

14 Messgeräte zur Überwachung von Kreiselpumpenanlagen

In allen hochwertigen Anlagen werden heute Messgeräte zur Kontrolle der verschiedenen Betriebsdaten wie Förderstrom, Druck, Leistung, Drehzahl und Temperatur eingesetzt. In den meisten Fällen werden die Daten direkt am Messort abgelesen, können aber auch bei entsprechender Geräteauswahl über Fernmessleitungen in eine Schaltwarte geführt und dort zentral angezeigt oder geschrieben werden.

Zur Überwachung von Kreiselpumpenanlagen werden im Allgemeinen die im Folgenden beschriebenen Messeinrichtungen eingesetzt.

14.1 Druckmessung

Für kleinere Drücke (bis max. 3 bar Überdruck) und vorzugsweise bei Unterdrücken werden **U-Rohr-Manometer** oder **Gefäßmanometer** (einschenkliges Flüssigkeitsmanometer) verwendet. Als Sperrflüssigkeit dient meist Quecksilber oder bei kleineren Wirkdruckhöhen Tetrabromethan. Eine Sonderbauart des U-Rohres stellt die Ringwaage dar, wobei die beiden Schenkel als Kreisring ausgebildet sind.

Zur Messung der Förderhöhe und für die Betriebsüberwachung (z.B. Öl- und Kühlwasserversorgung) werden meist **Röhrenfederanometer** eingesetzt. Hierbei wird ein gebogenes Rohr, dessen eines Ende verschlossen ist, durch Innendruck beaufschlagt. Das Bestreben dieser Röhrenfeder (Bourdonfeder), sich gerade zu strecken, wird als Messkraft benutzt und über ein Zeigerwerk angezeigt.

Für anspruchsvolle Messaufgaben verwendet man sogenannte Feinmessmanometer der Güteklasse 0,6, d.h., der Messfehler ist in keinem Fall größer als $\pm 0,6\%$ des maximalen Anzeigebereiches.

Für reine Überwachungsaufgaben werden meist sogenannte Betriebsmanometer der Güteklasse 2 (Messfehler $\leq \pm 2\%$ des maximalen Anzeigebereiches) eingesetzt.

Plattenfederanometer nutzen die Durchbiegung einer am Umfang eingespannten Membran aus, die einseitig unter Überdruck gesetzt wird. Als Nachteil muss die Überlastempfindlichkeit und die große Zeigerübersetzung infolge des geringen Federweges genannt werden. Vorteilhaft ist die einfache Verwendung zur Messung von Druckdifferenzen.

Um eine vorhandene Druckkraft zwecks Fernübertragung in ein elektrisches Signal umwandeln zu können, bedient man sich häufig der sogenannten Bartonzelle. Hierbei wird der anstehende Druck in eine Drehung einer Welle umgesetzt und auf den Kern eines induktiven Abgriffsystems übertragen, so dass der Kern eine Hubbewegung ausführt. Das elektrische Signal wird über Messumformer und Verstärker zu entsprechenden elektrischen Anzeigeräten gebracht.

14.2 Messung des Förderstromes

Die zur Messung des Förderstromes in Kreiselpumpenanlagen wohl am häufigsten eingesetzten Messgeräte sind Normblenden, Normdüsen und Normventuridüsen. Bei diesen Geräten wird der Förderstrom durch eine künstlich eingeengte Stelle im geraden Teil einer Rohrstrecke geleitet,

wobei ein statischer Differenzdruck (Wirkdruck) erzeugt wird. Als physikalische Grundlage dient die Bernoullische Beziehung zwischen statischer und dynamischer Druckenergie in strömenden Medien.

Die **Normblende** stellt eine flache Scheibe mit zentrischer Bohrung und scharfer Einlaufkante dar. Bei der **Normdüse** ist der Einlauf abgerundet und in Strömungsrichtung verlängert. Die **Normventuridüse** entspricht im Einlauf der Normdüse, während der Auslauf als Diffusor ausgebildet ist, um den bleibenden Druckverlust zu verringern. Alle geometrischen Abmessungen und Einbaubedingungen sind in DIN 1952 festgelegt. Weitere Hinweise findet man auch in DIN 1944 und VDI 2040. Als Anzeigeeinstrumente für den Wirkdruck können sowohl U-Rohr-Manometer als auch – nach Umwandlung des anstehenden Wirkdruckes in ein elektrisches Signal – entsprechende analoge oder digitale elektrische Anzeigegeräte verwendet werden.

Zur elektrischen Messung des Förderstromes einschließlich Anzeige und Auswertung eignen sich vor allem Turbinenzähler und magnetisch-induktive Messgeräte. Beim **Turbinenzähler** ist die Drehzahl eines in der strömenden Flüssigkeit angeordneten Propellers eine Funktion des Durchflussstromes. Das **magnetisch-induktive Messverfahren** beruht auf dem Faradayschen Induktionsgesetz. Senkrecht zur Strömungsrichtung wird ein homogenes Magnetfeld angelegt. Wenn die Förderflüssigkeit elektrisch leitfähig ist, wird senkrecht zum Magnetfeld eine Spannung induziert, die dem Durchfluss proportional ist. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass keine zusätzlichen Druckverluste durch die Messung des Förderstromes entstehen.

Zur Überwachung von kleineren Förderströmen wird häufig der **Schwebekörperdurchflussmesser** eingesetzt. Hierbei wird ein in einem senkrecht angeordneten konischen Messrohr befindlicher Schwebekörper von der Strömung so weit angehoben, bis sich ein Gleichgewichtszustand zwischen Auftriebs- und Gewichtskraft des Schwebekörpers einstellt.

Neben diesen Geräten zur quantitativen Messung des Förderstromes werden z.B. in Schmieröl- und Kühlkreisläufen häufig Durchflussüberwachungsgeräte eingebaut, die teilweise mit elektrischen Verriegelungs- und Regelungseinrichtungen gekoppelt sind.

14.3 Leistungsmessung

Bei der Leistungsmessung an Kreiselpumpen können prinzipiell zwei Wege beschrrieben werden:

▪ Direkte Methode

Hierbei koppelt man eine Drehmomentnabe (Torsionsdynamometer) zwischen Pumpe und Antriebsmaschine und misst somit direkt die zugeführte Leistung über Drehmoment und Drehzahl, wobei als Messgröße der Torsionswinkel eines speziell präparierten Wellenstückes dient. Das Messsignal wird entweder transformatorisch, kapazitiv oder über Schleifringe von der rotierenden Welle auf das stehende Gehäuse übertragen, verstärkt und zur Anzeige gebracht. Die Nachteile dieses Verfahrens liegen im hohen apparativen Aufwand und der damit verbundenen Störanfälligkeit.

▪ Indirekte Methode

Hierbei misst man die Leistungsaufnahme der Antriebsmaschine und errechnet den Leistungsbedarf der Kreiselpumpe über den Wirkungsgrad der Antriebsmaschine.

Die indirekte Methode wird meist bei elektrischen Antriebsmaschinen angewandt. Bei Gleichstrommaschinen genügt es Strom und Spannung zu messen und damit die zugeführte elektrische Leistung zu ermitteln. Bei Drehstrom ermittelt man in zwei der drei Phasen mit zwei Wattmetern die jeweilige Teilleistung (sogenannte Aronschaltung) und erhält die Gesamtleistung aus deren Summe. Bei Schalttafelinstrumenten werden die beiden Teilleistungen

durch Verwendung von Wattmetern mit Mehrfachmesswerken gekuppelt. Man erhält somit die Gesamtleistung aus einer Ablesung.

Der Nachteil dieser Leistungsmessung liegt darin, dass meist der Wirkungsgrad der Antriebsmaschine, besonders im Teil- und Überlastbereich, nicht genau bekannt ist. Noch ungenauer wird diese Methode, wenn zwischen Pumpe und Motor zusätzlich ein Getriebe angeordnet ist. In solchen Fällen kann die Messung bestenfalls zur Überwachung, nicht aber zum Leistungsnachweis für Kreiselpumpen herangezogen werden.

14.4 Drehzahlmessung

Folgende Messmethoden finden üblicherweise Verwendung:

- a) **Handtachometer** (Stichdrehzahlmesser), die in der Zentrierbohrung des freien Wellenendes der Maschine eingesetzt werden. Das Messprinzip beruht meist auf der Deformation einer Messfeder durch fliehkraftgeregelter Massen.
- b) **induktive** oder **optische Impulsgeber**, deren Messsignale durch einen elektronischen Zähler angezeigt werden. Die Impulse pro Zeiteinheit können z.B. durch eine auf der Welle angebrachte Zahnscheibe mit geeigneter Zähnezahle erzeugt werden.
- c) **elektrische Drehzahlmessgeräte**, die auf der linear mit der Drehzahl sich ändernden Spannung eines Gleichstromgenerators beruhen und direkt mit der Pumpen- oder Antriebswelle gekuppelt werden.
- d) **Schlupfmessgeräte**, die den Schlupf zwischen Synchrondrehzahl und belastungsabhängiger Schlupfdrehzahl bei Asynchronmotoren anzeigen. Als Geber dient meist eine an geeigneter Stelle des Motorgehäuses angebrachte Spule und als Anzeigergerät ein Drehspulmesswerk. Der Vorteil dieser Messgeräte liegt darin, dass kein freies Wellenende benötigt wird (z.B. Spaltrohrmotorpumpen).
- e) Frequenzbestimmung mittels **Stroboskop**. Diese Methode liefert zwar nur Näherungswerte, erleichtert jedoch die Messung an schwer zugänglichen Stellen.

14.5 Temperaturmessung

Die Temperaturüberwachung in Kreiselpumpenanlagen übernehmen meist Flüssigkeitsthermometer, Thermoelemente oder Widerstandsthermometer. Alle diese Geräte beruhen auf einer direkten Berührung zwischen Messobjekt und Messfühler. Dies bedingt, dass einerseits zwischen beiden ein guter Wärmeaustausch herrschen muss und andererseits ein Wärmetransport über den Temperaturfühler nach außen vermieden werden sollte.

Flüssigkeitsthermometer haben einen Verwendungsbereich zwischen -200 °C und 800 °C je nach Füllung (meist Alkohol, Toluol, Quecksilber oder organische Flüssigkeiten).

Widerstandsthermometer nutzen die Tatsache, dass der elektrische Widerstand gebräuchlicher Metalle mit steigender Temperatur zunimmt. Dieser Effekt wird nach entsprechender Eichung zur Temperaturmessung benutzt. Der normale Messbereich deckt sich etwa mit dem der Flüssigkeitsthermometer.

Als **Thermoelement** bezeichnet man die durch Löten oder Schweißen hergestellten Verbindungsstellen der Endpunkte zweier Drähte aus unterschiedlichen Metallen (Eisen-Konstantan, Nickelchrom-Nickel, Platinrhodium-Platin). Setzt man diese Endpunkte verschiedenen Temperaturen aus, baut sich in den Drähten eine sogenannte «Thermospannung» auf, die im Millivolt-

bereich liegt und zur Temperaturmessung herangezogen werden kann. Der Anwendungsbereich liegt je nach Materialpaarung zwischen -200 °C und 1800 °C .

Die beiden letzteren Temperaturmessverfahren haben den Vorteil, dass der Messwert direkt als elektrisches Signal vorliegt und somit einfach geschrieben, weitergeleitet oder zur Steuerung ausgenutzt werden kann.

14.6 Sonstige Messeinrichtungen

In chemischen Anlagen, Abwasserbecken, Schiffstanks u. dgl. müssen häufig Niveaumessungen des Flüssigkeitspegels durchgeführt werden. Dabei wird meist ein über Druckaufnehmer, Tastplatten oder sonstige Geber erhaltenes elektrisches Signal dazu benutzt, nachgeschaltete Überwachungs- oder Regelungsgeräte auszusteuern.

In hochwertigen Kreiselpumpenanlagen werden in Sonderfällen spezielle Überwachungsgeräte für Schub, Schwingung, Lagerspiel usw. eingesetzt. Diese Geräte sind technisch sehr kompliziert und werden in der Regel dem jeweiligen Bedarfsfall angepasst.

14.7 Störungsfrüherkennungssystem

Für die Pumpenüberwachung werden überwiegend 2 Verfahren eingesetzt:

1. direkter Vergleich eines Messsignals mit einem Grenzwert oder
2. mehrere Signale in einem Expertensystem.

In den Bildern 14.1 und 14.2 sind Beispiele dargestellt.

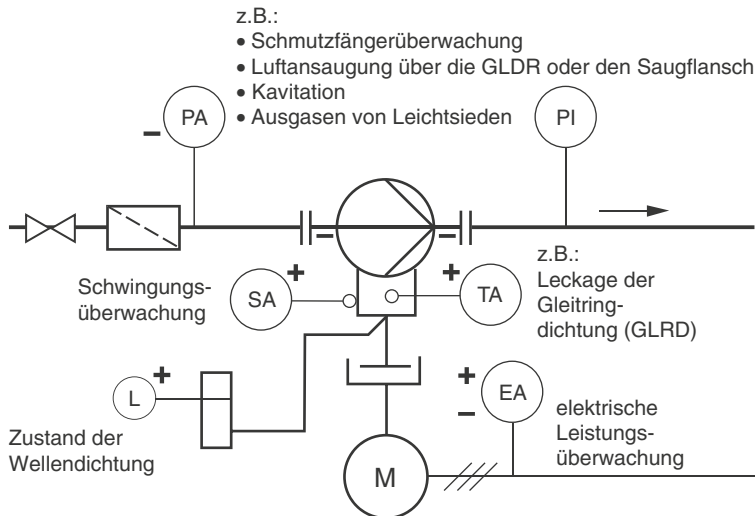


Bild 14.1 Pumpenüberwachung

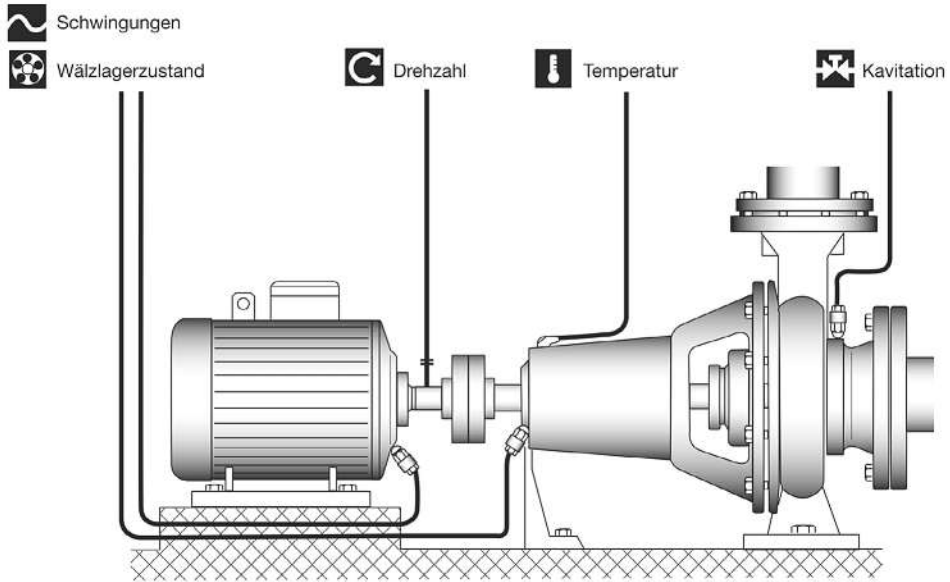


Bild 14.2 Überwachte Zustandsparameter in der zustandsorientierten Instandhaltung

Für die Inbetriebnahme bei 0 °C in Bild 19.35 muss wegen der höheren Dichte und der hohen Viskosität die Anlagenkennlinie bis auf 13 m³/h eingeregelt werden, wenn die Bemessungsleistung des Antriebsmotors nicht überschritten werden soll. Dabei wird auch berücksichtigt, dass die Magnetkupplungsverluste merklich ansteigen. Dadurch, dass die Temperatur im Bereich der Magnetkupplung im Anfahrzustand wesentlich niedriger ist als bei Dauerbetrieb, ist die Anziehungskraft der Magnete stärker. In Folge dessen sind die Wirbelstromverluste ebenfalls höher. Aber auch die Reibung am Innenrotor der Magnetkupplung nimmt zu mit höherer Viskosität, was sich in entsprechenden Verlusten bemerkbar macht. Eine Magnetkupplung hat also immer zwei Verluste: Wirbelstrom- und Viskositätsverluste.

Eine Inbetriebnahme der Pumpe in Beispiel 2 gegen den üblicherweise geschlossenen oder nur minimal geöffneten Druckschieber ist somit möglich. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass die Pumpe in dem Anfahrbetriebspunkt nicht lange betrieben werden darf. Da sich aber erfahrungsgemäß der Wärmeträger in der Pumpe und in dem gesamten System sehr schnell aufheizt, kann auch einhergehend damit der Förderstrom relativ rasch immer weiter erhöht werden, bis der Betriebspunkt wieder in einem Kennlinienbereich liegt, in dem die Pumpe dauerhaft betrieben werden darf.

19.4 Modulare Bauteile zur Pumpenüberwachung in wärmetechnischen Großanlagen

(Autoren:

DOMINIK WEIDLER, Technical Assistant to the Managing Director

GERALD BESCH, Manager Research & Development

bei der NESS Wärmetechnik GmbH)

Wärmetechnische Großanlagen, obwohl komplex und hohen Belastungen ausgesetzt, können über lange Zeiträume unterbrechungsfrei und wartungsarm betrieben werden. Das setzt aber bei der Planung die Einbeziehung sensorischer Überwachungsmodule voraus. Ein wichtiges Element hierbei ist die Pumpenüberwachung. Die Pumpen sind durch ihre Beschaffenheit und Beanspruchung ein neuralgischer Faktor im Kreislauf und sollten auch dementsprechend überwacht werden. In Wärmeübertragungsanlagen mit einem flüssigen Wärmeträger sind höchste Anforderungen an die Pumpen gestellt. Je nach Anlagendruck und verwendetem Wärmeträger unterscheiden sich die Spezifikationen der optimalen zum Einsatz kommenden Pumpe. Generell gilt, dass Spaltröhren- oder Magnetkupplungspumpen technisch am geeignetsten sind. Gleichzeitig sind diese Pumpen aber auch deutlich teurer in der Anschaffung als klassische Pumpen mit Gleitringdichtung. Rein betriebswirtschaftlich ist es in vielen Fällen sogar sinnvoll, auf Pumpen mit Gleitringdichtung zurückzugreifen und – über eine zusätzliche Überwachung – die etwas höheren Risiken wieder auszugleichen. Die Anforderungen an das Monitoring stellen wir im Folgenden vor.

Drei unerlässliche Faktoren sollten in einem Konzept der Pumpenüberwachung mit einbezogen werden: Lagertemperatur, Pumpenvibration und Leckageüberwachung. Diese helfen Probleme und Verschleiß an Pumpen frühzeitig zu erkennen und Wartung und Reparatur optimal in den Produktionszyklus zu integrieren. Pumpen in solchen Anlagen müssen, bedingt durch Temperatur und Viskosität des verwendeten Fluids, Hochleistung erbringen – und das ununterbrochen über lange Zeiträume. Leckage, Vibration und Ansteigen der Lagertemperatur sind die häufigsten Störfaktoren im Pumpenbetrieb und sollten zwingend überwacht werden. Hierbei sind auch die in der DIN 4754-1 umschriebenen Mindestanforderungen bei Wärmeübertragungsanlagen mit organischen Wärmeträgern zu beachten. Die beschriebenen Monitoringmodule sollten

dreistufig angelegt sein: Normalbetrieb, Grenzwertsignalisierung und die Abschaltung beim Überschreiten festgelegter Grenzwerte. Dies dient nicht nur der Arbeits- und Umweltsicherung, es schützt auch die Anlagen vor Beschädigung.

Zunehmende Leckage gefährdet die Anlage

Auftretende Undichtigkeit im Bereich der Pumpe gefährdet die Funktion der gesamten Anlage. Die Gleitringdichtungen in Pumpen sind Verschleißteile mit definierter Lebensdauer, deren Dichtigkeit im laufenden Betrieb stetig abnimmt. Mit zunehmendem Materialverlust treten geringe Mengen des Wärmeträgers aus. Dies ist zu Beginn, bei ausreichender Absicherung und rechtzeitiger Wartung, unproblematisch. Trotzdem gilt, dass gerade in Bereichen, in denen Konstanz und Präzision bei Temperatur und Druck wichtig sind, ein zu hoher Wärmeträgerverlust zu Beeinträchtigungen im Produktionsablauf führen kann und damit mit erheblichen wirtschaftlichen Risiken verbunden ist. Je nach Leckagerate und Menge der austretenden Flüssigkeit reicht das Spektrum möglicher Schadenszenarien von Gefahren für die Umwelt, über die Möglichkeit eines Produktionsstillstandes bis hin zur Gefährdung des leiblichen Wohles der Mitarbeiter.



Bild 19.36 Leckage an Pumpe
[Quelle: NESS]

Neigt sich die Lebenszeit dieses Verschleißteils dem Ende zu, ist die Zeit bis zur Feststellung des Defekts ein entscheidender Faktor. Je schneller eine zunehmende Undichtigkeit festgestellt werden kann, umso weniger wird der Produktionsablauf gestört. Noch besser ist es natürlich, wenn das Verschleißteil vor dem endgültigen Versagen getauscht werden kann. Dies ist möglich durch fortlaufendes Monitoring. Eine Pumpen-Leckageüberwachung ist daher ein wichtiges Anbauteil jeder Pumpe. Es gibt Nachrüstmodule, die für alle Anlagen geeignet sind, sich nach Pumpentyp leicht unterscheiden und mit geringem Aufwand integriert werden können. Die Funktionsweise ist leicht nachvollziehbar: Die ständige Messung des im Bereich der Gleitringdichtung in einen Leckagebehälter ausgetretenen Fluids wie beispielsweise bei Thermalöl mittels eines Füllstandsensors lässt Rückschlüsse über den Zustand der Dichtung und über die weitere Entwicklung zu. Neben der Quantität ausgetretener Flüssigkeit wird auch die Temperatur im Auffangbehälter überwacht. Sollte die Gleitringdichtung versagen, gelangt eine größere Menge heißer Flüssigkeit in den Auffangbehälter und kühlt auf dem kurzen Weg dorthin nicht ab. Damit steigt die Temperatur dort schnell an, und der Temperatursensor meldet eine Überschreitung des Grenzwertes. Auf diesem Wege ist sichergestellt, dass auch eine kurzfristig auftretende Undichtigkeit schnell festgestellt und im Notfall eine automatische Abschaltung eingeleitet wird. Individuelle Einstellungen der Toleranzmengen und -temperaturen ermöglichen es, dabei die Spezifikationen unterschiedlicher Produktionsprozesse zu berücksichtigen.



Bild 19.37 Die Leckageüberwachung basiert auf einer Füllstandsmessung der Leckage an der Gleitringdichtung der Pumpe.

[Quelle: NESS]

Vibration führt zu Schäden

Gut gewartete und funktionstüchtige Pumpen laufen im wahrsten Sinne des Wortes rund. Vibrationsarm und mit minimal nötiger Geräuschentwicklung – auch wenn «leise» im Zusammenhang mit leistungsstarken Aggregaten sicher eine falsche Vorstellung ist. Ansteigende Vibration ist immer ein Indiz für Verschleiß, spontaner Anstieg lässt Rückschlüsse auf eine Beschädigung zu. Kostspielige Verschleißerscheinungen der beweglichen Teile und Beschädigungen lassen sich verhindern, wenn man die Entstehung von Vibrationen überwacht und das Ansteigen registriert.

Kann man es erst einmal hören oder sehen, ist es bereits zu spät. Mit einem Modul zur Pumpenvibrationsüberwachung kann dies im Vorfeld verhindert werden. Die Messung erfolgt in diesem Fall über piezoresistive Sensorik, die über Kompression gemessen wird. Vereinfacht ausgedrückt: Die Bewegung eines Bauteils wird über die Messung der dynamischen Bewegung auf eine fixierte Fläche beziehungsweise die verringerte Distanz und die dabei entstehende Stauchung eines Sensors gemessen. Dabei werden Daten gesammelt, die nicht nur Auskunft über Stärke und Anstieg einer Vibration geben, sondern auch über Unregelmäßigkeiten. Bewegt sich eine spontan auftretende Unwucht auf einen kritischen Wert zu, der eine Beschädigung der Anlage und einen Aufbruch des Kreislaufs möglich werden lässt, sollte eine Monitoring-Einheit nach Signalsetzung nötigenfalls auch die Abschaltung automatisch veranlassen können.

Wärmeentstehung in den Lagern sollte festgestellt werden

Friktion erzeugt Wärme – das ist für Bauteile nicht immer förderlich, im Normalzustand aber vorherseh- und planbar. In den Lagern der Pumpe wird durch Reibung der einzelnen Komponenten aneinander mechanische Energie in Wärme umgewandelt. In gewartetem Zustand bewegt sich die in den Bauteilen entstandene Wärme auch im Dauerbetrieb innerhalb eines vorgesehenen Toleranzbereichs. Das Überschreiten der Toleranzwerte lässt auf Wartungsbedarf schließen und warnt vor bevorstehenden Schäden und Ausfall.

Eine besondere Herausforderung, die ein Lagertemperatur-Überwachungsmodul meistern muss, ist das hohe Niveau des normalen Arbeitstemperaturbereichs. Werden Temperaturwerte in den Lagern erreicht, die die Leistung der Pumpe beeinträchtigen oder den Materialverschleiß auf eine Weise erhöhen, die zur Systembeschädigung führen kann, warnt das Modul die Techniker, sollte aber bei einem weiteren Temperaturanstieg auch in der Lage sein, eine Notabschaltung einzuleiten, um Schäden und Gefahren abzuwenden.



Bild 19.38 Der Vibrationssensor hilft, schwerwiegende Schäden zu vermeiden.
[Quelle: NESS]



Bild 19.39 Pumpe nach Brandschaden
[Quelle: NESS]



Bild 19.40 Die Überwachung der Lagertemperatur lässt Rückschlüsse auf den Verschleiß zu.

Sicherheit durch Bedienfreundlichkeit

Häufig wird die Anwendung der Monitoringtools als umständlich und zeitaufwendig empfunden, da an unterschiedlichen Pumpen Werte geprüft und abgelesen werden müssen. Das Ablesen an der Pumpe in großen Betrieben mit (mehreren) weitläufig verteilten Pumpen ist gleichbedeutend mit einem hohen Zeitaufwand und dem Erstellen umständlicher Routinen.

Zentral eintreffende Werte sind eine enorme Erleichterung im Produktionsalltag. Daher ist es ratsam, die Module in die vorhandene Systemsteuerung zu integrieren. Das heißt, im Produktionsalltag müssen keine Daten umständlich an der Pumpe abgelesen werden; die Daten laufen im Kontrollzentrum zentral zusammen. Störfälle werden sofort gemeldet, die betroffene Pumpe kann sofort identifiziert werden.