

# Life Cycle Costing für komplexe Investitionsgüter – Instandhaltungskosten im Lebenszyklus europäischer Bahnstellwerke

Dipl.-Ing. Philipp Stür

Forschungsinstitut für Rationalisierung an der RWTH-Aachen

## 1 Einleitung und Motivation

Unternehmen müssen regelmäßig wichtige Entscheidungen über zukünftige Investitionsprojekte und -optionen treffen. Investitionsentscheidungen werden in erster Linie anhand der Investitionskosten und an zweiter Stelle unter Berücksichtigung der Qualität und der Zuverlässigkeit eines Produktes getroffen. In den meisten Fällen werden bis zu 50% der Kosten über den Lebenszyklus nicht berücksichtigt, da ausschließlich Investitionskosten für die Entscheidungsfindung betrachtet werden (Asiedu & Gu 1998, S. 890; Geißdörfer 2008, S. 1-3).

Die Betrachtung der Lebenszykluskosten (LCC) ist eine Möglichkeit, diese eingeschränkte Perspektive zu erweitern. Dieser Ansatz bietet einen Überblick über die komplette Kostenstruktur eines Produktes während der gesamten Lebensdauer. Die Grundlage der Investitionsentscheidung wird dadurch insofern erweitert, dass auch alle Folgekosten einkalkuliert werden. Die Investition wird dadurch nachhaltig wirtschaftlicher, als eine nur auf den Beschaffungskosten basierende (Barringer 2003, S. 2, Zimmermann 2005, S. 2).

Die europäischen Bahnunternehmen und ihre Lieferanten für Stellwerke haben die Notwendigkeit zur Ermittlung von Lebenszykluskosten in ihrer Industrie erkannt. Bisher sind Erfahrungen bei der Bestimmung von LCC in diesem Bereich nur rudimentär vorhanden. Aufgrund ihrer hohen Komplexität sind die Lebenszykluskosten für Stellwerke nicht durch herkömmliche Ansätze zu ermitteln. Deshalb hat das Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) an der RWTH Aachen zusammen mit Experten aus führenden europäischen Bahnunternehmen und den wichtigsten Herstellern von Bahnstellwerken ein LCC-Modell zur Ermittlung der Lebenszykluskosten von komplexen Investitionsgütern entwickelt. Das auf der DIN EN 60303-3-3 basierende LCC-Modell wird in Kapitel 2 beschrieben. Im Rahmen des von der EU geförderten Forschungsprojektes INESS (Integrated European Signalling System) wurde dieses Modell in einem europaweiten LCC-Vergleich validiert.

Bahnstellwerke haben eine Lebensdauer von mehr als 50 Jahren. Aus diesem Grund sind die Lebenszykluskosten von großer Bedeutung, denn 60% - 70%

der gesamten Kosten fallen erst nach der Anschaffung an (Analyse im Zuge des INESS Projektes). Mit dem Ziel der Identifikation von Kostentreibern im Lebenszyklus von Stellwerken wurden die LCC von 12 Stellwerksprojekten der teilnehmenden europäischen Unternehmen erfasst. Darauf aufbauend soll ein Geschäfts- und ein Kooperationsmodell zur effizienten Anbindung an fortgeschrittene Technologien (ERTMS) entwickelt werden.

## 2 Entwicklung eines generischen LCC-Modells auf Basis des DIN-Ansatzes

Damit es leicht verständlich und bei der Investitionsentscheidung hilfreich ist, sollte das LCC-Modell möglichst einfach strukturiert sein (DIN EN 60300-3-3, S. 11ff.; Ellram 1994, S. 171ff.). Um dennoch bei der Analyse der Lebenszykluskosten eine möglichst große Transparenz erreichen zu können haben sich hierfür die drei Dimensionen Produktstruktur, Lebenszyklusphasen sowie Kostenarten bewährt. Die Kosten für jede Phase des Lebenszyklus sind so in Kostenelementen darstellbar. Ein Kostenelement ist die Verbindung zwischen der Produktstruktur, der Lebenszyklusphase und der Kostenkategorie. Die Verbindung wird am Besten durch eine dreidimensionale Matrix erreicht, welche die Achsen „Produktstruktur“ (X), „Lebenszyklusphase“ (Y) und Kostenkategorie (Z) beinhaltet (vgl. Abbildung 1). Jedes Kostenelement besteht aus wiederkehrenden und nicht wiederkehrenden Kosten. Die Summe beider definiert den LCC-Anteil eines jeden Kostenelements (Barringer 2003, S. 6, Ellis 2007, S. 3-4). Unter nicht wiederkehrende Kosten können beispielhaft Anschaffungskosten und einmalige Zulassungskosten angeführt werden. Dagegen sind regelmäßige Instandhaltungsarbeiten oder jährliche Sicherheitsprüfungen ein Beispiel für die wiederkehrenden Kosten. Die Art und Anzahl der Kosten ist jedoch abhängig vom betreffenden Anlagegut.

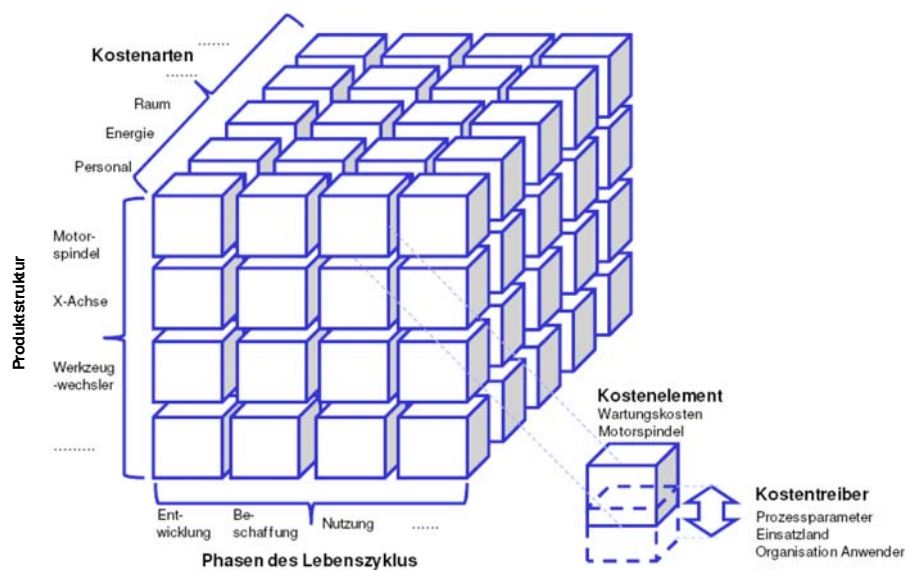
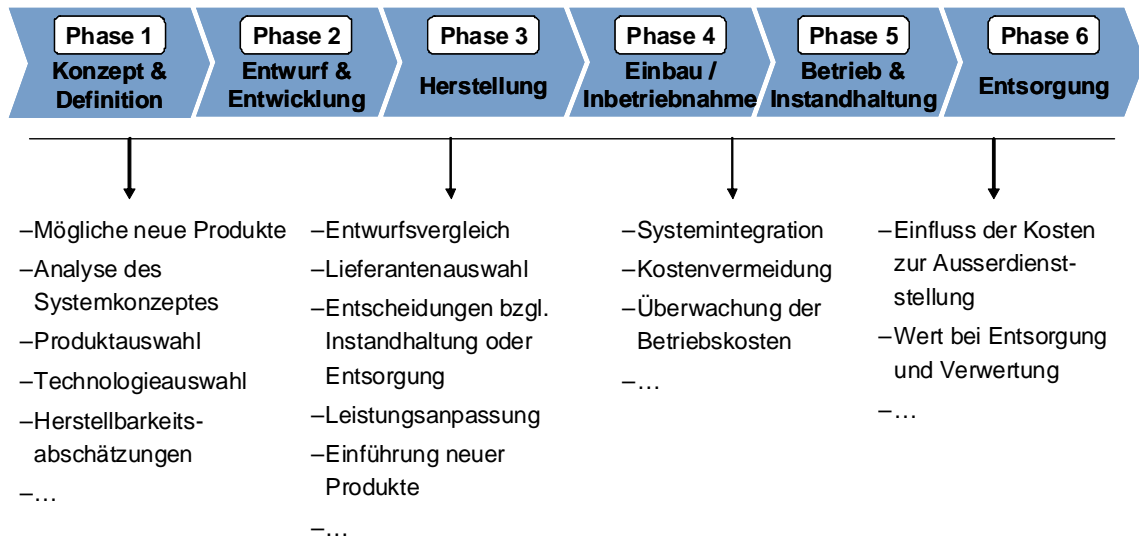


Abbildung 1: Kostenelement als Entität des LCC-Modells

Generell gibt es sechs Hauptphasen im Produktlebenszyklus (PLZ), die den PLZ gemäß DIN EN 60303-3-3 abbilden. Diese sind „Konzept & Definition“, gefolgt von „Entwurf & Entwicklung“, „Herstellung“, „Einbau“, „Betrieb und Instandhaltung“ und zuletzt „Entsorgung“. Zu jeder dieser Phasen gibt es einige relevante Themen, die nach DIN EN 60303-3-3 für die Ermittlung der LCC berücksichtigt werden sollten (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 2: Phasen des Produktlebenszyklus nach DIN**

Die erste Phase des Produktlebenszyklus (PLZ) – „Konzept & Definition“ beschreibt die Schritte um ein Grobkonzept zu entwickeln und ein neues Produkt zu definieren. In dieser Phase wird der Kundenbedarf ermittelt, die Anforderungen an das Produkt spezifiziert und das Projektmanagement initiiert. Im Allgemeinen ist es wichtig die LCC ganz am Anfang des Lebenszyklus eines neuen Produktes zu bestimmen, weil in den meisten Fällen mehr als die Hälfte der gesamten PLZ nach der ersten Phase „Konzept & Definition“ feststehen. Die zweite Phase des PLZ beinhaltet die Entwicklung eines Entwurfs und der detaillierten Produkteigenschaften. Darauf folgen die Phasen drei und vier, „Herstellung“ und „Einbau“. In diesen beiden Phasen erfolgt eine Unterscheidung der erfassten Kosten in einmalige und wiederkehrende Kosten. Bezüglich der Dauer ist die fünfte Phase „Betrieb & Instandhaltung“ am längsten. Das Produkt wird hier betrieben, gewartet, repariert, ergänzt und aktualisiert. Hierfür entstehen nicht unwesentliche Kostenblöcke. In der letzten Phase des PLZ muss das Produkt nach der Verwendung entsorgt werden. In den meisten Projekten zur Erfassung von LCC sind alle bisher genannten Phasen hinsichtlich der entstehenden Kosten berücksichtigt. Die Entsorgung ist allerdings in der LCC Kalkulation oft nicht enthalten, obwohl das Unternehmen – abhängig vom Produkt – für die Entsorgung bezahlen muss bzw. es eventuell für einen viel niedrigeren Preis als die Anschaffungskosten verkaufen kann (DIN EN 2004, S. 7f, Fischer 2001, S. 1-11).

Nach Ellis können die Gesamtkosten aus der Betreiberperspektive in Beschaffungskosten, Betriebskosten und Entsorgungskosten aufgeteilt werden (Ellis 2007, S. 2):

**Beschaffungskosten:** Diese Kostenkategorie ist allgemein vor dem eigentlichen Kauf des Produktes bekannt. Die Kosten der Inbetriebnahme können in einigen Fällen bereits enthalten sein.

**Betriebskosten:** Die Betriebskosten sind meistens die Hauptkostentreiber im gesamten Produktlebenszyklus. Sie sind nicht direkt sichtbar und nur schwer zu schätzen.

**Entsorgungskosten:** Entsorgungskosten können einen großen Teil der gesamten Projektkosten ausmachen, da sie u. U. von geltenden Gesetzen abhängig sind. (Asiedu & Gu 1998, S.889).

## 4 Anwendung des LCC-Modells in der Praxis

Im Zuge des INESS Forschungsprojektes wurde das LCC erstmalig europaweit an Bahnstellwerken als hochgradig komplexen Investitionsgütern angewendet. Die Anwendung des Modells wurde in die drei folgenden Schritte unterteilt:

Schritt 1: Entwicklung eines spezifischen LCC-Modells

Schritt 2: Erfassung der LCC-Daten

Schritt 3: LCC-Datenanalyse

Im ersten Schritt der praktischen Anwendung erfolgte die spezifische Anpassung aller drei LCC-Dimensionen auf diesen Praxisfall. Hauptziel hierbei war es, existierende LCC-Daten der Bahnunternehmen und ihrer zuliefernden Industriepartner in eine Datenbank zu integrieren. Der zweite Schritt beinhaltete die Erfassung der LCC-Daten in den Unternehmen. Qualität und Quantität der Daten standen hier im Vordergrund. Der dritte Schritt umfasste die Auswertung und Analyse der gesammelten Daten mit dem Ziel der Identifikation von Kostentreibern.

### **Schritt 1: Entwicklung eines spezifischen LCC Modells**

Für die Entwicklung des auf Bahnstellwerke angepassten LCC-Modells wurden mit den Experten aus Bahnunternehmen und Zulieferindustrie Workshops zur Bestimmung der Anforderungen an das Modell durchgeführt. Erste Anforderung an das spezifische LCC-Modell war es, die Kostendaten von sechs Bahnunternehmen sowie sechs Zulieferern der Bahnunternehmen erfassen zu können. Hierbei war zu erwarten, dass die ermittelten Daten zu den Stellwerksprojekten der verschiedenen Projektpartner unterschiedliche Qualität und Quantität aufwiesen. Um eine hinreichende Vergleichbarkeit der stellwerksbezogenen Da-

tensätze zu erreichen, wurde zunächst das Betrachtungsobjekt Stellwerk mit all seinen Systemgrenzen beschrieben. Danach erfolgte die Anpassung und Skalierung der Dimensionen des LCC-Modells an die Anforderungen des INESS Projektes. Hierbei stand die Erfassung möglichst detaillierter Daten im Vordergrund, um viele Optionen für die in Schritt 3 vorgesehene Datenanalyse zu eröffnen. Dafür wurden alle drei Dimensionen des LCC-Modells (vgl. *Abbildung 1*) in mehrere Detaillierungsebenen unterteilt.

Zur Anpassung der Dimension „Produktstruktur“ an die INESS Anforderungen wurden mit den Experten zunächst alle kostenrelevanten Elemente von Bahnstellwerken aufgelistet. Danach wurden diese als Produktstruktur in zwei Detaillierungsebenen dargestellt. Die erste Detaillierungsebene besteht aus den 5 Baugruppen (Traffic Control, Core System, Field Elements, Connection to Field Elements, RBC) und die zweite Detaillierungsebene enthält die einzelnen Komponenten der Baugruppen. Als Anhaltspunkt für die Komponenten der Produktstruktur können vorhandene Dokumente wie eine Stückliste hilfreich sein.

Bei der spezifischen Anpassung der Lebenszyklusphasen wurde eine Unterteilung in drei Detaillierungsebenen vorgenommen (siehe *Abbildung 3*). In Zusammenarbeit mit den Fachleuten der Projektpartner wurde die Ebene der Lebenszyklusphasen in 14 Unterphasen der zweiten Detaillierungsebene und 62 Unterphasen der dritten Detaillierungsebene unterteilt. Dies ist speziell für kostenintensive Phasen des Lebenszyklus hilfreich, da die feinere Unterteilung eine bessere Kontrolle der Kostenentstehung und –entwicklung ermöglicht.

1st Level		System Implementation & Integration and Transfer to Operation																																		
2nd Level		Contracting	Project specific planning				System configuration				Installation & Construction			Testing & Approval			Documentation	Additional																		
3rd Level		Interlocking contract	Bid	Contract	Construction contract	Engineering contract	Scheme Plan	Planning	Planning Assessment	System Requirement Specification	System Architecture	Prepare Basic Plans	Prepare documentation for Test, Installation, Commissioning	Product adaption (see Siemens Product)	System Configuration	Configure indoor equipment	Configure outdoor equipment	Configure data for system	Transfer System to destination	Installation	Construction	Data integration test	Provide Infrastructure for Tests	Prepare Process Simulation	Factory Acceptance Tests	Commissioning & Tests	Validation	Assessment and Approval	Site acceptance	Integration test/commissioning	Archiving of documents	Deliverables	Handover	Provide warranty phase	Provide spare parts	Remove failures

**Abbildung 3: LC-Phase „System Implementation“ in drei Detaillierungsstufen**

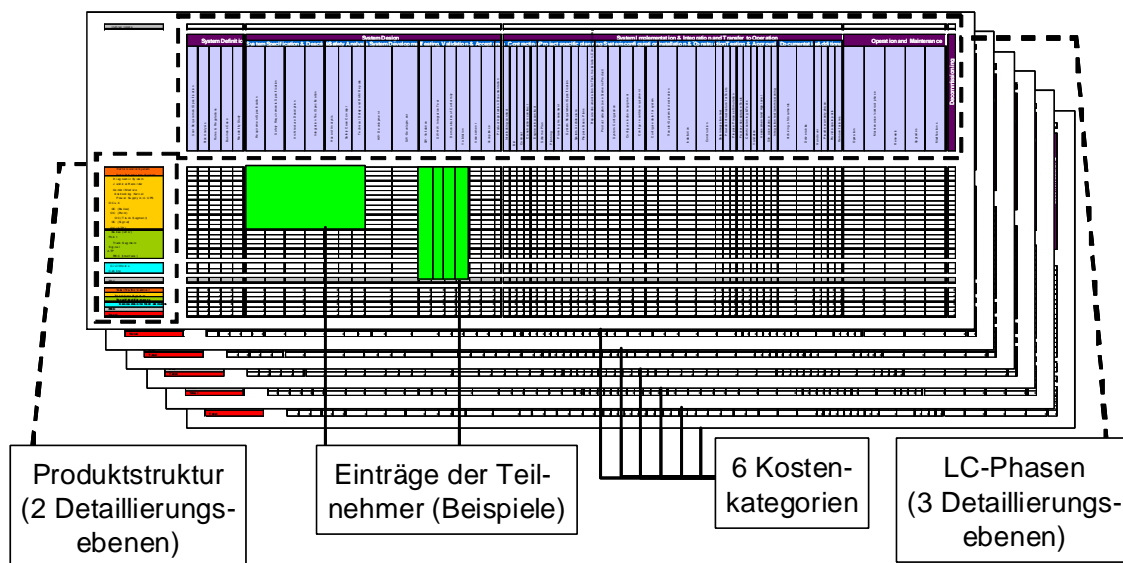
Um die letzte Dimension des speziellen LCC Modells zu definieren, mussten die relevanten Kostenkategorien eines Bahnstellwerkes bestimmt werden. Diese sind: „Material-“, „Equipment-“, „Labour-“, „Energy-“, „Capital-“ and „Service Disruption Costs“. Alle Ausgaben für Rohmaterial, wie Stahl, Kupfer oder Zement können auf Kostenkategorie „Material“ bezogen werden. Einzelne Stellwerkskomponenten werden der Kategorie „Equipment“ zugewiesen. Ausgaben für Instandhaltungs- oder Modernisierungsarbeiten gehören in die Kategorie „Labour Costs“. Kosten für die Finanzierung wie Zinsen oder Gebühren, werden

der Kategorie „Capital“ zugeordnet. Die letzte relevante Kategorie aus Sicht der Fachleute waren Kosten die durch Verzögerungen bei Störungen der Stellwerke entstehen. Diese wurden der Kategorie „Service Disruption Costs“ zugeordnet.

### **Schritt 2: Erfassung der LCC-Daten**

Die Datenerfassung wurde durch Besuche vor Ort bei den Bahnunternehmen und Zulieferern durchgeführt. Um einen effizienten Ablauf zu gewährleisten, hatte jedes Unternehmen zwei Dokumente vorbereitet.

Das erste Dokument, die auf MS Excel basierende LCC-Vorlage, wurde mit Kostendaten der höchstmöglichen Detaillierung ausgefüllt (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4: LCC-Vorlage basierend auf MS Excel**

Als zweites Dokument zur Datenerfassung wurde eine Beschreibung von spezifischen Rahmenbedingungen der Stellwerksprojekte ausgefüllt, um auch Faktoren zu erfassen, die neben den reinen Kostendaten Einfluss auf die Lebenszykluskosten hatten. Die Rahmenbedingungen der Projekte mussten schon in die Auswahl der zu analysierenden Stellwerke einbezogen werden, um keine falschen Schlüsse aus dem Datenvergleich zu ziehen. Relevante Informationen im INESS Kontext waren Projektdauer, -größe, Aufbau des Stellwerkes (zentralisiert/dezentralisiert), Projektstandort (städtisch oder ländlich) und ob es sich dabei um ein Neubau oder Umbauprojekt handelte. Ebenso haben einige Vertragsbestandteile Einfluss auf die LCC. Risikoteilung, Patentrechte, Verantwortlichkeiten für Betriebssicherheit und Betriebsbereitschaft sowie Vertragsstrafen sind nur einige Beispiele für LCC-relevante Rahmenbedingungen.

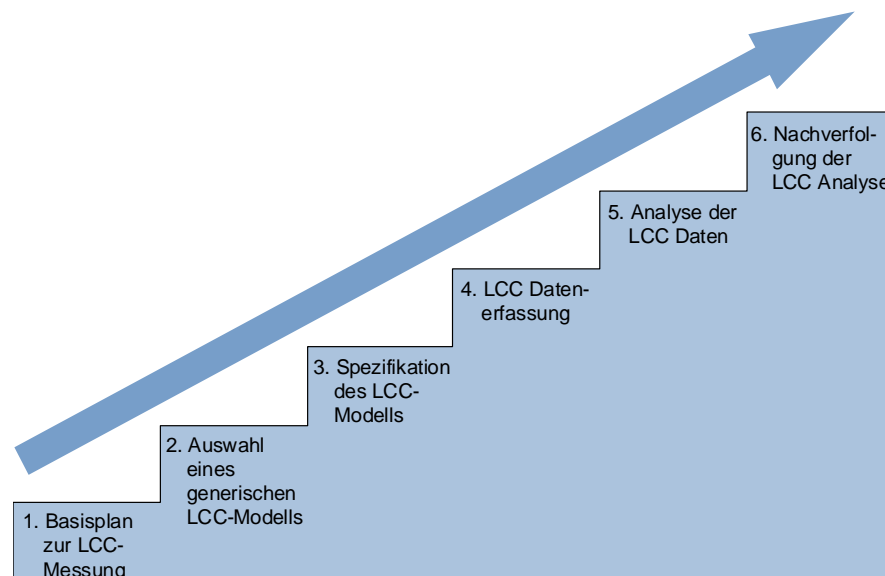
### **Schritt 3: LCC Datenanalyse**

Nach der Datenerfassung wurden die Daten aller Projektpartner zusammengefasst und analysiert. Die Analyseform orientiert sich dabei an den Zielen der

LCC-Datenerfassung. Wie bereits erwähnt lag das Ziel im INESS Kontext auf der Identifikation von Kostentreibern. Diese können in der Produktstruktur, den Lebenszyklusphasen oder den Kostenarten identifizierbar sein. Deshalb müssen die LCC-Datensätze entsprechend den Dimensionen des LCC-Modells geclustert werden. Um Kostentreiber zu ermitteln ist eine Darstellung der Datensätze für jede Dimension in einem Pareto-Diagramm zielführend. Die absteigende Sortierung der Kosten in diesem Diagramm ermöglicht es auf einen Blick die Kostentreiber zu ermitteln. Abhängig von der Menge an Datensätzen kann diese Analyse in der ersten, zweiten oder dritten Detaillierungsstufe der entsprechenden Dimension des LCC-Modells durchgeführt werden. Ein zweites mögliches Ziel einer LCC-Analyse ist es, die Verteilung der Kosten über den kompletten Lebenszyklus zu visualisieren. Dafür sind sehr detaillierte Datensätze in Bezug auf die Lebenszyklusphasen notwendig. Die Kosten werden in einem Graphen über der Zeit dargestellt. Eine solche LCC-Analyse wird als Entscheidungsvorlage verwendet, um verschiedene Investitionsszenarien zu vergleichen.

## 5 Erfolgsfaktoren bei der Erfassung von LCC

Basierend auf den Erkenntnissen der LCC Erfassung im INESS Projekt wurden sechs Stufen identifiziert, die notwendig sind um erfolgreich die Lebenszykluskosten von komplexen Investitionsgütern zu bestimmen.



**Abbildung 5: 6 Stufen zur erfolgreichen Erfassung von Lebenszykluskosten**

In der ersten Stufe ist ein Basisplan für die Messung der Lebenszykluskosten zu entwickeln, der genau die verfolgten Ziele unter Berücksichtigung der Restriktionen beschreibt. Um Flexibilität zu gewährleisten, müssen Handlungsalternativen festgelegt werden. Es muss ebenfalls ein Überblick über alle benötigten Ressourcen (Zeit, Kosten, Arbeitskraft, usw.) erstellt werden. Dieser Basisplan

sollte für die folgende LCC-Analyse genau dokumentiert werden und an die Anforderungen der beteiligten Parteien angepasst werden.

In der zweiten Stufe wird ein allgemeines LCC-Modell aus vorhandenen generischen Modellen ausgewählt (z.B. DIN). Während dieses Prozesses ist sicher zu stellen, dass die in den weiteren Stufen vorhandenen Daten zu dem spezifischen LCC-Modell passen. Hierfür müssen Charakteristika der Daten möglichst detailliert vorliegen (Christensen et al. 2005, S. 252 ff.).

In der dritten Stufe wird das LCC-Modell spezifiziert. Die Erfassung der LCC-Datensätze sollte folgendermaßen ablaufen:

- **Erfassung** von möglichen Daten für jedes Kostenelement,
- **Identifikation** unterschiedlicher Szenarien für dynamische LCC-Daten
- **Anpassung** des LCC-Modells an den geplanten Anwendungsfall,
- Möglicher **Input und Output** der LCC-Analyse muss genau bestimmt werden, um später zielführende Analysen erhalten zu können
- **Beschreibung** und **Klassifizierung** der Resultate
- Zuhilfenahme der **Sensitivitätsanalyse** um die Einflüsse von Annahmen und Unsicherheiten auf die Kostenelemente zu bestimmen
- **Validierung** des spezifischen LCC-Modells hinsichtlich der Erreichung von Zielen aus dem Basisplan (Stufe 1)

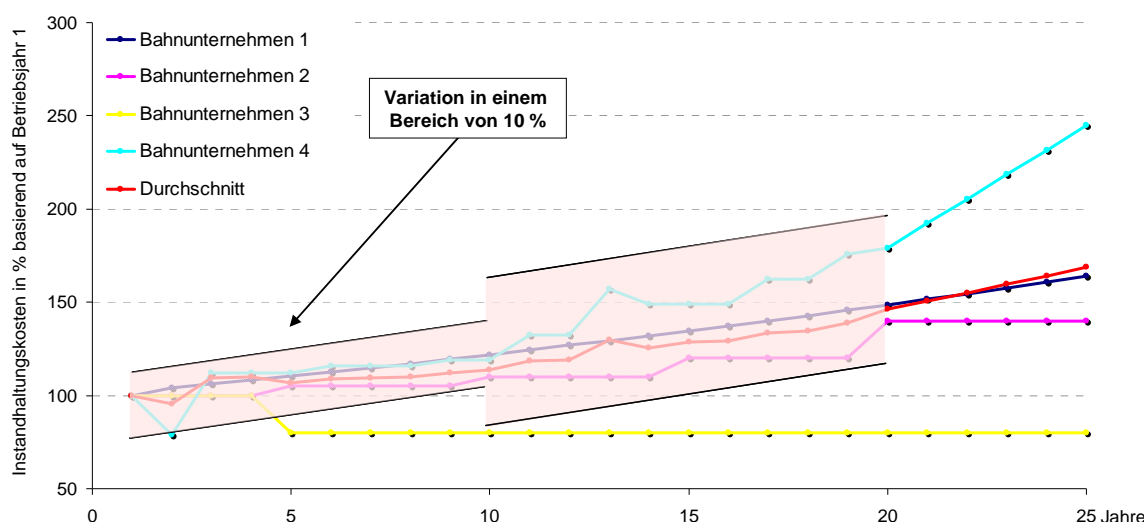
Nachdem das LCC-Modell bestimmt ist folgen die Datenerfassung (Stufe 4) und Analyse (Stufe 5). Um eine hohe Qualität der LCC-Daten zu gewährleisten ist eine strukturierte Richtlinie zur Datenerfassung notwendig. Gerade bei Standort- oder Unternehmensübergreifenden LCC-Analysen ist eine Richtlinie für ein einheitliches Verständnis der Vorgehensweise unerlässlich. Diese sollte eine kurze Zusammenfassung der angestrebten Ergebnisse und daraus abgeleitete Schlussfolgerungen enthalten. Eine Beschreibung aller relevanten Kostenelemente, potenzieller Kostentreiber und der Entwicklung des LCC-Modells sowie der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse, ist für ein einheitliches Verständnis der Bearbeiter hilfreich. Der letzte Teil der Richtlinie sollte eine kurze Vorausschau auf die Interpretation der Ergebnisse liefern. Zu berücksichtigen sind hierbei Ziele, Unsicherheiten und Annahmen, die im Verlauf der Modellerstellung getroffen worden sind (Barringer 2003, S. 9).

Nach der Analyse der LCC-Daten sollten alle Ergebnisse, wenn möglich durch einen neutralen eventuell externen Beobachter vor dem Hintergrund der Analyseziele überprüft werden. Auch das spezifische LCC-Modell mit seinen Definitionen, den Kostenelementen und den bei der Erstellung getroffenen Annahmen sollte nach der Analyse in Stufe 6 abermals validiert werden (Zimmermann 2005, S.8-11). Da die LCC-Ermittlung ein fortlaufender Prozess ist, sollten alle relevanten Daten regelmäßig aktualisiert werden. Dies betrifft besonders getroffene Annahmen bzw. geschätzte Daten (Dhillon 1989, S.35-39).



## 6 Instandhaltungskosten im Lebenszyklus von Bahnstellwerken

Ein Teilaspekt der LCC-Analyse im Kontext des INESS Forschungsprojektes war die Bestimmung der Instandhaltungskosten. Das folgende Diagramm zeigt die Entwicklung der Instandhaltungskosten für Stellwerke verschiedener europäischer Bahnunternehmen. Die Angaben beruhen auf Prognosen aus den Sensitivitätsanalysen der einzelnen Unternehmen. Die prozentuale Entwicklung (y-Achse) ist über 25 Jahre (x-Achse) angegeben, wobei die Instandhaltungskosten des 1. Jahres nach der Inbetriebnahme als Basis gewählt wurden.



**Abbildung 6: Prognosen von Instandhaltungskosten für Bahnstellwerke verschiedener europäischer Bahnunternehmen**

Bei genauer Betrachtung des Diagramms in Abbildung 6 kommt man zu dem Schluss, dass sich die Kurven in vier Abschnitte einteilen lassen:

### Abschnitt 1

In den ersten drei Jahren nach der Inbetriebnahme des Stellwerkes steigen die Instandhaltungskosten nicht, sondern sinken im Durchschnitt eher leicht, da auftretende Kosten vom Lieferanten getragen werden. Nach der Inbetriebnahme fallen für die Mitarbeiter der Instandhaltung Schulungs- und Qualifikationsaufwände an, was in dieser Phase des Lebenszyklus die Kosten erhöht. Instandhaltungsarbeiten werden jedoch im Rahmen der Gewährleistung großteilig vom Hersteller durchgeführt.

### Abschnitt 2

Zwischen dem 3 und 10 Jahr gibt es einen mäßigen Anstieg des Instandhaltungsaufwandes der hauptsächlich aus „kleinen“ Inspektionen besteht. Im Allgemeinen ist zu bemerken, dass die Prognosen von drei europäischen Bahnun-

ternehmen während der ersten 10 Jahre um maximal 10 Prozent variieren. Lediglich ein Unternehmen prognostiziert eine abweichende Kurvenentwicklung.

### **Abschnitt 3**

Nachdem das Stellwerk 10 Jahre betrieben worden ist, wird gegenüber dem Basisjahr 1 ein stärkerer Kostenanstieg angenommen. Während dieser Dekade fällt auf, dass es in nahezu jeder Kurve entweder einen sprunghaften Anstieg oder eine Spitze gibt. Diese auffälligen Kurvenverläufe sind mit Kosten zu erklären, die durch den Wechsel veralteter Systemkomponenten (Obsoleszenzkosten) anfallen. Sind Softwareapplikationen, Computer und andere Hardwarekomponenten, die einer behördlichen Freigabe unterliegen nicht mehr mit vertretbarem Aufwand instand zu halten, so müssen diese kostenintensiv ausgetauscht und ggf. neu zugelassen werden. Aufgrund unterschiedlicher Prognoseverfahren und Parameter variieren die Kurvenverläufe der Instandhaltungskosten, haben aber dieselbe Tendenz. Im Vergleich zu den ersten 10 Jahren des Lebenszyklus haben sich die Werte nahezu verdoppelt.

### **Abschnitt 4**

Nach weiteren 10 Jahren wird eine erneute Steigerung der Instandhaltungskosten vorhergesagt. Da die Stellwerke mittlerweile stark gealtert sind, werden an den elektronischen Anlagen vermehrte Ausfälle prognostiziert. Daher wird davon ausgegangen, dass Teilsysteme kostenintensiv ersetzt und neu zugelassen werden müssen. Durch technologische Weiterentwicklungen und komplexe behördliche Zulassungsverfahren werden gerade Ersatzteile für die älteren elektronischen Stellwerke nicht leicht zu beschaffen sein, was ebenfalls höhere Kosten verursacht.

## Quellen:

Asiedu, Y. and Gu, P.(1998) 'Product life cycle cost analysis: state of the art review', *International Journal of Production Research*, 36: 4, S.883-908.

Backlund, F. & Hannu J. (2002) Can we make maintenance decisions on risk analysis results? *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 8, No. 1, S.77-91.

Barringer, P. H. (2003): A Life Cycle Cost Summary. Perth.<<http://www.barringer1.com/pdf/LifeCycleCostSummary.pdf> >

Christensen, P. N., Sparks, G. A. & Kostuk, K. J. (2005) A method-based survey of life cycle costing literature pertinent to infrastructure design and renewal. *Can J. Civ. Eng.* 32: 250-259.

Dhillon, B. S. (1989) *Life Cycle Costing*. Amsterdam.

DIN EN 60300-3-3 Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 3-3: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten (IEC 60300-3-3:2004); Deutsche Fassung EN 60300-3-3:2004

Ellis, B. A. (2007) *Life Cycle Cost. International Conference of Maintenance Societies* <<http://www.jethroproject.com/Life%20Cycle%20Cost1.pdf> >

Ellram, L. (1994): A Taxonomy of Total Costs of Ownership Models. *Journal of Business Logistics*, Vol. 15, No. 1, S.171-191.

Fischer, M. (2001): *Produktlebenszyklus und Wettbewerbsdynamik*. Mannheim.

Geißdörfer, K. (2008) *Total Costs of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC)*. Berlin.

Parnell, G. S.; Driscoll, P. J. & Henderson, D. L. (2008) *Decision Making in Systems Engineering and Management*. Hoboken.

Zimmermann, M. (2005) *Life Cycle Costing*. Norderstedt.