

Blick in die Kristallkugel

Diagnoseverfahren für Kolbenverdichter

Kolbenverdichter besitzen einen hohen Wirkungsgrad, die Wartungskosten sind aber ebenfalls relativ hoch. Dieser Nachteil kann durch eine zustandsabhängige Instandhaltung weitgehend ausgeglichen werden, mit der sich die allgemeine Verfügbarkeit einer Anlage erheblich steigern lässt. Je nach Priorität der Randbedingungen sind jedoch unterschiedliche Diagnoseverfahren einzusetzen, um eine effektive Online/Offline-Überwachung zu erreichen.

In vielen Unternehmen, in denen Großkolbenverdichter betrieben werden, haben sich in den letzten Jahren bereits gravierende Änderungen vollzogen, wie z. B. die Reduzierung des Personals für den Betrieb bzw. die Instandhaltung der Anlagen. Erdgasspeicher werden „mannlos“ betrieben, chemische Fabriken zusammengelegt, Instandhaltungsarbeiten ausgelagert. Mit „Full-Service-Verträgen“ übertragen Betreiber die Verantwortung für die gesamte Wartung inkl. Ersatzteilverhaltung etc. auf Spezialunternehmen. Gleichzeitig werden Verfügbarkeitsgarantien eingefordert, die vor Jahren noch als utopisch eingestuft wurden.

Diese Tendenzen erfordern ein radikales Umdenken hinsichtlich der Betriebs- und Instandhaltungsstrategien für die betroffenen Anlagen und Maschinen. Andererseits ermöglicht die enorme technische Entwicklung im Bereich der Sensorik, Datenverarbeitung und Telekommunikation heute die Konzeption und den Einsatz leistungsfähiger Überwachungs- und Diagnosesysteme sowie deren Einbindung in globale Datennetze.

Sowohl unter den Gesichtspunkten der Qualitätssicherung als auch der technischen Sicherheit und des effektiven Anlagenbetriebes sind konventionelle Überwachungssysteme, die nur eine Zustandsgröße erfassen, nicht mehr ausreichend. Gefordert sind integrierte Monitoring-Systeme, die verschiedene Zustandsgrößen innerhalb eines Systems implementieren, Alarmmeldungen geben, Diagnosen automatisch stellen und rechtzeitig Therapievorschläge anbieten.

Bild 1: Das Visualisierungstool eines Überwachungssystems für Kolbenverdichter ermöglicht einen schnellen Überblick über den Zustand der Maschine

Das Ziel der zustandsabhängigen Wartung ist es, mit laufenden Messungen verschiedener physikalischer Größen und deren Analyse, Informationen über den Zustand der Maschine zu erlangen. Nur so wird ein sich anbahnender Schaden erkannt und eindeutig lokalisiert. Eine sonst übliche Gesamtrevision der Maschine entfällt. Die Wartung kann dann gezielt und bauteilbezogen durchgeführt werden. Die Standzeiten werden erhöht, umfangreiche Schadensfälle mit entsprechenden Produktionsausfällen vermieden.

Autor: Dr.-Ing. Johann Lenz, Kötter Consulting Engineers

Eine Schlüsselfunktion übernimmt die geeignete Zusammenstellung aussagekräftiger Größen sowie die Bewertung bzw. Diagnose dieser Messwerte. Einige der in der Praxis eingesetzten Überwachungs- bzw. Diagnoseverfahren an Kolbenverdichteranlagen sind nachfolgend aufgeführt.

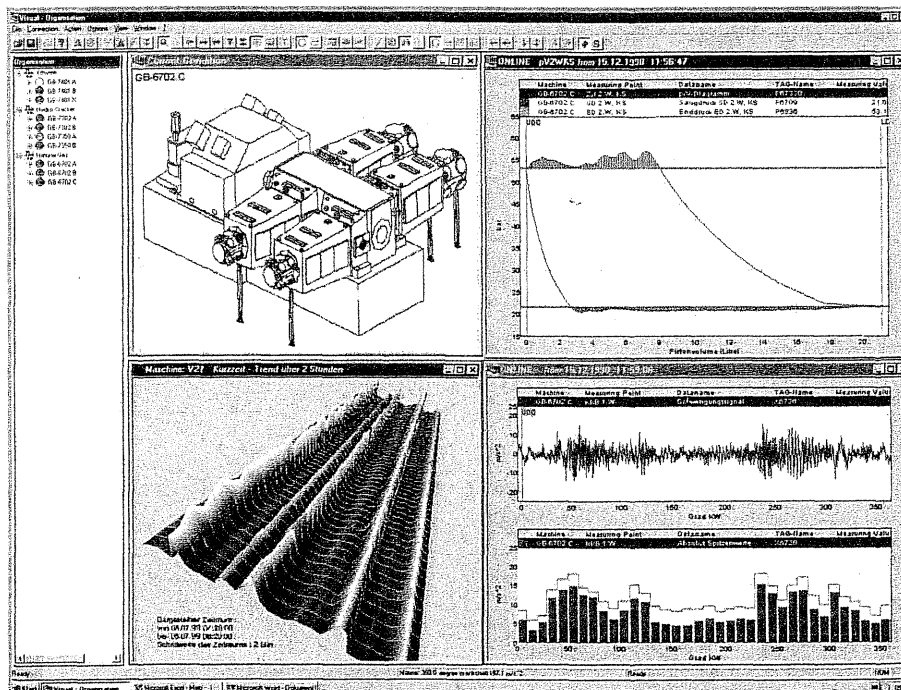
Statische Signalüberwachung

Viele Verdichteranlagen, die in den letzten 10 bis 20 Jahren installiert wurden, sind mit zahlreichen Sensoren zur Erfassung von Temperaturen und Drücken sowie zur Bestimmung verschiedener Durchflüsse bestückt. Durch eine genaue Beobachtung, z.B. Trendbildung dieser Messdaten, ist es möglich, Zustandsänderungen zu orten, wie etwa den Defekt eines Ventils durch eine erhöhte Ventilnesttemperatur. Zu berücksichtigen sind jedoch die Einflüsse bei Veränderung des Betriebszustandes (z.B. Volumenstrom). Durch eine Verknüpfung der Zustandsänderung (Ventilnesttemperaturerhöhung) mit den unterschiedlichen Betriebs- und Messgrößenveränderungen können auch diese Zusammenhänge gezielt erfasst werden.

Aufgrund der fehlenden Dynamik dieser Sensoren wird nur ein Teil aller möglichen Zustandsänderungen erfasst. Kurzzeitig eintretende Schäden können meistens nicht rechtzeitig erkannt werden.

Schwingung ist guter Indikator

Das Schwingungsverhalten eines Kolbenverdichters stellt sich als ein guter Indikator zur Beurteilung des Maschinenzustandes dar. Entscheidend für Zustandsveränderungen sind Veränderungen des Schwingungszustandes aus einem Referenzpunkt heraus



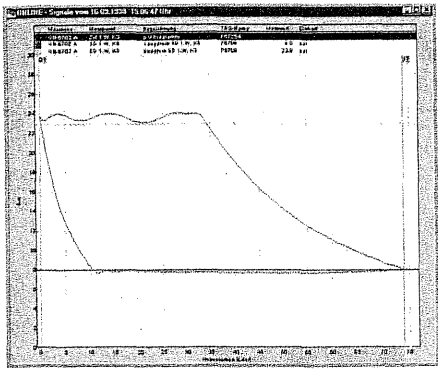


Bild 2: Gemessenes p-V-Diagramm eines Kolbenverdichters

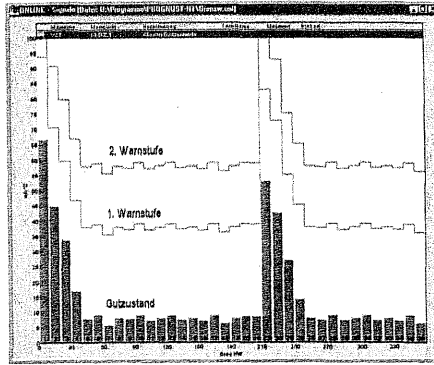


Bild 3: Visualisierung der Grenzwertüberwachung mit drei Zustandsbereichen durch das Online-Tele-Monitoring-System Prognost-NT

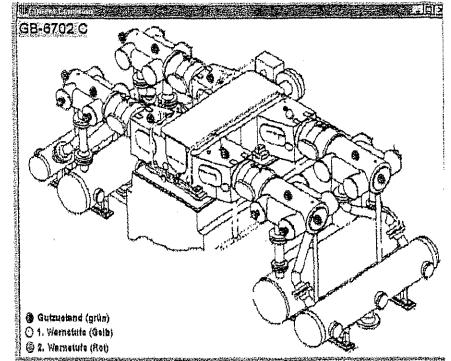


Bild 4: Maschinenstatus – plastisch dargestellt mit grün-gelb-roten Signalen

Dabei sind nachfolgende Punkte zu beachten:

- Signale der Schwingungsgröße: Zur Beurteilung der an Kolbenverdichtern auftretenden Schwingungsphänomene eignet sich die Beschleunigung als direkte Messgröße besser als die Schwinggeschwindigkeit bzw. der Schwingweg.
- Weiterverarbeitung der Messsignale: Zur erfolgreichen Beurteilung der gemessenen Schwingungen ist zu berücksichtigen, dass während einer Kurbelwellenumdrehung sehr unterschiedliche Belastungen, oft gebunden an einen festen Kurbelwinkel, auftreten. Dementsprechend muss eine Analyse im Zeit- und Frequenzbereich abgestimmt werden.

- Abhängigkeit vom Betriebszustand: Das Schwingungsverhalten zeigt oft starke Abhängigkeiten von den gefahrenen Betriebszuständen (z.B. Drehzahl). Diese Betriebsgrößen müssen mit erfasst und den Änderungen des Schwingungsverhaltens zugeordnet werden.

Verschleißpotenzial ausnutzen

Eine der wichtigsten Forderungen von Betreiberseite zur Veränderung der Wartungsintervalle durch zustandsorientierte Instandhaltung ist die Ausnutzung des vollen Verschleißpotentials von Kolbenstütz- und Führungsring-

gen ohne eine mit einem außerplanmäßiger Stopp der Maschinen verbundene Inspektion. Da sich bei horizontal angeordneten Zylindern bei zunehmendem Verschleiß der Stützringe durch die Gravitation der Kolben vertikal absenkt, wird seit Jahren an einigen Maschinen durch Wirbelstromaufnehmer die Absenkung der Kolbenstange (Rod Drop) gemessen, um Rückschlüsse über den Abnutzungsgrad der Führungsringe zu erhalten. Diese indirekte Messung führt zu guten und brauchbaren Ergebnissen, wenn dynamische Einflüsse innerhalb eines 360°-Kurbelumlaufes so berücksichtigt werden, dass sie keinen Einfluss auf die Trendbildung und damit die Beurteilung des Abnutzungsgrades haben.

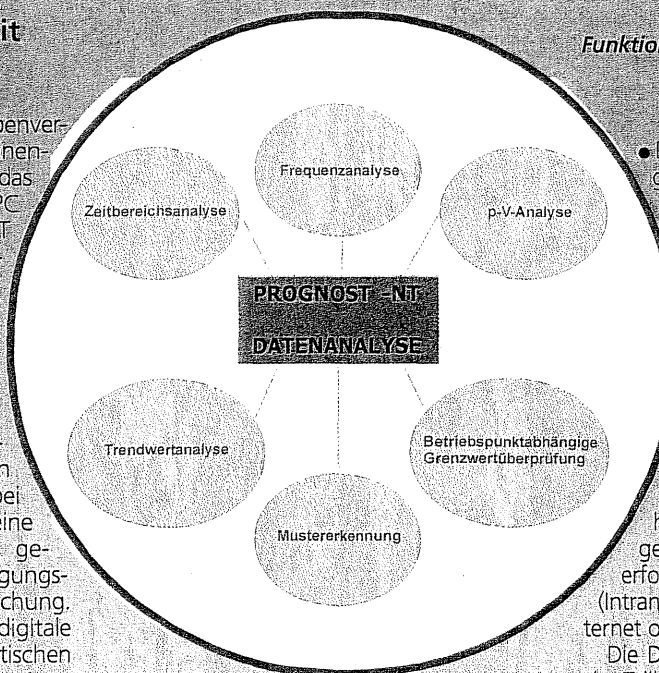
Bei stehenden Verdichtern mit vertikal an-

Zustandsüberwachung mit System

Prognost-NT ist ein speziell auf Kolbenverdichter zugeschnittenes Maschinenzustand-Überwachungssystem, das Standardsensoren und Industrie-PC mit dem Betriebssystem Windows-NT verwendet. Der grundsätzliche Aufbau des Zustandsüberwachungssystems unterteilt sich in Datenerfassung bzw. Datenüberwachung sowie Datenanalyse. Die Eingangsdaten, die zeitlich schnellen Änderungen unterliegen, werden als Analogsignale von der Messwertfassung digitalisiert und zur Analyse an die Rechneinheit übergeben. Um bei plötzlich auftretenden Schäden eine schnelle „Online“-Alarmierung zu gewährleisten, unterliegen die Schwingungssignale einer Grenzwert-Überwachung. Gleichzeitig werden über eine digitale Schnittstelle (z.B. Modbus) die statischen Daten vom Prozessleitsystem (PLS) zur Analyse an das Überwachungssystem übergeben. Je nach Ausstattung und Schwerpunkt der Überwachung des Verdichters können sich die PLS-Daten z. B. wie folgt zusammensetzen:

- Saug- und Enddrücke
- Saug- und Endtemperaturen
- Förderleistung
- Drehzahl
- Ventilnest-Temperaturen

Funktionen der Datenanalyse



- Leckgasmengen der Kolbenstangenpackungen
 - Stromaufnahme des Motors
 - Öltemperaturen am Ein- und Austritt des Triebwerkes
 - Kondensatstand im Abscheider
 - Ölmenge je Schmierstelle
 - Lagertemperaturen
 - Kühlwassertemperaturen usw.
- Über eine Visualisierungssoftware (Bild 2) kann der Büroarbeitsplatzrechner (Instandhaltung, Hersteller) an die Rechneinheit des Überwachungssystems angebunden werden. Die Verbindung erfolgt über das interne Betriebsnetz (Intranet) oder auch extern über ISDN, Internet oder Modem.

Die Datenanalyse umfasst unterschiedliche Teilbereiche zur Diagnose und Überwachung wie Zeitbereichsanalyse, Frequenzanalyse, p-V-Diagramm-Analyse, Trendwertanalyse, Betriebspunktabhängige Grenzwertüberprüfung und Mustererkennung.

geordneten Verdichtern lässt sich durch die Installation von zwei um 90° versetzt angeordneten Näherungssensoren die Lage der Kolbenstange darstellen und durch kreisförmig angeordnete Grenzwerte der Verschleiß der Führungsringe zuverlässig ermitteln.

p-V-Analyse ermöglicht zuverlässige Beurteilung

Die Messung des dynamischen Zylinderinnenraumdruckes in Verbindung mit dem Kurbelwinkel erlaubt die Umrechnung zum p-V-Diagramm (Bild 2), der klassischen Beurteilungsgrundlage für alle Einflüsse auf die Gasdynamik innerhalb des Kolbenverdichters. Form und Veränderungen sind ein ausgezeichneter Indikator für den Zustand der an der Verdichtung beteiligten Bauteile sowie für den Wirkungsgrad und damit der Wirtschaftlichkeit des Kompressors. Insbesondere die Funktion der Saug- und Druckventile, Kolbenringe und Stopfbuchspackungen lassen sich während des Betriebes zuverlässig beurteilen. Darüber hinaus bietet das Indikatordiagramm Aussagen über Einflüsse der angeschlossenen Rohrleitungen, z.B. durch Druckpulsationen, auf den Wirkungsgrad des Verdichters.

Diese Analyse erfordert allerdings eine sorgfältige Planung und Ausführung von Einbauart und -geometrie der Indizierbohrung sowie die Abstimmung des zu verwendenden Drucksensors auf den Verdichtungsprozess. Hier führen Fehler zu erheblichen Einflüssen, die die Aussagefähigkeit der Messergebnisse stark beeinträchtigen können.

Zur erweiterten Darstellung der gemessenen Signale über den Kurbelwinkel ist die genaue Erfassung der Drehzahl mit einem Trigger unerlässlich. Dies kann in der Regel durch einen Näherungssensor am Schwungrad geschehen. Darüber hinaus bietet ein spezieller Drehinkrementgeber die Möglichkeit, den Ungleichmäßigkeitslauf des Verdichters während einer Umdrehung genau zu erfassen. Damit können fehlerbehaftete Verdichtungsprozesse einzelner Zylinder lokalisiert werden.

Schließt ein Ventil nicht zuverlässig, so lassen sich die durch Gasströmung entstehenden hochfrequenten Geräusche mit einem außerhalb des Ventils aufgetragenen Ultraschallsensor detektieren.

Abriebpartikel geben Aufschluss

Die Abriebpartikelanalyse ist eine zusätzlich zur Gebrauchtölanalyse erweiterte Methode zur Zustandsbeobachtung geschmierter Maschinenbauteile. Es können durch die hier eingesetzte analytische Ferrographie Rückschlüsse auf die Entstehung des Verschleißes gezogen werden. Beurteilt wird, ob Fressverschleiß, Abrasion durch Staub, Korrosion, Ermüdungspittings oder Graufleckigkeit die Verschleißursache ist. Anhand Anzahl, Gestalt und Größe der Partikel kann für das entsprechende Maschinenelement entschieden werden, ob das Toleranzband überschritten wurde und ein Austausch notwendig ist.

Zur Untersuchung wird regelmäßig mittels einer Ölprobe neben verschiedenen Ölzustandskennwerten der Anteil der magnetischen Partikel als Zahlenwert erfasst. Wird hier ein Grenzwert überschritten, so wird mit der dann durchgeführten analytischen Ferrographie der Verschleißmechanismus entschlüsselt. Inzwischen werden die ersten Sensoren für die Online-Überwachung der Ölqualität bzw. des Fremdstoffeintrages in Schmieröl angeboten.

Zustandsüberwachung online oder offline?

Die Zielsetzung und praktische Realisierung bilden die Basis bei der Planung eines Überwachungssystems. Die allgemeinen Ziele einer Maschinenüberwachung können wie folgt festgelegt werden:

- Schutz vor schnell auftretenden fatalen Schäden (Safety-Überwachung),
- frühzeitiges Erkennen von sich langsam anbahnenden Schäden,
- zustandsabhängige Wartung,
- Sicherung der Produktion,
- Steigerung der Anlagenverfügbarkeit,
- Überwachung der Wirtschaftlichkeit,

Die Bedeutung des überwachten Verdichters in dem gesamten Prozess spielt dazu eine wesentliche Rolle. Nachstehende Fragen sind bei der Konzeption eines Überwachungssystems im Vorfeld zu klären:

- Steht beim Ausfall eines Verdichters eine „Stand-by-Maschine“ zur Verfügung?
- Welche Kosten entstehen bei der Unterbrechung des Prozesses?
- Können fatale Schäden an Verdichtern auftreten, oder besteht sogar die Gefährdung des Menschen oder der Umwelt?

Ein Großteil der o.g. grundsätzlichen Ziele der Maschinenüberwachung können sowohl „Online“ als auch „Offline“ erreicht werden. Für beide Konzepte sind die Vor- und Nachteile abzuwägen. Überall dort, wo nach Auftreten eines Fehlers bis zum Schadensfall nur kurze Reaktionszeiten zur Verfügung stehen, ist jedoch eine permanente Überwachung (Online-Überwachung) notwendig.

Ausgehend von einer größeren Anzahl von zu überwachenden Verdichtern bezüglich der zu investierenden Hardware entstehen bei der Online-Überwachung zunächst höhere Kosten. Der Personal- und Arbeitsaufwand ist hingegen in der Regel geringer, da der gesamte Vorgang der Messwerterfassung und -diagnose automatisiert ist und vom Büroarbeitsplatz bedient werden kann. Auch die Qualität der Diagnoseaussage ist im Vergleich zur Offline-Überwachung besser, da eine umfassende kontinuierliche Datenerfassung als Basis vorliegt.

Bei der „Offline-Zustandsüberwachung“ werden in definierten Zeitabständen Messungen der verschiedenen Zustandsgrößen – auch als „Snapshot“ bezeichnet – vorgenommen. Eine entsprechende personelle Qualifikation und Erfahrung im Umgang mit der Messtechnik muss dabei vorausgesetzt oder ggf. erlernt werden. Nur dann lässt sich eine gleich bleibende Qualität der Messergebnisse gewährleisten.

Für die Überwachung unterschiedlicher Maschinen werden häufig getrennte Konzepte zur Online- und Offline-Überwachung angeboten. Eine Alternative bietet das System Prognost-NT (siehe Textkasten). Auf der Basis einer gemeinsamen Datenanalyse und Datenbank kann die Messdatenerfassung entweder „online“ mit fest installierter oder „offline“ mit mobiler Messtechnik erfolgen.

Aus mehr als 10 Jahren Erfahrung mit der Konzeption, Realisierung, Anwendung und Weiterentwicklung der systematischen Verwendung von Diagnoseverfahren zur Zustandsbeurteilung von Kolbenverdichtern können folgende Erkenntnisse zusammenge-

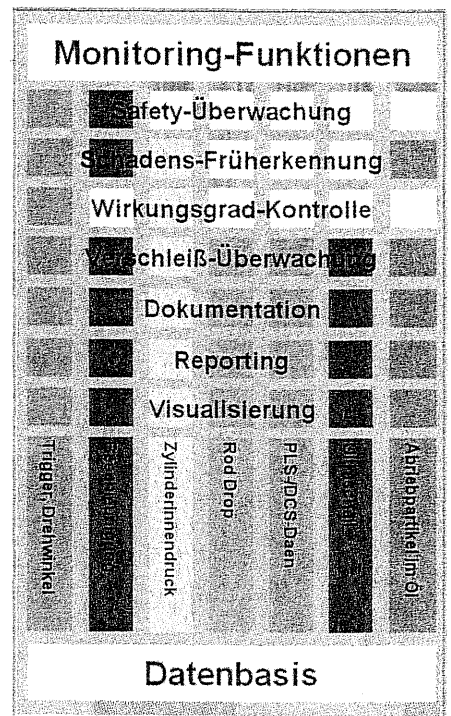


Bild 5: Monitoring-Funktionen und ihre Datenbasis-Voraussetzungen

fasst werden: Das „ideale“ (im Sinne von allumfassend) Diagnoseverfahren für Kolbenverdichter existiert nicht. Die Detektion von Veränderungen sowie deren Ursachenanalyse und Bewertung erfordern die Kombination verschiedener, eigenständiger Verfahren. Bild 5 zeigt beispielhaft, aufgrund welcher Voraussetzungen bestimmte Monitoring-Funktionen möglich sind.

Verständlicherweise fordern die Betreiber von Kolbenverdichtern die individuelle Kombinationsmöglichkeit der vorstehenden Verfahren für die jeweils zu überwachende Maschine. Ist ein Verdichter in der Vergangenheit überwiegend durch mechanische Schäden aufgefallen, so wird die Überwachungsstrategie (z.B. Schwingungsdiagnose kombiniert mit PLS-Daten) anders aussehen als für eine Maschine, die durch hohen Verschleiß zum Handeln auffordert. Hier könnte z. B. die „p-V-Diagramm-Analyse“ in Verbindung mit dem Rod-Drop-Monitoring zur Anwendung gelangen.

Weitere Infos **CT 602**