

DISS. ETH Nr. 19553

**ENTWICKLUNG, BEWERTUNG UND OPTIMIERUNG VON
LEBENSZYKLUSORIENTIERTEN ERHALTUNGSSTRATEGIEN IM
STRASSENUNTERHALT**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN
der
ETH ZÜRICH

vorgelegt von
ANDREAS FASTRICH
Dipl.-Ing. (TU)
geboren am
23. Oktober 1976

von
Lindau, Bundesrepublik Deutschland

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid
Prof. Dr.-Ing. Fritz Berner

2011

Kurzfassung

Der Unterhalt umfangreicher Infrastrukturnetze stellt eine grosse, kontinuierliche Belastung für die meist öffentlichen Betreiber dar. Dies gilt insbesondere auch für das Strassennetz. Über den Lebenszyklus einer solchen Anlage überschreiten die Unterhaltskosten bei weitem die ursprünglichen Baukosten. Das Spannungsfeld zwischen der notwendigen Aufrechterhaltung der Funktionalität und Substanz eines Strassennetzes und der sich daraus ergebenden finanziellen Belastung erfordert einen umfassenden lebenszyklusorientierten Lösungsansatz zur optimalen Gestaltung des Erhaltungsmanagements. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines holistischen Erhaltungsmanagementmodells, das durch die Kombination strategischer Erhaltungsmanagementansätze, sowie mathematischer Optimierungsverfahren ein lebenszyklusorientiert optimales Erhaltungsmanagement des Strassenunterhalts ermöglicht. Aufbauend auf einer umfassenden, theoriegeleiteten Systemdefinition und Systemabgrenzung, wird denklogisch-deduktiv ein konstruktivistisches Modell zur Abbildung, Steuerung und Optimierung der Prozesse des Erhaltungsmanagements entwickelt. Insbesondere wird auf die Entwicklung und operative Umsetzung von Erhaltungsstrategien, die wirtschaftliche Bewertung möglicher Alternativen unter Berücksichtigung der Kosten aller betroffenen Stakeholder sowie mathematische Optimierung der Erhaltungsplanung fokussiert.

Im Rahmen der Arbeit wurden in drei Teilmodellen die folgenden Hauptbereiche des Erhaltungsmanagements abgebildet:

- LC-Erhaltungsstrategiebildungsmodell: Life-cycleorientierte Strategieentwicklung und Umsetzung der Erhaltungsstrategie in operativen Erhaltungsvarianten
- LC-Kosten-Barwert-Erhaltungs-Entscheidungsmodell: Berechnung der Life-cycle-Kosten aller Stakeholder einer Erhaltungsvariante
- LC-Erhaltungsoptimierungsmodell: Optimierung des Erhaltungsmanagements auf operativer und strategischer Ebene

Im LC-Erhaltungsstrategiebildungsmodell werden die Prozesse der Entwicklung und Umsetzung von Erhaltungsstrategien behandelt. Die strategischen Ansätze bauen dabei auf allgemeinen Managementtheorien aus dem Unternehmens- und Projektmanagement auf.

Im LC-Kosten-Barwert-Erhaltungs-Entscheidungsmodell erfolgt die Bewertung der Erhaltungsvarianten in Form einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsanalyse. Dafür werden neben den direkten Kosten des Strassenbetreibers auch die Kosten bzw. die Nutzeneinschränkungen der anderen Stakeholder (Nutzer und Dritte) in monetarisierter Form in die Betrachtung integriert. Auf diese Weise kann für jede

Erhaltungsvariante ein Gesamt-Kosten-Barwert berechnet werden und so die ein objektiver, lebenszyklusorientierter Vergleich der Varianten erfolgen. Alternativ zur Monetarisierung aller Belastungen bzw. Nutzeinschränkungen können einzelne oder alle Bewertungsfaktoren in einer nicht-monetären Bewertung auf der Grundlage des Analytical-Hierarchy-Process bewertet werden.

Im LC-Erhaltungsoptimierungsmodell wird ein Verfahren zur Optimierung des Erhaltungsmanagements entwickelt. Die Optimierung baut auf dem Entscheidungsbaumverfahren aus dem LC-Erhaltungsstrategiebildungsmodell auf und greift für die Variantenbewertung auf das LC-Kosten-Barwert-Erhaltungs-Entscheidungsmodell zurück. Als Optimierungsverfahren wird das Dynamische Programmieren herangezogen. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann in einer sequentiellen Abfolge von Einzelentscheidungen rekursiv eine optimale Erhaltungsvariante entwickelt werden.

Abstract

The maintenance of large infrastructure networks is a major ongoing burden for the mostly public operators. This is particularly true for the road network. Over the life cycle of such a facility maintenance costs exceed the initial construction costs by far. The tension between the need to maintain the functionality and substance of a road network and the resulting financial burden requires a comprehensive lifecycle-oriented approach for optimal maintenance management. The aim of this study is to develop a holistic maintenance management model, which combines strategic management approaches and mathematical optimization methods for a life cycle oriented optimal maintenance management of road maintenance. Based on a comprehensive, theory-driven system definition and system delimitation a constructivist model for mapping, control and optimization of maintenance management is logically-deductively developed. In particular, it focuses on the development and operational implementation of maintenance strategies, economic evaluation of possible alternatives considering the costs of all affected stakeholders, and mathematical optimization of maintenance planning.

Based on a comprehensive and theory-driven system definition and system delimitation three models, covering the principal areas of maintenance management, were developed:

- LC maintenance strategy development model: Life-cycle-based strategy development and definition of operational variants based on the maintenance strategy
- LC NPV decision making model: Calculation of the life-cycle costs of all stakeholders
- LC maintenance optimization model: Optimization of maintenance management at the operational and strategic level

The LC maintenance strategy development model addresses the processes of development and implementation of maintenance strategies. The strategic approaches are building on general management theories established in corporate and project management.

The LC NPV decision making model addresses the evaluation of maintenance variants in a dynamic economic analysis. The calculation includes the direct costs as well as the benefit limitations for the other stakeholders (users and third parties). Therefore a total Net Present Value is calculated for each variant which enables an objective, life cycle oriented comparison of the variants. As an alternative to the monetization of all burdens and benefit limitations one or all evaluation factors can be assessed in a non-monetary valuation based on the Analytical Hierarchy Process.

The LC maintenance optimization model presents a method for optimizing the maintenance management of road networks. The optimization is based on a decision

tree method developed in the LC maintenance strategy model and the evaluation model developed in the LC NPV decision making model. For the optimization the dynamic programming method is applied. Using this method optimal maintenance variants are recursively developed in a sequential series of individual decisions.