

Vollservice für Schraubenkompressoranlagen mittels Telemonitoring

Dr.-Ing. R. Gödde, Oberhausen

Zusammenfassung

In der jüngeren Vergangenheit wurden umfassende Serviceverträge mit Betreibern von Prozessgas-Schraubenkompressoren abgeschlossen. Gemessen werden die vereinbarten Serviceleistungen an ihrer Erfolgsquote, d.h. daran ob sie ihren Beitrag an den kundenseitig geforderten hohen Verfügbarkeiten der Verdichteranlagen leisten. Ein wichtiger Baustein innerhalb eines Servicevertrages ist das Telemonitoring, also die Fernübertragung und -analyse aller relevanten Maschinen- und Prozessdaten.

Summary

In the recent past comprehensive service contracts were concluded with operators of process-gas screw compressors. A criterion of assessment of the services agreed will be their success quota, i.e., whether they contribute to customer's requirements for high availabilities of compressor plants. An important integral part within a service contract is telemonitoring which means remote transmission and analysis of all data relevant for machine and process.

1 Einleitung

Typische Applikationen für Prozessgas-Schraubenkompressoren sind im Bereich der chemischen und petro-chemischen Industrie, der Stahlerzeugung, der Rohstoffförderung sowie in der Offshore-Anwendung zu finden. Auf Grund des stetig zunehmenden Wettbewerbs- und Kostendruckes können ungeplante Anlagenstillstände und damit Produktionsausfälle immer weniger hingenommen werden. In der Konsequenz werden daher große Anstrengungen unternommen, durch gezielte Wartungsstrategien unvorhergesehene Ausfälle von Anlagenkomponenten möglichst zu vermeiden.

Nachdem Vollserviceverträge zunächst an großen Maschinensträngen, bestehend aus Gas- oder Dampfturbinenantrieben, Turbokompressoren und Expandern umgesetzt wurden, hat MAN TURBO die dort gewonnenen Erfahrungen /1/ auch erfolgreich an Schraubenkompressoreinheiten adaptieren können. Der Trend geht von Implementierungen im Bereich der Maschinen mit hohen Investitionskosten /2, 3/ bis hin zu denen mit deutlich geringerer Kapitalbindung. Entscheidend aus Betreibersicht ist letztendlich die Wichtigkeit der einzelnen Maschine innerhalb des Gesamtprozesses. Angesichts der Vielfalt der Maschinentypen, die beispielsweise in einer Raffinerie anzutreffen sind, wird ein Betreiber den Vorteil der Möglichkeit der direkten Nutzung der Spezialkenntnisse des Maschinenherstellers leicht erkennen. Sowie es Unterschiede in der Fahrweise von Turboverdichtern, Kolbenverdichtern, Gebläsen und

Pumpen gibt, so stellen auch Schraubenverdichter eine Spezialität dar, die innerer individuellen Anwendung viele Vorteile bietet aber auch Besonderheiten für den Betreiber aufweist. Auf Grund der umfassenden Erfahrungen mit einer über Jahrzehnte betriebenen großen Zahl von Prozessgas-Schraubenverdichtern ist nur ein Hersteller in der Lage, im Bedarfsfall schnelle und sichere Diagnosen zu stellen und Maschinenzustandsbewertungen vorzunehmen. Neben den vor Ort gesammelten Erfahrungen verfügt er über die notwendige interdisziplinäre Ingenieurkompetenz in den Bereichen Konstruktion, Thermodynamik, Maschinendynamik, Anlagentechnik und Werkstofftechnik sowie über weitreichende metallurgische und chemische Analysemöglichkeiten in eigenen Labors.

Art und Umfang eines Servicevertrages hängen von der Beantwortung folgender Fragen ab:

- Wie hoch ist die geforderte Verfügbarkeit des Gesamtproduktions- bzw. Förderprozesses?
- Wie sensibel ist dieser Prozess gegenüber Störungen bzw. dem Ausfall des Verdichters?
- Welche Verfügbarkeit ist für den Unterprozess „Schraubenverdichter“ nötig?
- Gibt es eine einsatzfähige Reserve-Verdichteranlage (Stand-by)?
- Stehen Reservestufen, -getriebe und -antriebsmaschinen zur Verfügung, die in kürzester Zeit ausgetauscht werden könnten?
- Wie hoch sind die Fachkompetenzen des eigenen Wartungspersonals?
- Wieviel eigenes Personal kann/soll für die Verdichterbetreuung zur Verfügung gestellt werden?

Betreiber moderner Industrieanlagen sehen sich zunehmend mehr mit der Notwendigkeit konfrontiert, eine maximale Verfügbarkeit ihrer Anlagen zu erreichen. Die Verfügbarkeitsforderungen werden in der Konsequenz auf alle betriebsnotwendigen Teilsysteme, wie z.B. eine im Prozess eingebundene Schraubenverdichtereinheit, übertragen.

Es liegt auf der Hand, dass dieses hohe Ziel auch bei den an sich robusten Schraubenverdichtern kaum mit herkömmlichen Mitteln erreichbar ist. *Herkömmlich* ist hier in dem Sinne zu verstehen, dass Kompressorbetriebsdaten vom Prozessleitsystem mit protokolliert werden, ohne sie einer kontinuierlichen Analyse zu unterziehen, dass auf Alarme nach eigenem Ermessen reagiert wird und dass die Spezialisten des Herstellers oft viel zu spät involviert werden. Sofern keine Stand-by-Maschine vorhanden ist, bleibt dann im Schadensfall nur noch die Instandsetzung. Selbst unter günstigen Bedingungen, wie das Vorhandensein aller benötigten Reserveteile und der sofortigen Einsatzbereitschaft der benötigten Spezialisten des Herstellers, ist in aller Regel mit einer Ausfallzeit von mehreren Tagen zu rechnen.

2 Nutzen eines Servicevertrages für den Betreiber

Das Selbstverständnis eines sinnvoll ausgearbeiteten Servicevertrages liegt darin, die folgenden Vorteile für den Anlagenbetreiber zu bieten:

Vermeidung von nicht planmäßigen Stillständen der Gesamtanlage

Prozessgas-Schraubenverdichter werden häufig als Grundlastmaschinen konzipiert, d.h. jeder Stillstand verursacht Kosten, die sich im Falle des unplanmäßigen Ausfalls oft noch erhöhen. Instandsetzungen von havarierten Maschinen stehen potentiell unter dem Risiko, dass

- benötigtes Fachpersonal nicht kurzfristig zur Verfügung gestellt werden kann,
- u.U. keine freien Werkstatt- / Maschinenkapazitäten bereitstehen,
- Ersatzteile neu beschafft oder gefertigt werden müssen.

Alle oben genannten Punkte wirken sich zunächst einmal zeitverlängernd aus. Der Zeitfaktor hat aber einen zusätzlichen kostentreibenden Einfluss. Dies sowohl bei den direkten, unmittelbaren Kosten für

- Lohn: Häufig sind mit Zuschlägen behaftete Sonderschichten (2-, 3-Schichtbetrieb) nötig
- Material: Es entstehen Wartezeiten, Baustellenunterbrechungen mit zusätzlichen An- und Abreisekosten
- Fertigung von Ersatzteilen bzw. Bearbeitung von Maschinenkomponenten (Gehäuse, Rotoren etc.): Zeitlich bevorzugte Arbeiten (Crash-Aktionen) sind teurer als geplante Werkstattarbeiten

als auch bei den – oftmals drastischen – Folgekosten, die beispielsweise entstehen durch

- Produktionsausfall (entgangener Umsatz, Konventionalstrafen)
- Strafgeldern wegen unzulässigen Ableitens von Recyclegasen zur Fackel.

Maximale Anlagen-/Maschinenverfügbarkeit bei minimaler Bindung eigener Ressourcen

Ein zentraler Punkt innerhalb moderner Wartungskonzepte ist die bezüglich Termin und Dauer genaue Festlegung, d.h. Planung von Anlagenstillständen. Das Bestreben geht dahin, zum Einen sämtliche nötigen Maschinenrevisionen innerhalb dieses Zeitfensters auszuführen und zum Anderen den Abstand der geplanten Stillstände aber auch der Einzelrevisionen möglichst groß zu halten. Die dazu erforderliche intensive Maschinenbetreuung soll bei einem geringen eigenen Aufwand von Personal und Kosten erfolgen.

Lernprozess / Prozessoptimierung

Sämtliche Serviceaktivitäten können mit zunehmender Laufzeit eines Servicevertrages bezüglich Quantität und Qualität optimiert werden. Neben dem rein Organisatorischen bezieht sich dies auch auf die Maschinen- und Prozesstechnik selbst.

Je besser man eine Verdichteranlage kennt, je abgesicherter die Erfahrungen aus der Vergangenheit (Dokumentation, statistische Auswertungen), desto effizienter, zielgerichteter und treffsicherer sind die Diagnose- und Inspektionsaktivitäten sowie die Ersatzteilhaltung.

Im Rahmen einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit zwischen den Anlagenverantwortlichen vor Ort und dem Betreuer im Service Zentrum des Herstellers wird ein Lernprozess durchlaufen, der in dem Maße eine Verlängerung der Revisionsintervalle zulässt, wie individuellen Eigenheiten und Bedingungen des Prozesses und die Reaktionen des Schraubenverdichters darauf bekannt und ausgewertet sind.

Der Servicespezialist wird auf ungünstige Maschinenfahrweisen aufmerksam machen und wichtige Hinweise für einen insgesamt schonenderen Verdichterbetrieb geben können. Die Folge sind die Lebensdauerverlängerung von Anlagenkomponenten, die Standzeitverlängerung von definierten Verschleißteilen sowie die Minimierung von Hilfsstoffen (Schmieröl, Sperrmedien).

Darüberhinaus entsteht so die ideale Basis, die betriebenen Schraubenverdichteranlagen stets auf den neuesten Stand der Technik zu halten. Gegenüber einem herstellerunabhängigen Servicedienstleister wird der OEM, auf Grund seines Wissens und seiner Kompetenz sowie seines unmittelbaren Zugriffs zu allen technischen Daten und Neuentwicklungen seiner Produkte, klar im Vorteil sein, wenn es darum geht, Uprates (z.B. Mengensteigerung) oder Upgrades (z.B. Umbau auf eine effizientere Wellendichtungstechnik, Erweiterung/Modernisierung der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik) an einer Anlage vorzunehmen.

Kostenplanung

Kosten für geplante Inspektionen, Revisionen und Diagnosedienstleistungen können für eine bestimmte Betriebsperiode erfasst und in entsprechende Budgetplanungen übernommen werden.

Transparenz in den Verantwortungsstrukturen

Es wird vertraglich festgelegt, wer für welche laufenden Wartungs- und Überwachungsarbeiten zuständig ist (Operator, Maintenance-, Servicepersonal). Dem Betreiber wird eine 24-Stunden-Hotline eingeräumt und er hat feste, namentlich benannte Ansprechpartner im Service der MAN TURBO.

Darüber hinaus kann die vollständige Verantwortung für Koordinierung und Logistik der anfallenden Revisionsarbeiten auf das Serviceunternehmen übertragen werden. Der Betreiber legt lediglich den Starttermin und die maximale Dauer fest, die für die Arbeiten zur Verfügung stehen. In aller Regel sind größere Revisionen innerhalb eines Gesamtanlagenstillstandes geplant. Es werden Schnittstellen definiert, an denen die Verdichteranlage übergeben wird. Dies könnte z.B. sein: Übergabe an das Servicepersonal nach dem „Gasfrei machen“ und Sichern (Steckscheiben, Abkoppeln vom Stromnetz etc.) der Verdichteranlage – Übergabe an den Betreiber nach erfolgreicher Wiederinbetriebnahme und Probelauf.

Der MAN TURBO Service, als einziger Vertragspartner des Kunden, bindet seine Servicestationen mit ein, wenn nicht nur eine Maschine, sondern eine ganze Population an einem Standort vorhanden ist und schließt bei Bedarf Unterverträge mit lokalen, zertifizierten Werkstätten und Dienstleistern, um kleinere Wartungs-, Reparatur- und Diagnosearbeiten (z.B. den Austausch von defekten Instrumenten oder Armaturen) ohne Zeitverzug ausführen lassen zu können. Antrittszeiten kleiner 1 Stunde, in denen autorisiertes Personal persönlich vor Ort ist, sind dabei nichts außergewöhnliches.

Vermeidung von Maschinenredundanz

Nicht zuletzt zielt ein Vollservice durch den Maschinenhersteller darauf ab, auch auf der Investitionsseite Kosten einzusparen. Die klassische „Verfügbarkeitsgarantie“ ist die simple Vorhaltung einer vollständigen zweiten Verdichteranlage für den Stand-by-Betrieb. In abgeschwächter Form trifft man dann auf die Strategie: Einlagerung von Hauptkomponenten wie Verdichterstufen, Getriebe oder Antriebsmotor. Zur hohen Investition kommen zusätzliche laufende Kosten für die „normale“ Wartung der Reservemaschinen selbst.

3 Strategie und Gestaltung eines Servicekonzeptes

Jedes Unternehmen hat seine individuellen Instandhaltungs- und Wartungskonzepte, basierend auf Erfahrungen und ggf. statistischen Daten der Vergangenheit, in das Dienstleistungen der Maschinenhersteller mehr oder weniger stark mit eingebunden sind.

Bild 1 zeigt den modularen Aufbau von Servicekonzepten in unterschiedlichen Ausbaustufen.

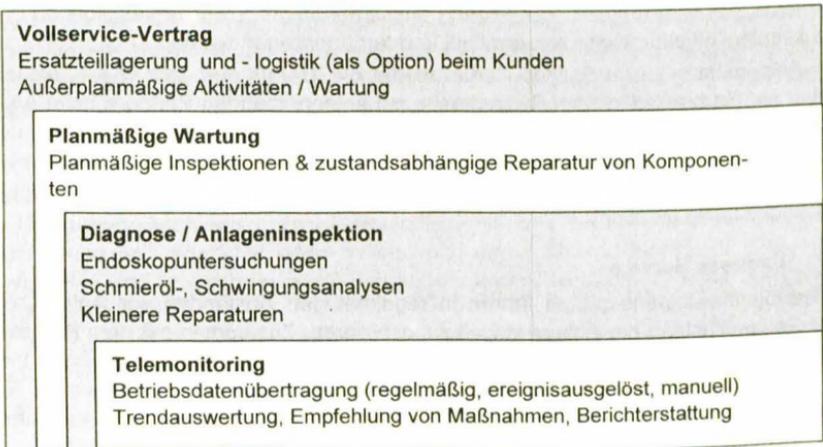


Bild 1: Ausbaustufen eines Servicevertrages

Pic 1: Modular concepts of a service contract

3.1 Telemonitoring

Per Datenfernübertragung (DFÜ) werden die Werte genau festzulegender Messstellen in der Verdichteranlage zum Diagnose Center des Service Providers gesendet (Bild 2). Es können periodisch alle von der Anlagensteuerung bereitgestellten Messdaten unter Mitführung eines Zeitstempels übertragen und archiviert werden.

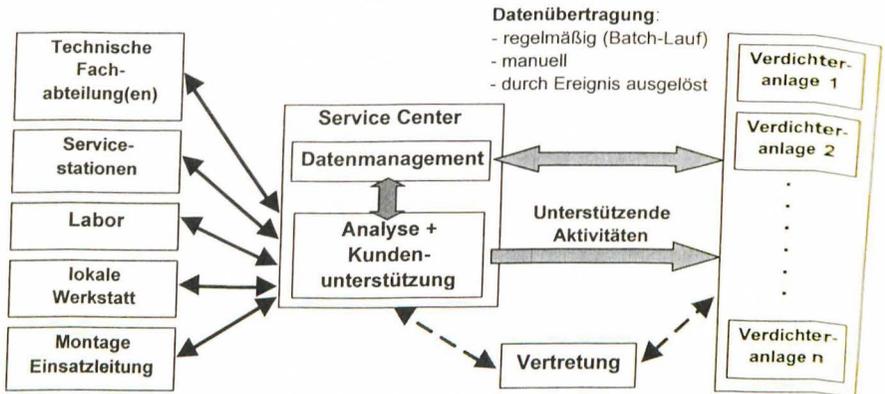


Bild 2: Daten- und Informationsfluss beim Teleservice

Pic.2: Data and information flow of Telemonitoring

Die Datensätze werden i.d.R. etwa im Sekundentakt aufgenommen. Dies geschieht mit Hilfe eines anlagenseitig installierten Industrie-PC's, der als Schnittstellenrechner und Datensammler fungiert. Zur Bildung aussagekräftiger Trendkurven können daraus Minuten- Stundenwerte etc. ermittelt und fernübertragen werden.

Der Anlagenbetreuer im Service Center wertet die Trends aus, fordert evtl. weitere Daten an und hält telefonisch Rücksprache mit entsprechenden Partnern beim Anlagenbetreiber. Er weist auf Probleme hin, falls von den Operatoren übersehen, und schlägt Maßnahmen für die kurzfristige Fehler-, Störungsbehebung vor. Die so gesammelten Erfahrungen werden in geeigneter Berichtsform dokumentiert und dauerhaft zugriffsfähig gemacht.

3.2 Diagnose Service

Schraubenmaschinenexperten fahren in regelmäßigen Abständen zur Anlage, um den Gesamtzustand der Anlage visuell zu inspizieren. Zusammen mit dem Betreiber und ggf. unter Hinzuziehung eines Service Ingenieurs im Stammwerk können Verbesserungs- oder Änderungsmaßnahmen direkt beschlossen werden. Kleinere Reparaturen und die Überprüfung / Nachkalibrierung der Messtechnik werden unmittelbar umgesetzt.

Exakte Frequenzanalysen der Maschinenschwingungen mit Hilfe leistungsfähiger mobiler Messtechnik gehören ebenso zum Vor-Ort-Service wie Boroskopuntersu-

chungen des stillstehenden Schraubenkompressors zur Detektion eventueller Ablagerungen oder Beschädigungen z.B. an den Gehäuseinnen- und Rotorprofilflächen.

3.3 Geplante Inspektionen und Revisionen

Im Rahmen eines entsprechend ausgebauten Servicevertrages sind feste Wartungsintervalle bzw. -termine für die Verdichteranlage zu definieren. Die präzise zeitliche Terminierung geschieht unter Berücksichtigung der Revisions- und Stillstandspläne der gesamten Produktionsanlage. Der vom Hersteller empfohlene Umfang der auszuführenden Arbeiten wird genau beschrieben und vertraglich festgelegt. Dies geht über Funktions- und Dichtheitstests der Versorgungsanlagen (Schmieröl, Sperrwasser, Sperrgas), Lagerspielmessungen, Tragbildkontrollen der Getriebeverzahnungen, Überprüfen und Nachjustieren der Ausrichtung von Motor, Getriebe und Stufen, Sicherstellung des spannungsfreien Anschlusses der Prozessgasleitungen bis hin zur vollständigen Revision. Diese erfordert einen größeren Zeit- und Kostenaufwand. Ist sie standardmäßig nach ca. 3 Jahren oder 24000 Betriebsstunden empfohlen, so streben viele Servicevertragnehmer eine deutliche vergrößerte Intervalllänge an. Ein gut eingespielter Service, d.h. optimale Betreuung, tiefgehende Detailkenntnisse der individuellen Maschine und ihrer Betriebsbedingungen auf der einen Seite sowie der intensive Erfahrungsaustausch zwischen Service Provider und Betreiber sind aber eine wichtige Voraussetzung dafür.

3.4 Vollservice

Spätestens im Falle einer großen Revision, also der vollständigen Zerlegung von Verdichterstufen und Getriebe zwecks Überprüfung der Einzelbauteile, wird die Bedeutung einer effizienten Ersatzteilhaltung offenbar.

Im Rahmen eines Vollservice-Vertrages übernimmt z.B. der Hersteller die Verantwortung für die richtige und stets vollständige Bestückung des Ersatzteillagers (Ersatzteillistik, -management), das sich auf dem Werksgelände oder zumindest in dessen unmittelbarer Nähe befindet. Häufig werden zur Durchführung der Revisionsarbeiten lokal ansässige, kompetent ausgerüstete und qualifizierte Werkstätten unter Vertrag genommen, sofern sich kein eigener Stützpunkt oder Service Shop in der Nähe befindet, in denen sich dann auch das Ersatzteillager befindet. Das Lager wird entsprechend den Empfehlungen des Verdichterherstellers gepflegt. Es beinhaltet für Schraubenmaschinen typische Verschleißteile und Hauptkomponenten, deren Beschaffung im Bedarfsfall lange Warte- und damit Stillstandszeiten verursachen würde. Dies sind beispielsweise die Schraubenrotoren, Torsionsstäbe oder komplette Dichtungseinheiten.

Für den unvorhergesehenen Maschinenstillstand bietet der Vollservice eine 24-Stunden-Verfügbarkeit von festen Ansprechpartnern beim Hersteller sowie Antrittszeiten < 1 Stunde für das Personal der Servicestationen.

4 Basismodul: Telemonitoring

Im Folgenden ist das Telemonitoring als Grundlage einer effizienten, zustandsorientierten Maschineninstandhaltung, also als das zentrale Diagnose- und Prognosewerkzeug mit seinen Besonderheiten bei der Applikation in Prozessgas-Schraubenverdichteranlagen beschrieben.

Aus der Sicht des Service-Ingenieurs werden bestimmte Anforderungen an Art, Umfang und Qualität der Daten gestellt, die ebenso zu beachten sind wie die Ansprüche des Anlagenbetreibers an „Unauffälligkeit“ des installierten DFÜ-Systems (keine Störungen und Beeinträchtigungen des eigentlichen Gasverdichtungsprozesses, kein eigener Aufwand für Pflege und Unterhaltung des Systems, Kompatibilität zum vorhandenen Prozessleitsystem / zur Verdichtersteuerung, bestmögliche Sicherheit gegen nicht autorisierten Zugriff auf die Betriebs- und Prozessdaten.

4.1 Datenerfassung und –fernübertragung (DFÜ)

Das DFÜ-System einer Schraubenverdichteranlage ist in Bild 3 veranschaulicht. Ausgangspunkt sei die in Kapitel 5 noch näher beschriebene Sensorik einer modernen Schraubenverdichteranlage, deren Signale in der Regel in einer lokalen Steuerungseinheit zusammenlaufen. In der Steuerung wird eine weitere Schnittstelle ausschließlich für die externe Datenakquisition geschaffen. Möglich ist auch eine direkte Datenübernahme aus dem Prozessleitsystem oder ein hybrides Datenerfassungssystem. In vorderster Front wird also zunächst ein Industrie-PC benötigt, der mit allen gängigen Schnittstellen und Bussystemen kommunizieren kann. Er wird deshalb auch als „Schnittstellen- / XBus-Rechner“ bezeichnet und sorgt für eine korrekte „Verdrahtung“ und die Einhaltung der Datentransferprotokolle. Die Aufgabenteilung ist insofern klar definiert, als dass die Steuerung alle benötigten analogen Messdaten zyklisch mit einer ausreichend hohen Taktrate an der Schnittstelle im richtigen Format zur Verfügung stellt, der XBus-Rechner sie dort abrufen und zunächst in einem Ringpuffer speichert. Aus diesem Grund bezeichnet man ihn auch häufig als „Datensammler“. Als aktives Glied in der Kette verfügt er über die nötige intelligente Software, die

- das gezielte Abrufen der Messdaten,
 - die Organisation eines Ringspeichers,
 - die Formatierung eines Datensatzes unter Mitführung eines festen Zeitbezuges (Zeitstempel),
 - die Bündelung der Datensätze zu einer Datei (z.B. für einen Tag, eine Woche),
 - das Archivieren der Dateien,
 - Abruf von in der Steuerung erzeugten Eventdateien (Alarmer, Abschaltungen),
 - die Aufbereitung der Dateien zum Versenden (Komprimieren, Verschlüsseln),
 - den Aufbau einer Modem- / ISDN-Verbindung und den Dateitransfer ins Service Diagnose Center
- realisiert.

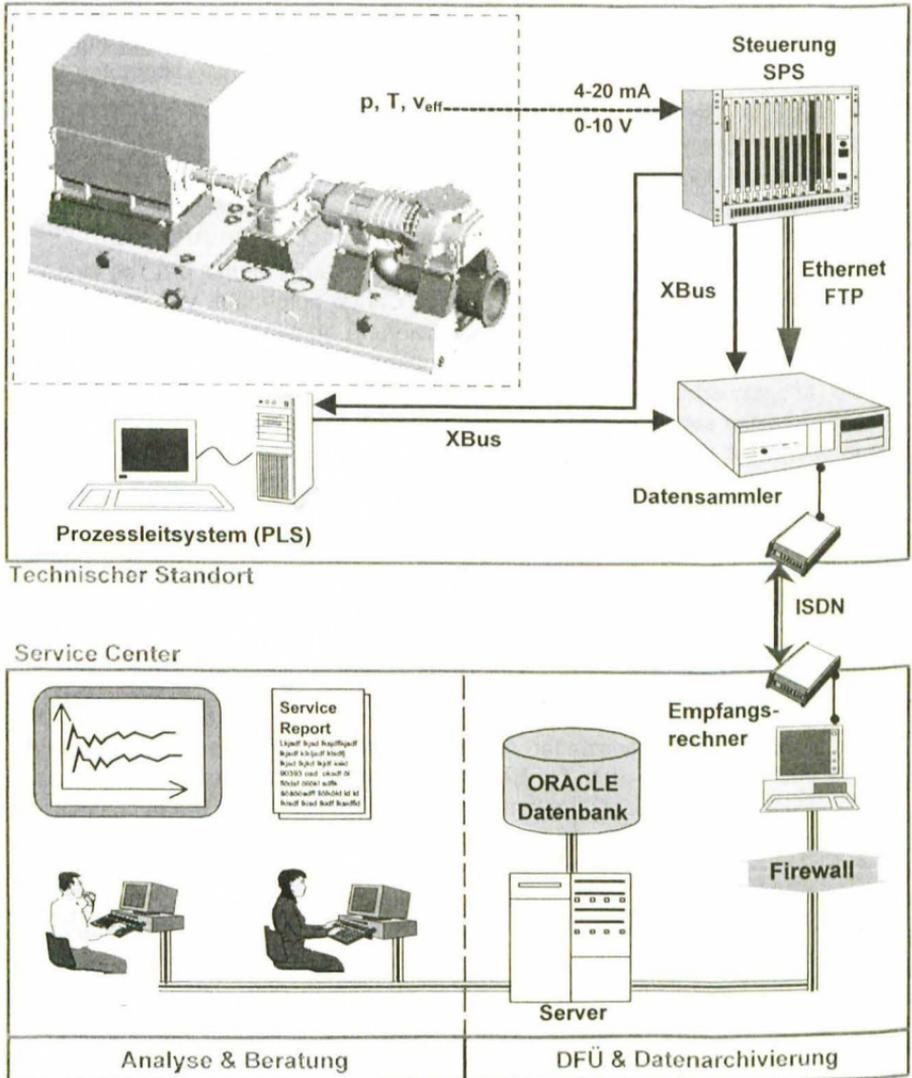


Bild 3: Datenfernübertragungssystem einer Prozessgas-Schraubenverdichteranlage
Pic. 3: Data acquisition and telecommunication system of a process gas screw compressor unit

Die Anzahl der übertragenen und langzeitarchivierten Datensätze ist zu optimieren, d.h. es sind gerade so viele Daten zu generieren, dass eine ausreichende Bewertungssicherheit bei optimaler Speicherausnutzung gegeben ist. Aus den im Sekundentakt erfassten Rohdaten des Ringspeichers, werden Mittelwerte z.B. für die Zeit-

periode 1 Minute berechnet und mit Zeit und Datum in die Archivierungsdatei geschrieben. Beim Überschreiten von Alarmwerten werden die innerhalb der Steuerung erzeugten Melde- und Alarmdateien über eine Ethernet-Verbindung abgerufen.

Im „Ereignisfall“ wird automatisch die Mittelungsperiode (Standard: Minutentakt) für ein definiertes Zeitfenster vor und nach dem Auslösezeitpunkt verkürzt. Darüberhinaus besteht die Möglichkeit, den vordefinierten Datenerfassungsrhythmus via Fernverbindung manuell zu verändern, um etwa eine kritische Messstelle für eine bestimmte Zeit genauer, d.h. mit höherer Zeitauflösung beobachten zu können.

Zum automatischen Transfer der Dateien wird in der Regel einmal pro Tag eine Verbindung mit dem Empfangsrechner im Service Center aufgebaut. Von dort aus werden sie in eine Datenbank zur Langzeitarchivierung abgelegt. Der Datenaustausch wird bisher über Modem- oder ISDN-Verbindungen realisiert. Dabei wird großer Wert auf die Datensicherheit gelegt. Der bisher eingesetzte Datensammler bieten schon auf Grund seines sehr speziellen Echtzeitbetriebssystems einen wirksamen Schutz gegen unerlaubte Hackerangriffe. Der Zugang zum Datennetz des Service Centers ist über eine Firewall gesichert. In naher Zukunft werden geschützte, d.h. nicht öffentlich zugängliche Standleitungen über TCP/IP die Standardtechnologie für die DFÜ sein. Diese sogenannten „Datentunnel“ werden von spezialisierten Providern weltweit installiert und betreut und bieten neben dem Geschwindigkeitsvorteil auch den der inhärenten Sicherheit gegenüber einem nicht berechtigten Zugang.

4.2 Datenanalyse und -bewertung

Die Messwertdateien einer fernüberwachten Verdichteranlage werden vom Service Ingenieur in festgelegten Abständen aus der Datenbank abgerufen und auf dem Arbeitsplatzrechner ausgewertet. Zur Bewältigung der mitunter sehr großen Mengen von Einzeldaten treten Hilfsprogramme in Aktion, die für einen Beobachtungszeitraum (z.B. 1 Woche) die Min., Max.- und Mittelwerte der interessierenden Messstellen auflisten. Außerdem werden Überschreitungen der festgelegten Alarmwerte sowie über ein bestimmtes Maß hinausgehende relative Abweichungen vom Mittelwert farbig gekennzeichnet. Messstellen mit Abweichungen fallen ebenso ins Auge, wie solche mit stärker fluktuierenden Werten. Erst jetzt besteht die Notwendigkeit, die zeitliche Entwicklung dieser Messdaten näher zu untersuchen. Diese Trendauswertung erfordert vertiefte Kenntnisse über Arbeitsweise und Besonderheiten einer Schraubenverdichteranlage. Es hängt von der Erfahrung des Spezialisten ab, welche Daten im Ereignisfall zu korrelieren, d.h. über der gemeinsamen Zeitachse zu betrachten sind, um die richtige Diagnose zu stellen. Zusätzlich können beim Betreiber gezielt Informationen über nicht per DFÜ erfasste Randbedingungen abgefragt werden, so dass letztendlich ein klares Bild als Grundlage zur Einleitung geeigneter Maßnahmen entsteht.

5 Sensorik für Schraubenkompressoren

Üblicherweise ist eine Prozessgas-Schraubenkompressoranlage in einem Maße mit Sensorik zur Steuerung und Eigenüberwachung ausgerüstet, dass den Ansprüchen eines aussagekräftigen Telemonitorings genüge getan wird und nur geringfügig Nachrüstungen und Optimierungen in der Instrumentierung nötig sind. Das Trenden der von Druck-, Temperaturtransmittern etc. gelieferten Daten erlaubt im Übrigen auch eine Beurteilung der Messtechnik selbst. Elektrische Störungen zeigen sich als transiente Peaks in den Aufzeichnungen. Da dies die sichere Auswertung erschwert und häufig auch zum Auslösen von Fehlalarmen oder gar Abschaltungen führt, wird man in der Regel mit Hilfe autorisierter Fachleute für die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik umgehend Verbesserungsmaßnahmen ausarbeiten und umsetzen.

Im Einzelnen kann man die Messstellen grob einteilen in solche für:

Maschinenüberwachung:

Zur Beurteilung des mechanischen Laufverhaltens der Kompressorstufen, des Getriebes und des Antriebsmotors werden die folgenden Messwerte herangezogen:

- Sämtliche *Temperaturen* der Trag- und Drucklager. Das Weißmetallgefüge der eingesetzten Gleitlager verändert sich bei thermischer Überlastung, so dass die Einhaltung eines ausreichenden Abstandes zu den entsprechend gesetzten Alarmwerten getrendet werden muss. Gründe für allmähliche Temperaturänderungen können wechselnde Belastungen sein, hervorgerufen durch Prozessgasdruckänderungen aber auch möglicherweise durch Ablagerungen an den Arbeitsraumwänden, oder verengte Lagerspiele infolge Belagbildungen auf den Lagermetallflächen.
- Die Messung der *Gehäuseschwingungen* läßt bei geeigneter Filterung unmittelbar Bewertungen des Laufverhaltens aller rotierenden Maschinenteile im Sinne der anerkannten technischen Regeln (API 619 etc.) zu. Im Allgemeinen hat sich die Beurteilung der Schwinggeschwindigkeiten (in mm/s) durchgesetzt, da hier schon der Summenwert für ein größeres Frequenzband aussagekräftig ist. Verglichen mit den Werten der Neu-Inbetriebnahme können Anstiege der Schwingwerte auf Unwuchten durch Materialabtrag (Korrosion, Erosion), thermischen Verzug der Rotoren oder auf Veränderungen der Maschinenausrichtung hinweisen. Ein beschädigtes Lager wird, in Kombination mit Änderungen seines Temperaturverlaufes, ebenso an verstärkten Gehäuseschwingungswerten auf dem Monitor zu erkennen sein, wie ein „leichter“ Rotoranlauf oder ein Defekt in der Getriebeverzahnung.
- Prozessgas-Schraubenverdichter sind zum überwiegendem Teil mit Gleitlagern ausgerüstet. Wenngleich auch noch nicht zur Standardausrüstung gehörend, bietet die dann *Wellenschwingungsmessung* den direkten Blick auf die rotierenden Hauptkomponenten der Maschinen.

Betriebszustände, Fahrweise:

Die Kenntnis der *Prozessgasdrücke* und *-temperaturen*, der *Antriebsdrehzahlen*, der *Antriebsleistung*, der *geförderten Massenströme* und der *Stellung von Bypassregelorganen* ermöglichen eine kritische Bewertung der Belastung bzw. der Fahrweise des Maschinenstranges. Die Kenntnis und Analyse der Prozessbetriebsdaten versetzt die Verdichterexperten in die Lage, fundierte Hinweise auf u.U. lebensdauerbeeinträchtigende Betriebsbedingungen zu geben und Verbesserungsvorschläge zu machen.

- Die aufgezeichnete Motorleistung (*Stromaufnahme, Drehzahlen*) sind Primärindikatoren für Anlagenaktivität im Sinne eines Betriebsstundenzählers, allerdings mit umfassenderer Aussagekraft bezüglich Belastung, An- und Abfahrvorgängen und Stillstandszeiten.
- Die Aufzeichnung der tatsächlich im Schraubenverdichter durchgesetzten *Massenströme* läßt über der Zeit betrachtet Rückschlüsse auf seinen Verschleißzustand zu. Falls nur Mengemessungen an den nachgeschalteten Verbrauchern zur Verfügung stehen, erlaubt die im Falle einer Bypassregelung fernübertragene Reglerstellung zumindest eine indirekte Bewertung.
- Aus der Überwachung der *Prozessgasdrücke* bzw. den daraus abgeleiteten *Druckverhältnissen* und *-differenzen* lassen sich unmittelbar Rückschlüsse auf die mechanische und thermische Verdichterbelastung ziehen.
- Gleiches gilt für die *Prozessgastemperaturen*. Jeder Schraubenkompressor ist für eine maximal zulässige Gastemperatur an der Austrittseite ausgelegt. Ein allmähliches Steigen der Temperatur wird bei der Datenanalyse lange vor der Auslösung eines Alarms erkannt. Spezialisten im Service Center finden schnell heraus, ob es sich dabei um eine Abweichung von den spezifizierten Prozessbedingungen oder um einen eventuellen Verschleiß einer Verdichterstufe handelt.

Funktion, Zustand der Nebenaggregate:

- Die einwandfreie Funktion der *Schmierölanlage* wird mit der Kontrolle und Bewertung der Öltemperatur- und -drucktrends in der Ölversorgungseinheit selbst und an den Verbraucherstellen (Lager, Gleitringdichtungen) sichergestellt.
Parallel zur Fernüberwachung empfiehlt es sich, regelmäßige chemische Analysen des Öls zur Begutachtung durch ausgewiesene Experten des Verdichterherstellers durchführen zu lassen.
- Die Überwachung von *Spermmittelversorgungseinheiten* (Sperröl, -wasser, -gas) geschieht über die Erfassung der Versorgungsdrücke, der Spermedienvbräuche mittels *Durchflussmessgeräte*. Der Anstieg im Verbrauch einer Sperrwasserabdichtung kann verschleißbedingt aber auch durch die Erhöhung des Sperrwasserdruckdifferenzdruckes gegenüber dem Prozessgas verursacht sein. Mit der Kenntnis der Verbrauchs- und Drucktrenddaten kann dies differenziert beurteilt werden.
- Die Mengen von direkt *ingespritzten Kühlmedien* sollten per Durchflussmesser überwacht und regelmäßig in Verbindung mit den Endtemperaturen und Gasfördermassenströmen bewertet werden. Zuviel Einspritzwasser führt beispielsweise

zu erhöhter Erosionsbelastung von Rotoren und Verdichtergehäuseteilen und kann den Abscheidern Kapazitätsprobleme bereiten.

Beurteilung von Regelorganen:

- Stark fluktuierende Prozessgasdrücke am Verdichterein- oder -austritt können Hinweise auf nicht optimal parametrisierte Saug- oder Enddruck(bypass)regler sein. Die Erfassung und Übertragung von Regelarmaturstellungen ist auch unter diesem Aspekt ein aussagekräftige Messgröße. Im Bedarfsfall können Daten mit erhöhter Abtastrate für einen bestimmten Beobachtungszeitraum abgerufen und näher analysiert werden. Hierzu ist häufig die Detailkenntnis der dem Verdichter vor- und nachgeschalteten Prozesskomponenten (Abscheider, Kühler, Zuspelungen, Entnahmen) erforderlich. Prozessverbesserungen sind dann nur in enger Zusammenarbeit mit dem Betreiber machbar.
- Sowohl Funktion als auch die Standzeit einer öl- oder gasgeschmierten Gleitringdichtung hängen von der einwandfreien Regelung der Differenzdrücke ab.

5.1 Besonderheiten bei Messungen an Schraubenverdichtern

Vorab sei hier auf den vorangestellten Beitrag in diesem VDI-Berichtsband /4/ verwiesen, in dem die Thematik der Gehäuse- und Wellenschwingungsmessung an Schraubenmaschinen vertiefend behandelt wird.

Lagertemperaturen

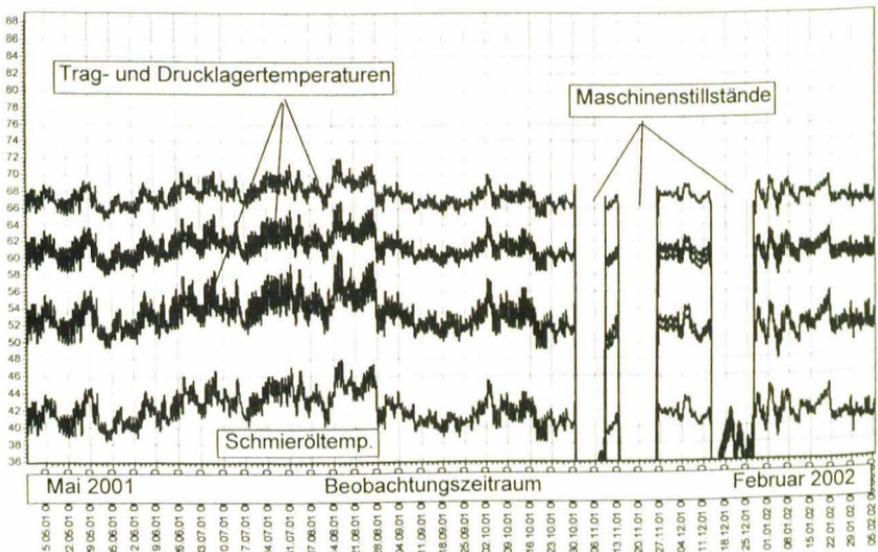


Bild 4: Lager- und Schmieröltemperaturen einer Schraubenverdichterstufe in °C
 Pic. 4: Bearing and lube oil temperatures of a screw compressor in °C

Die Temperaturen werden mit Hilfe von Pt100-Sonden dicht unter der Oberfläche des Lagermetalls gemessen. Je nach Rotormasse, Druckdifferenz über dem Rotorpaar und ggf. auch nach Rotordrehzahl nehmen die Lagerzapfen unterschiedliche exzentrische Positionen in der Lagerschale ein, so dass die heißeste Stelle mehr oder weniger nah an der Messstelle liegen kann. Die Lagertemperaturbewertung lebt daher innerhalb relativ weiter Grenzen von der reinen Trendauswertung. Bild 4 zeigt typische Zeitverläufe der Lagertemperaturen eines Prozessgas-Schraubenverdichters. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Mitführung der Frischöltemperatur. Ihre Schwankungen bzw. ihr Einfluss auf die Lagertemperaturen können dann bei der Analyse kompensiert werden.

Gastemperaturen

Temperaturmesssonden im Prozessgasstrom sind insbesondere auf der Verdichter-austrittsseite großen Pulsationen ausgesetzt. Zur Vermeidung von Beschädigungen aber auch aus Gründen der Abdichtung von Prozessgasleitungen sind die Pt100-Sonden von Schutzhülsen (gem. Kundenspezifikation) ummantelt. Dies führt auf Grund des unvermeidlichen Isolationseffektes zu einer erhöhten Trägheit bei der Erfassung schneller Temperaturänderungen.

Sperrgasmengen

Die immer mehr zum Einsatz kommenden gasgeschmierten Dichtungen (Dry Gas Seals) zeichnen sich durch extrem niedrige Sperrgasverbräuche aus. Üblicherweise erfolgt die Messung der Sperrgasmengen per Schwebekörperdurchflussmesser pro Dichtung. Da sie auch den Verbrauch im Falle einer funktionsbeeinträchtigten Dichtung anzeigen soll, ist eine Messbereich von 1 : 10 (z.B. 20 bis 200 L/min) Standard. Die Instrumente arbeiten also bei „guten“ Dichtungen im unteren Anzeigebereich, zum Teil sogar ohne erkennbaren Zeigerausschlag. Die Kombination von Feinmessinstrumenten vor den einzelnen Dichtungen mit der Erfassung des Gesamtverbrauchs bei Verwendung eines entsprechend großen Messbereiches ermöglicht sowohl die Lokalisierung einer defekten Dichtung als auch die quantitative Änderung des Sperrgasverbrauchs.

6 Fallbeispiele

Die nachstehenden Beispiele zeigen, wie primär erfasste Datentrends im Zusammenhang mit den spezifischen Anlagen- und Prozessbedingungen ausgewertet werden.

Prozessgasdrücke

Das geförderte Gas einer fernüberwachten 2-stufigen Schraubenverdichteranlage neigt dazu, Polimerisate bestimmter Gaskomponenten an den Arbeitsraum- und Rohrleitungswänden anzulagern. Bild 5 zeigt beispielhaft den Verlauf der erfassten Ein- und Austrittsdrücke sowie der Druckdifferenzen über der Niederdruck- bzw. der Hochdruck-Stufe während eines Zeitraumes von ca. 3 Monaten. Die über einer Zeitspanne von etwa 3 Wochen beobachtete Verringerung der Druckdifferenz über der Niederdruck-Stufe um bis zu 1,5 bar, bei gleichzeitiger Δp -Erhöhung des

Hochdruck-Verdichters, ließ sich nicht mit Hilfe thermodynamischer Nachrechnungen plausibel machen (Eintrittstemperatur, Gaszusammensetzung waren konstant). Die anlässlich eines kurzfristigen Anlagenstillstandes überprüfte Prozessgasleitung ergab starke Querschnittsverengungen, vor allem im Bereich des druckseitigen Schalldämpfersystems der Niederdruck-Stufe. Die so verursachten hohen Druckverluste führten letztendlich auch am Niederdruck-Kompressor – im Gegensatz zum beobachteten Trend – zu einer Erhöhung des Differenzdruckes. Um möglichen künftigen Fehlinterpretationen vorzubeugen, wurde eine weitere Druckmessstelle stromaufwärts vor dem Schalldämpfer installiert. Der Verschmutzungszustand der Prozessgasleitungen wird in Zukunft direkt an den in [Bild 5](#) dargestellten Trends abzulesen sein. Referenzkurven sind die im Diagramm rechts, nach dem Zeitpunkt der Reinigung aufgezeichneten.

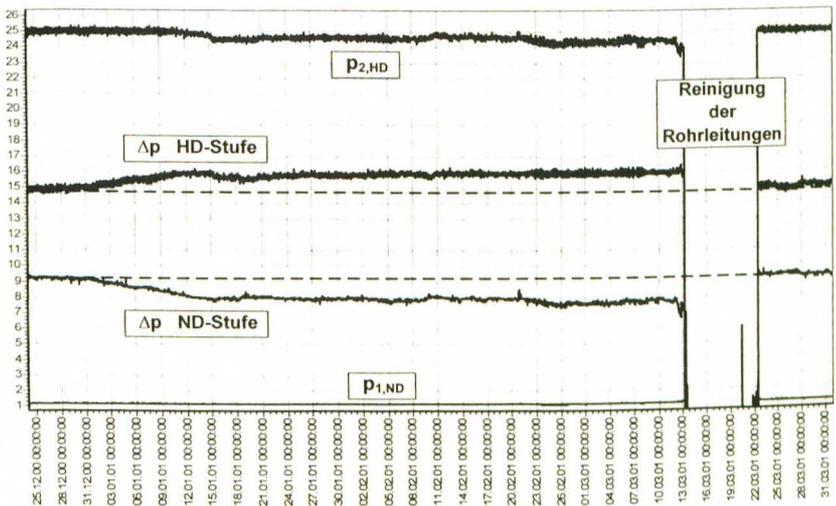


Bild 5: Prozessgas(differenz)drücke [barg] einer 2-stufigen Schraubenverdichteranlage

Pic. 5: Process-gas (differential) pressures [barg] of a 2-stage screw compressor unit

Lagertemperaturen

In den druckseitigen Radialgleitlagern eines Schraubenverdichters haben sich die Temperaturen entsprechend der Kurven in [Bild 6](#) entwickelt. Auffällig ist ein leicht steigender Gesamtrend der Lagertemperaturen bei konstanter Schmierölttemperatur sowie ein schlagartiger Abfall der Hauptrotorlagertemperatur um ca. 8°C gegen Ende des Monats April auf der Zeitachse. Die Kurveinbrüche zu Anfang April kennzeichnen Maschinenstillstände. Bei der geplanten Verdichterrevision, einige Wochen später, wurden Ablagerungen in den Lagerschalen entdeckt, die sich, je nach Lagerbelastung, in unterschiedlicher Menge und Konsistenz (zähflüssig) gebildet hatten.

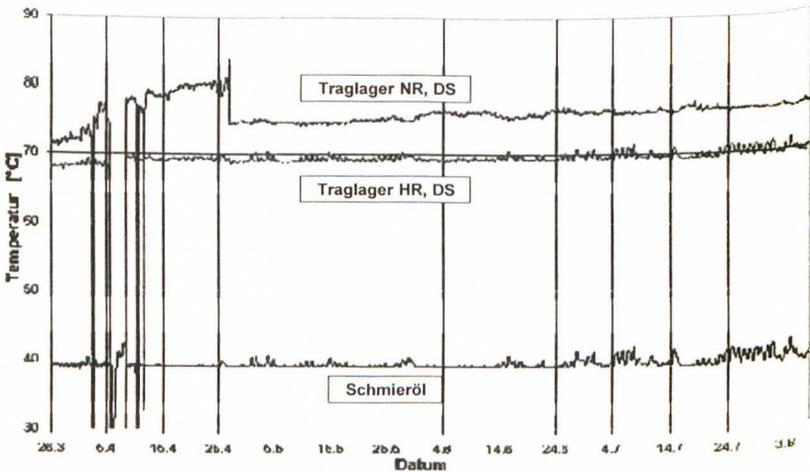


Bild 6: Temperaturverlauf der druckseitigen Traglager von Haupt- und Nebenrotor
Pic. 6: Temperature trends of the discharge side radial bearings of male and female rotor

Chemische Analysen des vom Betreiber eingesetzten Schmieröls im Labor der MAN TURBO haben ergeben, dass es sich dabei um Reaktionsprodukte aus Additiven des Öls handelt. Diese haben den Öldurchsatz in den Lagern und damit deren Kühlung eingeschränkt. Die An- und Abfahrvorgänge bewirkten zunächst eine ungünstigere Verteilung der Ablagerungen im HR-Lager, die dann etwa 3 Wochen später gelöst bzw. ausgespült wurden.

Die Lagerschalen wurden nicht beschädigt. Allerdings wird seit der Revision eine andere Ölsorte verwendet, da die Ablagerungen eine Tendenz zum Verhärten zeigten, die langfristig zu Lagerschäden führen würde.

Literaturhinweise

- /1/ M. Beukenberg, W. Henser, R. Brinkmann: Monitoring für Industriegasturbinen – Systeme und Betriebserfahrungen aus der Sicht des Herstellers, VGB-Fachtagung Potsdam, 2001
- /2/ VDMA-Richtlinie „Trendmonitoring Systeme für Gasturbinenanlagen“
- /3/ Geert Lasgland: Condition Monitoring - The Benefits of Performance Monitoring. IBC Global Conferences Limited
- /4/ J. Wennemar, N. Tewes: Schwingungsüberwachung an Prozessgas-Schraubenkompressoren, VDI-Bericht 1715, 2002