

# Technologiegetriebene Veränderungen der Instand- haltung von Kreiselpumpen

Britta Kohlmann und Gerhard Bandow,  
Technische Universität Dortmund



Dipl.-Kffr. Britta Kohlmann arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in der Abteilung Instandhaltungslogistik.



Dr.-Ing. Gerhard Bandow arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IML in der Abteilung Instandhaltungslogistik und ist Lehrbeauftragter für die Vorlesung Instandhaltungsmanagement an der Fakultät Maschinenbau (LFO) der TU Dortmund.

Die Instandhaltung von Pumpensystemen wird heute vorwiegend ausfall- und zeitbasiert durchgeführt. Diese Strategien erzielen häufig jedoch nicht die gewünschte Verfügbarkeit, können zu unplanmäßigen Stillständen führen und erhöhen die Kosten durch redundante Ressourcen. Die Anforderungen an einen effizienten und kostenoptimierten Betrieb sind zukünftig nur durch eine zustandsabhängige, vorausschauende Instandhaltung erfüllbar. Durch den kombinierten Einsatz von Technologien wie z.B. RFID (Radio-Frequenz-Identifikation) und Condition Monitoring

Verfahren wachsen die Möglichkeiten, den Betrieb und die Instandhaltung effizienter zu gestalten. Damit einher gehen erhebliche technologiegetriebene organisatorische Veränderungen in der Instandhaltung, wie z.B. Erleichterungen durch technologieunterstütztes Arbeiten, veränderte Anforderungen an die Personalqualifikation und eine Dezentralisierung von Instandhaltungsaufgaben vor Ort an die Pumpe. Mit dem Technologieeinsatz können so zukünftig Effizienz- und Effektivitätspotenziale der Instandhaltung erschlossen werden.

Kreiselpumpen sind in verfahrenstechnischen Anlagen wichtige Anlagenkomponenten. Der Ausfall einer Pumpe kann in vielen Fällen den Stillstand der gesamten Anlage zur Folge haben und damit erhebliche Kosten verursachen. Der Verfügbarkeit dieser Komponente kommt daher ein ganz besonderer Stellenwert zu.

## Instandhaltung von Kreiselpumpen

Die Gewährleistung einer bedarfsgerechten Verfügbarkeit der Pumpensysteme gehört zum Aufgabenbereich der Instandhaltung. Die Mehrzahl der Pumpenbetreiber bzw. -instandhalter praktiziert Strategien der ausfall- oder zeitbasierten Instandhaltung. Diese Strategien erzielen jedoch oft nicht die gewünschte Verfügbarkeit der Systeme, bezogen auf ungeplante Stillstände und den wirtschaftlich optimierten Einsatz

von Ressourcen (bspw. in Hinblick auf Redundanz, Personal, Ersatzteile).

Bei der zeitbasierten Instandsetzung werden im Rahmen präventiver Maßnahmen bestimmte Bauteile einer Pumpe oft zu früh ausgetauscht. Befindet sich eine Pumpe bspw. aufgrund eines Gleitringdichtungsschadens in der Werkstatt, werden neben der Gleitringdichtung (GLRD) nach längerer Laufzeit der Pumpe auch fast immer die Wälzlager ausgetauscht, selbst wenn der Abnutzungsvorrat der Lager noch nicht ausgeschöpft ist. Dieser vorbeugende Austausch von Bauteilen wird insbesondere praktiziert, um eine hohe Betriebssicherheit zu gewährleisten und die Anzahl der Instandsetzungsmaßnahmen zu reduzieren.

Bei der ausfallbasierten Instandsetzung wird die Pumpe kontrolliert bis zum Ausfall betrieben. Diese Strategie hat den Vorteil, dass der Abnutzungsvorrat der Pumpe bzw. einzelner Bauteile voll ausgeschöpft wird.

Flankierend zu diesen Strategien werden zur Erhöhung der Planbarkeit der Instandhaltungsmaßnahmen in regelmäßigen Intervallen Anlagenbegehungen durchgeführt. Dadurch ist es möglich, einen Teil der Fehler oder Störungen an einer Pumpe vor dem Ausfall zu erkennen. Diese Vorgehensweise zur Zustandsbeurteilung ist jedoch oft nicht ausreichend zuverlässig, sodass ungeplante Stillstände und damit auch ungeplante Instandhaltungsmaßnahmen nicht gänzlich verhindert werden können.

Die Strategie der ausfallbasierten Instandsetzung und die Minimierung der

### Kontakt:

Fraunhofer IML  
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4  
44227 Dortmund  
E-Mail: [britta.kohlmann@iml.fraunhofer.de](mailto:britta.kohlmann@iml.fraunhofer.de)  
URL: <http://www.iml.fraunhofer.de>

negativen Auswirkungen ungeplanter Anlagenstillstände auf die Produktion werden in vielen Industriebetrieben teuer durch redundant ausgeführte Pumpensysteme erkaufte. Neben einem hohen finanziellen und anlagentechnischen Mehraufwand ist damit auch zusätzlicher Instandhaltungsaufwand erforderlich. Der Verzicht auf redundante Pumpen bietet dementsprechend ein hohes Einsparpotenzial.

### Konsequenz

Die Anforderungen an den Betrieb von Pumpensystemen können zukünftig nur durch eine zustandsabhängige, vorausschauende Instandhaltung erfüllt werden. Abgestimmt auf die wesentlichen ausfallkritischen Bauteile und Ausfallursachen einer Kreiselpumpe kann diese die Verfügbarkeit der Systeme unter dem Aspekt Ressourceneffizienz wirtschaftlicher sichern. Voraussetzung dafür ist eine systematische Überwachung der Pumpen. Eine kostengünstige, praxistaugliche und benutzerfreundliche Zustandsdiagnose der Pumpen und die Ableitung restlebensdauerbezogener Betriebs- und Instandhaltungsstrategien rücken daher zunehmend in den Interessenbereich der Betreiber und Instandhalter.

### Ziele des Forschungsprojekts ReMain

Im Verbundforschungsprojekt ReMain werden unter Einsatz von RFID und Condition Monitoring Technologien die Voraussetzungen geschaffen, um den Betrieb und die Instandhaltung von Kreiselpumpen vorausschauend zu gestalten. Ziel ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Zustandsdiagnose und Restlebensdauerprognose, das auf die in der Industrie gebräuchlichsten Kreiselpumpensysteme anwendbar ist und die wesentlichen ausfallverursachenden Abnutzungsmechanismen und ausfallkritischen Bauteile einer Pumpe berücksichtigt. Die Projektergebnisse bilden die Grundlage für die Umsetzung einer zustandsorientierten, vorausschauenden Instandhaltung als sinnvolle Ergänzung

zu den aktuell praktizierten ausfall- und zeitbasierten Strategien.

### Ausfallkritische Bauteile und Ausfallursachen einer Kreiselpumpe

Mit der Entwicklung eines Fragebogens wurde im Projekt die Möglichkeit geschaffen, die ausfallkritischen Bauteile und Ausfallursachen zu ermitteln, die im Fokus der Instandhaltung stehen. Befragt wurden Unternehmen unterschiedlicher Branchen, die als erweiterter Arbeitskreis in das Projekt eingebunden sind. Die Auswertung der Umfrageergebnisse zeigte, dass innerhalb der erhobenen Datenbasis (32.500 Kreiselpumpen) insbesondere Chemienormpumpen mit einfach- und doppelwirkenden GLRD zum Einsatz kommen. Innerhalb dieser Pumpenpopulation wurde die GLRD als zentrales ausfallkritisches Bauteil identifiziert. Weitere ausfallrelevante Bauteile sind das Lager (Wälzlager) und das Laufrad bzw. der Dichtspalt.

Die wesentlichen Ausfallursachen sind eine nicht bestimmungsgemäße Betriebsweise (z.B. Betrieb außerhalb des Optimums, Trockenlauf, unzulässige Kavitation, Gasmitförderung) sowie Fehler bei der Montage (z.B. Ausrichtungsfehler, Rohrleitungsverspannungen). Aufbauend auf diesen Hauptausfallursachen wurden im Projekt die resultierenden Abnutzungsmechanismen erarbeitet, die die Lebensdauer der ausfallkritischen Bauteile

maßgeblich bestimmen. Die Analyse dieser Abnutzungsmechanismen führte zu einer Auswahl an Messgrößen und Merkmalen, die im Betrieb einer Kreiselpumpe mittels geeigneter Technologien erfasst werden müssen, um eine Störungsdiagnose und Prognose der Restlebensdauer über alle relevanten Ausfallursachen zu ermöglichen.

### Technologieeinsatz für eine zustandsabhängige, vorausschauende Instandhaltung

Für die Datensammlung wurden im Betrieb des Projektpartners Evonik Stockhausen 100 Kreiselpumpen im Chemiapark Marl mit RFID und Condition Monitoring Technologien ausgestattet. Die Versuchspumpen werden während der Projektlaufzeit über einen Zeitraum von zwei Jahren beobachtet. Sie wurden derart instrumentiert, dass ein umfangreicher Datenpool (Messgrößen und Merkmale) für die Umsetzung der im Projekt erarbeiteten Diagnose- und Prognoseansätze zur Verfügung steht. Aus dem zusätzlichen Technologieeinsatz resultieren zukünftig neue Anforderungen an die Mitarbeiter der Betriebstechnik und Instandhaltung sowie eine veränderte Arbeitsorganisation.

### Einsatz der RFID-Technologie

Die Beobachtungen der Instandhalter bei ihren regelmäßigen Anlagen-

*Bild 1: Ausfallkritische Pumpenbauteile: Durch Trockenlauf zerstörte GLRD (A); Innenring (B1), Außenring (B2) und Käfig mit Wälzkörpern (B3) eines defekten Wälzlagers; durch Kavitationserosion zerstörte Laufräder einer Kreiselpumpe (C1 - C3).*





*Bild 2: Erfassung von Instandhaltungsinformationen unter Einsatz der RFID-Technologie.*

begehungen sind wichtige Informationsquellen. Hierdurch können sowohl Veränderungen an der Pumpe selbst als auch der Betriebszustände und der Umweltbedingungen ermittelt werden.

Aktuell werden die Begehungen in regelmäßigen Abständen, jedoch nicht werktäglich, durchgeführt. Die Mitarbeiter der Betriebstechnik und Instandhaltung begehen feste, vordefinierte Wege in der Anlage. Die Vor-Ort-Bedingungen an der Pumpe werden erfasst, aber ohne eine einheitliche Systematik dokumentiert.

Für ReMain werden die Beobachtungen nun werktäglich aufgenommen und mobil unter Einsatz der RFID-Technologie dokumentiert, um eine einheitliche und systematische Erfassung der Instandhaltungsinformationen zu gewährleisten. Dabei wird ein Transponder an der Vor-Ort-Steuereinrichtung (Ein-/Aus-Schalter) der Pumpe montiert. Über die technische Nummer, die auf dem Transponder hinterlegt ist, kann jede Versuchspumpe eindeutig identifiziert werden. Wird der Transponder über das Funksignal des Lesegeräts angesprochen, wird der jeweilige Wartungs- und Inspektionsplan aufgerufen. Dieser ist pumpenspezifisch und ermöglicht die Eingabe der Vor-Ort-Bedingungen an der Pumpe, der durchgeführten Tätig-

keiten und erkannten Auffälligkeiten (z.B. Geräusche an der Pumpe oder am Motor, erkennbare Leckagen) je nach Pumpentyp. Sobald die Eingaben bestätigt werden, erzeugt das Lesegerät den zugehörigen Zeitstempel. Über eine Docking-Station werden die Daten in eine dafür angelegte Tabelle in das Prozessinformationsmanagementsystem (PIMS) geladen und zur späteren Analyse auf einem projekteigenen Server archiviert.

Die menügeführte Befundung der Pumpen bedeutet für die Mitarbeiter der Instandhaltung und Betriebstechnik eine erhebliche Arbeiterleichterung. Zum einen kann ein systematischer Prüfplan je Pumpe abgearbeitet werden, der verhindert, dass wichtige Prüfstellen übersehen werden. Zum anderen eröffnet das System den Mitarbeitern eine gute Kontrollmöglichkeit der getätigten Eingaben, indem bestimmte Werte bereits vordefiniert sind. Weiterhin kann die Pumpe eindeutig identifiziert werden. Verwechslungen und eine falsche Zuordnung der aufgenommenen Beobachtungen sind somit ausgeschlossen. Zudem bieten die digitalisierten und zentral im PIMS bzw. auf dem projekteigenen Server abgelegten Ergebnisse der Anlagenbegehungen mit dem zugehörigen Zeitstempel eine gute Übersicht

über die durchgeführten Wartungs- und Inspektionsmaßnahmen und damit eine wichtige Informationsquelle für die im Projekt folgenden Analysen.

### **Einsatz von Condition Monitoring und Erweiterung der Prozessinstrumentierung**

Neben der RFID-Technologie werden im Projekt über einen auf dem Pumpengehäuse angebrachten Schwingungssensor Messgrößen erfasst, die das Schwingungsverhalten der Pumpen charakterisieren. Zur Anwendung kommt hier ein Sensor des Projektpartners i-for-t. Der Sensor erfasst kontinuierlich die Schwingbeschleunigung an der Pumpenoberfläche und errechnet aus den erfassten Werten die Amplituden der Schadensfrequenzen von bis zu fünf verschiedenen Diagnoseobjekten. Für ReMain wurde der Sensor so parametrisiert, dass sowohl der technische Zustand bestimmter ausfallkritischer Pumpenbauteile (Beispiel Wälzlager: Diagnose des Lagerzustands aus den Amplituden der Schadensfrequenzen für den Innenring, Außenring und die Wälzkörper) als auch mechanische Störungen (z.B. Unwucht) und ein nicht bestimmungsgemäßer Betrieb (z.B. unzulässige Kavitation) diagnostiziert werden können. Die Messgrößen werden über eine Profibus-Schnittstelle auf dem projekteigenen Server abgespeichert.

Zusätzlich wurden alle Versuchspumpen für das Projekt über die in der Anlage des Projektpartners Evonik Stockhausen bereits vorhandene Prozessinstrumentierung hinaus mit zusätzlicher Messtechnik ausgestattet. Dazu gehört die Installation von Druckmessumformern auf der Saug- und Druckseite der Pumpe sowie Messtechnik zur Erfassung der Temperatur des Fördermediums und der Motorwirkleistung. Die Messwerte werden über das Prozessleitsystem gesammelt und auf dem Projektserver bereitgestellt.

Aus dem Einsatz des Schwingungssensors und der Erweiterung der Prozessinstrumentierung resultieren gestiegene Anforderungen an die Mitarbeiter



Bild 3: Schwingungssensor auf Pumpengehäuse.

der Instandhaltung und Betriebstechnik. Durch die Sensoren bzw. die Messtechnik entsteht zusätzlicher Instandhaltungsbedarf, der den Arbeitsumfang erhöht. Damit kommt ein zusätzlicher Aufwand bei den Anlagenbegehungen ins Spiel, da nicht nur die Pumpe, sondern auch die Sensorik und Messtechnik inspiziert werden müssen.

Der Einsatz des Schwingungssensors erschließt jedoch auch erhebliches Potenzial bezüglich der Überwachung der definierten Diagnoseobjekte. Zukünftig müssen die Mitarbeiter in der Lage sein, die Schwingungssignale zu interpretieren und erforderliche Instandhaltungsmaßnahmen bzw. sinnvolle Intervalle für diese abzuleiten. Entsprechendes gilt für die Verarbeitung der Messwerte, die aus der Prozessinstrumentierung resultieren. Die Auswertung von Prozessgrößen wie Druck, Temperatur und Motorwirkleistung setzt Erfahrungen mit der Anlage und ein gutes Verständnis des Prozesses voraus. Aus Erfahrungswerten und historischen Trends können Muster erkannt und den Fehlerursachen zugeordnet werden. Um die Anforderungen an die Mitarbeiter zu minimieren, wird im Projekt auf Basis der Prozessgrößen ein Diagnosewerkzeug programmiert, das die aktuellen Betriebspunkte der Versuchspumpen mit den gerätespezi-

fischen Kennlinien des Herstellers (theoretische Betriebspunkte) vergleicht und über Abweichungen informiert (Förderhöhe, Abstand zum benötigten NPSH-Wert/Vordruck und Motorwirkleistung). Überschreiten die Abweichungen einen festgelegten Grenzwert, deutet dies ggf. auf einen nicht bestimmungsgemäßen Betrieb hin und wird in Form einer Ampel gestuft animiert. Die Qualifizierung und das Coaching des Personals in Hinblick auf das Diagnosewerkzeug und die sinnvolle Nutzung und Interpretation der Schwingungssignale wird durch die am Projekt beteiligten Mitarbeiter der Instandhaltung und Betriebstechnik durchgeführt und stellt so einen reibungslosen Know-how-Übergang sicher.

### Fazit

Ein effizienter und kostenoptimierter Betrieb von Pumpensystemen ist zukünftig nur durch eine zustandsabhängige, vorausschauende Instandhaltung realisierbar. Voraussetzung dafür ist eine systematische Überwachung der Pumpen. Mit dem kombinierten Einsatz entsprechender Technologien wachsen die Möglichkeiten, die Betriebs- und Instandhaltungsorganisation gemäß den gestiegenen Anforderungen vo-

rausschauend zu gestalten. Dabei muss allerdings auch berücksichtigt werden, dass sich der Technologieeinsatz erhöht und dementsprechend die Arbeitsorganisation verändert werden muss, da neue und zusätzliche Anforderungen an das Personal und die Arbeitsprozesse gestellt werden.

#### Schlüsselwörter:

Kreiselpumpe, vorausschauende Instandhaltung, Restlebensdauerprognose, RFID, Condition Monitoring

*Dieser Beitrag entstand anlässlich des 21. HAB-Forschungsseminars der Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation vom 10. bis 11. Oktober 2008 in Bremen. Das Seminarthema lautete "Technologiegetriebene Veränderungen in der Arbeitswelt".*

#### Technology-driven changes in maintenance of centrifugal pumps

Today, the maintenance of pump systems is based mainly on either a breakdown strategy or a time-based maintenance strategy. There are several disadvantages of these strategies: the required availability often is not reached, unscheduled downtimes occur and costs increase because of necessary redundant resources. In future, the requirements of a plant for efficient and cost-effective operation can only be reached through predictive maintenance. In this context, the combined use of technologies like RFID (Radio Frequency Identification) and condition monitoring techniques is a possible solution to increase the efficiency of operation and maintenance. This is accompanied by significant technology-driven organizational changes in maintenance as simplification of work procedures, additional personnel qualification requirements and decentralization of maintenance activities, i.e. on-site maintenance of pumps. Thus, the efficiency and effectiveness potentials of maintenance will be realized in the future by using these technologies.

#### Keywords:

centrifugal pump, predictive maintenance, forecast of remaining lifetime, RFID, condition monitoring