

# Neue Instandhaltungsstrategien in der Hafenlogistik

*Ein Fallbeispiel für die zustandsorientierte Instandhaltung von  
Hafenumschlaggeräten*

Bernd Scholz-Reiter, Marco Lewandowski, Patrick Dittmer und  
Stephan Oelker, Bremer Institut für Produktion und Logistik

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter ist Professor für Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme am Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen und Institutsleiter des Bremer Instituts für Produktion und Logistik GmbH (BIBA).

Dipl.-Wi.-Ing. Marco Lewandowski, Dipl.-Wi.-Ing. Patrick Dittmer und Dipl.-Wi.-Ing. Stephan Oelker arbeiten als wissenschaftliche Mitarbeiter am BIBA.

Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet sind an technischen Systemen in der Regel mehrfach Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen. In logistischen Netzwerken ist die Leistungserstellung an den Knotenpunkten in Form des Warenumschlags von entscheidender Bedeutung, sodass die Verfügbarkeit des Produktionsfaktors Maschine in diesem Bereich essentiell ist. Die Effizienzsteigerung von Unterstützungsprozessen umfasst unter anderem die Instandhaltung der Maschinen und Anlagen, sodass eine zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie entscheidend wird. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein Vorgehensmodell mit Fallbeispiel vorgestellt, welches die Entwicklung einer zustands-

orientierten Instandhaltungsstrategie im Hafenumfeld illustriert.

Durch die global verteilte Wertschöpfung zur Herstellung von Produkten und zur Erbringung von Dienstleistungen haben effiziente Produktionsprozesse sowie logistische Prozesse in den letzten Jahren eine entscheidende Bedeutung erlangt. Die Möglichkeiten moderner Informations- und Kommunikationstechnologien machten in den letzten Jahren einen schnellen Austausch von Informationen zu den korrespondierenden Materialflüssen möglich; Kernprozesse wurden dadurch stark beeinflusst und rationalisiert. Darüber hinaus ermöglichen Standardisierungsbemühungen hinsichtlich des Informations- aber auch des Materialflusses die kontinuierlich fortschreitende Automatisierung von Prozessen. Dies umfasst in der Logistik insbesondere den Umschlag von Waren und damit beispielsweise auch die Realisierung intermodaler Verkehrskonzepte. Die dafür benötigten Systeme werden kontinuierlich weiterentwickelt, sodass sich der Automatisierungsgrad der Anlagen stetig erhöht. In diesem Zusammenhang stehen folglich auch sog. Unterstützungsprozesse, wie die Instandhaltung der genannten technischen Einrichtungen und Systeme, im Fokus, um im komplexen Beziehungsgeflecht der Objekte das Ineinandergreifen der Prozessabläufe weiterhin gewährleisten zu können (vgl. z.B. [1]).

**Anforderungen und Stand der Technik**

Beziehen sich viele der Optimierungsbemühungen in der Praxis derzeit noch speziell auf die wertschöpfenden Kernprozesse, stehen bei stetig steigendem Grad an Effizienz nun auch Unterstützungsprozesse im Mittelpunkt von Optimierungs- und Rationalisierungsbemühungen. In Bereichen des produzierenden Gewerbes aber auch des automatisierten Warenumschlags, bei denen die Bedeutung des Produktionsfaktors Maschine essentiell ist, wird beispielsweise die ständige Verfügbarkeit der entsprechenden Maschinen und Anlagen unerlässlich, um im Marktwettbewerb zu bestehen bzw. Wettbewerbsvorteile zu erlangen. Diese Sicherstellung der ständigen Verfügbarkeit ist Aufgabe der Instandhaltung, unter der die „Erhaltung der Funktion und der Leistungsfähigkeit einer Maschine bzw. Anlage“ [2] verstanden wird und welche umfassend standardisiert ist (vgl. DIN 31051). Aus physikalischen Gründen oder aus Kosten-Nutzen-Abwägungen wird derzeit in der Regel keine Wartungsfreiheit von Maschinen über den gesamten Lebenszyklus ermöglicht. Eingeplante Abnutzungsvorräte sowie sonstige systembedingte Verschleißvorgänge müssen daher für eine Instandsetzung und damit für eine Erneuerung grundsätzlich in Betracht gezogen werden.

Mit den verschiedenen Maßnahmen der Instandhaltung zur Erneuerung

## Kontakt:

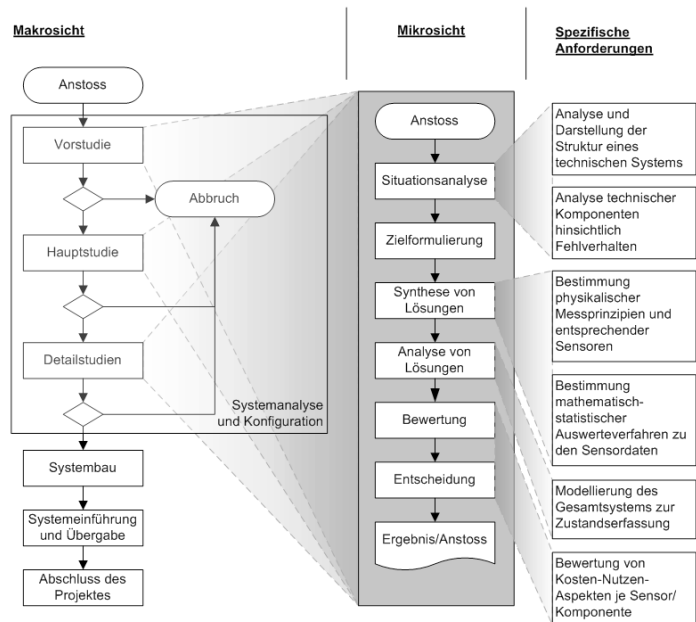
Marco Lewandowski  
BIBA GmbH  
Hochschulring 20  
28359 Bremen  
Tel.: 0421 / 218-5575

E-Mail: [lew@biba.uni-bremen.de](mailto:lew@biba.uni-bremen.de)  
URL: <http://www.biba.uni-bremen.de/>

von Komponenten ist regelmäßig auch ein Materialfluss und damit eine logistische Prozesskette verbunden, welche unter anderem aus der Bereitstellung von Ersatzteilen oder Abnutzungsvorräten, sowie aus der Entsorgung von Altmaterialien besteht. Die Instandhaltungslogistik umfasst damit die logistischen Grundfunktionen, d.h. insbesondere Transport, Beschaffung, Materialwirtschaft/ Lagerlogistik, Leistungserstellung, Disposition, Planung und Steuerung, Distribution und Entsorgungslogistik [2, 3]. Die Instandhaltungsstrategie, welche in verschiedenen Dimensionen beispielsweise zwischen zyklisch und zustandsorientiert oder präventiv und reaktiv unterscheidet, hat unmittelbare Auswirkungen auf die nachgelagerten Prozesse. Während in der Praxis in der Regel noch die zyklische Instandhaltung vorzufinden ist - d.h. die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen nach festen Betriebsstundenintervallen - wurden in den letzten Jahren alternative Instandhaltungsstrategien erforscht, die mittlerweile zu ersten Pilotanwendungen führten [4]. Bauteile und Komponenten werden dabei in der Regel mit technologischen Hilfsmitteln hinsichtlich ihres Zustandes beurteilt und erst im Falle definierter Abweichungen werden entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen eingeleitet [5, 6]. Den Anstoß für die Prozesskette liefert damit das entsprechende System selbst. Diese Entwicklungen können als Beitrag eines Paradigmenwechsels zu dezentralen Entscheidungsfindungen und selbststeuernden Prozessen verstanden werden, in denen Objekte innerhalb logistischer Systeme autonome Entscheidungen treffen um übergeordneten Zielstellungen gerecht zu werden [7, 8]. Eine breite Auswahl von Zustandserfassungssystemen bildet bereits den Stand der Technik. Integrative und systematische Ansätze sind jedoch für die kombinierte und ganzheitliche Nutzung verschiedener Methoden und Systeme weitgehend unbekannt.

Eine Herausforderung stellt insbesondere die Auswertung und Aggregation von Rohdaten unterschiedlichster Form und Güte zu einer Zustandsbewertung

*Bild 1: Vorgehensmodell zur Auswahl technischer Komponenten in Hinblick auf zustandsorientierte Instandhaltung (vgl. [9]).*



des Gesamtsystems dar. Dieses umfasst eine daraus abgeleitete Entscheidungsunterstützung für den Anstoß entsprechender Instandhaltungsmaßnahmen sowie die Unterstützung des Instandhaltungsmanagements auf operativer, taktischer und strategischer Ebene. Integrative Ansätze, die auf unterschiedliche Datenquellen zurückgreifen und somit beispielsweise physikalische Messwerte, empirische Erfahrungswerte und statistische Ausfalldaten in Bezug setzen, fehlen weitgehend. In diesem Zusammenhang sind Methoden aus den Bereichen wissenschaftlicher Systeme (z.B. Expertensysteme) heranzuziehen, um in Hinblick auf integrative Zustandsbewertungen ein adaptives und selbstlernendes Entscheidungsunterstützungssystem entwickeln zu können.

## Adaptiertes Vorgehensmodell zur Systemanalyse

Zur Hebung der Optimierungspotenziale durch zustandsorientierte Instandhaltungsstrategien ist insbesondere bei bestehenden technischen Systemen ein durchdachtes Vorgehen notwendig, um nicht zuletzt unter Kosten-Nutzen-Aspekten die geeignete technische Basis zur Zustandsbeurteilung von Komponenten und Gesamtsystem zu wählen. Diesbezüglich bieten sich generelle sys-

temanalytische Ansätze an, die Aspekte des Re-Engineerings bzw. Reverse-Engineering im Sinne einer (nachträglichen) technischen Analyse des auszustattenden Systems berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund wird die Adaption des Systems Engineering-Modell nach [9] gewählt, indem für verschiedene Phasen des Prozessablaufs Methoden und Werkzeuge entwickelt werden, welche die Erreichung der oben genannten Zielstellung im Sinne eines Best-Practice-Vorgehens unterstützen. Im Fokus steht hierbei die Analysephase, in der es um Fragestellungen wie die hierarchische und funktionale Struktur des betrachteten Systems oder um Prioritätsbewertungen bezüglich der Ausfallhäufigkeit, Zuverlässigkeit, Folgeschäden oder Behebungskosten geht. Des Weiteren wird in der Anforderungs- und Konzeptphase insbesondere der Auswahlproblematik entsprochen, die richtigen Techniken zu wählen, um den Zustand von Systemen und Komponenten verlässlich zu bewerten. In erster Linie bedeutet dies in der Regel die Auswahl von Sensoren zur Messung verschiedenster physikalischer Größen, die Aufschluss über Verschleißzustände oder Abnutzungsgrade geben können. Je nach Art des Systems, ob beispielsweise mechanisch, hydraulisch oder elektrisch, können diese Sensoren

völlig unterschiedlichen Messkonzepten entsprechen. Des Weiteren erfolgt darauf aufbauend die Auswahl einer mathematisch-statistischen Methode zur weitergehenden Analyse der akquirierten Daten, die vor dem Hintergrund der Zielstellung beispielsweise die Prognose von Ausfallzeitpunkten ermöglicht. Die Bild 1 verdeutlicht das adaptierte Vorgehensmodell.

Am Beispiel der Analysephase verdeutlicht die Bild 2 darüber hinaus einen Fragebogen zur interviewbasierten Erhebung der Anforderungen, Zielstellungen und Struktur eines technischen Systems, welche im Rahmen des nachfolgenden Fallbeispiels als Basis dienen. Gegenübergestellt ist weiterhin ein in Unified-Modeling-Language-Notation erstelltes Diagramm, welches die Zusammenhänge diverser Eigenschaften der Systeme abbilden kann. Dieses wird zukünftig zu einem entsprechenden softwarebasierten Objektmodell im Sinne eines Analyse- und Modellierungswerkzeugs ausgebaut.


### Logistikspezifische Anforderungen und Grobkonzept eines Fallbeispiels

Die gesammelten Erkenntnisse werden derzeit am Beispiel logistischer Prozesse im Hafenumfeld untersucht. Die Hafenbetreiber müssen sich aufgrund hoher Kapazitätsauslastungen sehr hohen Anforderungen stellen. Daraus resultiert, dass die Hafenumschlagsgaräte zu Spitzenzeiten mehrere Tage durchgängig in Betrieb sind und somit eine hohe Zuverlässigkeit bieten müssen. Durch eine Sensorunterstützung sollen außerplanmäßige verschleißbedingte Ausfälle erkannt und vermieden werden, sodass die Planung der Instandhaltungsdisposition unterstützt wird. Ressourcen, Portalstapler und Instandhaltung sollen effizienter eingesetzt werden können.

Konkret bedeutet dies, dass ein Portalhubwagen mit der notwendigen Hardware ausgestattet wird, um Sensordaten an eine Auswerteeinheit zu übermitteln. Die bisher verbaute Sensorik unterstützt

**WORKSHOP - Entwicklung von optimierten Instandhaltungsprozessen**

**KOMPONENTE: Zahngetriebe am Antrieb**



**Was genau wird an der Komponente gewartet?**

Ölwechsel  
Dichtheitsprüfung

**Welche Ursachen sind für die Fehler bekannt?**

Leckagen  
Geäusentwicklung  
Temperatur

**Wie wird der Fehler erkannt?**

Schlechte Bremswirkung  
Vermischung der verschiedenen Kreisläufe  
Tank läuft über

**Gibt es an der Komponente einen Verschleiß?**

Nein  Ja (mit Abnutzungsvorart)  
 Ja (Sonstiger Verschleiß)

Wenn ja, was genau ist an der Komponente vom Verschleiß betroffen?

**Was muss besonders oft unvorhergesehen repariert werden?**

Für den Fall eines unvorhergesehenen Ausfalls der betrachteten Komponente, schätzen Sie bitte a) die Wahrscheinlichkeit des Fehlereintritts, b) die Wahrscheinlichkeit diesen Fehler (schnell) zu entdecken und c) die Bedeutung des Fehlers hinsichtlich einer schnellen Behebung.

**Wahrscheinlichkeit des unvorhergesehenen Fehlereintritts**

Sehr gering 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Sehr stark  7

**Wahrscheinlichkeit der schnellen Entdeckung**

Sehr gering 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Sehr stark  4

**Bedeutung des Fehlers hinsichtlich schneller Behebung, Komplexität der Reparatur, Kosten, ...**

Sehr gering 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Sehr hoch  7

**Weitere Anmerkungen:**

**Welche (physikalischen) Größenwürden eine Überwachung der Komponente ermöglichen?**

Temperatur  
 Erschütterung, Schwingungen  
 Biegung/Torsion  
 Druckänderung  
 Ölanalyse  
 Lage  
 Stromaufnahme

Sonstige:

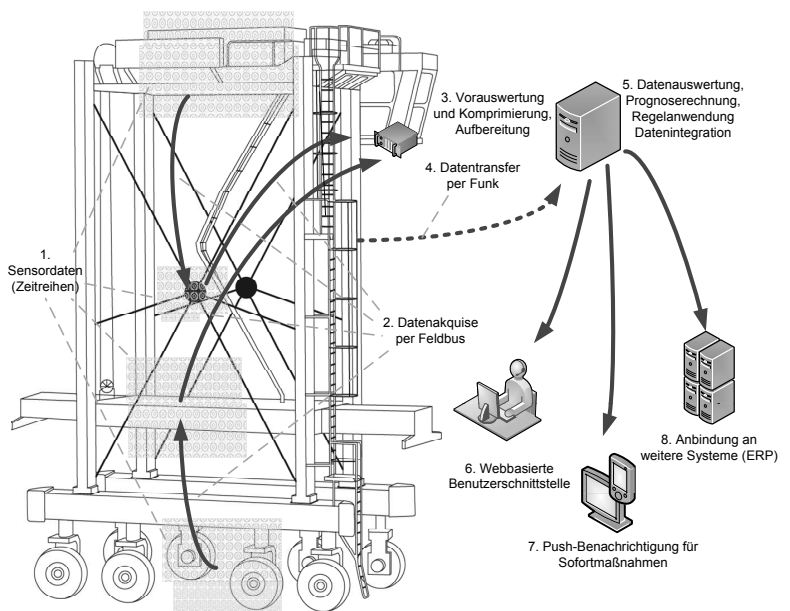
**Ölstandsveränderung**

Bild 2: Beispielhafte Primärerhebung in der Analysephase.

lediglich operative Systeme, welche nicht die Möglichkeit bieten, planerisch in den Prozess einzugreifen. Zustände instandhaltungsrelevanter Komponenten werden dabei durch den Einbau von zusätzlichen Sensoren überwacht. An den Hafenumschlagsgaräten werden hierbei verschiedene Systeme, d.h. hydraulische, mechanische und elektrische Komponenten, überwacht und können

hinsichtlich des Zustands online begutachtet werden. Als Besonderheit in dem betrachteten logistischen Szenario werden die generierten Daten hierbei über ein Feldbusystem zunächst an eine On-Board-Unit übermittelt, die eine Aufbereitung der Daten durchführt, um diese über W-LAN an eine Auswerteeinheit zu übertragen. Unter Zuhilfenahme von Regelsystemen und

Bild 3: Konzept zur Zustandserfassung von Systemen und Baugruppen mit anschließender Bewertung und Prognoserechnung.



Algorithmen wird der optimale Wartungszeitpunkt zwischen einer zu frühen Instandhaltung und dem Maschinenausfall prognostiziert. Den Nutzern werden diese Informationen über eine Web-Applikation zur Verfügung gestellt, die über eine Ampelfunktion und detaillierte Zeitreihen den Zustand des gesamten Portalhubwagen-Fuhrparks inklusive der einzelnen Fahrzeuge und Komponenten analysieren können.

Mobile Endgeräte sollen die Mitarbeiter in der Instandhaltung bei ihren Prozessen unterstützen, indem über eine intuitive Mensch-Maschine-Schnittstelle relevante Informationen und unterstützendes Wissen zur Verfügung gestellt wird. Neben extremen Umweltbedingungen in Form von Salzwasser, Ölen und Fetten, die auf die Hardware einwirken, bestehen besondere Herausforderungen in der Auswertung der Daten. Die Aufnahme der Messwerte erfolgt kontinuierlich, sodass z.B. bei der Aufnahme von Schwingungen bestimmter Komponenten mit Störschwingungen zu rechnen sein wird, die bei der Fahrt der Portalhubwagen auf dem Hafengelände auftreten.

## Ausblick

Wesentliche Handlungsfelder bei der Zustandserfassung von Systemen und Baugruppen werden in der Bereitstellung funktionsfähiger Sensoren gesehen, die unter anderem den Umweltbedingungen im Hafenumfeld entsprechen. Darüber hinaus muss das Zustandserfassungssystem dabei grundsätzlich eine sehr hohe Verfügbarkeit aufweisen. Die Anwendung bekannter mathematisch-statistischer Verfahren

bei der weitergehenden Datenanalyse wird zeigen, inwieweit die Prognose von Ausfalldaten tatsächlich möglich ist, um im Praxisumfeld verlässliche Wartungsaufträge zu generieren. Auf übergeordneter Ebene ist als entscheidender Erkenntnisgewinn ein methodisches Vorgehen zur Analyse und Umstellung bestehender Systeme zu sehen bei denen, unabhängig vom Hersteller in einem Re-Engineering-Ansatz entsprechend der funktionalen und hierarchischen Struktur, ein angepasstes System entwickelt werden kann. Idealerweise führt das oben angesprochene Softwarewerkzeug in Zukunft dazu, dass der Projektingenieur von der Aufnahme der strukturellen Gegebenheiten geführt zum komplexen Regelsystem der Zustandsbewertung gelangt.

## Literatur

- [1] Biedermann, H.: Ersatzteilmanagement: Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen, 2. Auflage. Berlin Heidelberg 2008.
- [2] Matyas, K.: Taschenbuch Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern, 2. Auflage. München 2005.
- [3] Gudehus, T.: Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen, 3. Auflage. Berlin 2005.
- [4] Schuh, G.; Kampker, A.; Franzkoch, B.; Wemhöner, N.: Studie Intelligent Maintenance: Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung. URL: [http://www.ifm.de/ifmde/web/studie\\_ergebnisse.htm](http://www.ifm.de/ifmde/web/studie_ergebnisse.htm), Abrufdatum 29.05.2009.
- [5] Byrne, G.; Dornfeld, D.; Inasaki, I.; Ketteler, G.; König, W.; Teti, R.: Tool Condition Monitoring (TCM) - The Status of Research and Industrial Application. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology 44 (1995) 2, S. 541-567.
- [6] Garcia, M. C.; Sanz-Bobi, M. A.; del Pico, J.: SIMAP: Intelligent System for Predictive Maintenance: Application to the health condition monitoring of a windturbine gearbox. In: Computers in Industry 57 (2006) 6, S. 552-568.
- [7] Freitag, M.; Herzog, O.; Scholz-Reiter, B.: Selbststeuerung logistischer Prozesse: Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. In: Industrie Management 20 (2004) 1, S. 23-27.
- [8] Scholz-Reiter, B.; Böse, F.; Jagalski, T.; Windt, K.: Selbststeuerung in der betrieblichen Praxis: Ein Framework zur Auswahl der passenden Selbststeuerungsstrategie. In: Industrie Management 23 (2007) 3, S. 7-10.
- [9] Haberfellner, R.; Daenzer, W. F.; Becker, M.: Systems Engineering: Methodik und Praxis, 9. Auflage. Zürich 1997.

## Schlüsselwörter:

Instandhaltung, Zustandserfassung, Sensoranwendung, Vorgehensmodell zur Systemanalyse

### New Maintenance Strategies in Port Logistics – A Case Study for Condition-Based Maintenance of Van Carriers

Throughout the whole lifecycle, maintenance activities generally have to be fulfilled regarding technical systems. In logistics networks the creation of value at the nodes by means of rapid turnover is important, so that the availability of the production factor "machine" is essential. The increase in efficiency of support processes encompasses among others the maintenance of machines and installations. Within the paper, a procedure model with case study is presented, which illustrates the change-over to a condition-based maintenance strategy in the seaport surrounding.

#### Keywords:

maintenance, condition monitoring, sensor application, procedure model for system engineering