

## **23 Konzeptionelle Entwicklung von Ansätzen für ein Lebensdauermanagement von Hafeninfrastrukturen**

Nannina Horstmann

Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Leibniz Universität Hannover

### **23.1 Kurzfassung**

Bei der Vorstellung dieser Diplomarbeit geht es um ein Lebensdauermanagementsystem für Hafeninfrastrukturen am Beispiel von Kai- bzw. Kajenkonstruktionen. Diese Bauwerke sind als Schnittstelle zwischen Wasser- und Landtransport ein zentraler Bestandteil der Hafenanlagen und sollen daher möglichst uneingeschränkt zur Verfügung stehen, um einen schnellen und reibungsfreien Umschlag gewährleisten zu können. Mit der rasanten Entwicklung der Schifffahrt und dem stetig steigenden Containerverkehr seit Ende der 60er Jahre wachsen die Anforderungen an die Kai- bzw. Kajenanlagen sukzessive, resultierend zum Beispiel aus höheren Geländesprüngen, die abgefangen werden müssen, oder den größeren Schiffsabmessungen und den damit zunehmenden Maschinenleistungen sowie Manövrierhilfen der Schiffe [1]. Infolge der entstehenden Belastungen auf Kai- bzw. Kajenkonstruktionen müssen diese überwacht und geprüft werden, besonders wenn diese für solche Anforderungen nicht konzipiert wurden. Daher soll in dieser Diplomarbeit die Ansätze eines möglichen Lebensdauermanagement auf Grundlage von Schadensaufzeichnungen an diesen Hafenstrukturen entwickelt werden.

### **23.2 Abstract**

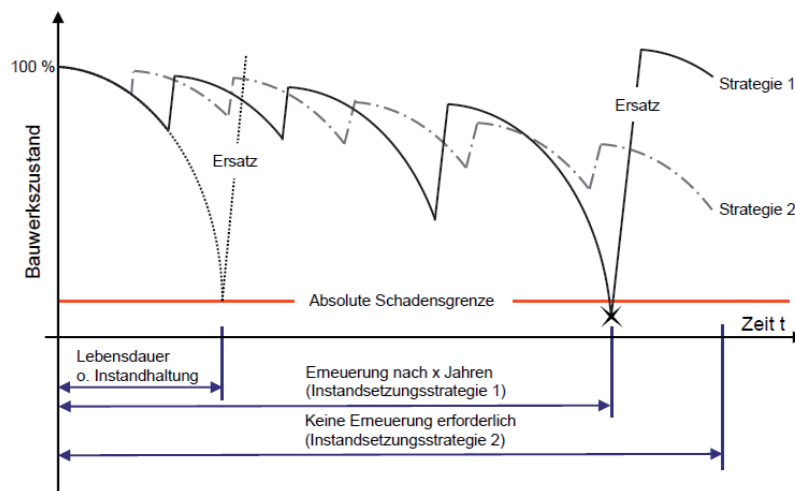
This diploma thesis will give a short overview of life cycle management systems in generally and for harbour structures, especially for quay constructions. These constructions are important for the freight transportation between water- and landside, so it must be guaranteed that these structures are always in an optimal condition. Due to the rapid development of the shipping and the container traffic since the sixties the requirements to the quay constructions are rising continuously. For example the earth pressure over the vertical distance between the bottom of the harbour and the top of the quay wall has to be managed as well as the forces from container rail cranes on the quay traffic area will be transferred to the underground. Because of these stresses on quay wall structures they have to be monitored and controlled, especially if they were not designed for those needs. So in this diploma thesis it will be shown the beginning and first steps to develop the foundation of a life cycle management system on the basis of monitoring reports and damages of quay structures.

### 23.3 Grundlagen prädiktiver Lebensdauermanagementsystem

Der Bestand an Infrastrukturen wird zunehmend älter und gleichzeitig werden die zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel für Unterhaltung und Neubau immer knapper. In Anbetracht dessen wird mit neuen Monitoring- und Unterhaltungsverfahren sowie mit neuen Bemessungsansätzen versucht, eine optimierte Instandhaltungs- und Instandsetzungsplanung von Infrastrukturen zu schaffen und Neubauten von Grund auf wirtschaftlicher zu gestalten, um mit den vorhandenen Ressourcen bestmögliche Zustände der Bauwerke gewährleisten zu können.

Seit einiger Zeit werden Bauwerks-Management-Systeme bzw. Lebensdauermanagementsysteme entwickelt, um aus den Ergebnissen kontinuierlicher Prüfungen und Überwachungen Zustandsbewertungen des jeweiligen Bauwerks ermitteln sowie Lebensdauerprognosen aufzustellen zu können. Aus diesen Ergebnissen heraus sollen optimale Eingreifzeitpunkte für Erhaltungsmaßnahmen inklusive derer Investitionen gefunden werden, infolge derer dann langfristig für die Sicherheit der Bauwerke garantiert werden kann.

Infrastrukturen aller Art unterliegen während ihrer Nutzungsdauer Abnutzungserscheinungen. Ohne Instandsetzungsmaßnahmen oder mit nur geringen Unterhaltungsaufwendungen nimmt der Bauwerkszustand sukzessive im Laufe dieser Zeit ab, bis eine Abnutzungsgrenze erreicht ist, an der eine Instandsetzung oder ein Neubau unabwendbar ist. Durch langfristige Investitionsplanungen kann jedoch die Lebensdauer von Bauwerken verlängert werden. In **Abb. 23.1** sind zwei Instandsetzungsstrategien zur Erhaltung des Bauwerkszustandes dargestellt, wobei die mit der Zeit zunehmende Schädigung durch eine parabelförmige Abtragsfunktion von [2] abgeschätzt wurde. Gleichzeitig gilt die Annahme, dass die Instandsetzungsmaßnahmen den Bauwerkszustand bis fast unter den Ausgangszustand wieder herstellen können [2].



**Abb. 23.1: Lebenszyklus eines Bauwerks mit verschiedenen Instandsetzungsstrategien in Anlehnung an DIN 31051 [2]**

Bei der Instandsetzungsstrategie 1 erfolgen die Maßnahmen nach unterschiedlichen Zeitabschnitten und dementsprechend mit verschieden großem Aufwand und Kosten. Die Strategie 2 beinhaltet Maßnahmen in einem konstanten zeitlichen Abstand mit vergleichsweise ähnlichem Aufwands- und Kostenumfang. Aus dieser sehr vereinfachten Darstellung ist erkennbar, dass bei der Strategie 1 durch die verspäteten, aber notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen die Kosten für ein Ersatzbauwerk wesentlich früher anfallen als es bei der Strategie 2 der Fall wäre. Somit kann je nach gewählter Instandsetzungsstrategie die Lebensdauer eines Bauwerks verlängert und demzufolge der Investitionszeitpunkt für ein Ersatzbauwerk hinausgezögert werden [2].

Für diese optimierte Instandhaltungsplanung werden daher Bauwerksmanagementsysteme (BMS) bzw. Life-Cycle-Managementsysteme (LCM) benötigt, die ein Bauwerk über alle Lebenszyklusphasen während der Nutzungsdauer hinweg begleiten. Diese Phasen unterteilen sich in Planung und Bemessung, Ausführung und Abnahme, Bauwerksüberwachung, Instandhaltung, Instandsetzung und Ertüchtigung bis hin zum Abriss oder Recycling des Bauwerks (Abb. 23.2).



**Abb. 23.2: Lebenszyklusphasen von Bauwerken [3]**

Um die Restlebensdauer eines Bauwerks abschätzen zu können, werden in die Bauwerksmanagementsysteme Schädigungsmodelle mit einbezogen, die eine Zustandsprognose des Bauwerks ermöglichen und durch Bauwerksuntersuchungen während jeder Lebenszyklusphase aktualisiert und somit verbessert werden können.

Generell sind Bauwerksmanagementsysteme bzw. Life-Cycle-Managementsysteme in erster Linie für Bauwerke relevant, die während ihrer Nutzungsdauer Umwelteinwirkungen ausgesetzt sind und demzufolge die Lebensdauer der Konstruktion dadurch beeinträchtigt werden kann. Dementsprechend betrifft dies vor allem Infrastrukturen wie Brückenbauwerke, Tiefgaragen und Parkhäuser sowie Verkehrswasserbauten, zum Beispiel Schleusen und Schiffshebewerke, aber auch Küstenschutz- und Hafeninfrastukturen wie Deichanlagen und Kai- bzw. Kajenkonstruktionen. Irrelevant sind solche Managementsysteme bei Bauwerken, bei denen über die Nutzungsdauer hinweg keine Schädigung zu erwarten ist [3].

Des Weiteren können Life-Cycle-Managementsysteme sowohl für Neubauten als auch für bestehende Bauwerke oder auch nur für spezielle Teile einer Infrastruktur angewendet werden und sollen während der Nutzungsdauer der Infrastrukturen infolge der Daten aus den Bauwerksuntersuchungen aktualisierbar sein [4].

Life-Cycle-Managementsysteme sind in der Regel computergestützte Systeme, deren zentraler Baustein eine Datenbank ist, in der alle Bauwerksdaten abgespeichert sind. Des Weiteren setzen sich die Managementsysteme aus den Bausteinen „Bauwerkserfassung“, „Zustandsprognose, -erfassung und -bewertung“ sowie „Instandsetzungsplanung“ zusammen, die wiederum auf die Datenbank zurückgreifen und somit zur Aktualisierung der Bauwerksdaten beitragen [3].

### **23.4 Erhaltungsmanagementsystem der BAW (EMS-WSV)**

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) entwickelt derzeit für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ein IT-gestütztes Erhaltungsmanagementsystem (EMS) in Anlehnung an das Bauwerksmanagement-System für Brücken innerhalb des deutschen Fernstraßennetz, so dass durch kontinuierliche Bauwerksinspektionen technisch sinnvolle und wirtschaftliche Instandhaltungsstrategien für die Verkehrswasserbauwerke entwickelt werden können.

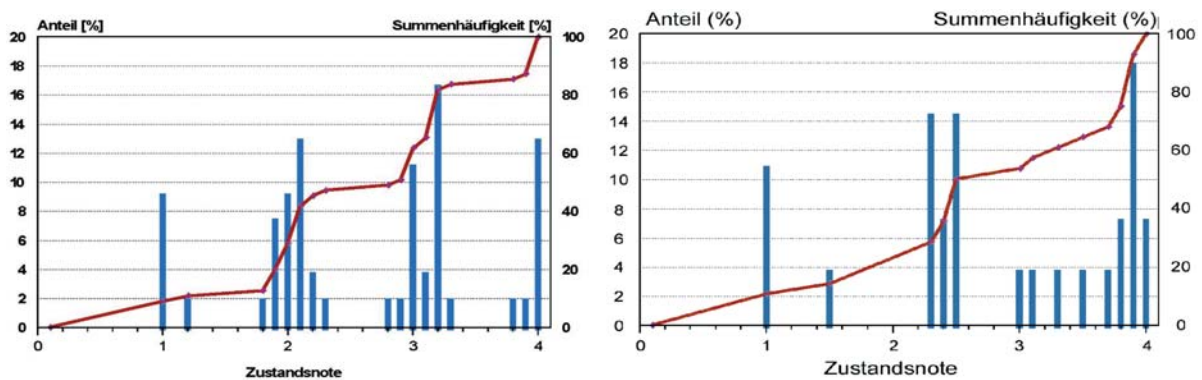
Die Altersstruktur der Verkehrswasserbauwerke wird zunehmend ungünstiger. Bereits heutzutage sind 35% der Schleusenanlagen älter als 80 Jahre und haben damit die von der Bemessung vorgesehene Nutzungsdauer überschritten. Die jährlichen Aufwendungen für bauliche Unterhaltung und Instandsetzung belaufen sich auf ca. 1 % des Anlagevermögens. Des Weiteren existieren in der WSV aufgrund der großen Anlagenobjektvielfalt unterschiedliche Inspektionsvorschriften [5].

Innerhalb der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung wird seit 1. Januar 2007 für die Dokumentation und Verwaltung von Inspektionen von Bundeswasserstraßen und deren Bauwerke unter Berücksichtigung der Verwaltungsvorschrift VV-WSV 2101 „Bauwerksinspektion“ von 1985, Stand 2009, das Programm „WSVPruf“ eingesetzt. Mittels dieses Programms können die Auswertungen und Ergebnisse von Bauwerksprüfungen digitalisiert und so schneller und übersichtlicher als Informationen für Schwachstellenanalysen verwendet werden. Bisher wird das Programm WSVPruf noch nicht bundesweit eingesetzt, so dass derzeit eine begrenzte Auswahl an digitalen Inspektionsberichten zur Verfügung steht [6].

Um Schäden beurteilen zu können, wurde innerhalb des Programms WSVPruf Schadensklassen mit einer Bewertung von SK 1 (keine Beeinträchtigung) bis SK 4 (Tragfähigkeit/Gebrauchstauglichkeit nicht mehr gegeben) gebildet, die zur Bewertung der Bauwerke herangezogen werden sollen. Die Bewertungskriterien nach den Merkblät-

tern der BAW sind dabei die Begriffe „Schaden“, Tragfähigkeit“ und „Gebrauchstauglichkeit“, nach denen die Schäden bewertet werden sollen.

Mittels dieser Schadensbewertung wurde nach [6] ein Algorithmus zur Zustandsbewertung untersucht. Dabei wurde neben der Mittelwertbildung sowohl der „einzahlige“ als auch der „dreizahlige“ Algorithmus anhand der Schäden für Schleusenanlagen berechnet und die Auswertungen miteinander verglichen, wobei die Aussagefähigkeit der Mittelwertbildung ist begrenzt, da die Spannweite dieser Mittelwerte gering ist. Des Weiteren beeinflusst die Anzahl der Schäden die Gesamtnote nicht und die guten Bewertungen kompensieren die schlechten. Außerdem hat auch die Bedeutung des Schadens bzw. des geschädigten Bauteils keinen Einfluss auf die Gesamtnote des Bauwerks. Mit diesem Verfahren kann eine Dringlichkeit für Instandsetzungsmaßnahmen nicht erkannt werden und ist damit als ungeeignet anzusehen.



**Abb. 23.3: Zustandsnote nach „einzahligem“ Algorithmus (Mitte), „dreizahligem“ Algorithmus (rechts) [6]**

Gegenüber der Mittelwertbildung wird bei dem einzahligen als auch bei dem dreizahligen Algorithmus das gesamte Notenspektrum von 1 bis 4 ausgenutzt. Nach der Auswertung des einzahligen Algorithmus sind von den 55 untersuchten Schleusenbauwerken 21 Schleusen, und damit 38% der Bauwerke, schlechter als die Note 3 und damit nicht mehr ausreichend tragfähig.

Die Vorteile der beiden letzten Verfahren liegen nach Aussage von KUNZ UND BÖDEFELD [6] darin, dass hier die Anzahl der Schäden wie auch die Anzahl der geschädigten Kategorien berücksichtigt wird. Des Weiteren beeinflusst auch eine schlechte Note die Gesamtnote des Bauwerks, welche auch durch viele andere gute Zustandsnoten nicht kompensiert werden kann. Nach Aussage von KUNZ UND BÖDEFELD [6] ist für Verkehrswasserbauwerke die einzahlige Schadensbewertung ausreichend, da das Ziel einer solchen Reihung das Aufzeigen der Dringlichkeit von Instandsetzungsmaßnahmen ist. Dementsprechend kann die Erstellung der Prüfnote für ein Bauwerk aus dieser Zustandsbewertung heraus mittels dieses Algorithmus im Programm WSVPruf ohne weitere Maßnahmen erfolgen und so als Grundlage für ein Erhaltungsmanagementsystem zur Prognostizierung der Restlebensdauern für Verkehrswasserbauwerke dienen.



Die Ermittlung von Restlebens- bzw. Nutzungsdauern kann über die Fortschreibung von Schadensverläufen mittels homogener Markov-Ketten aufgrund ihrer Flexibilität am geeignetsten abgebildet werden und die Erfassung der Lebenszyklen ungeschädigter Bauteilgruppen kann auf der Bauwerksebene am besten über das Verfahren der Bevölkerungsstatistik, dem Kohortenüberlebensmodell erfolgen [7].

### **23.5 Lebensdauermanagement für Hafeninfrastrukturen**

Ausgehend von gesammelten Informationen in Form von Prüf- und Schadensberichten von Kai- bzw. Kajenanlagen aus den deutschen Nordseehäfen werden bei der Entwicklung eines Lebensdauermanagement im ersten Schritt Bauteile gleicher Exposition und gleichen Widerstandes dieser Anlagen zusammengestellt. Des Weiteren werden die Schäden in Bezug auf ihre zeitliche Entwicklung anhand der vorliegenden Daten hin analysiert. Dies soll erste Erkenntnisse über typische Degradationsmechanismen und deren Auswirkungen auf die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Kai- bzw. Kajenanlagen aufzeigen.

Anschließend wird auf dieser Datengrundlage basierend ein Zustandsbewertungssystem entwickelt, in dem der Ansatz eines Algorithmus für dieses Bewertungssystem konzipiert wird. Ausgehend von diesen Überlegungen wird abschließend auf mögliche, wahrscheinlichkeitsbasierende Verfahren zur Fortschreibung von Schadensentwicklungen und zur Prognose der Restlebensdauer von Kai- bzw. Kajenkonstruktionen eingegangen. Dafür werden andere Verfahren zur Abschätzung der Restlebensdauer herangezogen, analysiert und auf diese Hafeninfrastrukturen angewendet.

### **23.6 Literatur**

- [1] MARDFELDT, B.: „Zum Tragverhalten von Kaikonstruktionen im Gebrauchszustand“, Veröffentlichungen des Arbeitsbereiches Geotechnik und Baubetrieb der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Heft 11, Hamburg, 2005
- [2] KLINZMANN, CH.: „Methodik zur computergestützten, probabilistischen Bauwerksbewertung unter Einbeziehung von Bauwerksmonitoring“, Veröffentlichungen des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, Heft 203, 2008
- [3] SCHIEßL, P.: „Lebensdauermanagementsystem – Teilprojekt A2“, Schlussbericht zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltiges Bauen mit Beton“, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 572, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007

- [4] PIANC: „Life Cycle Management of Port Structures – Recommended Practice for Implementation“, PIANC Report No. 103, Working Group 103 of the Maritime Navigation Commission, Brüssel, Belgien, 2008
- [5] KÜHNI, BÖDEFELD, KUNZ: „EMS-WSV – Ein Erhaltungsmanagementsystem für Verkehrswasserbauwerke“, In: Bautechnik 85 (2008), Heft 8, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 514-520, 2008
- [6] Kunz u. Bödefeld: „Von der Bauwerksinspektion zum Bauwerksmanagement“, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Nr. 83, Karlsruhe, 2001
- [7] BAW: „Forschungskompodium Wasserbau 2008“, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe