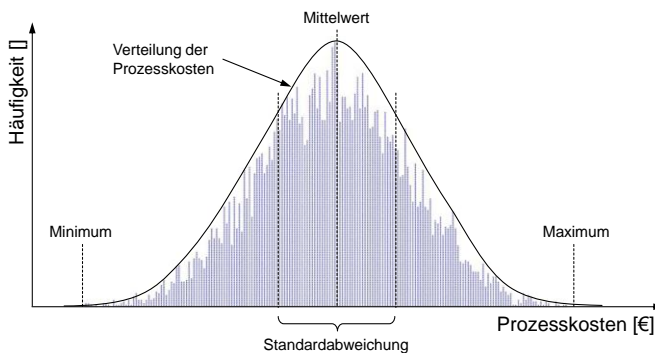


Bild 5: Ergebnis und Analyse der Kostensimulation

Die Gesamtprozesskosten können anschließend im letzten Schritt „Analyse und Visualisierung der Ergebnisse“ nach auftretender Häufigkeit sortiert, grafisch dargestellt und analysiert werden (siehe Bild 5). Mit einer hinreichend großen Anzahl an Simulationsläufen - aufgrund der damit zur Verfügung stehenden Datenbasis - besteht die Möglichkeit verschiedene statistische Auswertungen vorzunehmen. Es können somit Mittelwert, Maximum, Minimum und Varianz der prognostizierten Gesamtprozesskostenkosten berechnet werden. Dem Entwickler stehen somit Informationen über die zur erwarteten Prozesskosten, deren Bandbreite und Verteilung sowie ihre Auftretenswahrscheinlichkeit zur Verfügung. Diese Informationen können bei der Prozessplanung oder zur Erstellung von Angeboten herangezogen werden. Weiterhin sind durch den Export in externe Analysetools wie Excel oder Matlab auch



---

weitere individuelle Kennzahlen ermittelbar oder es kann die Verteilungsfunktion (Hüllkurve) der simulierten Kosten berechnet werden. Daraus können Aussagen wie „Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% sind die auftretenden Kosten geringer als X €“ getroffen werden.

Weiterhin wird die entwicklungsbegleitende Kalkulation und somit der Vergleich von Zielkosten (Target-Costs), prognostizierten und aufgetretenen Kosten unterstützt. Dazu können jedem Prozessschritt neben dem erwarteten Ressourcenverzehr weitere Kennwerte wie (Soll-)Zielkosten und tatsächlich aufgetretene Kosten zugeordnet werden. Diese ermöglichen einen frühzeitigen rollierenden Abgleich zwischen Soll- und Ist-Kosten sowie zwischen prognostizierten Kosten und Ist-Kosten im Kostenmanagementregelkreis. Weiterhin werden die Ergebnisse der Prognosen kontinuierlich über die Zeit verbessert, da die angefallenen und eingepflegten Ist-Kosten in den nachfolgenden Simulationen als konstante Werte berücksichtigt werden.

#### 4 Betrachtung von Recyclingkosten

Im Folgenden wird auf die Prognose von Recyclingkosten bzw. auf die Betrachtung von „Lebenszykluskosten“ (EOL, End-of-Life Costs) eingegangen. Das verwendete Modell sowie die Schritte des Vorgehens sind grundsätzlich analog zu den Entwicklungskosten. Ein wesentlicher Unterschied besteht darin, dass sich die Aufstellung der betrachteten Prozesse wesentlich komplexer gestaltet, da auf keine standardisierten oder vorhandenen Prozessmodelle zurückgegriffen werden kann. Außerdem ist die parallele Betrachtung und der Vergleich von Alternativen entscheidend um zu einer kostenoptimalen Lösung zu gelangen.

Im ersten Schritt zur Prognose und Analyse der Lebenszykluskosten werden zunächst alternative Strategien für das Ende des Lebenszyklus erstellt (Bild 6). Diese Strategien legen den grundsätzlichen Umgang mit einem Gesamtprodukt am Ende seines Lebenszyklus fest. Auf dieser Ebene wird beispielsweise entschieden, ob ein Produkt als Ganzes entsorgt oder ob es zerlegt und in Teilen aufbereitet oder weiterverwertet werden kann. Den einzelnen Strategien können anschließend untergeordneten Aktivitäten bzw. Prozessschritte wie Transport, Demontage, Zerlegen, Aufbereiten, Entsorgung usw. zugeordnet werden. Neben den notwendigen Prozessschritten werden auch die ggf. entstehenden (Teil-)Systeme aufgeführt und die nachfolgenden Prozessschritten diesen zugeordnet. Auf diese Weise entsteht eine übersichtliche hierarchische Struktur, in der sämtliche Prozesse sowie entstehende Zwischenprodukte enthalten sind. Zur Erstellung alternativer Szenarien des Lebenszyklusendes und möglicher Prozessschritte können unternehmensinterne

oder -externe (standardisierte) Quellen herangezogen werden. Beispielhaft seien an dieser Stelle VDI2243, VDI4413, VDI4431 sowie [9] und [10] genannt, die in diesem Rahmen detailliert analysiert wurden. Diese sowie alternative Quellen können jedoch nur als Grundlage bzw. zur Anregung von Ideen verwendet werden und müssen jeweils individuell auf das vorliegende Produkt und die Situation des Unternehmens angepasst werden.

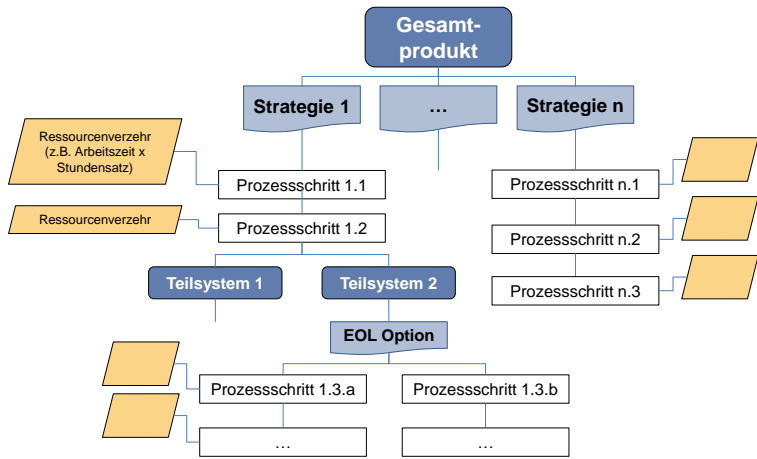


Bild 6: Modellierung und Analyse alternativer EOL-Strategien

Die festgelegten Strategien legen nur auf einer sehr abstrakten Ebene den Umgang mit dem betrachteten Produkt fest. Daher können auf der nächsten Konkretisierungsebene verschiedenen EOL-Optionen betrachtet werden (siehe Bild 6). Diese beziehen sich auf das Gesamtprodukt oder einzelne Teilsystem. In den EOL Optionen können Unterscheidungen vorgenommen werden, ob beispielsweise ein Teilsystem noch weiter zerlegt oder vollständig eingeschmolzen wird. Die verschiedenen Optionen folgen dabei stets der übergeordneten Strategie, ziehen jedoch unterschiedliche Prozessschritte und damit Kosten nach sich und werden demnach getrennt behandelt. Weiterhin ermöglichen sie einen Vergleich der alternativen Möglichkeiten und das Aufdecken von Optimierungspotenzialen auf einer detaillierteren Ebene innerhalb einer Strategie.

Den einzelnen Prozessschritten wird anschließend ein Ressourcenverzehr zugeordnet. Der Ressourcenverbrauch kann ebenfalls direkt monetär oder über eine bestimmende Größe (bspw. Stundensatz oder Gewicht) angegeben werden (Bild 6). Auch eine kontinuierliche Anpassung des detaillierungsgrades und der Anzahl der einzelnen Prozessschritte ist möglich, so dass zunächst

---

meine einer Grobplanung begonnen werden kann die im weiteren Verlauf zunehmen konkretisiert wird. Eine Besonderheit ist die Berücksichtigung von Einnahmen, die durch den Weiterverkauf oder die Weiterverwendung von Teilsystemen oder Materialien erzielt werden können. Diese können durch die Vergabe eines „negativen Ressourcenverzehr“ für die entsprechenden Prozessschritte integriert werden. Die eigentliche Prognose der erwarteten Lebenszyklusendkosten erfolgt im nächsten Schritt mit Hilfe der stochastischen Simulation. Als Ergebnis ergibt sich eine Gesamtkostenverteilung für das Ende des Lebenszyklus welche analysiert und bewertet werden kann. Hierbei muss jede Strategie und EOL-Option separat betrachtet und anschließend analysiert werden. Durch die Betrachtung alternativer Prozessketten kann eine kostenoptimale Lösung ausgewählt werden.

Die beschriebene und in Bild 6 gezeigte Darstellung von Strategien und Optionen für das Ende des Produktlebenszyklus stellt nur eine Möglichkeit zur Visualisierung und Analyse dar. Ebenso kann eine beliebige andere prozessorientierte Darstellung verwendet werden. Zentraler Punkt ist Auffassung des Lebenszyklusendes als eine Folge von Prozessschritten, denen ein Ressourcenverzehr zugeordnet werden kann.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurde eine Methode zur Modellierung und Prognose von indirekten Kosten, wie Entwicklungs- und Recyclingkosten, vorgestellt. Sie basiert auf dem Ansatz der Pfadkostenrechnung und erweitert diese um eine stochastische Simulation zur Berücksichtigung von Unsicherheiten sowie dem hohen Komplexitätsgrad. Weiterhin wurde das zugehörige Vorgehensmodell sowie die prototypische Implementierung im Tool CoCoS vorgestellt. Die entwickelte Methode kann im Rahmen des Target Costing zur Zielfindung, zur entwicklungsbegleitenden Kalkulation sowie zur Dokumentation und Kontrolle der angefallenen Kosten eingesetzt werden.

Im weiteren Vorgehen ist die prospektive und projektbegleitende Anwendung der Methode in verschiedenen Forschungs- und Industrieprojekten zur Evaluierung und Weiterentwicklung geplant. In diesem Rahmen soll unter anderem untersucht werden, wie Entwickler bei der Auswahl und Definition der Ressourcenverteilungen und Verteilungsparameter effektiv unterstützt werden können. Ein weiterer Punkt ist die die Evaluierung und Weiterentwicklung des prototypisch implementierten Tools. Durch den projektbegleitenden Einsatz unter realitätsnahen Bedingungen können Anwendbarkeit und Benutzerfreundlichkeit untersucht sowie die vorgesehen Modellierungs- und Analysemöglichkeiten angepasst und erweitert werden.

---

## Literatur

- [1] Hellenbrand, D; Helten, K; Lindemann, U: „Approach for development cost estimation in early design phases“, Proceeding of the 11th International Design Conference DESIGN 2010, Dubrovnik - Croatia, 2010.
- [2] Ehrlenspiel, K; Kiewert, A; Lindemann, U: „Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren – Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung“, Springer Verlag, Berlin, 2007.
- [3] Schuh, G; Schwenk, U: „Produktkomplexität managen“, Carl Hanser Verlag, München, 2001.
- [4] Gahr, A: „Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte“, Dr. Hut Verlag, München, 2006 (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Dissertation 2006.
- [5] Horváth, P; Mayer, R: „Prozeßkostenrechnung – Der neue Weg zu mehr Kostentransparenz und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien“, Controlling 1 (1989) 4, S. 214-219, 1989.
- [6] Cooper, R; Kaplan, R S: „Measure costs right: Make the right decision“, Harvard Business Review 66 (Sep-Okt 1988), S. 96-10, 1988.
- [7] Rühl, J E: „Monetäre Flexibilitäts- und Risikobewertung – Stochastische Simulation von Produktionssystemen während der Produktentwicklungsphase“, wbk Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Dissertation 2010.
- [8] Günther, T; Brandis, R; Nordsiek, D; Peters, S; Rühl, J: „Frühzeitige und qualifizierte Kostenprognose für Produktionssysteme – Praxisbeispiel anhand einer mechatronischen Baugruppe“, Tagungsband 10. Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2010, 2010.
- [9] Bufardi; A; Gheorghe, R; Kiritsis, D; Xirouchakis, P: „Multicriteria decision-aid approach for product end-of-life alternative selection“, International journal of production research 42 (2004) 16, S. 3139-3157, 2004.
- [10] Rose, C M; Ishii, K; Stevels, A: „ELDA and EVCA: Tools for building product End-of-Life Strategy“, The Journal of Sustainable Product Design 1 (2001) 3, S. 181-195, 2001.