

Erfahrungsbasierte Entscheidungsunterstützung des Anlagenmanagements für einen sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetrieb

Michael Schenk, Frank Ryll

1 Einführung

Das Anlagenmanagement ist eine Querschnittsaufgabe innerhalb des Unternehmens im Zusammenwirken mit zahlreichen externen Partnern. Es ist für das effektive und effiziente Zusammenwirken von Prozessen der Fabrikplanung, des Fabrikbetriebs und der Instandhaltung verantwortlich und damit in alle Phasen des Lebenszyklus einer technischen Anlage involviert (Schenk et al. 2003). Das sich daraus ergebende breite und interdisziplinäre Aufgabenspektrum erstreckt sich von der Planung einer komplexen technischen Anlage, über deren Beschaffung und Errichtung, den Betrieb und die Instandhaltung bis hin zu ihrer Außerbetriebnahme und Demontage/Entsorgung. Ein besonderes Kennzeichen des Lebenszyklus moderner, wandlungsfähiger Anlagen besteht darin, dass sich die Zyklen immer mehr verkürzen. Dies führt zu ständig wechselnden Anforderungen und Aufgabenverteilungen und damit zwangsläufig auch zu kürzeren Planungszyklen und einer abnehmenden Planungssicherheit (VDI 2007, Schenk/Wirth 2004).

Im Mittelpunkt dieses Beitrages steht die Beschreibung einer Methode zur Entscheidungsunterstützung des Anlagenmanagements, insbesondere für die Gestaltung von logistischen Prozessen der Instandhaltung.

Oberstes Ziel des Anlagenmanagements und der Instandhaltungslogistik sind stabile Prozesse in technischen Anlagen (Biedermann 2002). Darunter lassen sich drei Teilziele definieren. An oberster Stelle steht die Gewährleistung der Anlagensicherheit. Diese umfasst alle Maßnahmen, die darauf gerichtet sind, eine bestimmungsgemäße Anlagennutzung ohne negative Auswirkungen für den Menschen, die Umwelt und den Produktionsprozess zu ermöglichen. Darunter ordnet sich die Gewährleistung einer bestimmungsgemäßen Nutzung im Sinne der Sicherung aller notwendigen und erwünschten Funktionen einer Anlage ein. Diese bilden letztlich eine wichtige Grundlage für das Erreichen der Unternehmensziele hinsichtlich Produktionsmengen, Lieferterminen und Qualitätsniveau. Ein weiteres Ziel lässt sich hinsichtlich der Überwachung und Steigerung der Effizienz beim Betrieb

von Anlagen definieren, z.B. Senkung des Ressourcenverbrauchs sowie Erschließung von Kostensenkungspotenzialen.

2 Gestaltung einer zustandsabhängigen Instandhaltung

Die Anwendung der richtigen Instandhaltungsstrategie (Abbildung 1) entscheidet maßgeblich über die Zuverlässigkeit technischer Anlagen sowie die Instandhaltungskosten.

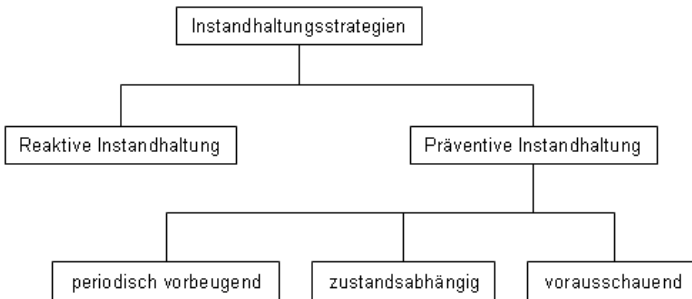


Abbildung 1: Instandhaltungsstrategien nach (Matyas 2002)

Da sich die Auswirkungen von Veränderungen der Instandhaltungsstrategie in der Regel erst mittel- und langfristig zeigen und oftmals durch andere Einflussfaktoren überlagert werden (z.B. Produktumstellungen, Auslastungen), gestaltet sich der konkrete Nachweis über Kostenreduzierungen im Instandhaltungsbereich schwierig. Nachweisbar ist ein Zusammenhang zwischen der Instandhaltungsstrategie und der Ausnutzung des Abnutzungsvorrates von Komponenten technischer Anlagen und der Ausfallzeit durch Störungen. Der Abnutzungsvorrat ist definiert als „Vorrat der möglichen Funktionserfüllungen unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt“ (DIN 2003). Während der Nutzung einer technischen Anlage erfolgt eine Verringerung des Abnutzungsvorrates. Die Ursache hierfür liegt in der Abnutzung ihrer Komponenten begründet.

Die geringste Ausfallzeit bei sehr guter Ausnutzung des Abnutzungsvorrates wird durch Verwendung der zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie, häufig auch als Inspektionsstrategie bezeichnet, erreicht. Der wesentliche Unterschied zu den anderen Strategien besteht darin, dass sich die Steuergröße für die Auslösung von Instandhaltungsmaßnahmen ändert. Während bei der klassischen periodisch vorbeugenden Instandhaltung diese Steuergröße letztlich die Zeit ist (Abbildung 2), wird jetzt der Zustand zur Steuergröße, z.B. über die Kenngröße Abnutzungsvorrat quantifiziert (Ab-

bildung 3). Mit der zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie wird es möglich, Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen genau zu dem Zeitpunkt durchzuführen, wenn es der Abnutzungsvorrat erfordert. Das setzt allerdings die Bereitstellung von aktuellen Zustandsinformationen über die technische Anlage voraus, damit Abweichungen vom normalen Betriebsverhalten schnell erkannt werden können.

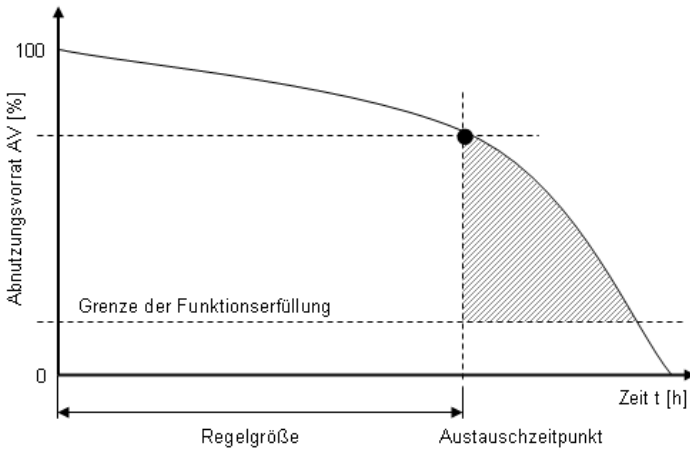


Abbildung 2: Regelgröße Zeit bei der periodisch vorbeugenden Instandhaltung

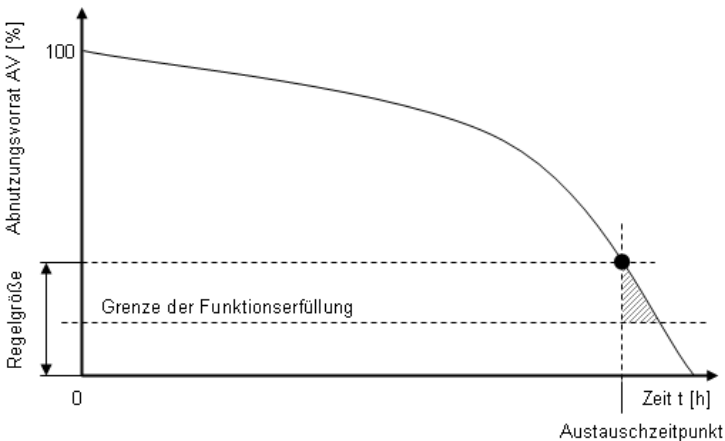


Abbildung 3: Regelgröße Abnutzungsvorrat bei der zustandsabhängigen Instandhaltung

Die Instandhaltungsintervalle werden auf die Veränderungen im Abnutzungsvorrat angepasst.

Die Zustandsüberwachung der Inspektionsmethode erfolgt mittels Methoden und Werkzeugen der Technischen Diagnostik. Die einfachste Form ist eine Überwachung durch den Menschen in Form regelmäßiger Inspektionen mit Erfassung und Bewertung zustandsrelevanter Parameter. Bei einer technischen Unterstützung durch Condition Monitoring Systeme (CMS) reduziert sich der Aufwand für die Durchführung der manuellen Inspektionen, da diese selbständig zyklisch oder kontinuierlich durchgeführt werden.

Eine zustandsabhängige Instandhaltung kommt dann zur Anwendung, wenn die Veränderung an Abnutzungsvorrat messbar, d.h. technisch machbar ist, und eine messtechnische Erfassung zustandsbestimmender Parameter auch wirtschaftlich vertretbar ist. Durch Inspektionen wird es möglich, Schäden rechtzeitig zu detektieren und den Schadenseintritt sehr genau vorherzusagen. Durch entsprechende zustandserhaltende Maßnahmen werden Anlagenausfälle weitgehend vermieden, was zur Erhöhung der Zuverlässigkeit beiträgt. Außerdem verbleibt für die Instandhaltungsabteilung ein ausreichend großer Zeitraum, die Schadensbeseitigung zu einem geeigneten Zeitpunkt durch gut vorbereitete Instandsetzungsmaßnahmen schnell und günstig durchzuführen. Dieser Umstand wirkt sich positiv auf die Instandhaltungskosten aus.

Aktuelle Studien zeigen, dass sich die zustandsabhängige Instandhaltung in den Unternehmen mit steigender Tendenz etabliert (Schuh et al. 2005, Müller/Jungjohann 2007). So wenden 65% der befragten Industrieunternehmen laut einer Umfrage (Schuh et al. 2005) eine zustandsorientierte Instandhaltung seit ca. sieben Jahren an. Als Vorteile werden von den Unternehmen die Verringerung von Umsatzausfällen durch Stillstandszeiten und die Reduzierung von Instandhaltungskosten genannt, wobei der erste Punkt bei der Entscheidung über die Einführung entscheidend ist.

Die Vorteile der Einführung einer zustandsorientierten Instandhaltung lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen:

- bessere Planbarkeit von Stillstandszeiten,
- Reduzierung unnötiger Reparaturen und Demontagen,
- Steigerung der Effizienz in der Instandhaltung,
- Erhöhung der wartungsfreien Maschinenlaufzeit,
- Reduzierung der Zeiten für Fehlersuchen,
- Verringerung von Produktionsausfällen wegen ungeplanter Maschinenstillstände,
- Verringerung von Instandhaltungskosten (Schuh et al. 2005).

Allgemein wird eingeschätzt, dass noch viele Potenziale der zustandsorientierten Instandhaltung dadurch verschenkt werden, dass viele Methoden nicht durchgängig angewendet werden. Die Gründe dafür liegen oftmals in den hohen Investitionskosten für die erforderlichen Geräte zur Schwingungsanalyse u.ä. Für viele Unternehmen ist die Zustandserhebung entweder technisch zu komplex oder zu teuer.

Die Gestaltung einer zustandsabhängigen Instandhaltung setzt darüber hinaus die Anwendung von Methoden zur Gewinnung und Interpretation von Zustandsinformationen zur Ermittlung von Lebensdauern, wirtschaftlichen Nutzungsdauern bzw. Austauschintervallen voraus. Bisherige Lösungsansätze basieren häufig auf der Anwendung statistischer oder analytischer Methoden auf der Grundlage von statistischen Auswertungen des Ausfallverhaltens, äquivalenten Belastungen, Belastungskollektiven oder der Beschreibung von Werkstoffveränderungen. Dazu zählen beispielhaft:

- analytische Modelle auf der Grundlage bekannter bzw. empirischer Verteilungsfunktionen der Ausfallabstände,
- Fehlermöglichkeits- und -einflussanalysen (FMEA) bzw. Analysen zur Fehlertoleranz und Schaffung von Redundanzen (z.B. RCM),
- Nutzwertanalysen, Life Cycle Costing, Total Cost of Ownership,
- Betriebswirtschaftliche Modelle (z.B. Investitionstheoretischer Ansatz)
- ereignisorientierte Simulationsmodelle,
- Anwendung von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (z.B. KNN... Künstliche Neuronale Netze),
- Verfahren der technischen Diagnose mit einer direkten Verbindung zu den physikalischen und chemischen Einflussfaktoren auf den Zustand einer Anlage.

Die erforderlichen Eingangsgrößen für die Anwendung der genannten Methoden werden häufig bei den Anlagenherstellern im Zusammenhang mit dem Produktentwicklungsprozess und Zuverlässigkeitsuntersuchungen erzeugt, bleiben dort aber meist eines der am besten gehüteten Geheimnisse, d.h. sie werden also nicht in die Betriebsphase zur Nutzung weitergegeben. Außerdem ist für die Instandhaltung immer ein konkretes technisches Objekt von Interesse, d.h. dessen Verhalten, und nicht das Verhalten einer statistischen Grundgesamtheit. Dazu kommt noch der beträchtliche Aufwand für die Durchführung der Analysen und die Voraussetzung von sicheren Kenntnissen im Bereich der mathematischen Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung bei den handelnden Personen. Die in statistischen Verfahren immer vorhandenen Unsicherheiten wegen der Vielzahl der benötigten Eingangsgrößen und Rechnung mit Wahrscheinlichkeiten führen auch zu einem Akzeptanzproblem bei den Anwendern.

Häufig wird unzureichend berücksichtigt, dass der Anlagenbetreiber und Instandhaltungsdienstleister über viele eigene fundierte Erfahrungen über das Betriebs- und Ausfallverhalten seiner konkreten Anlagen verfügen. Diese Erfahrungen liegen allerdings häufig nicht als a priori Wissen vor, sondern in impliziter Form in den Köpfen des Betriebs- und Instandhaltungspersonals sowie beim Anlagenmanagement. Eine neu zu entwickelnde Methode soll dieses Wissen akquirieren und für Entscheidungen der Instandhaltung nutzbar machen.

3 Methode zur erfahrungsbasierten Bestimmung von Abnutzungsvorräten

Im Folgenden wird eine Methode zur erfahrungsbasierten Bestimmung von Abnutzungsvorräten beschrieben. Die Kenngröße wird dabei zur Quantifizierung des Zustandes einer technischen Anlage verwendet. Der grundsätzliche Ansatz der Methode besteht darin, die Auswirkungen wechselnder Beanspruchungen auf Bauteile hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Abbau ihres vorhandenen Abnutzungsvorrates zu beschreiben. Zur Beschreibung von Ursache-Wirkungszusammenhängen zwischen Beanspruchungen und Verbrauch an Abnutzungsvorrat wird bewusst auf implizites Wissen (Erfahrungswissen) aller im Bereich des Anlagenmanagements tätigen Personen, unterstützt durch explizites Wissen aus dem Herstellungs- und Betriebsprozess, gebaut. Grundsätzlich besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Anlagennutzung und den erforderlichen Leistungen der Instandhaltung. Dessen Kenntnis ermöglicht die Umsetzung einer belastungs- und zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie, die nicht starr, sondern jeweils auf die aktuelle Anlagennutzung abgestimmt ist (Abbildung 4) (Männel 1988). Die Darstellung verdeutlicht die starke Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs der Zustandsveränderung eines technischen Objekts von seinen realen Einsatzbedingungen und damit Beanspruchungen. Eine stärkere Kopplung von Instandhaltungsmaßnahmen an die Anlagennutzung bietet für einen Anlagenbetreiber ein großes Kostensenkungspotenzial, ohne dabei die Sicherheit des Anlagenbetriebs zu gefährden. Um diese Kopplung zu realisieren, ist es erforderlich, den Zusammenhang zwischen Nutzung und Zustandsveränderung zu beschreiben. Dazu wird auf die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Verringerung der Überlebenswahrscheinlichkeit bzw. des Abbaus des Abnutzungsvorrates einer Betrachtungseinheit zurückgegriffen (Abbildung 5) (Moubray 1996).

Abbildung 5 zeigt die Situation eines deutlich schnelleren Abbaus des Abnutzungsvorrates. Die Ursachen liegen darin, dass das technische Objekt während der Nutzung stärkeren Beanspruchungen ausgesetzt wurde, als dies bei der Spezifikation und konstruktiven Auslegung angenommen wurde.

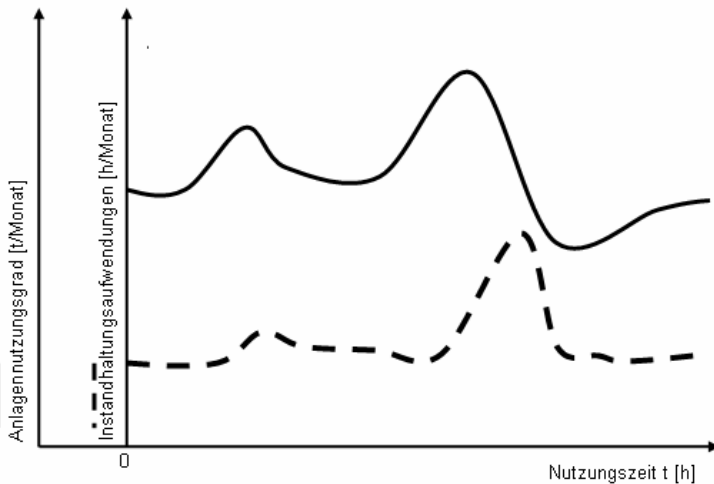


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Anlagennutzung und Instandhaltungsbedarf (Männel 1988)

Die Konsequenz für das Anlagenmanagement besteht darin, dass zum Zeitpunkt T die wahrscheinlich vorhandenen Abnutzungsvorräte unter den theoretisch erwarteten liegen ($-\Delta AV$). Daraus ergibt sich, dass auch die erreichbaren Restnutzungsdauern ebenso unterhalb der Erwartungen liegen werden ($-\Delta ND$). Eine Planung vorbeugender Instandhaltungsmaßnahmen, die auf den Intervallen unter Nennbetriebsbedingungen basiert, ist in diesem Fall unwirksam, weil Ausfälle technischer Objekte nicht vermieden werden können.

Das andere Extrem ist eine Anlagenutzung, die geringere Beanspruchungen auf die Komponenten bewirkt. In dieser Situation würde eine Planung vorbeugender Instandhaltungsmaßnahmen auf Basis der Nennbeanspruchungen zu häufige und letztlich unnötige Maßnahmen vorschlagen. Das Risiko von Ausfällen ist zwar geringer, allerdings um den Preis wirtschaftlicher Verluste durch die zu geringe Ausnutzung der Bauteillebensdauer und häufiger Eingriffe.

Im Zentrum der Aufgabe zur Entwicklung des Bewertungsmodells stand die Quantifizierung von komplexen Beanspruchungen und deren Auswirkungen auf den Abbau des Abnutzungsvorrates. Da sich der Abnutzungsvorrat einer komplexen technischen Anlage und damit deren Funktionserfüllungsvermögen aus den Abnutzungsvorräten aller ihrer Komponenten ergeben, setzt das Modell auf dieser Ebene an. Für die Methodenentwicklung wurden verschiedene Teilaufgaben entsprechend Abbildung 6 definiert.

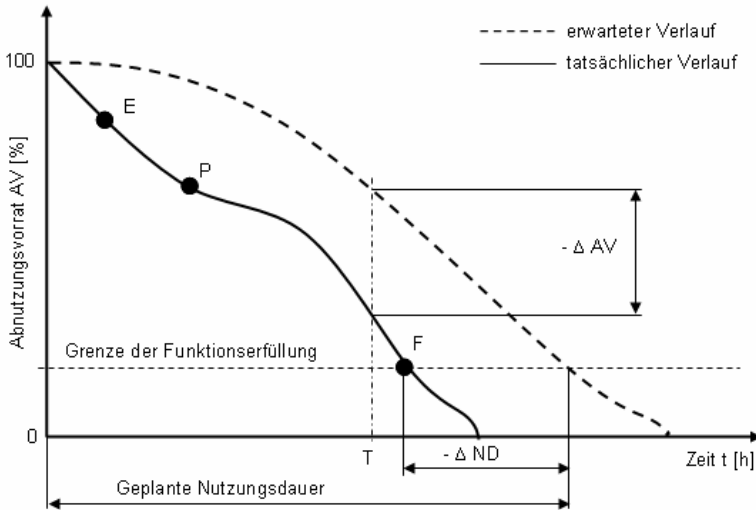


Abbildung 5: Vergleich des Abbaus des Abnutzungsvorrates eines technischen Objektes über der Nutzungszeit bei Überbeanspruchung (vereinfacht)

Den Ausgangspunkt der Betrachtungen bildet, dass jedes technische Objekt während seines Entstehungsprozesses so mit seinen notwendigen Eigenschaften ausgestattet wird, dass eine bestimmungsgemäße Nutzung möglich ist. Dazu gehört auch, dass es unter definierten Nennbeanspruchungen, für einen angegebenen Zeitraum die vereinbarten Funktionen wahrscheinlich erfüllen wird. Dieses ursprünglich vorhandene Funktionserfüllungsvermögen wird als systemimmanenter Abnutzungsvorrat definiert.

Die Höhe der Beanspruchungen, denen eine Komponente ausgesetzt wird, bestimmt die Geschwindigkeit des Abbaus ihres systemimmanenten Abnutzungsvorrates und damit die erreichbare Nutzungsdauer. Deshalb war es erforderlich, ein Teilmodell zu entwickeln, mit dem die aktuell einwirkenden Beanspruchungen bestimmt werden können. Dieses Teilmodell basiert auf der Anwendung der unscharfen Fuzzy-Logik, um das Erfahrungswissen von Anlagenbetreibern und Instandhaltern für die Beschreibung von Ursache-Wirkungszusammenhängen im Betriebs- und Ausfallverhalten technischer Anlagen nutzbar zu machen.

Die momentane Beanspruchung einer Komponente zu einem bestimmten Zeitpunkt ist das Resultat des gleichzeitigen Einwirkens einer Vielzahl von Einflussfaktoren, die ihre Ursachen im Anlagenbetrieb, den Umgebungsbedingungen, der Instandhaltungshistorie und in den spezifischen Eigenschaften des herzustellenden Produktes haben können.

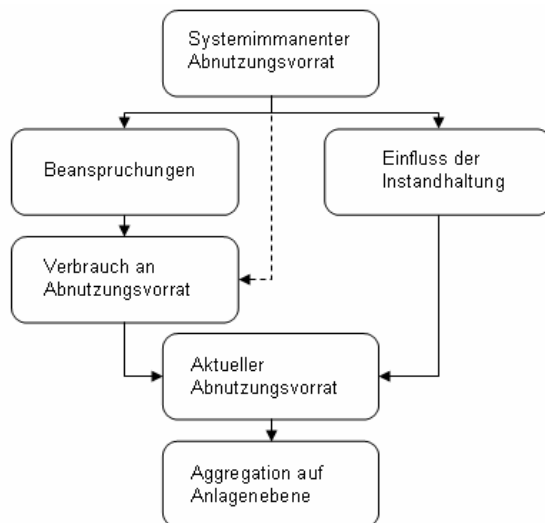


Abbildung 6: Phasen der Methodenentwicklung

Deshalb ist für jede Komponente zunächst ein charakteristischer Parametersatz zu definieren, aus dem sich auf die Höhe der Beanspruchung einer Komponente schließen lässt. Die Eingangsparameter können dabei aus unterschiedlichen Quellen stammen und müssen nicht unbedingt selbst messbar sein, sondern können auch abgeleitete Größen sein.

Typische Beispiele für messbare Betriebsparameter sind Betriebsstunden, Drehzahlen, Drücke, Temperaturen oder die Anzahl von Starts. Abgeleitete Größen sind beispielsweise die Leistungsaufnahme oder die zeitliche Auslastung einer Anlage. Weitere Eingangsdaten lassen sich aus Diagnosesystemen gewinnen (z.B. Schwingungen, Druckdifferenzen, Schwebstoffanteil in Schmierölen). Andere stehen in direktem Zusammenhang mit Aktivitäten der Instandhaltung (z.B. Einhaltung von Schmierintervallen, Austauschzeitpunkte von Komponenten).

In Abbildung 7 ist ein Eingangsparametersatz mit seinen Datenquellen für die Bestimmung der Beanspruchung der Lagerung eines Elektromotors dargestellt. Nach der Festlegung der beanspruchungsrelevanten Eingangsparameter werden diese in linguistische Fuzzy-Variablen (z.B. *gering*, *mittel*, *hoch*) transformiert (Abbildung 8). Um die Eingangsdaten mittels der Fuzzy-Logik verarbeiten zu können, muss weiterhin ein linguistisches Regelwerk angelegt werden, welches als Wissensspeicher für die Ursachen-Wirkungszusammenhänge zwischen den identifizierten Eingangsgrößen und der Beanspruchung dient. Der Vorteil dieser Wissensspeicherung liegt vor

allem darin, dass sich damit selbst komplexe Zusammenhänge abbilden lassen. Es erfolgt anfangs eine Erfassung und Nutzung von apriorischem Wissen des Anlagenbetreibers, Herstellers, Instandhaltungsdienstleisters und anderer im Entstehungs- und Betriebsprozess einer technischen Anlage involvierten Partner über deren Betriebs- und Ausfallverhalten.

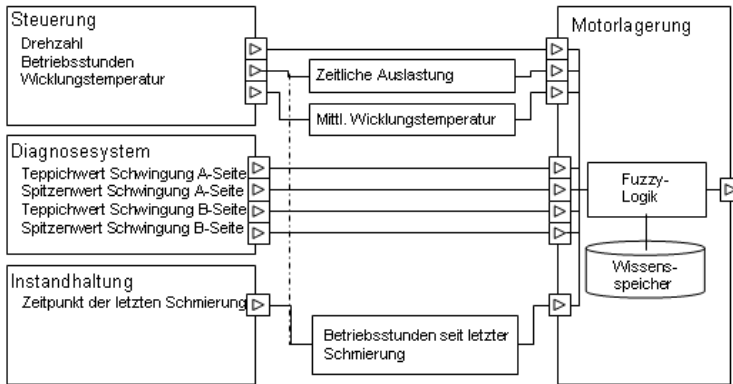


Abbildung 7: Eingangssparametersatz zur Bestimmung der Beanspruchung einer Motorlagerung

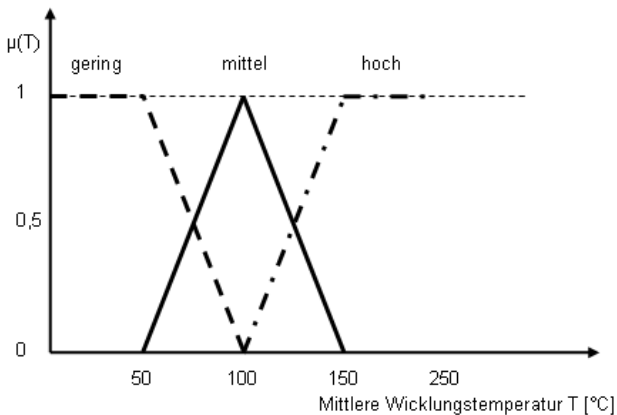


Abbildung 8: Fuzzy-Variablen Mittlere Wicklungstemperatur mit Zugehörigkeitsfunktionen

Gleichlautende bzw. auch konträre Expertenmeinungen werden von der Logik automatisch berücksichtigt (Lutz/Wendt 2000, Stöcker 1999). Der Wissensspeicher kann jederzeit angepasst und erweitert werden. Nachfolgend sind beispielsweise drei Verarbeitungsregeln zur Berücksichtigung des Einflusses des Parameters Wicklungstemperatur auf die Beanspruchung einer Motorlagerung dargestellt:

- Regel 1: WENN (Wicklungstemperatur ist gering) DANN (Beanspruchung ist gering)
- Regel 2: WENN (Wicklungstemperatur ist hoch) DANN (Beanspruchung ist sehr hoch)
- Regel 3: WENN (Wicklungstemperatur ist mittel) DANN (Beanspruchung ist nenn)

Die Verarbeitung erfolgt schrittweise über die Eingabe der Eingangsdaten, Fuzzyfizierung, Inferenz und Komposition der Regeln und anschließender Defuzzyfizierung (Stöcker 1999).

Die Verknüpfung mehrerer Fuzzy-Terme und Regeln erfolgt mittels logischer Operatoren (z.B. Minimum-, Maximummethode). Die momentane Beanspruchung ergibt sich nach dem Schwerpunktverfahren und den getroffenen Definitionen für die Position der Fuzzy-Terme als gewichteter Schwerpunkt zwischen definierten Beanspruchungsklassen, nachfolgend in Form einer Waage dargestellt (Abbildung 9).

Eine so ermittelte Beanspruchung wirkt solange auf die Komponente ein, bis eine erneute Bestimmung auf der Basis eines neuen Eingangsparametersatzes erfolgt. Die Veränderlichkeit und Aktualität des Ergebnisses hängen also direkt von der zeitlichen Auflösung der Eingangsdaten ab.

Nachdem die aktuelle Beanspruchung ermittelt wurde, kann der dadurch bewirkte Verbrauch an Abnutzungsvorrat einer Komponente vom ursprünglich vorhandenen systemimmanenten ermittelt werden.

Neben negativen Einflüssen auf den Zustand technischer Anlagen, die sich im Verbrauch von Abnutzungsvorräten äußern, gibt es natürlich auch positive. Diese werden vor allem durch Instandhaltungsmaßnahmen ausgeübt. Deshalb musste deren Einfluss auf die Ergänzung von Abnutzungsvorräten bei der Methodenentwicklung berücksichtigt werden. Prinzipiell lässt sich die Ergänzung so darstellen, dass einer Komponente wieder ein zusätzlicher Zeitvorrat zugeführt wird, der wiederum aufgebraucht werden kann, um die geplante Nutzungsdauer der Komponente zu erreichen oder einen neuen Lebenszyklus nach ihrem Austausch zu beginnen. Bei der Beschreibung der Wirkung von Instandhaltungsmaßnahmen sind mehrere Ausprägungen zu berücksichtigen. Wenn es sich um eine Austauschmaßnahme von Komponenten handelt, ist sie noch relativ einfach zu fassen. Die Komponen-

te wird bei Verwendung eines Neuteils sprunghaft in ihren ursprünglichen Zustand versetzt, dabei spielt der zum Austauschzeitpunkt noch vorhandene aktuelle Abnutzungsvorrat keine Rolle.

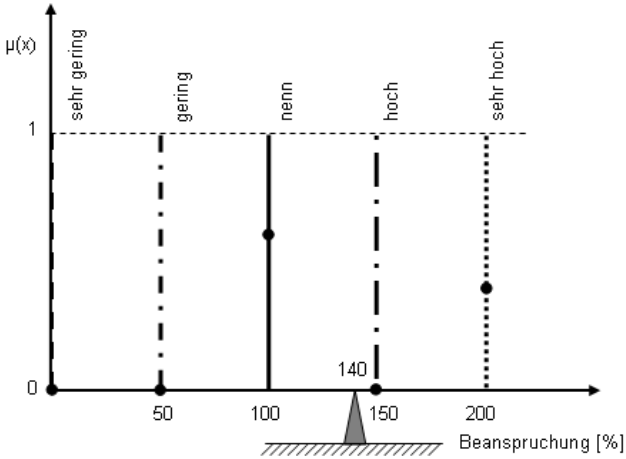


Abbildung 9: Grafische Darstellung der momentanen Beanspruchung

Die Wirkung derartiger Maßnahmen ist deshalb mit 100% des systemimmanenten Abnutzungsvorrates anzusetzen, d.h. es wird wieder das volle Funktionserfüllungsvermögen zur Verfügung gestellt. Bei Verwendung von gebrauchten oder aufgearbeiteten Austauschteilen muss vor ihrem Einbau eine Abschätzung vorgenommen werden, wie lang die zu erwartende Nutzungsdauer unter gegebenen Nennbetriebsbedingungen ist. Schwieriger gestaltet es sich, eine entsprechende Einschätzung der Wirkung von anderen vorbeugenden Instandhaltungsmaßnahmen, wie z.B. Abschmieren, Justier- und Reinigungsarbeiten, vorzunehmen. Die sichtbaren Zeichen der Wirkung treten bei derartigen Maßnahmen, wenn überhaupt, erst nach längerer Zeit nach Durchführung bzw. Nichtdurchführung auf. Bis dahin treten aber vielfältige Überlagerungen mit den Wirkungen anderer Maßnahmen und den Einflüssen aus der Anlagenutzung auf, d.h. die Zeichen lassen sich nicht mehr in Zusammenhang mit den vergangenen Maßnahmen bringen. Als ein gangbarer Weg erscheint es, auch hier auf die Erfahrungswerte von internen Instandhaltungsabteilungen oder Serviceeinheiten der Anlagenhersteller zu setzen und Kataloge mit ggf. altersabhängigen Wirkungen von Instandhaltungsmaßnahmen als prozentualer Wert, bezogen auf den ursprünglichen und / oder alternativen Zustand, zu erstellen.

Die beschriebenen Teilmodelle werden nunmehr zusammengefasst, um daraus Aussagen zum aktuellen Abnutzungsvorrat einer Komponente ableiten zu können (Abbildung 10). Der aktuelle Abnutzungsvorrat ergibt sich aus dem ursprünglich vorhandenen systemimmanenten Abnutzungsvorrat von dem der durch Beanspruchungen verbrauchte Anteil abgezogen sowie der zugeführte Anteil durch Instandhaltungsmaßnahmen addiert wird.

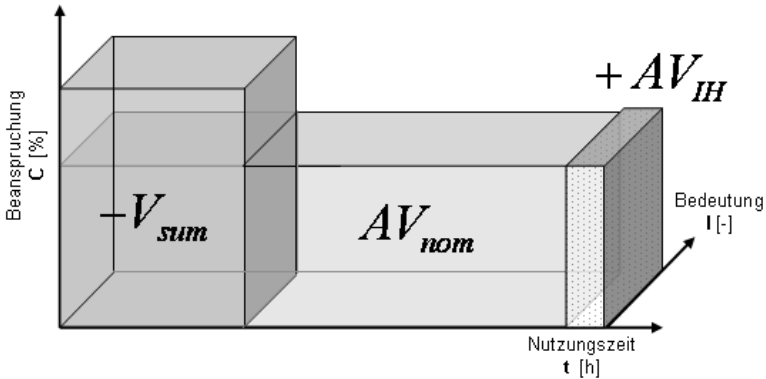


Abbildung10: Bestimmung des aktuellen Abnutzungsvorrates

AV steht für den aktuellen Abnutzungsvorrat, AV_{nom} ist der systemimmanente Abnutzungsvorrat, V_{sum} ist der Verbrauch an Abnutzungsvorrat durch Beanspruchung, AV_{IH} ist die Ergänzung von Abnutzungsvorrat durch Instandhaltungsmaßnahmen.

Da sich der Abnutzungsvorrat einer komplexen technischen Anlage aus den Abnutzungsvorräten ihrer einzelnen Komponenten ergibt, erfolgt eine schrittweise Aggregation. Diese ist abhängig von der Zielfunktion der Bewertung. Unter dem Blickwinkel zur Bestimmung eines aktuellen monetären Anlagenwertes, wird eine Summation vorgeschlagen. Zunächst werden alle systemimmanenten Abnutzungsvorräte und die durch Instandhaltungsmaßnahmen vorgenommenen Ergänzungen der Einzelkomponenten zu einer Zwischensumme addiert. Von dieser Zwischensumme werden dann die Gesamtverbräuche an einzelnen Abnutzungsvorräten subtrahiert. Wird eine Bewertung hinsichtlich der wahrscheinlichen Funktionssicherheit einer Anlage vorgenommen, muss die Aggregation auf einem anderen Wege vorgenommen werden. Dabei ist die Anlagenstruktur aus Funktionssicht zu berücksichtigen. Da sich über den Abnutzungsvorrat letztlich die Überlebenswahrscheinlichkeit bzw. Zuverlässigkeit einer Betrachtungseinheit beschreiben lässt, wird das vereinfachte Verfahren zur Bestimmung der

Überlebenswahrscheinlichkeit von verketteten Systemen vorgeschlagen, z.B. durch Multiplikation der Überlebenswahrscheinlichkeiten bei serieller Verkettung (Beichelt 1993).

4 Anwendung und Ergebnisse

Die Anwendung der beschriebenen Methode stellt eine Ergänzung von typischen Monitoring-Systemen durch die Interpretation der Auswirkungen verschiedener Einflussfaktoren auf den Anlagenzustand dar. In der ersten Stufe stehen aktuelle und komprimierte Informationen über den vorhandenen Abnutzungsvorrat von Bauteilen und Anlagen zur Verfügung (Abbildung 11).

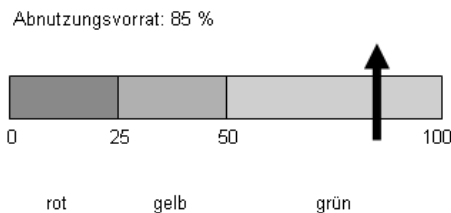


Abbildung 11: Anzeige des aktuellen Abnutzungsvorrates

Um daraus Handlungsempfehlungen für den Anlagenbetrieb und die Instandhaltung ableiten zu können, ist es erforderlich, diese Bewertungen im Instandhaltungsbereich in einen kontinuierlichen Prozess zur Entscheidungsunterstützung und zum Lernen des Anlagenverhaltens zu integrieren. Oftmals ist eine direkte Ankopplung an andere Prozesse zur kontinuierlichen Verbesserung der Instandhaltung (z.B. KVP-, TPM- Prozesse) sinnvoll, um hier unterstützend zu wirken.

Dieser Prozess verfolgt im Wesentlichen zwei Ziele. Das erste Ziel besteht darin, aus den Bewertungsergebnissen unter Berücksichtigung der Historie und von Prognosen zur Anlagenutzung und den zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel entsprechende Aktivitäten für den Betrieb oder die Instandhaltung abzuleiten und durchzuführen. Im Ergebnis werden begründbare Entscheidungen herbeigeführt, die von allen Partnern akzeptiert werden, da alle über den gleichen objektivierten Informationsstand verfügen. Die hohe Transparenz der Entscheidungen unterstützt einen Paradigmenwechsel im Anlagenmanagement, d.h. weg vom reinen Befolgen von festgelegten Regeln hin zum aktiven Lösen von Problemen. Das zweite Ziel besteht darin, das Bewertungsmodell ständig zu vervollkommen, in dem neue Erfahrungen in die Wissensbasis eingebracht werden, neue Einfluss-

faktoren aufgedeckt oder Veränderungen an der Bewertungslogik vorgenommen werden. Die Ergebnisse des Lernprozesses werden letztlich in der Wissensbasis dokumentiert, damit wird Anlagen-Know-how generiert und dauerhaft bewahrt.

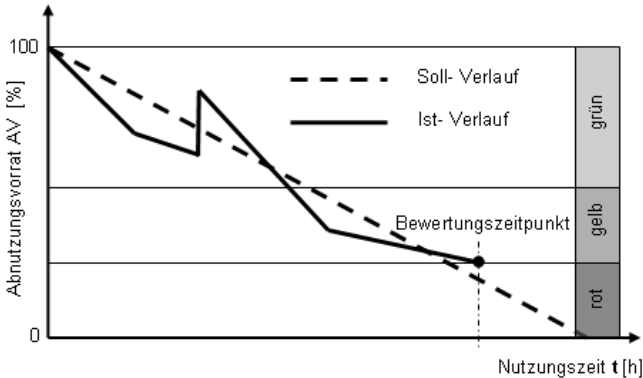


Abbildung 12: Anzeige der Historie des Verbrauchs an Abnutzungsvorrat

Über die Möglichkeiten der Prognose liefert das beschriebene Verfahren einen zeitlichen Verlauf eines zu erwartenden Verlaufs des Abbaus an Abnutzungsvorräten unter angenommenen bzw. eingestellten Betriebsbedingungen. Während einer Prognose werden alle Instandhaltungsleistungen generiert, die aufgrund des Ablaufs von Zeitintervallen oder der Unterschreitung von Grenzen der Funktionserfüllung notwendig werden. Die Ergebnisse der Prognose fließen in unterschiedliche Planungsprozesse der Instandhaltung ein, die an dieser Stelle nur kurz genannt werden sollen:

- Einsatz für die Mittelplanung und Budgetierung,
- Einsatz für die Ressourcenplanung,
- Entscheidung über Aussonderungszeitpunkte,
- Szenarien für einen betriebssicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetrieb und Instandhaltung.

5 Zusammenfassung

Die Gestaltung einer zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie bietet große Potenziale zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Betriebs technischer Anlagen. Zu deren Einführung ist es erforderlich, die abstrakte Größe des Zustandes einer technischen Anlage mit geeigneten Methoden zur Beschreibung des Betriebs- und Ausfallverhaltens zu quanti-

fizieren. Um Zustandswissen zu akquirieren, gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Herangehensweisen. Die eine ist die Anwendung analytischer Verfahren, mit denen auf der Grundlage der statistischen Auswertung von historischen Betriebs- und Ausfalldaten versucht wird, Zuverlässigkeitskenngrößen in ihrem zeitlichen Verlauf und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einsatzbedingungen zu ermitteln und für Planungsprozesse in der Instandhaltung nutzbar zu machen. Ein anderer Weg ist die Gewinnung von Zustandswissen über Zustandsindikatoren direkt aus dem Prozess mittels Verfahren der technischen Diagnostik und anschließender Interpretation. An dieser Stelle der Interpretation komplexer Einflussgrößen auf die Beanspruchung und Zustandsveränderung einer Anlage besteht ein großer Bedarf an geeigneten Methoden, die über eine Grenzwert-, Kennlinien- oder Kennfeldüberwachung hinausgehen. Die beschriebene Methodik ermöglicht die Bestimmung der Kenngröße Abnutzungsvorrat wird zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit als Funktionserfüllungsvermögen. Als Randbedingungen müssen die sich dynamisch ändernden Beanspruchungen von Komponenten während der Nutzungszeit und die Wirkung von Instandhaltungseingriffen berücksichtigt werden. Die entwickelte Bewertungsmethodik basiert auf der Theorie der unscharfen Fuzzy-Logik, die sich in der Steuer- und Regelungstechnik selbst bei komplizierten Prozessen bewährt hat. Der Vorteil liegt in der Möglichkeit, komplexe Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge auch ohne Kenntnis der zugrundeliegenden physikalischen oder mathematischen Zusammenhänge mittels einfacher verbaler Beschreibungen als Wenn-Dann-Beziehungen zu formulieren und laufend anzupassen. Damit wird Erfahrungswissen vieler Akteure im Instandhaltungsbereich nutzbar.

Zur Anwendung der Bewertungsmethode wurde am Fraunhofer IFF ein webfähiges datenbankgestütztes Softwaresystem Stalogger® entwickelt und erprobt. Das Verfahren stellt eine Ergänzung zu bereits vorhandenen Betriebsdatenerfassungs- und Diagnosesystemen zur erfahrungsbasierten Interpretation von unterschiedlichen Einflussfaktoren über einen „elektronischen“ Expertenpool dar. Die Bewertungsmethode bildet quasi einen Integrator zur Bildung einer kompakten Bewertungsmeinung, die dann in den Regelkreis der Instandhaltung eingesteuert wird.

Auf der Grundlage der Bewertungen und Prognosen wird die Umsetzung von Konzepten des Life Cycle Costing (LCC) bzw. Total Cost of Ownership (TCO) durch die Bereitstellung erforderlicher Eingangsinformationen unterstützt. Durch diese ganzheitliche Betrachtung sind mittelfristig Kostenreduzierungen im Instandhaltungsbereich zu erwarten. Die Methode erlaubt laufende Bewertungen zum Abnutzungsvorrat technischer Anlagen unter technischen und kaufmännischen Gesichtspunkten.

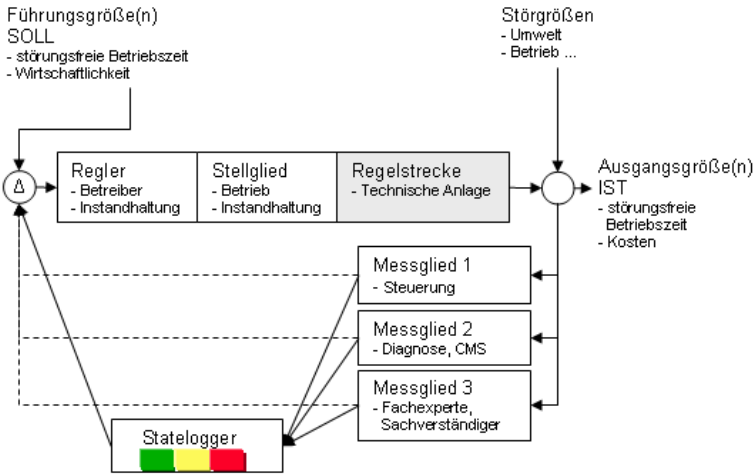


Abbildung 13: Einordnung der Bewertungsmethode in den Instandhaltungsprozess

Alle am Prozess des Anlagenmanagements beteiligten Personen arbeiten mit der gleichen Wissensbasis, es erfolgt ein kontinuierlicher Erfahrungsaustausch. Durch die laufenden Bewertungen, insbesondere in den Zeitintervallen zwischen geplanten Wartungs- bzw. Inspektionsmaßnahmen, trägt die Methode zu einer Reduzierung des Ausfallrisikos bei. Kritische Komponenten sowie Trends der Zustandsveränderung werden rechtzeitig erkannt, die Ursache-Wirkungszusammenhänge für die Bewertungen sind transparent. Für die Anwendung der Methode wird weitgehend vorhandenes Datenmaterial und Erfahrungswissen genutzt, es erfolgt ein weitgehender Verzicht auf zusätzliche Sensorik. In der Wissensbasis selbst erfolgt die Generierung und Sicherung von Anlagen-Know-how über das Betriebs- und Ausfallverhalten. Diese Basis ist vielfach wieder verwendbar z.B. für neue Anlagen. Große Bedeutung erlangt die Wissensbasis dann, wenn Erfahrungsträger das Unternehmen verlassen oder Instandhaltungsdienstleister ausgetauscht werden. Die Prognosemöglichkeit unterstützt die Erstellung von dynamischen Instandhaltungsbudgets sowie der Planung erforderlicher personeller und materieller Ressourcen im Rahmen einer mittel- und langfristigen Unternehmensplanung. Veränderungen im Betriebs- und Instandhaltungsregime lassen sich schnell auf ihre Konsequenzen bezüglich der Anlagensicherheit und Wirtschaftlichkeit bewerten.

Literatur

- Beichelt, Frank (1993): Zuverlässigkeits- und Instandhaltungstheorie. B.G. Teubner Verlag, Stuttgart.
- Biedermann, Hubert (2002): Prozessorientiertes Anlagenmanagement - Was Instandhaltung und Produktion von modernen Qualitätskonzepten lernen können. 16. Instandhaltungs-Forum 2002 (Tagungsband), TÜV Media GmbH.
- DIN (2003): DIN 31051:2003-06 - Grundlagen der Instandhaltung. Beuth-Verlag, Berlin, 2003.
- Lutz, Holger; Wendt, Wolfgang (2000): Taschenbuch der Regelungstechnik. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage; Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main. Kapitel 15: Anwendung der Fuzzy-Logik in der Regelungstechnik, S. 856 ff.
- Männel, Wolfgang (1988): Anlagentechnik. Kapitel A 2 Erfassung, Planung und Kontrolle von Instandhaltungskosten. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, S. 3–39.
- Matyas, Kurt (2002): Ganzheitliche Optimierung durch individuelle Instandhaltungsstrategien. In: Industrie Management 18 (2002), Nr. 2, S. 13–16.
- Müller, Gerhard; Jungjohann, Jan (2007): Workshop - Potentiale zustandsabhängiger Instandhaltung oder wie wirtschaftlich ist die zustandsabhängige Instandhaltung wirklich. In: 28. VDI/VDEh-Forum Instandhaltung 2007 - Instandhaltung auf dem Prüfstand, Tagung Stuttgart, 19. und 20. Juni 2007; VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, Jun 2007 (VDI-Berichte 1991), S. 137–140.
- Moubray, John (1996): RCM - die hohe Schule der Zuverlässigkeit von Produkten und Systemen. Dt. Übers. Walter Kugler. mi Verlag Moderne Industrie, Landsberg.
- Schenk, Michael; Müller, Gerhard; Blümel, Eberhard (2003): Zwischen Handwerk und Cyber-tech. In: Plenumsvortrag auf dem 24. VDI/VDEh-Forum Instandhaltung 2003 – Instandhaltung zwischen Handwerk und Cyber-tech, Lahnstein 13. und 14. Mai 2003 Bd. 1763. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf (VDI-Berichte), S. 6–20.
- Schuh, Günther; Kampker, Achim; Franzkoch, Bastian; Wemhöner, Nils (2005): Studie Intelligent Maintenance - Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung, http://www.ifm-electronic.com/ifmde/web/studie_ergebnisse.htm, Version: 2005.
- Stöcker, Horst (1999): Taschenbuch mathematischer Formeln und moderner Verfahren [Medienkombination]. 4., korrigierte Auflage, Verlag Harri Deutsch., Thun und Frankfurt am Main.
- Schenk, Michael; Wirth, Siegfried (2004): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Hong Kong, London, Milan, Paris.
- VDI (2007): VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB), Kompetenzfeld: Anlagenwirtschaft. <http://www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/fgkf/adb/organisation/03294/> Version: September 2007.