



# UdZ

# 2/2007

## Unternehmen der Zukunft

FIR-Zeitschrift für Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung

Schwerpunkt:

**/** Dienstleistungsmanagement

Foto: © 2007 Sartorius AG



[www.fir.rwth-aachen.de](http://www.fir.rwth-aachen.de)

## Impressum

UdZ – Unternehmen der Zukunft  
 FIR-Zeitschrift für Betriebsorganisation  
 und Unternehmensentwicklung  
 8. Jg., Heft 2/2007, ISSN 1439-2585  
 „UdZ – Unternehmen der Zukunft“ informiert mit Unterstützung des Landes Nordrhein-Westfalen vierteljährlich über die wissenschaftlichen Aktivitäten des FIR

### Herausgeber

Forschungsinstitut für Rationalisierung e. V.  
 an der RWTH Aachen  
 Pontdriesch 14/16, D-52062 Aachen  
 Tel.: +49 2 41 47705-0  
 Fax: +49 2 41 47705-199  
 E-Mail: [info@fir.rwth-aachen.de](mailto:info@fir.rwth-aachen.de)  
 Web: [www.fir.rwth-aachen.de](http://www.fir.rwth-aachen.de)  
 Bankverbindung: Sparkasse Aachen  
 BLZ 390 500 00, Konto-Nr. 000 300 1500

### Direktor

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh

### Geschäftsführer

Dr.-Ing. Volker Stich

### Bereichsleiter

Dipl.-Ing. Gerhard Gudergan (Dienstleistungsmanagement)  
 Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Peter Laing (Informationsmanagement)  
 Dipl.-Ing. Carsten Schmidt (Produktionsmanagement)

Redaktion, Satz und Database Publishing  
 Olaf Konstantin Krueger, M.A. (Informationsmanagement)  
 Tel.: +49 241 47705-510

E-Mail: [OlafKonstantin.Krueger@fir.rwth-aachen.de](mailto:OlafKonstantin.Krueger@fir.rwth-aachen.de),  
[redaktion-udz@fir.rwth-aachen.de](mailto:redaktion-udz@fir.rwth-aachen.de)

School of Communication, Information and New Media  
 University of South Australia, Adelaide SA 5001 Australia  
 Ph.: +61 8 8302 4656, E-mail: [office@m-publishing.com](mailto:office@m-publishing.com)

### Design, Satz, Layout und Bildbearbeitung

Birgit Kreitz, FIR, Tel.: +49 241 47705-153

### Bildnachweis

Soweit nicht anders angegeben, FIR-Archiv

### Anzeigenpreisliste

Es gilt Tarif Nr. 4 vom 01.02.2007

### Druck

Kuper-Druck GmbH  
 Eduard-Mörke-Straße 36, D-52249 Eschweiler

### Copyright

Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden

### Weitere Literatur im Web

[www.fir.rwth-aachen.de/service](http://www.fir.rwth-aachen.de/service)

# Instandhaltungsspezifische Lebenszykluskosten als Basis von Investitionsentscheidungen

Methodik des FIR ermöglicht größeres Optimierungspotenzial

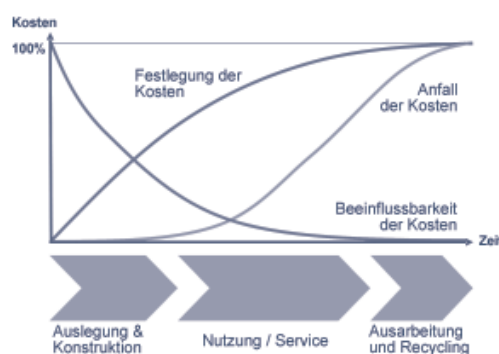
## FIR-ASSIST

Der immer intensiver werdende internationale Wettbewerb stellt hohe Anforderungen an die Kosteneffizienz produzierender Unternehmen. Einen nicht zu vernachlässigenden Teil der Kosten machen dabei Ausgaben für Entwicklung und Bau sowie insbesondere für den Betrieb der Anlagen aus. Daher darf bei der Investitionsentscheidung neuer Anlagen der Fokus nicht einseitig auf den Anschaffungskosten liegen. Vielmehr müssen die Lebenszykluskosten als Entscheidungskriterium betrachtet werden, da hierin zusätzlich zu den Anfangsinvestitionen die laufenden Kosten über den gesamten Lebenszyklus enthalten sind. Davon machen die Instandhaltungskosten einen wesentlichen Teil aus. Die Instandhaltung wird meist nicht als Bestandteil der Wertschöpfungskette angesehen, weshalb sie in der Praxis häufig lediglich als Nebenbedingung beziehungsweise feste Größe in die Kostenkalkulation eingeht. Angesichts des Nutzens, den die Instandhaltung vor allem in Form von reduzierten Anlagenausfällen generiert, stellt sie einen wichtigen Teil des Wertschöpfungsprozesses dar und sollte auch als solcher angesehen werden.

Da die Höhe der Instandhaltungskosten maßgeblich von der angewandten Instandhaltungsstrategie sowie der Konstruktion der Anlagen in Bezug auf die Instandhaltbarkeit beeinflusst wird, ist auf diese Aspekte bei der Investitionsplanung ein besonderes Augenmerk zu legen (Bild 1).

allen für im Produktionsprozess unkritische Anlagen an. Bei der präventiven Instandhaltung wird die Lebensdauer von Verschleißteilen auf der Basis von Erfahrungswerten abgeschätzt und unter Beachtung eines entsprechenden Sicherheitspolsters regelmäßig ausgetauscht. Diese Strategie zeichnet sich durch eine gute Planbarkeit aus, jedoch entstehen bei sehr teuren Bauteilen hohe Kosten, da die Ersatzteile bedingt durch die suboptimale Abschöpfung des Abnutzungsvorrates des Bauteils in kürzeren Zyklen ausgetauscht werden. In diesem Fall bietet sich die zustandsabhängige Instandhaltung an. Hierbei wird durch den Einsatz geeigneter Sensoren der Zustand der Bauteile überwacht. Kurz vor dem Defekt stehende Komponenten können somit rechtzeitig, aber mit verbesserter Ausnutzung der Bauteillebensdauer, ausgetauscht werden. Die für diese Instandhaltungsstrategie benötigte messtechnische Infrastruktur ist jedoch aufwändig, daher lohnt der Einsatz meist nur bei kritischen Anlagen und Bauteilen. In Anbetracht der unterschiedlichen Kostenstrukturen der drei Strategien kommt der Festlegung selbiger ein hoher Stellenwert zu, da sich daraus über den Lebenszyklus kumuliert stark unterschiedliche Gesamtkosten ergeben können.

Bild 1  
Beeinflussbarkeit der anlagenbezogenen Instandhaltungskosten



## Instandhaltungsstrategie als Einflussfaktor der Lebenszykluskosten

Die Betrachtung der Lebenszykluskosten als Grundlage für Investitionsentscheidungen stellt eine komplexe Aufgabe dar, in die viele Schätzwerte und Unsicherheitsvariablen mit eingehen. Aus diesem Grund bieten sich Szenarioanalysen zur Reduzierung der Entscheidungscomplexität an. Bei den für die Lebenszykluskosten maßgeblichen Instandhaltungskosten unterscheidet man drei Strategien, die in unterschiedlichem Maße Kosten verursachen: Reaktive, präventive und zustandsabhängige Instandhaltung. Wird die reaktive Instandhaltung angewendet, werden Reparaturen nur durchgeführt, wenn es bereits zu einer Störung der Anlage gekommen ist. Diese Methode gewährleistet eine maximale Nutzungsdauer der Komponenten und bietet sich vor

## Klassifizierung der Anlagen im Produktionsprozess

Die optimale Instandhaltungsstrategie muss für jedes Unternehmen individuell bestimmt werden. Um den spezifischen Rahmenbedingungen im betrachteten Unternehmen Rechnung zu tragen, wird die Anlage vor der Investitionsentscheidung einer Wertstromanalyse unterzogen. Bei dieser Methode wird der Wertschöpfungsprozess entlang der Material- und Informationsflüsse innerhalb des Produktionssystems untersucht. Somit können die im System befindlichen Anlagen dem

ablaufenden Produktionsprozessen und jeweiligen Prozessschritten zugeordnet werden. Mit diesen Daten werden potenzielle Kapazitätsengpässe, Sicherheitsbestände und relevante vor- oder nachgelagerte Anlagen für eventuelle Fehlerketten identifiziert. Hieraus leitet sich die Bedeutung der Anlagen im Produktionsprozess, anhand derer die Anlagen klassifiziert werden, ab.

Zur Einteilung in Prioritätsklassen dienen folgende drei Kriterien:

- Die Beeinflussung der Leistungsfähigkeit des Produktionsschrittes gibt Auskunft darüber, welchen Stellenwert die Redundanzanlage innerhalb eines Produktionsschrittes besitzt, d.h. ob und inwiefern eine Störung durch andere Anlagen innerhalb des Prozessschrittes kompensiert werden kann. Von Belang ist hier besonders, welchen Anteil die betrachtete Anlage an der gesamten Produktionskapazität in dem entsprechenden Produktionsschritt besitzt.
- Die Beeinflussung der internen Produktionskette zeigt auf, inwiefern nachfolgende Produktionsschritte durch eine Störung beeinflusst werden. Dieses Kriterium gibt auch Auskunft über die benötigte Höhe der Sicherheitsbestände.
- Die Beeinflussung der nachfolgenden externen Prozessketten bildet die Bedeutung einer Störung für den Kunden ab. Zu nennen sind hier beispielsweise die Nichteinhaltung von Lieferterminen sowie Qualitätsanforderungen.

Erfahrungen in der Praxis haben gezeigt, dass eine einfache Einteilung der obigen Kriterien in kritisch und unkritisch zweckmäßig ist. Nach der binären Einteilung der drei Kriterien ergibt sich eine Klasseneinteilung mit acht Klassen.

In einem nächsten Schritt werden die Anlagen detaillierter betrachtet, d.h. die einzelnen Bauteile werden einer FMEA, der so genannten Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, unterzogen. Dabei kann aus Kostengründen auf eine Detailanalyse von als unkritisch klassifizierten Anlagen verzichtet werden. Die FMEA bestimmt, wie kritisch, wahrscheinlich und prognostizierbar eine Störung an einem Bauteil ist und ermöglicht dadurch eine Einteilung der Bauteile in wiederum acht Prioritätsklassen.

Abschließend erfolgt eine Überprüfung des Auswahlresultates unter dem Gesichtspunkt der Kosten, die für die Reparatur der Anlage anfallen. An dieser Stelle werden die Ersatzteilkosten sowie die für die Instandsetzung benötigten zeitlichen und personellen Ressourcen in die Betrachtung einbezogen. Dieser Punkt dient vor allem der Kontrolle der Wirtschaftlichkeit der ausgewählten Instandhaltungsstrategie. Somit sollen Fälle vermieden werden, bei denen kostenintensive Sensoren für ein billiges und leicht zu wechselndes Bauteil eingesetzt werden und so einen geringeren Nutzen als ihre Kosten erzeugen.

#### Ableitung der lebenszyklusoptimierten Instandhaltungsstrategie

In der heutigen Zeit wird die Instandhaltungsstrategie häufig allein von der Anlagenklasse bestimmt. In Anlagen der Klasse H, die unkritisch sind, werden die Bauteile mittels reaktiver Instandhaltung behandelt. Sind in der unkritischen Anlage aber sehr kritische Bauteile der Klasse 1 vorhanden, ist eine reaktive Instandhaltung nicht die optimale Strategie hinsichtlich der Kosten und der Anlagenverfügbarkeit. Aus der erfolgten Einteilung von Anlagen und dazugehörigen Bauteile kann die optimale Instandhaltungsstrategie für



Bild 2  
Beispiel zur Ableitung der optimalen Instandhaltungsstrategie

jedes Bauteil systematisch durch Kombination der Bauteil- mit der Anlagenklasse abgeleitet werden. Beispielsweise könnte ein Bauteil der Klasse 1, welche bedeutet, dass der Fehler kritisch ist, häufig vorkommt und vorhersehbar ist, in einer Anlage der Klasse C verbaut sein, bei der eine Störung sowohl für den betrachteten als auch für den gesamten nachfolgenden internen Produktionsprozess kritisch ist (Bild 2, Seite 27). In diesem Fall eignet sich eine reaktive Instandhaltungsstrategie nicht. Ob nun die zustandsorientierte oder die präventive Strategie die optimale Wahl darstellt, hängt von den Kosten für eine mögliche Reparatur des Bauteils ab. Im Falle von niedrigen bauteilbezogenen Kosten und relativ langen Nutzungszyklen bietet sich die präventive Instandhaltungsstrategie an. Andernfalls eignet sich die zustandsabhängige Instandhaltung, da die hohen Kosten des Bauteils den Einsatz eines ebenfalls kostspieligen Condition Monitoring Systems rechtfertigen.

#### Strategieabhängige Anpassung der Anlagenkonstruktion

Ein Großteil der Instandhaltungskosten ist konstruktionsbedingt und wird daher schon in der Planungsphase festgelegt. Hier zeigt sich ein weiterer Vorteil der frühzeitigen Bestimmung der optimalen Instandhaltungsstrategie, da zu diesem Zeitpunkt noch eine hohe Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten gegeben ist. Ist eine Anlage erst einmal in Betrieb, verursacht eine Anpassung an die Bedürfnisse der Instandhaltung hohe Kosten oder ist gar nicht mehr möglich. Ein so betriebenes „design to maintain“ birgt große Einsparpotenziale im Bezug auf personelle Ressourcen und Stillstandszeiten. Ist für ein Bauteil beispielsweise schon in der Anlagenkonstruktionsphase bekannt, dass sich aufgrund

der ausgewählten Instandhaltungsstrategie eine hohe Austauschfrequenz ergibt, kann die Konstruktion dahingehend angepasst werden, dass eine schnelle und gute Erreichbarkeit gewährleistet ist. Eine zusammenfassende Darstellung der entwickelten Vorgehensweise ist in Bild 3 wiedergegeben.

#### Einsparpotenzial der Lebenszykluskostenbetrachtung

Verschiedene Anlagentypen mit verschiedenen Strategien können in Szenarien kombiniert und über ihren gesamten Lebenszyklus monetär bewertet und mit anderen Szenarien verglichen werden. Die Szenarioanalyse bietet dann die Möglichkeit, eine optimal an die unternehmensspezifischen Gegebenheiten und Ziele angepasste Investitionsentscheidung zu treffen.

Monetäre Erfolge generieren sich vor allem durch die Reduzierung der laufenden Unterhaltskosten der Anlagen infolge kostenoptimaler Instandhaltungsstrategien sowie durch eine Verkürzung der Reparatur- und Stillstandszeiten durch einen konstruktionsbedingt erleichterten Zugriff auf häufig zu wechselnde Bauteile. An dieser Stelle werden sowohl die indirekten (z.B. Ausfallkosten) als auch die direkten Instandhaltungskosten vermindert. Mögliche Mehrkosten durch diese Modifikationen der Konstruktion, sollten von den Einsparungen aufgefangen werden (Bild 4). Hierzu bietet sich die Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an.

Eine solche Lebenszyklusbetrachtung muss nicht notwendigerweise vom Anlagenbetreiber durchgeführt werden, das vorgestellte Konzept kann auch als Service durch den Hersteller oder spezialisierte Dienstleister angeboten werden.

Bild 3  
Darstellung der entwickelten Vorgehensweise zur Lebenszyklusbetrachtung bei der Instandhaltungsstrategieauswahl



Zusammenfassung

Übergreifend betrachtet lässt sich feststellen, dass notwendige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Instandhaltung und damit die Kosteneffizienz des Unternehmens nur erreicht werden können, wenn die richtige Instandhaltungsstrategie für eine entsprechende Anlage über den gesamten Lebenszyklus gewählt wird. Lebenszyklusbetrachtungen stellen an dieser Stelle keinen neuen Ansatz dar, aber der vorliegende am FIR entwickelte Ansatz geht detailliert auf die instandhaltungsrelevanten Faktoren ein und ermöglicht – mit adäquaten Aufwendungen – eine fundierte Investitionsentscheidung auf Basis der abgeleiteten Strategiekostenzenarien. Mit der Einbeziehung der konstruktiven Optimierung der Anlage schon vor der eigentlichen Herstellung geht diese Vorgehensweise noch einen Schritt weiter als andere Lebenszyklusbetrachtungen und ermöglicht somit weitere Optimierungspotenziale.

Die vorgestellte Methodik dient dazu, die Entscheidungsfindung zu strukturieren und dahingehend einzugrenzen, dass eine wirtschaftlich optimale Investitionsentscheidung getroffen werden kann, ohne dass dabei die Planungskosten aus dem Rahmen fallen. Angesichts des enormen Einsparpotenzials im Kontrast zu den Kosten der Entscheidungsfindung wird die Effektivität dieser Vorgehensweise deutlich.

Ziel des Konzeptes ist es, der Abhängigkeit der Instandhaltungskosten von den Instandhaltungsstrategien sowie der Konstruktion der Anlagen Rechnung zu tragen. So können Kosten, bestehend aus erhöhten Anlagestillständen und gesteigertem Personal- und Ressourcenbedarf, verhindert werden. Diese werden bereits bei der Planung von Anlageninvestitionen als variable Parameter mit einbezogen.

Bild 4  
Einsparpotenziale der Lebenszyklusbetrachtung



Dipl.-Kfm. Cord-Philipp Winter  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am FIR  
im Bereich Dienstleistungsmanagement  
Fachgruppe Instandhaltung  
Tel.: +49 241 47705-243  
E-Mail: Cord-Philipp.Winter@fir.rwth-aachen.de

Dipl.-Kfm. Kevin Podratz  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am FIR  
im Bereich Dienstleistungsmanagement  
Fachgruppe Instandhaltung  
Tel.: +49 241 47705-235  
E-Mail: Kevin.Podratz@fir.rwth-aachen.de

Dipl.-Ing. Bert Lorenz  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am FIR  
im Bereich Dienstleistungsmanagement  
Leiter Fachgruppe Instandhaltung  
Tel.: +49 241 47705-225  
E-Mail: Bert.Lorenz@fir.rwth-aachen.de