

# VERFAHREN ZUR BEWERTUNG ZUKÜNTIGER INSTANDHALTUNGSKONZEPTE VON VERKEHRSFLUGZEUGEN DER NÄCHSTEN GENERATION INNERHALB DES FUZZY FRONT END DES INNOVATIONSPROZESSES

H. Fromm

EADS Deutschland GmbH - Corporate Research Centre Germany

Neßprieler 1, 21129 Hamburg

Deutschland

## **ÜBERSICHT**

Aus der Notwendigkeit heraus, die Kosten für die Instandhaltung angesichts zunehmender Reife in Flugzeugen und Flugzeugsystemen zu reduzieren, werden in diesem Paper Modelle und Methoden zur Bewertung und Auswahl von zukünftigen Instandhaltungskonzepten und -technologien für Flugzeuge der nächsten Generation vorgestellt. Das Ziel ist hierbei die Validierung von innovativen Technologien und Techniken, welche die Instandhaltung effizienter und effektiver machen können. Eine Auswahl der Vielversprechendsten wird schon in den frühen Phasen des Innovationsprozesses, dem Fuzzy Front End, angewendet, in denen der Großteil der Gesamtkosten des entstehenden Produktes festgelegt wird. Diese Methode der Technologiebewertung unterstützt die frühe Auswahl von Instandhaltungstechnologien mittels Kosten-Nutzen-Analysen und stellt eine Entscheidungshilfe im Entwicklungsprozess bis zum fertigen Produkt dar. Weiterhin soll die Funktionsfähigkeit des Flugzeugs durch eine Verbesserung der Betriebssicherheit und Verfügbarkeit sowie durch die Reduzierung der instandhaltungsrelevanten Kosten erhöht werden.

Die erzielten Ergebnisse werden in ein derzeitig laufendes europäisches Forschungsprojekt (TATEM - Technologies And Techniques for nEW Maintenance Concepts, FP 6, EC Contract 502909) für innovative Instandhaltungstechnologien und -konzepte zukünftiger Flugzeuge übertragen, in welchem alle namhaften Unternehmen der Branche partizipieren. Vor dem Hintergrund einer noch immer kostenintensiven Flugzeuginstandhaltung wurde dieses Projekt zur Untersuchung von Methoden zur Instandhaltungskostenreduzierung für Starr- und Drehflügler geschaffen. Das Ziel ist die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Luftfahrtbranche in Konstruktion, Unterstützung und Betrieb derzeitiger und zukünftiger Flugzeuge und ihrer Systeme auf dem globalen Markt. Die Projektergebnisse werden die Konzepte und Produkte im Bereich der Flugzeuginstandhaltung dauerhaft prägen und bestimmen.

## **1. EINFÜHRUNG**

Die starke Zunahme des Wettbewerbes in der Luftfahrtindustrie führt zu einem erhöhten Kostendruck, der an die Flugzeughersteller weitergegeben wird. In diesem umkämpften Markt wird das Innovationsmanagement eine strategische Notwendigkeit

für die Luftfahrtindustrie. Doch diskutiert werden derzeitig hauptsächlich Flugzeugcharakteristika wie Sitzanzahl, Reichweite oder Anschaffungskosten. Hingegen bleibt der Bereich der Instandhaltungsaufwendungen oder -strategien unerwähnt, obwohl die Ausgaben für die Flugzeuginstandhaltung bis zu 20% der Betriebskosten ausmachen und ein hohes Kostensenkungspotenzial aufweisen [1]. Seit Jahren forschen innovative Unternehmen nach Indikatoren zur Schätzung des Erfolges geplanter Produktinnovationen. Nur Unternehmen, die heute die Bedeutung von Innovationen verstehen, können zukünftig ihren Erfolg am Markt gewährleisten. Die vorliegende Studie soll diese Forschungslücke schließen und wissenschaftlich die Ausgangssituation durch die Untersuchung der frühen Phasen des Innovationsprozesses verbessern, um somit der vorherrschenden inadäquaten Strukturierung entgegenzuwirken.

## **2. GRUNDLAGEN**

Dieses Kapitel beschreibt die Grundlagen des Innovationsmanagements und erörtert die Methoden für die Bewertung von Technologien. Es zeigt die Verbindung und die Bedeutung der erörterten Methoden zu laufender Innovationsmanagement-Forschung sowie ihre praktische Relevanz.

### **2.1. Innovationen**

Die Luftfahrtindustrie kämpft mit zunehmendem Kostendruck, der durch das schnell wachsende Segment der Billigfluglinien ausgelöst wird. Dieser Kostendruck wird an die Flugzeughersteller weitergegeben, die ihrerseits einem starken Wettbewerb ausgesetzt sind. In dieser Umgebung ist das Management von Innovationen eine wichtige Kernkompetenz heutiger Luftfahrtunternehmen, die ihren Innovationsprozess effizient und effektiv gestalten müssen. Aufgrund der hohen Bedeutung für den Unternehmenserfolg sind die Anforderungen an das Innovationsmanagement hoch. Gerade die Ebene des Managements sollte den Einsatz und die Kosten von Innovationen betrachten. Um die beschriebenen Anforderungen zu erfüllen, sollte der Innovationsprozess in Bezug auf Effizienz und Effektivität optimiert werden.

Auf diesem Gebiet wurden schon einige Untersuchungen geführt und verschiedene Ansätze für erfolgreiche Innovationen beschrieben [2]. Diese betrachten Innovationen als Prozesse im Gegensatz zu Erfindungen,

die sich auf einen speziellen Zeitpunkt beziehen. Ein Beispiel für einen typischen Fünf-Phasen-Innovationsprozess ist in BILD 1 dargestellt. Weitere Ansätze unterscheiden sich in Anzahl und Inhalt der Phasen. Die beschriebene Methode wird im so genannten Fuzzy Front End des Innovationsprozesses angewendet, in dem Ideen generiert und bewertet werden sowie ein erstes Konzept möglicher zukünftiger Produkte entwickelt wird (Phasen I und II) [4].

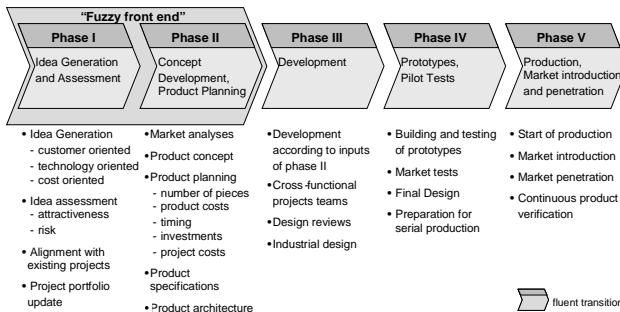


BILD 1. Die Phasen des Innovationsprozesses [3]

Die Bedeutung der frühen Phasen für den Gesamterfolg eines Innovationsprojektes ist darin begründet, dass grundlegende charakteristische Eigenschaften des zukünftigen Produktes festgelegt werden, während gleichzeitig die Ausgaben für Eigenschaftsänderungen niedriger sind als in späteren Phasen (vgl. BILD 2). Doch gestaltet sich die Bewertung von Ideen und Konzepten als schwierig, da der Grad an vorhandenem Wissen gering ist.

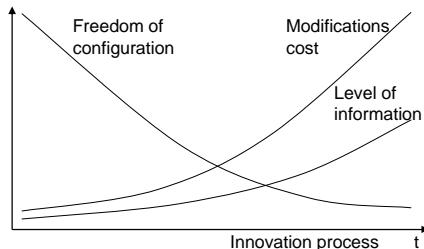


BILD 2. Einfluss, Informationsgehalt und Änderungskosten innerhalb des Innovationsprozesses [5]

Die Verteilung der Mittel spielt im Innovationsprozess eine zentrale Rolle, wie Clark und Wheelwright mit dem Innovationstrichter demonstrierten [6]. Dieser beschreibt, dass zwar viele Ideen für neue Produkte und Prozesse generiert werden, davon aber nur sehr wenige die Entwicklungsphase erreichen und noch weniger in den Markt eingeführt werden. Für eine effiziente Verteilung der Mittel muss daher das Management Ideen so schnell wie möglich bewerten. Eine Auswahl der vielversprechendsten Projekte sollte früh getroffen werden, so dass spätere Aktivitäten sich nur auf diese gewählten Projekte konzentrieren.

Trotz der großen Bedeutung der frühen Phasen für den Innovationserfolg liefern bisherige Untersuchungen weder Konzepte zur Gestaltung dieser Phasen noch unterstützende Methoden zur Bewertung der Kosten einer Innovation. Dementsprechend ist die Untersuchung zukünftiger Herausforderungen auf zwei Gebiete zu konzentrieren: Der Aufbau einer effizienten Innovationsprozessorganisation und die Entwicklung neuer Methoden zur frühen Bewertung innovativer

Technologien in Bezug auf den Nutzen und die Lebenszykluskosten (life cycle cost – LCC). Dieses Paper schließt die methodische Lücke durch den Entwurf eines Innovationsprozesses für zukünftige Luftfahrttechnologien sowie durch die Modellierung und Analyse der instandhaltungsspezifischen Kosten und Nutzen, um den Erfolg zukünftiger Innovationen zu erhöhen.

## 2.2. Kostenbewertung von Innovationen

Neben des Nutzens einer Innovation müssen deren Kosten berücksichtigt werden. Ein potenzieller Kunde wird ein Produkt nur kaufen, wenn sein Nutzen dessen Gesamtkosten übersteigt. Diese können höher als die Anschaffungskosten sein, da der Betrieb der Technologie mit weiteren Kosten verbunden ist. Um das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer innovativen Technologie zu berechnen, müssen im Lebenszyklus anfallende Kosten akkumuliert werden.

Doch ist die Sichtbarkeit solcher zusätzlichen Kosten eingeschränkt. Blanchard beschreibt diesen Umstand mit einer Analogie, dem Eisberg, dessen sichtbarer Teil die Anschaffungskosten darstellt [7]. Der weitaus größere Teil des Eisbergs, der unsichtbar unter der Wasseroberfläche liegt, repräsentiert die Kosten für Instandhaltung, Vertrieb, Trainingsmaßnahmen usw. Um neue Technologien während des Innovationsprozesses zu bewerten, muss der Einfluss all dieser Kosten berücksichtigt werden.

Target Value	Method	Idea Generation & Assessment	Concept Development, Product Planning	Development	Start of Production & Market introduction
Environment	Scenario-Analysis Portfolio-Analysis	██████████			
Customer Benefit / Quality	Conjoint-Analysis QFD Design Review FMEA	████	██████████		
Costs	Target Costing Design to Cost Life Cycle Costing Development accomp. Costing Preliminary Costing Project Cost Accounting		██████████	██████████	██████████
Time	Milestone-Trend-Analysis GANT-Charts Workflow-Management	██████████	██████████	██████████	██████████
Risk	Risk Assessment Prototyping	████	████	████	████

BILD 3. Methoden zur Unterstützung des Innovationsprozesses [8]

Entlang des Innovationsprozesses werden zahlreiche Methoden zur Unterstützung der Innovationsbewertung eingesetzt. Diese Methoden werden in einer bestimmten Phase eingesetzt und erlauben die Bewertung von spezifischen Dimensionen der Innovation wie Umgebung, Nutzen für den Kunden, Kosten, Zeitpunkt und Risiken. BILD 3 zeigt die Anwendbarkeit der Methoden in verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses und die von den Methoden analysierten Dimensionen. Es gibt bisher noch keine Methode, die die Bewertung der Kosten einer Innovation in den frühen Phasen unterstützt [8].

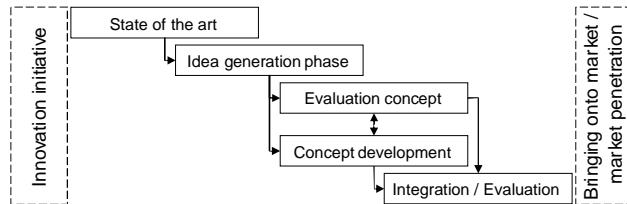
Aufgrund der beschriebenen Notwendigkeit, Innovationen bereits in den frühen Phasen des Innovationsprozesses zu bewerten, müssen neue Methoden entwickelt werden. Die im folgenden Kapitel beschriebene Studie wird zum derzeitigen wissenschaftlichen Diskurs beitragen und helfen, den Erfolg zukünftiger Innovationen zu erhöhen.

### **3. BEWERTUNG INNOVATIVER INSTANDHALTUNGSKONZEPTE**

Die dargestellten Grundlagen des Innovationsmanagements und der Kostenbewertung bilden die Basis für das folgende Design eines Innovationsprozesses für zukünftige Luftfahrttechnologien sowie für die Modellierung von Instandhaltungskosten und -nutzen.

### **3.1. Design des Innovationsprozesses**

Der Innovationsprozess ist anhand von allgemeinen theoretischen Modellen entworfen worden [9, 10, 11]. Das Ergebnis ist ein projektspezifisches Innovationsschema, das den Ablauf und den Aufwand in fünf technische Prozessschritte unterteilt (vgl. BILD 4).

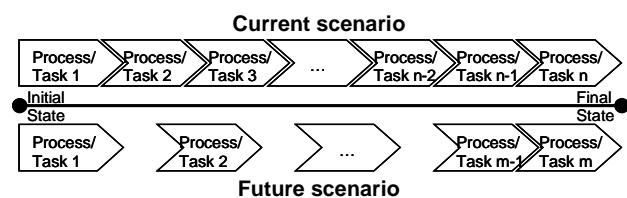


## BILD 4. Innovationsprozess

### **3.2. Technische Herangehensweise der Kosten-Nutzen-Analyse**

Innerhalb dieses Prozesses werden das Konzept und die Methodik entwickelt, wie die Kosten-Nutzen-Analyse als Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt wird. Für eine Investitionsentscheidung vergleicht die klassische Kosten-Nutzen-Analyse (cost benefit analysis – CBA) zusätzliche Kosten dieser Investition mit ihrem höheren Nutzen. Um Kosten und Nutzen einer neuen Technologie zu messen, wird der zukünftige Anwendungsfall mit dem Heutigen als Referenzdienenden verglichen.

BILD 5 skizziert die Prozessschritte zwischen einem gemeinsamen Anfangs- und Endpunkt des derzeitigen und des zukünftigen Anwendungsfalls, dem sogenannten Szenario. Um eine höhere Profitabilität des zukünftigen Szenarios zu gewährleisten, sollten die eingesetzten Ressourcen (z.B. Mannstunden, Material, etc.), die Prozessschritte oder die Ereignishäufigkeit geringer als im derzeitigen Szenario ausfallen.



## BILD 5. Vergleich von gegenwärtigem und zukünftigem Szenario

Somit beurteilt das CBA-Tool zukünftige Technologien nicht direkt, sondern indirekt über die Bewertung verschiedener Instandhaltungs-Szenarien, in denen die Technologie angewendet wird. Ein Szenario beinhaltet alle (Wartungs-)Aufgaben von einem ersten unbekannten Fehlerstatus bis zu einem finalen bekannten reparierten

- Status. In TAB 1 ist ein Beispiel dafür dargestellt, wie innovative Technologie die Prozessschritte und -aufgaben zukünftig verändern kann.

- Pilot entdeckt Anomalie
  - Protokolliert dies
  - Flugzeug landet
  - Boden Crew liest das Wartungs-Log
  - Boden Crew diagnostiziert Anomalie
  - Bereitet sich auf Behebung vor
  - Sucht relevante Handbücher, Werkzeuge, Teile usw.
  - Anomalie wird behoben  
  - System entdeckt Anomalie
  - Diagnose während des Fluges
  - Daten/Informationen werden zum Boden übertragen
  - Weitere Analyse am Boden, falls nötig
  - System identifiziert und sammelt Aufgaben, Werkzeuge und Teile
  - Flugzeug landet
  - Anomalie wird behoben

TAB 1. Veränderte zukünftige Prozessschritte aufgrund innovativer Technologie (Beispiel)

Der Anwendungsbereich der CBA ist die Evaluierung des Einflusses zukünftiger Technologien auf nur die Kostenkomponenten im Lebenszyklus, die sich aufgrund geänderter Instandhaltungsmaßnahmen verändern. Diese Kostenkomponenten werden im folgenden Kapitel als instandhaltungsabhängige Kosten (maintenance-related cost – MrC) definiert.

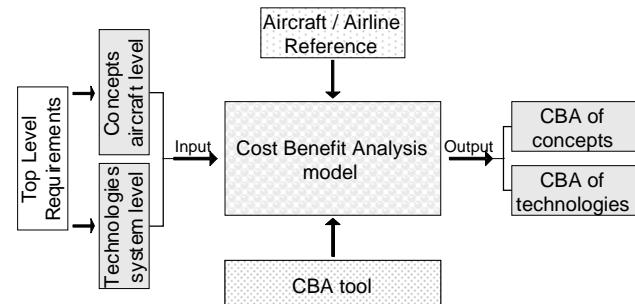


BILD 6. Gesamtprozess der CBA mit CBA-Tool und Referenzflugzeugmodell

Der Gesamtprozess der Kosten-Nutzen-Analyse besteht aus dem CBA-Modell und dem Rechenwerkzeug, welches Daten aus den Szenario-Beschreibungen verwendet, sowie aus dem Referenzmodell der Flugzeug- und der Fluggesellschaftsprofile, um konzeptgetriebene Betriebsparameter in dem Modell zu integrieren und so eine vergleichende Kosten-Nutzen-Analyse zu ermöglichen (vgl. BILD 6).

### **3.3. Instandhaltungsabhängige Kosten**

Diese Studie konzentriert sich auf die Bewertung zukünftiger Instandhaltungstechnologien mittels der Evaluierung ihrer Einsatzszenarien. Die Evaluierung bezieht alle Elemente der Betriebskosten eines Betreibers ein, die von der Flugzeuginstandhaltung beeinflusst werden. Diese Kostenelemente werden als instandhaltungsabhängige Kosten (maintenance-related cost – MrC) definiert.

Die Gesamtbetriebskosten einer Fluggesellschaft (vgl. BILD 7) werden unterteilt in direkte Betriebskosten (direct operating cost – DOC) und indirekte Betriebskosten (indirect operating cost – IOC). DOC sind Kosten, die dem Flugzeug zuzuordnen sind, während IOC durch den generellen Betrieb der Fluggesellschaft entstehen.

Direkte Betriebskosten resultieren aus dem Flugbetrieb, z.B. Kosten für Kerosin, Besatzung, Instandhaltung, Versicherung und Abschreibungen. Indirekte Betriebskosten sind all diejenigen, die nicht als DOC betrachtet werden, die aber zu den Gesamtbetriebskosten des Flugzeuges beitragen, wie beispielsweise Verwaltung und Finanzen, Passagierservice, Marketing und Abfertigungsaufgaben [12]. Die IOC können nicht genau geschätzt werden, da sie für jeden Käufer eines Flugzeugs anders ausfallen.

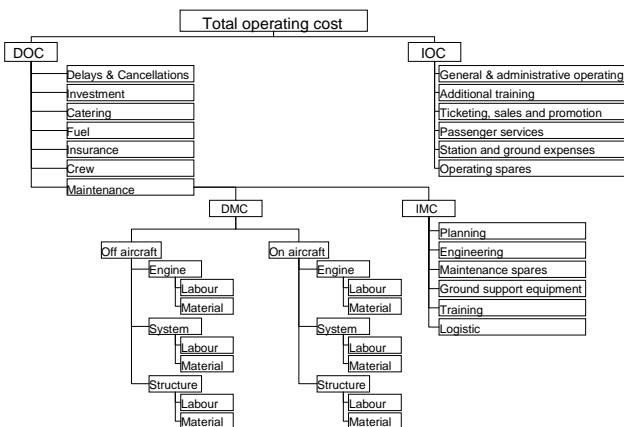


BILD 7. Kostenkapitel der Gesamtbetriebskosten

Instandhaltungskosten als Teil der DOC bestehen aus indirekten Instandhaltungskosten (indirect maintenance costs – IMC) und direkten Instandhaltungskosten (direct maintenance costs – DMC). Indirekte Instandhaltungskosten sind im Wesentlichen Instandhaltungspersonal- und -materialkosten, die nicht als DMC betrachtet werden, die aber zu den Instandhaltungsgesamtprogrammkosten über Kosten für Verwaltung, Leitung, Konstruktion, Bestandsführung, Überwachung, Werkzeugausstattung, Testgerät, Gebäude usw. beitragen. Direkte Instandhaltungskosten bezeichnen die Instandhaltungspersonal- und -materialkosten, welche direkt bei der Instandhaltung einer Einheit oder eines Flugzeuges anfallen [12]. Um die unterschiedlichen Entstehungen zu erfassen, werden die direkten Instandhaltungskosten in zwei Kategorien unterteilt: am Flugzeug (on-aircraft) und außerhalb des Flugzeugs (off-aircraft) DMC. So stammen die DMC aus den Instandhaltungspersonal- und -materialkosten, die bei Flugzeugsystemen, Triebwerken und Strukturen geplant und/oder ungeplant anfallen, um das Flugzeug in einem betriebstüchtigen Zustand zu halten.

Aufgrund der Komplexität der Gesamtheit der Kosten einer Investition, die über ihren kompletten Lebenszyklus hinweg anfallen, fließen nur die instandhaltungsabhängigen Kostenelemente (MrC) in die Evaluierung ein. Der Schwerpunkt der CBA liegt dabei auf den Kostenelementen, die sich ändern können, wenn sich durch den Einsatz neuer Technologien Instandhaltungskonzepte ändern.

### 3.4. Instandhaltungskostenmodell

Das CBA-Modell wurde entworfen, um den Einfluss derzeitiger und zukünftiger Instandhaltungsszenarien auf die MrC-Elemente zu bewerten, diese unabhängig voneinander zu vergleichen und ihren Nutzen zu messen. Das Modell beschreibt jedes MrC-Kapitel und bietet einen

mathematischen Algorithmus mit den benötigten Parametern. Es besteht aus zwei Teilen: Den einen bildet das quantitative Modell zur Berechnung der DMC. Dieses enthält mathematische Algorithmen für die Schätzung der MrC-Elemente. Der andere Teil des Modells besteht aus überwiegend qualitativen Modellen bzw. Algorithmen, um den Einfluss auf die indirekten Instandhaltungskosten zu messen. Je nach Datenverfügbarkeit eines Szenarios wird ein spezifisches Kostenkapitel mit dem einen oder dem anderen Modell berechnet. Da die Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb des Lebenszyklus auftreten, müssen sie zu einem bestimmten Zeitpunkt verglichen werden. Dafür wird ein Referenzdatum  $t_0$  definiert.

Die on-aircraft DMC (Gleichung (1)) sind die Summe aus Personal- und Materialkosten für Triebwerke, Strukturen und Systeme für Arbeiten am Flugzeug. Der Algorithmus zur Kostenermittlung beispielsweise der on-aircraft DMC des Personals für die Triebwerksinstandhaltung ( $C_{On,Engine,Lab}$ , in US\$/Flugstunde) ist Teil des Kostenmodells „Labour (Engine)“, welches die Kosten für die Instandhaltungsarbeit und ihre Häufigkeit beschreibt.

$$(1) \quad C_{On,EngineLab} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{skill_i, MH} \cdot \frac{t_{task, MH}}{Eff_{skill_j}}}{\sum_{k=1}^o t_{blk}}$$

with  $i=task, j=skill level, k=flights per year$

Die qualitativen Kostenmodelle werden genauso berechnet wie die quantitativen, wenn genaue Daten für die Parameter vorliegen. Andernfalls (dies betrifft die meisten Fälle) müssen die Werte der Parameter abgeschätzt werden. Dazu werden verschiedene statistische Näherungsmethoden verwendet. Im ungünstigsten Fall liegt jedoch nicht einmal abgeschätztes Datenmaterial vor. In diesem Fall ist eine wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtung nicht anwendbar, so dass eine Trendschatzung vorgenommen wird.

Da nur wenige reale Parameterwerte und Daten für die Kosten-Nutzen-Analyse vorliegen, müssen diese estmiert werden. Eine Möglichkeit für die Kostenanalyse ist eine Näherung mittels eines Werkzeugs zur probabilistischen Kostenabschätzung. Die Qualität der Ergebnisse hängt dabei von der Qualität der angenommenen Parameterwerte ab. Das Werkzeug ermöglicht es dem Analysten, über Wahrscheinlichkeitsrechnung mit unsicheren Kostendaten zu arbeiten. Unsichere Informationen können beispielsweise aus einer Dreiecksverteilung (vgl. BILD 8) abgeleitet werden.

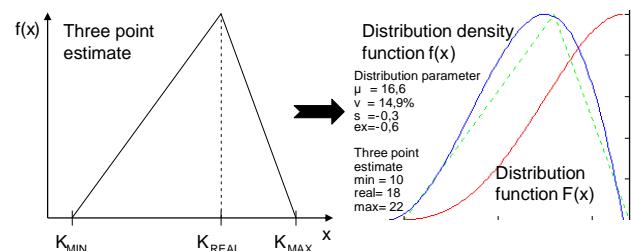


BILD 8. Dreiecksschätzung, Verteilungsfunktion  $F(x)$  und Verteilungsdichtefunktion  $f(x)$

Zur Bestimmung der Verteilung werden drei Parameter geschätzt: Der minimale ( $K_{MIN}$ ), der wahrscheinliche/ziemlich sichere ( $K_{REAL}$ ) und der maximale ( $K_{MAX}$ ) Wert. Der Verlauf der Werte ist linear und wird in drei Teile mit den folgenden Gleichungen unterteilt [13]:

$$(2) \quad \text{für } K_{MIN} \leq x \leq K_{REAL} : \quad f(x) = \frac{2 \cdot (x - K_{MIN})}{(K_{MAX} - K_{MIN}) \cdot (K_{REAL} - K_{MIN})}$$

$$(3) \quad \text{für } K_{REAL} < x \leq K_{MAX} : \quad f(x) = \frac{2 \cdot (K_{MAX} - x)}{(K_{MAX} - K_{MIN}) \cdot (K_{MAX} - K_{REAL})}$$

$$(4) \quad \text{für } x < K_{MIN} \text{ und } x > K_{MAX} : \quad f(x) = 0$$

Mit diesen Daten können der Erwartungswert ( $\mu$ ), die Varianz ( $\sigma^2$ ), die Schiefe ( $s$ ) und die Kurtosis ( $ex$ ) berechnet werden. Der Erwartungswert  $\mu$  (Gleichung (5)) der Dreiecksverteilung errechnet sich aus dem arithmetischen Mittel der drei Einflussgrößen:

$$(5) \quad \mu = \frac{(K_{MIN} + K_{REAL} + K_{MAX})}{3}$$

Die Abweichung  $\sigma^2$  errechnet sich wie folgt:

$$(6) \quad \sigma^2 = \frac{(K_{MAX} - K_{MIN})^2 + (K_{REAL} - K_{MIN}) \cdot (K_{REAL} - K_{MAX})}{18}$$

Die so geschätzten Verteilungen können wiederum mit anderen Verteilungen mathematisch verknüpft werden, woraus sich eine weitere Beta-Verteilung ergibt. Neben der Bestimmung von erwarteten Kosten besteht die Möglichkeit, Chancen und Risiken mittels einer Sensitivitätsanalyse darzustellen.

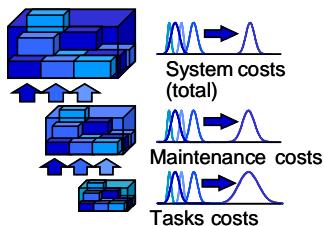


BILD 9. Konsolidierungseffekt – Genauigkeitserhöhung

Trotz der teilweise hohen Unsicherheiten bezüglich der Kosten auf der Aufgabenebene ist der Bereich der vorhergesagten Gesamtkosten auf der Systemebene relativ genau. Die Aggregation von probabilistischen Daten resultiert also in einer Zunahme der Genauigkeit des Ergebnisses [14]. Diesen stochastischen Konsolidierungseffekt skizziert BILD 9 durch Verteilungen mit geringeren Varianzen auf den verschiedenen Ebenen.

### 3.4.1. Modellinput: Betriebsparameter

Den hauptsächlichen Input des Kosten-Nutzen-Modells bilden die Daten der verschiedenen Szenarien. Jedes Szenario wird dahingehend untersucht, ob dieses ein bestimmtes Kostenkapitel der Betriebskosten beeinflusst oder nicht. Im Falle einer Beeinflussung muss der dadurch geänderte Kostenbetrag berechnet werden. Dabei werden die spezifischen Eigenschaften von

verschiedenen Starr- und Drehflüglertypen und Fluggesellschaftsprofilen berücksichtigt, um die MrC adäquat zu schätzen. Ein bestimmtes Szenario könnte beispielsweise für ein Kurzstreckenflugzeug profitabel sein, aber unprofitabel für ein Langstreckenflugzeug. Diese Diskrepanz der Instandhaltungskosten von Helikoptern und Flugzeugen kann noch weitaus größer ausfallen. Daher wird für die CBA eine repräsentative Reihe von Referenz-Flugzeugen modelliert, um betriebskonzeptbezogene Parameter zu erhalten. Die relevanten Modellparameter werden in einer multidimensionalen Datenbank abgelegt. Abhängig des zu analysierenden Szenarios greift das CBA-Modell auf spezifische Betriebsparameter zu. Diese Parameter werden unterteilt in:

- Technische Parameter
- Unternehmensspezifische Parameter

Das Modell der technischen Parameter enthält spezifische Starr- und Drehflügler Parameter. Die relevanten konkreten Attribute definieren bestimmte Referenzflugzeug- und -fluggesellschaftsprofile. Die Parameter, ihre Werte und Einheiten werden für jeden Flugzeugtyp (Kurz-/Langstrecke, Helikopter) in der oben genannten Datenbank abgelegt. Die Parameter werden für jeden Typ (zum Beispiel A310, A300, Single Aisle, A380) sowohl individuell als auch als Durchschnittswert angegeben.

Dem spezifischen Parametermodell für das betreibende Unternehmen wird der Einfluss der Fluggesellschaftsstrategie auf die Instandhaltungsabläufe und -kosten hinterlegt. Dafür werden spezifische Fluggesellschaftsprofile erstellt und mit definierten typischen Flotten- und Kostenparametern in die Datenbank aufgenommen.

Verschiedene Fluggesellschaften weltweit verfolgen unterschiedliche Strategien, d.h.:

- Premium: Lufthansa, Air France, ...
- Charter: Condor, HLX, ...
- Low-Budget: Ryanair, Easy Jet, ...
- Fracht: DHL, TNT, UPS, FedEx, ...
- Kleinere Fluggesellschaften: Aeroflot, Lauda Air, ...
- Regionale Fluggesellschaften: Airlinair, Eurowings, ...

Den verschiedenen Fluggesellschaftsprofilen sind unterschiedliche Betriebsparameter zugeordnet. Eine Premium-Fluggesellschaft rüstet ihr Flugzeug mit weniger Sitzen aus (höheren Passagierkomfort) als eine Low-Budget-Fluggesellschaft.

Die relationale Datenbank verknüpft die verschiedenen Fluggesellschaftsprofile mit den technischen Parametern der verschiedenen Flugzeugtypen. Diese Parameterverbindung bildet den notwendigen Input für das CBA-Modell: Wenn beispielsweise ein bestimmtes Szenario für eine Premium-Fluggesellschaft mit Langstreckenflugzeugen erstellt wird, verbindet die Datenbank nur die korrespondierenden Parameter und fügt sie in das CBA-Modell ein. Das CBA-Modell greift auf die für diese Konstellation definierten Parameter zu und kalkuliert die MrC sowie den Nutzen dieses spezifischen Szenarios. Dieses Vorgehen ermöglicht die Kostenbewertung für jedes Szenario mit einem bestimmten Flugzeugtyp, genutzt von einer bestimmten Fluggesellschaft.

### 3.4.2. Modelloutput

In diesem Kapitel wird ein Konzept für die Ergebnispräsentation und die Visualisierung der Leistung verschiedener Szenarien beschrieben.

Der Output des CBA-Modells wird zur Technologiebewertung und –validierung verwendet. Das heißt, die aus dem Modell gewonnenen Informationen zeigen, welches der Szenarien profitabler bzw. nutzbringender ist. Somit unterstützt das Modell die Entscheidung, welcher profitable Instandhaltungsprozess und/oder welche Technologie weiter untersucht werden sollte und welche keinen Erfolg verspricht.

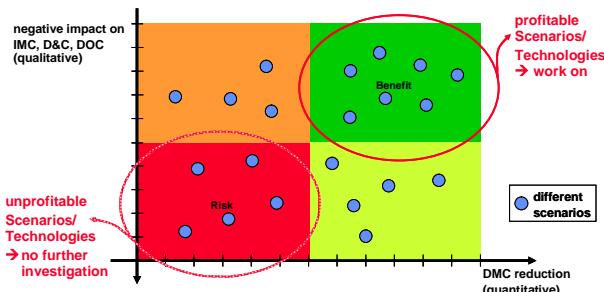


BILD 10. Risiken-Nutzen-Portfolio

Um eine erste Zwischenlösung zu visualisieren, ist eine Rangliste der profitablen Szenarien in einem Kosten-Nutzen-Portfolio denkbar (vgl. BILD 10). Es stellt DMC-Reduktionsmöglichkeit dem negativen Einfluss auf die MrC gegenüber. So werden unprofitable Szenarien (unterer linker Quadrant) optisch von Profitablen (oberer rechter Quadrant) abgegrenzt und nur in letztere wird weiter investiert.

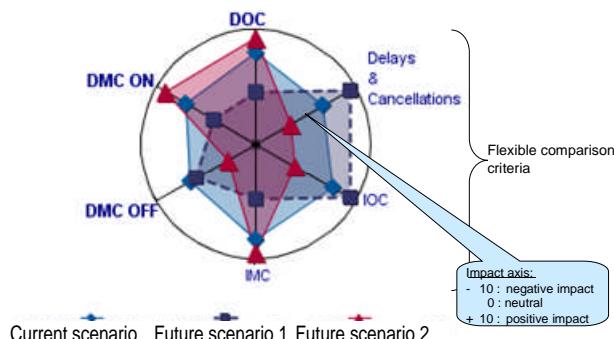


BILD 11. Radar – Visualisierung des CBA-Ergebnisses

Das Radar (vgl. BILD 11) ist ein weitere Weg die CBA-Ergebnisse zu visualisieren. Es ermöglicht die flexible Darstellung der Szenarioperformance unter Verwendung unterschiedlicher Vergleichskriterien (z.B. Kostenkapitel).

## 4. TECHNOLOGIEBEWERTUNGSTOOL

Die Bewertung der Szenarien soll von einem Tool ausgeführt werden, welches das zuvor definierte CBA-Modell unterstützt. Dieses Kosten-Nutzen-Analyse-Tool liefert das Maß des Einflusses der Technologien auf den Instandhaltungsprozess.

### 4.1. Toolanforderungen

Das Tool soll das vorgestellte Kosten-Nutzen-Analysemodell unterstützen. Die Anforderungen beziehen sich auf die Nutzung des CBA-Tools und bilden die Basis des Toolauswahlprozesses. Die folgenden Themengebiete wurden für den Anforderungskatalog untersucht:

- Die Erfassung der Anforderungen der verschiedenen Partner und ihrer Aktivitäten in Bezug auf die Kosten-Nutzen-Analyse
- Die Definition globaler Ziele (Kostenreduktion, Nutzbarkeit, Zuverlässigkeit, Verbesserung usw.) der Kosten-Nutzen-Analyse anhand der Projektziele sowie derzeitiger und zukünftiger Instandhaltungsszenarien
- Die Untersuchung vorhandener Kosten-Nutzen-Modelle, -Tools, und -Herangehensweisen

Die Untersuchung ergibt einen Anforderungskatalog, der wie folgt unterteilt werden kann in:

- Top-Level-Anforderungen, gebunden an globale Projektziele, Prozesse usw.
  - Unterstützung des gesamten CBA-Prozesses
  - Angemessenheit für vorgesehenen Einsatz
  - Beinhaltung der Modelle und Algorithmen zur Unterstützung des Bewertungskonzeptes
- Funktionale Anforderungen, gebunden an die Haupt-CBA-Funktionen
  - Datenimportmöglichkeiten für verschiedene Instandhaltungskonzepte, Flugzeugtypen, Fluggesellschaften, ökonomische Parameter usw.
  - Kalkulation der MrC mittels Sensitivitätsanalyse, statistische und stochastische Methoden sowie mathematische Algorithmen
  - Speicherung der Analyseergebnisse
  - Exportmöglichkeit der Analyseergebnisse in verschieden Formate
  - Schnittstellenanforderungen
  - Technische Anforderungen
  - Kostenanforderungen

### 4.2. Tool-Design

Das CBA-Tool ist für die Nutzung auf Standard-PC Hardware entwickelt worden. Als Betriebssystem kann Windows® 98 oder höher eingesetzt werden. Unsicherheiten und stochastische Verteilungen werden mit einem Softwaresystem modelliert, welches Methoden für die Analyse risikoreicher Situationen enthält: z.B. @Risk®.

BILD 12 skizziert das technische Design des CBA-Tools. Die Szenario-Daten werden über die graphische Benutzeroberfläche (GUI) eingegeben oder aus der Datenbank mit Flugzeug-, Fluggesellschafts- und wirtschaftlichen Daten gelesen. Zusätzlich ist der Kalkulator mit einem probabilistischen Modul verbunden. Der Output wird über ein anderes GUI ausgegeben und kann je nach unterschiedlichen Zielsetzungen analysiert werden.

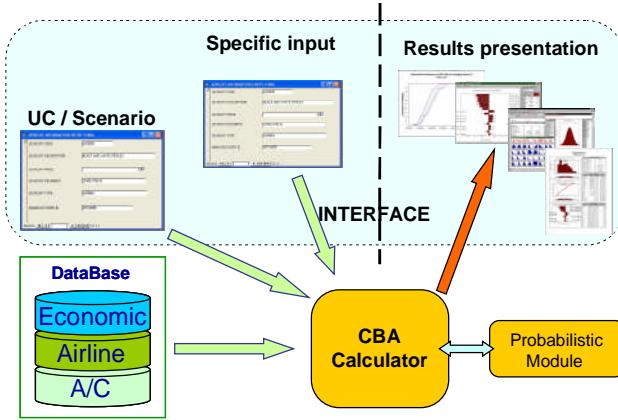


BILD 12. Technisches Design des CBA-Tools

In BILD 13 ist ein GUI-Screenshot der Beta-Version zu sehen, auf dem der 'General Data'-Reiter und die Auswahlmöglichkeiten verschiedener Flugzeugtypen, Szenarioregionen und Betreiberprofile dargestellt sind.

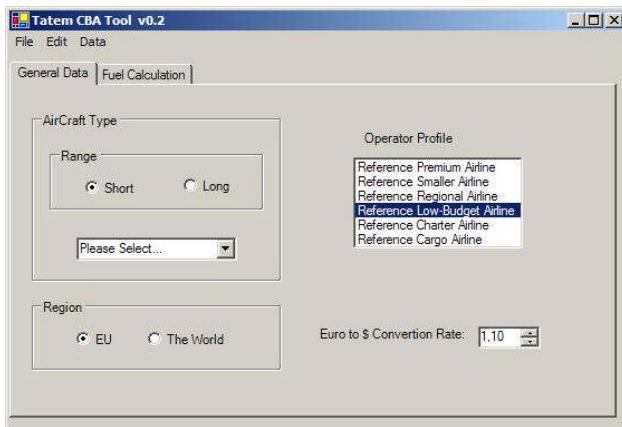


BILD 13. GUI des CBA-Tools (Screenshot)

## 5. ANWENDUNG

Aus der Notwendigkeit heraus, die Instandhaltungskosten bis zu dem Punkt zu reduzieren, an dem die Fluggesellschaftsbetriebskosten um bis zu 50% reduziert werden können, bei gleichzeitig zunehmender Reife der Flugzeuge und Flugzeugsysteme, wurde das europäische Forschungsprojekt TATEM im März 2004 begonnen. In TATEM werden 'Technologies And Techniques for nEW Maintenance Concepts' untersucht [1]. Das Vier-Jahres, 40 Mio. Euro Projekt wurde von der Europäischen Union innerhalb des sechsten Europäischen Rahmenforschungsprogramms eingerichtet und vereint ein Konsortium aus 58 Unternehmen aus 12 europäischen Ländern, Israel und Australien. Basierend auf dem Wissen, dass die Flugzeuginstandhaltung ein kostspieliges Unterfangen ist, welches bis zu 20% der direkten Betriebskosten betragen kann, soll das Projekt Methoden zur Instandhaltungskostenreduzierung für Starr- und Drehflügler entwickeln. Das Projektziel ist dabei die Sicherung der Konkurrenzfähigkeit der europäischen Luftfahrt in den Bereichen Design, Unterstützung und Betrieb von derzeitigen und zukünftigen Flugzeugen und Flugzeugsystemen auf dem globalen Markt. Dieses Ziel wird über die Validierung von Technologien und Techniken, die ungeplante Instandhaltungsarbeiten in

geplante Instandhaltung wandeln können und die Instandhaltung effizienter und effektiver machen, umgesetzt. Das TATEM-Projekt entwickelt Instandhaltungsphilosophien, -technologien und -techniken zur Entwicklung neuer Ansätze in der Instandhaltung von Flugzeugstrukturen, Avionik, Anlagen, Fahrwerk und Triebwerken. Es werden dabei alle Aspekte der Wartung am Flugzeug und außerhalb des Flugzeugs untersucht. Zusätzlich werden wartungsfreie Avionik, signalverarbeitende Techniken, neuartige Sensortechnologie an Bord, Diagnose- und Prognosemethoden, entscheidungsunterstützende Techniken und Mensch-Maschine-Schnittstellen-technologie bewertet.

Um die Leistung des Projektes bezüglich dieser Ziele zu bewerten, wird eine bestimmte CBA diese High-Level-Anforderungen in spezifische Technologieziele umsetzen, so dass die Ergebnisse bewertet werden können.

## 5.1. Innovationsprozess

Der in Kapitel 2.1 beschriebene Innovationsprozess wird an die TATEM-Projektforderungen angepasst. Um die Aufgaben der verschiedenen Projektpartner zu strukturieren, wird die Arbeit auf sieben technische und zwei organisatorische Arbeitspakete (WP) aufgeteilt (vgl. BILD 14).

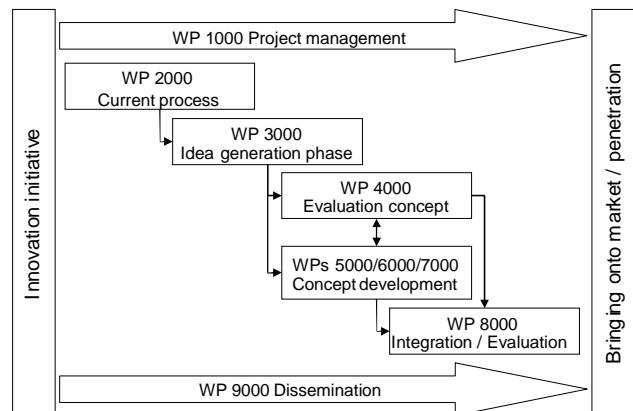


BILD 14. Innovationsprozess im TATEM-Projekt

Die zwei begleitenden Arbeitspakete, das Projektmanagement (WP1000) und die Verbreitung (WP9000) leiten den gesamten Innovationsprozess. Die Innovationsinitiativphase und die Markteinführungsphase sind nicht direkte Teile des Projektes, werden aber der Vollständigkeit halber dargestellt.

## 5.2. CBA-Prozess

Der CBA-Prozess ist an die Projektforderungen angepasst (vgl. BILD 15). Unter Berücksichtigung der Top-Level-Anforderungen werden die Ideen der Partner für zukünftige Instandhaltungsszenarien in einem Bottom-Up-Prozess entwickelt. Ideen, die sich auf ein spezifisches technisches Gebiet beziehen (Triebwerke, Fahrwerk, Struktur, Systeme, Ground-Crew-Prozesse), werden in die Kategorie Domain Specific Scenario (DSS) eingeordnet. Ideen zum Flugzeug, zur Flotte oder Bereichsübergreifende werden als Aircraft Level Scenario (ALS) eingeordnet. Während dieses Bottom-Up-Prozesses werden gleichzeitig Top-Level-

Instandhaltungsszenarien, die sogenannten Integrated Aircraft Level Scenarios (IALS) in einem Top-Down-Prozess definiert. Diese IALS bilden extreme Instandhaltungsszenarien, die als unrealistisch oder langfristig (in über 20 Jahren) kaum erreichbar beschrieben werden, und zeigen damit das Äußerste, was in einer Instandhaltungssituation geschehen könnte. Die DSS werden in Use Cases (UC) zusammengefasst. Die IALS und UC bilden den Input für das CBA-Modell des WP4000. Diese IALS und UC erhöhen den Bedarf an spezifischen Daten, welche in WP 5000, 6000 oder 7000 (abhängig von IALS/UC) in der Form IALS-/UC-spezifischer Parameter geliefert werden müssen.

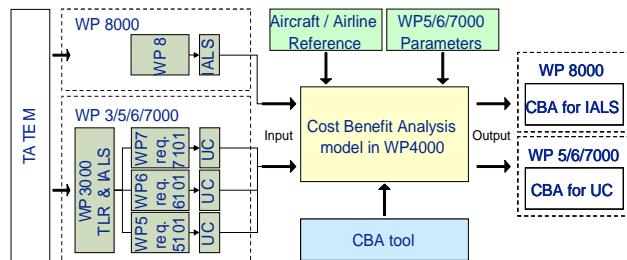


BILD 15.CBA-Gesamtprozess mit CBA-Modell, Referenzflugzeugtypenmodell und Input aus den WPs

Das CBA-Modell nutzt Daten des Referenzflugzeug-/Fluggesellschaftsmodells, um eine vergleichende Kosten-Nutzen-Analyse mit betriebskonzeptbezogenen Parametern durchzuführen. Es enthält eine repräsentative Reihe von Referenzflugzeugen (Kurz-/Langstrecke, Helikopter) und relevante Parameter des Fluggesellschaftsmodells. In WP4000 zeigte sich eine hohe Sensitivität in Bezug auf den Datenaustausch mit den OEM und Fluggesellschaften. Dies bedeutet, dass im Fall nicht zugänglicher realer Daten eine "virtuelle" Flotte mit geschätzten Parametern verwendet werden muss.

Neben den Use-Case-Beschreibungen sind zusätzliche Use-Case-spezifische (Kosten-) Daten erforderlich. Derzeitig sind solche detaillierten Inputdaten noch nicht in den spezifischen Use-Case-Beschreibungen enthalten. Aus diesem Grund spezifiziert WP4000 Anforderungen an den Dateninput für das WP5/6/7000.

## 6. AUSBLICK

Die Forschung beschäftigt sich derzeitig mit der Methodenentwicklung für die Unterstützung des WP5/6/7000-Technologiebewertungsprozesses. Die Akzeptanzkriterien beinhalten den notwendigen Anpassungsgrad und die Möglichkeit, dies mit den zugewiesenen Mitteln zu erreichen. Weitere Studien befassen sich mit der Sammlung, Validierung und Verifikation bestimmter Parameter.

Das CBA-Tool soll die Kosten-Nutzen-Analyse unterstützen, um die Evaluierung zukünftiger Technologien und des Gesamtprojektnutzens unter Einbeziehung der genannten Anforderungen zu ermöglichen.

## 7. LITERATUR

- [1] TATEM internal report, EC contract 502909
- [2] C. Herstatt, B. Verworn, Innovation process model and their evolution Innovation. in: Probert et alii: Bringing Technology Management to Board Level, Palgrave McMillan, 2003
- [3] C. Herstatt, B. Verworn, The fuzzy front end of innovation. Arbeitspapier Nr. 4, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2002
- [4] R. G. Cooper, E. J. Kleinschmidt, Screening new products for potential winners. Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE engineering management review 22 (1994) 4: 24-30
- [5] E. von Hippel, Wettbewerbsfaktor Zeit, Moderne Industrie. 1993
- [6] St. C. Wheelwright, K. B. Clark, Creating project plans to focus product development. in: Harvard business review, - Boston, Mass. - 70. 1992, Nr. 2. S. 70 – 82
- [7] B. S. Blanchard, Logistics Engineering and Management. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2004
- [8] T. Neff, Front Load Costing - Produktkostenmanagement auf Basis unvollkommener Information. Wiesbaden 2002
- [9] C. Herstatt, B. Verworn, Management der frühen Innovationsphasen – Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze. Wiesbaden 2003
- [10] S. Seibert, Technisches Management - Innovationsmanagement - Projektmanagement – Qualitätsmanagement. Stuttgart Leipzig 1998
- [11] D. Vahs, R. Burmester, Innovationsmanagement: Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung. Stuttgart 2002
- [12] Air Transport Association of America, WATOG – World Airlines Technical Operations Glossary. 14th edition, Washington DC 1992
- [13] V. Schultz, Projektkostenschätzung: Kostenermittlung in frühen Phasen von technischen Auftragsprojekten. Wiesbaden 1995
- [14] T. Neff, M. Kokes, Front Load Costing - Produktkostenmanagement auf Basis unvollkommener Information. DaimlerChrysler Forschung, Technischer Bericht FT2/K-1999-006, Frankfurt/M 1999