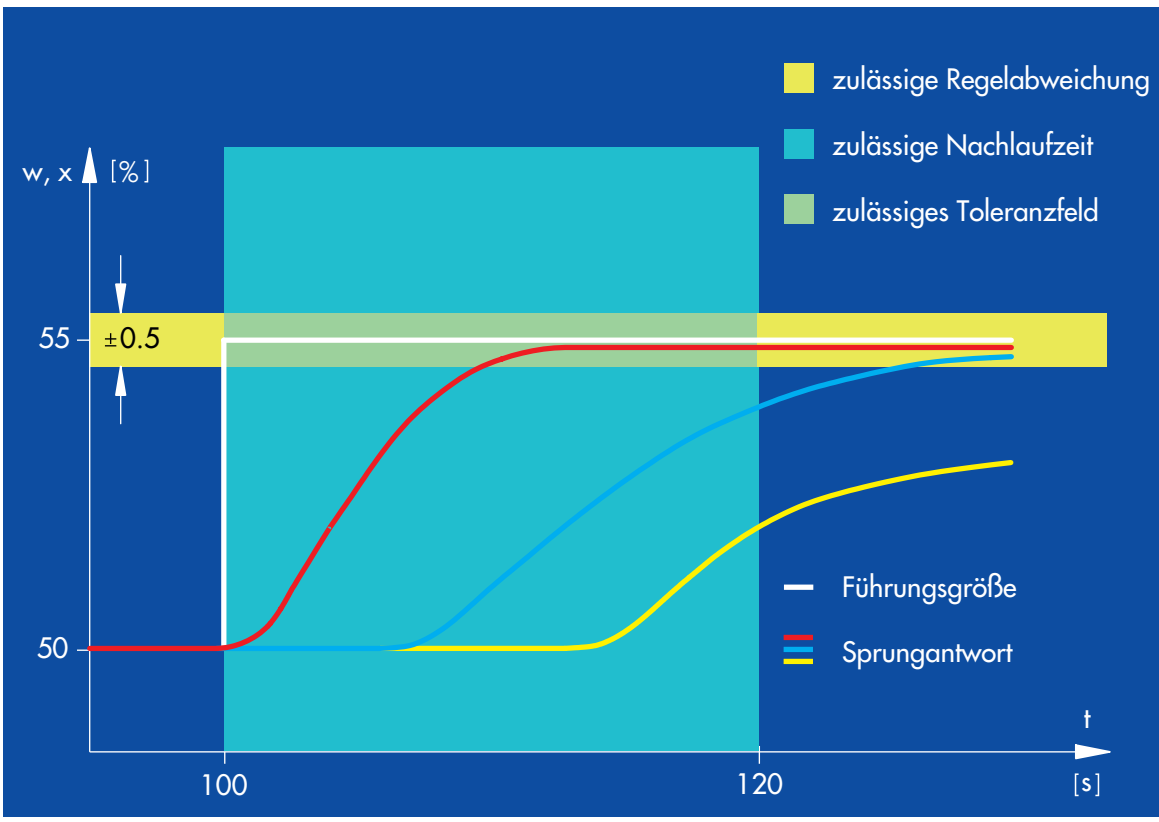
Diagnosetools bei Stellgeräten



Sonderdruck aus
»atp – Automatisierungstechnische Praxis«
Jahrgang 42 · Heft 3 · 2000

Verfasser:
Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer

WA 90 DE

Diagnosetools bei Stellgeräten

Dr. Jörg Kiesbauer SAMSON AG, Frankfurt/Main

Digitale Stellungsregler bieten eine Reihe von interessanten Möglichkeiten im Hinblick auf die Verbesserung der Prozesszuverlässigkeit und der Wartung bzw. Instandhaltung. Auf dieser Basis können Softwaretools zur Fehlerfrüherkennung und zur Performance-Visualisierung bei Stellgeräten mit weitergehender Funktionalität eingesetzt werden. Diese unterstützen z.B. die Archivierung des Neuzustandes des Stellgerätes sowie die vorbeugende Wartung und Instandhaltung im laufenden Prozess bis hin zu Trendanalysen. Im Beitrag werden die Möglichkeiten anhand eines Beispiel-Diagnosetools aufgezeigt.

Diagnostic tools for control valves

Digital positioners offer interesting features regarding improved process plant reliability and maintenance or servicing. This could provide the basis for using software tools for early fault diagnosis and performance visualization of control valves with extended functions. These tools can completely achieve the control valves condition when new. It can be subjected to trend analyses as well as to preventative maintenance and servicing while in operation. This article will show these possibilities based on an example of such a new diagnostic tool.

1. Einleitung

Digitale Stellungsregler bei Stellgeräten bieten grundsätzlich folgende Vorteile gegenüber herkömmlichen analogen Stellungsreglern [1]:

- Fernbedienung mit Kommunikationsmöglichkeit (HART/ PROFIBUS-PA, FOUNDATION FIELDBUS),
- Automatische Inbetriebnahme mit zusätzlichen Konfigurationsmöglichkeiten ohne iterative Einstellung von Nullpunkt und Spanne,
- Selbstoptimierung und Überwachung der Stellungsregelung,
- Stellgeräteüberwachung.

Dadurch werden die Möglichkeiten für Wartung und Instandhaltung erweitert und die Anlagenprozess-Zuverlässigkeit verbessert.

In [1] wird eine Studie erwähnt, nach der 64 % aller Probleme bei Stellgeräten durch die Stellungsregler selbst verursacht werden, davon wiederum ca. 60 % bedingt durch Dejustierungen von Nullpunkt, Spanne und Verstärkung, verbunden mit mechanischen Ankopplungsproblemen an die Ventilstange (z.B. NAMUR-Übertragungshebel zwischen Stellungsregler und Stellventil). Demzufolge lassen sich von vornherein ca. 40 % aller Fehlerursachen allein durch einen sich selbstadaptierenden, digitalen Stellungsregler mit integriertem Anbau an das Stellgerät vermeiden.

Die Stellgeräteüberwachung ohne spezielle Diagnosetools, wie sie in diesem Beitrag noch vorgestellt werden, besteht im wesentlichen in der offline-Initialisierung während der automatischen Erst- oder Neu-Inbetriebnahme und in Statusabfragen mit Alarmmeldungen an die Bedien- und Beobachtungssoftware (z.B. IBIS (Hartmann & Braun), Corner Stone (ASTEC), AMS (Fisher-Rosemount), CommuWin (Endress+Hauser), Smart Vision (Hartmann & Braun), PDM (Siemens) etc.).

Allerdings ermöglichen auf dem Markt erhältliche Stellungsreglersysteme keine detaillierte Fehlerbeobachtung und -analyse während des Prozessbetriebes, obwohl meist zusätzliche Sensorik eingesetzt wird. Eine klare Bewertung des Stellgerätzustands mit Hinweisen und Empfehlungen für Wartung und Instandhaltung auch im Hinblick auf eine vorbeugende, planbare Wartung ist nicht gegeben.

Dass dies aber allein durch Ausnutzen der für die Stellungsregelung ohnehin notwendigen Sensorik und dabei vor allem der Erfassung der Dynamik des Stellungsregelkreises realisierbar ist, wurde in [1] aufgezeigt. Es wurde ein Verfahren vorgestellt, bei dem kleine, mittelwertfreie Diagnosetestsignale mit kurzzeitiger, geringer Prozessstörung so bewertet werden, dass alle wichtigen Stellgeräteparameter *offline* und auch *online* beobachtet und erfasst werden können.

Dieses mittlerweile erweiterte Verfahren ist in ein leistungsfähiges Diagnosetool integriert, dessen Möglichkeiten in diesem Beitrag genauer vorgestellt werden.

2. Aufbau moderner Diagnosetools

Leistungsfähige Ventildiagnoseprogramme haben die folgenden Merkmale.

Die Archivierung der Stellgerätedaten (Bilder 1, 2a und 2b) in Datenbanken erlaubt einen schnellen Zugriff auf umfassende Informationen über das Stellgerät. Zusätzlich ermöglichen diese genauere und detailliertere Diagnosen (s. 3.4).

Während der aktivierten Verbindung (z.B. über HART, PROFIBUS-PA, FF) zu einem Stellgerät werden eventuelle Fehler wie „Regelkreis gestört“ oder „Nullpunktänderungen“ auf dem Bildschirm sofort gemeldet (Bild 3 unten). Aber auch aktuelle Vorgänge im Stellungsregler wie „Diagnosetest aktiviert“ werden angezeigt.

Erfolgt ein Fehler im Stellungsregler bei nicht aufgebauter Verbindung, so wird auf jeden Fall der entsprechende Statusparameter im Stellungsregler auf „Fehler“ gesetzt. Bei erneutem Verbindungsaufbau erfolgt ebenfalls eine Meldung im Meldefenster des Programmes (Bild 3 rechts).

Die Erfassung des Datums und der Uhrzeit bei verschiedenen Tests (Bild 3 links) erlaubt die Erkennung von Trends bei der Veränderung wichtiger Ventilparameter.

Der Begriff Stellgerät-Performance beinhaltet gezielte Tests zur Überprüfung des statischen und des dynamischen Stellverhaltens des Systems Stellventil, Stellantrieb und Stellungsregler unter offline (Prozess nicht aktiv) oder online (Prozess aktiv) - Bedingungen.

Aber auch das Aufnehmen der Führungs- und Regelgröße über der Zeit ohne Testanregung gibt Aufschluss über das Verhalten und die Arbeitsbereiche des Stellgerätes unter normalen Prozessbedingungen (Prozessbeobachtung). Die gemessenen Daten werden in der Datenbank gespeichert.

Gezielte Tests zur Fehlererkennung bzw. zur Erkennung von Ventilparameteränderungen (wie Packungsreibung) sind Bestandteil von Diagnosetests, welche zur Erstellung von umfassenden Diagnoseberichten für das gesamte Stellgerät , möglichst mit eindeutigen Aussagen ohne die Notwendigkeit der Einschaltung eines Experten, verwendet werden.

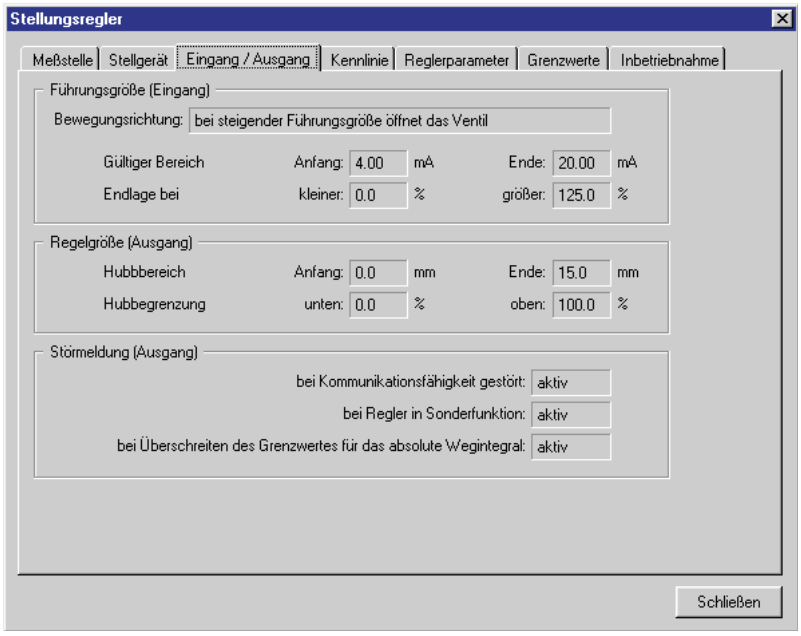


Bild 1: Zusatzinformation Stellungsregler

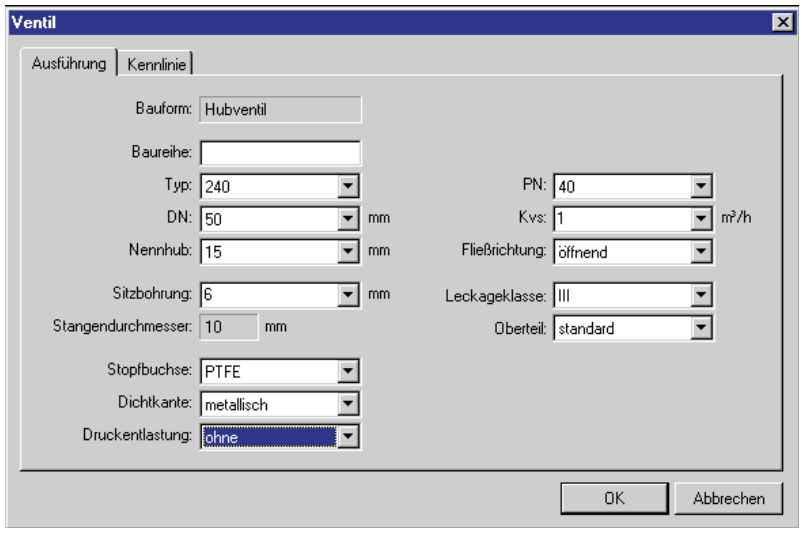
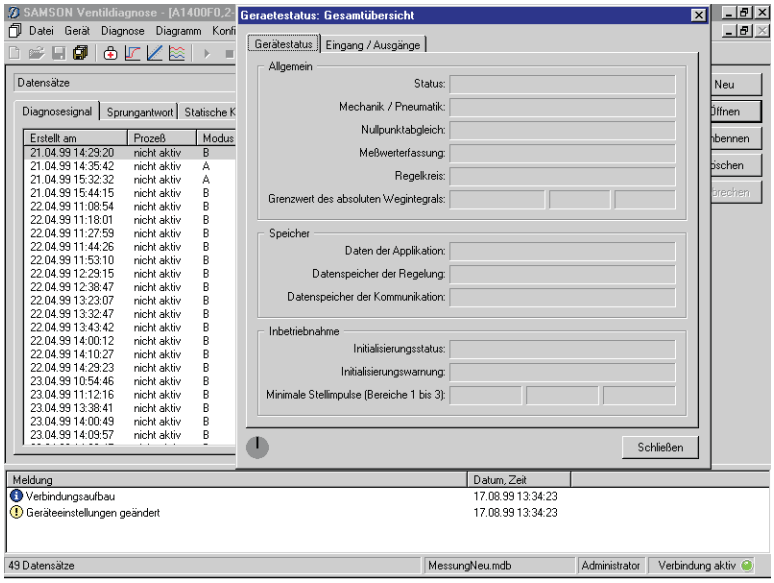


Bild 2a: Zusatzinformation Stellventil

Bild 3: Gerätestatus und Meldungen, datums- und zeitorientierte Archivierung



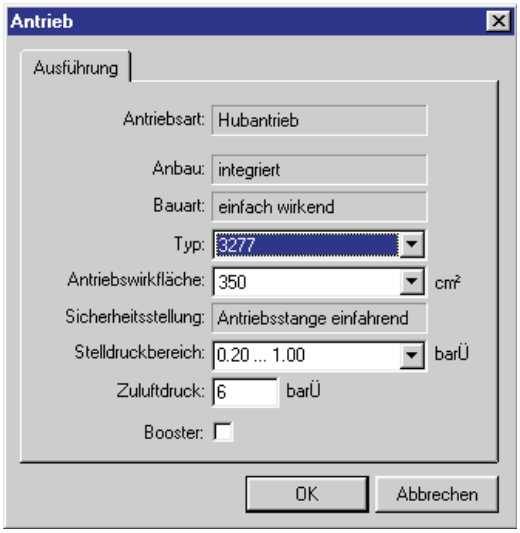


Bild 2b: Zusatzinformation Stellantrieb

3. Tests in Diagnosetools

3.1. Tests zur Überprüfung des statischen Stellverhaltens

Das statische Stellverhalten des kompletten Stellgerätes ist stark beeinflusst von der Reibungshysterese, den elastischen Vorgängen in der Packung für die Ventilstangenabdichtung und der minimalen Auflösung des Ventilstellungssensors [1].

Die Überprüfung erfolgt zweckmäßig mit sehr kleinen Sprüngen der Führungsgrösse, z.B. in 0.1 %-Schritten. Die Antwort der Regelgröße, also die Ventilstellung, wird erst im Beharrungszustand registriert (verbunden mit einer vorgebbaren Wartezeit). Die Darstellung erfolgt in einem Diagramm mit der Regelgröße über der Führungsgrösse (Bild 4).

Anhand der Auswerteparameter der bleibenden minimalen, mittleren und maximalen Betragsdifferenz zum Sollwert wird unter Berücksichtigung der vorgegebenen toten Zone des Stellungsreglers [1] bewertet, ob der Stellregelkreis in Ordnung ist oder nicht.

3.2 Tests zur Überprüfung des dynamischen Stellverhaltens

Die Aufnahme von Sprungantworten eignet sich sehr gut zum Untersuchen des dynamischen Stellverhaltens eines Stellgerätes.

Dabei wird die Führungsgrösse sprungartig nacheinander in beiden Richtungen jeweils ausgehend vom aktuellen Sollwert w_0 bei ausgeregeltem Zustand geändert. Die Sprünge Δw sollten zwischen 0,1 und 10 % liegen. Der komplette Verlauf der Regelgröße x über der Zeit vom Sprungauslösungszeitpunkt bis zum erneut ausgeregelten Zustand wird aufgenommen (Bild 5a).

In der Regelungstechnik wird bevorzugt die Übergangsfunktion h(t) herangezogen, um das Antwortverhalten der Regelgröße x(t) auf sprungartige Änderungen in der Führungsgröße w von w_0 auf $w_0 + \Delta w$ zu bewerten.

$$h(t) = \frac{x(t) - w_0}{\Delta w} \text{ mit } h(0) = 0 \text{ und } h(t_{100}) = 100\ \%$$

h(t) liegt bei positiven Sprungänderungen ($\Delta w>0$) normalerweise im Bereich 0 bis 100 % (oder größer bei Overshoots), bei negativen Sprungänderungen ($\Delta w<0$) aber auch, da $x(t)-w_0 < 0$ ist (Bild 5b).

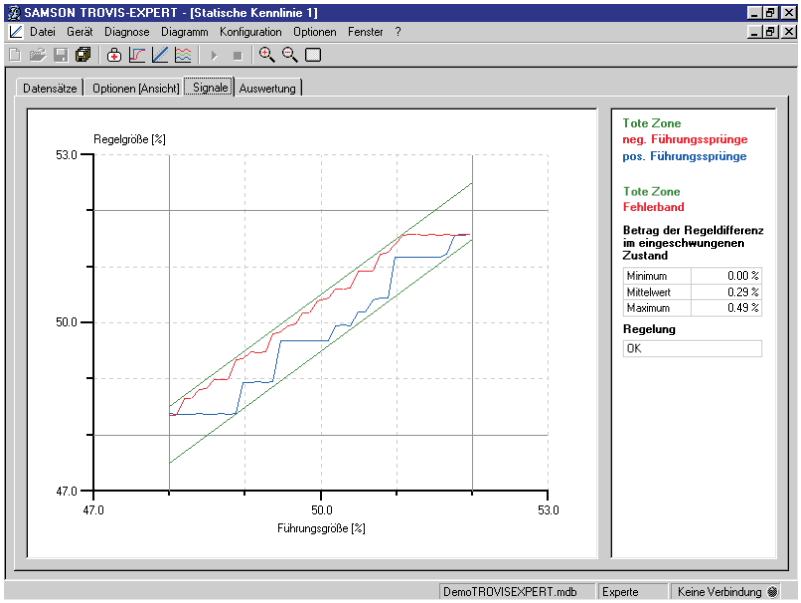


Bild 4: Test zur Überprüfung des statischen Stellverhaltens

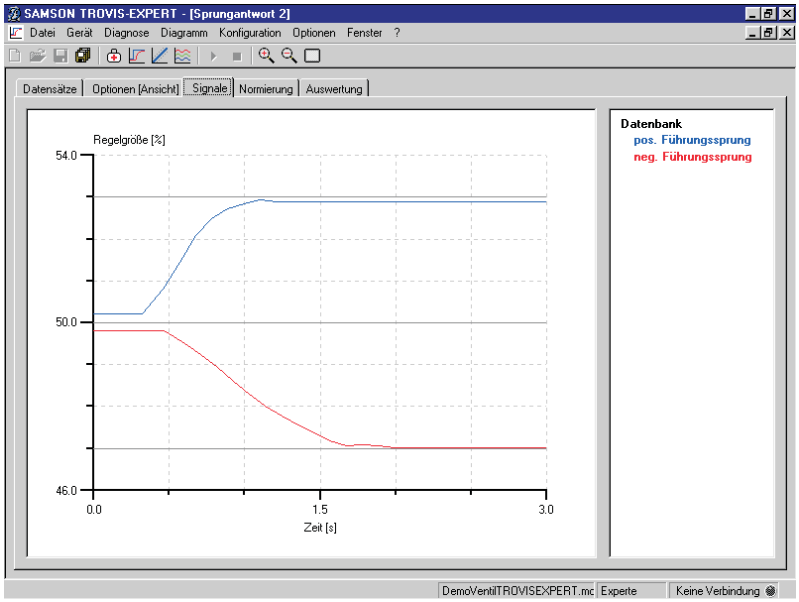


Bild 5a: Test zur Überprüfung des dynamischen Stellverhaltens (Sprungartige Änderungen von 50 auf 53 % und von 50 auf 47 % jeweils zum Zeitpunkt 0)

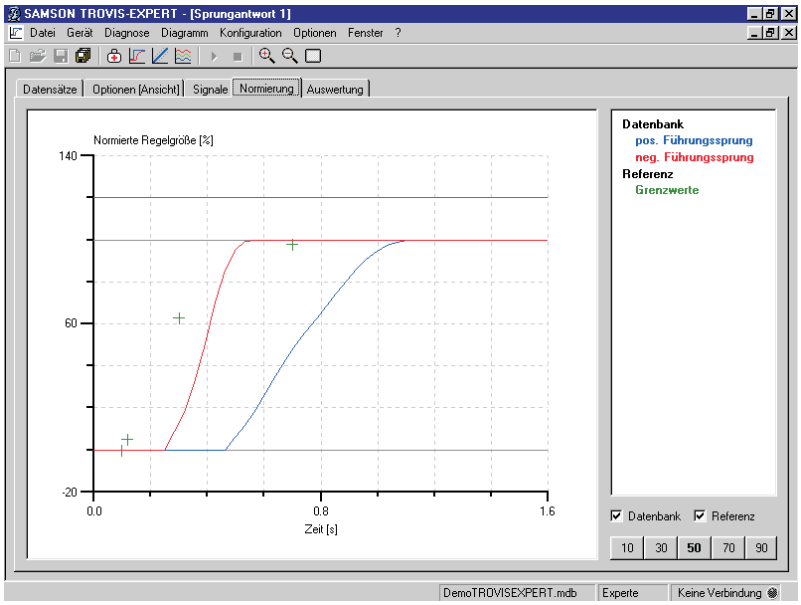


Bild 5b: Auswertung von Sprungantworten (EnTech)

Folgende Kennwerte eignen sich für die Bewertung des dynamischen Stellverhaltens (Bild 5c):

- T_d: Zeitspanne, in der h = 0,
- T_{63}: $h(T_{63})$ = 63 %,
- T_{98}: $h(T_{98})$ = 98 %,
- Overshoot (Überschwinger):
  h_{max} –100 %, wenn h_{max} > 100 %.

Im EnTech-Standard sind max. Grenzwerte in Abhängigkeit der Nennweite des Ventils für T_d, T_{63}, T_{98} und für den Overshoot spezifiziert. Leider unabhängig von der Sprunghöhe, denn eine Optimierung für 0,2-%-Sprunghöhen zieht nicht unbedingt ein optimales Verhalten bei 2-%-Sprunghöhen mit sich.

Diagnosetools bieten die Möglichkeit der zusätzlichen Optimierung des dynamischen Stellverhaltens bei digitalen Stellungsreglern, in dem die Auswirkung von Regelkreisparameteränderungen wie die Proportionalverstärkung oder die tote Zone (digitale Stellungsregler mit getrennten Hilfssteuerventilen für Be- und Entlüften des Stellantriebes) mit den aufgenommenen Sprungantworten untersucht werden kann.

Der Anwender kann seine eigenen Grenzwerte oder die des EnTech-Standards vorgeben. Er kann aber auch Referenzmessungen über den ganzen Hubbereich verwenden.

3.3 Prozessbeobachtung

Das Aufnehmen der Führungs- und Regelgröße über der Zeit ohne Testanregung gibt Aufschluss über das Stellverhalten des Stellgerätes unter Prozessbedingungen (Bild 6a).

Diese Signale können nun für den aktuellen Messausschnitt und für alle gespeicherten Messausschnitte für die gewählte Messstelle statistisch ausgewertet werden.

Die *relative Verweildauerdichte* für die Regel- oder Führungsgrösse [4] liefert Informationen, wo das Ventil im wesentlichen arbeitet. Hier wird die betrachtete Größe z.B. in 5-%-Klassen eingeteilt und die Zeiten gezählt, während denen sich die betrachtete Größe in den einzelnen Klassen befindet. Daraus wird die Gesamtmesszeit pro Klasse ermittelt und auf die Gesamtmesszeit aller Klassen bezogen. Dieser Quotient dividiert durch die Klassenbreite mal 100 % entspricht der relativen Verweildauerdichte (Bild 6b).

Es sind dann Aussagen möglich wie

- Ventilstellungs-Arbeitsbereich o.k.,
- Ventil arbeitet vorwiegend in den oberen oder unteren Endlagen.

Arbeitet ein Stellventil vorwiegend in den unteren Endlagen (< 20 %, Schließstellung), dann ist das Ventil eventuell zu groß dimensioniert oder es sind Verschleiß-Probleme zu erwarten, falls starke Kavitation (z.B. Entspannung 150 auf 1 bar) begleitend wirkt.

Eine weitere Auswertemöglichkeit ist die Bestimmung der *Häufigkeiten der Spannen*.

Unter einer Spanne versteht man bei einem zeitlich veränderlichen Signal den Abstand zwischen dem Maximalwert und dem Minimalwert einer Schwingung. Sie entspricht der zweifachen Amplitude der Schwingung.

Bei der Auswertung wird die Regelgröße x (Ventilstellung) in einzelne Spannen eingeteilt, z.B. 5 % , 10 %, ..., 100 %. Durch Auszählen der „Täler" und „Berge" wird die Häufigkeit einzelner Spannengrößen erfasst, auch hier jeweils für die aktuelle Messung oder für alle Messdatensätze (Bild 6c).

Die Spannenzählung ist hilfreich bei der Beurteilung der dynamischen Belastung eines Metallbalges oder der Stopfbuchse in einem Stellgerät. Die Stellgerätehersteller haben aus Dauerversuchen unter dem Nenndruck des Ventils meist Informationen hinsichtlich der ertragbaren Lastwechselzahl für unterschiedliche Spannengrössen. Mit abnehmender Spanne nimmt beispielsweise die ertragbare Lastwechselzahl bei einem Metallbalg überproportional zu.

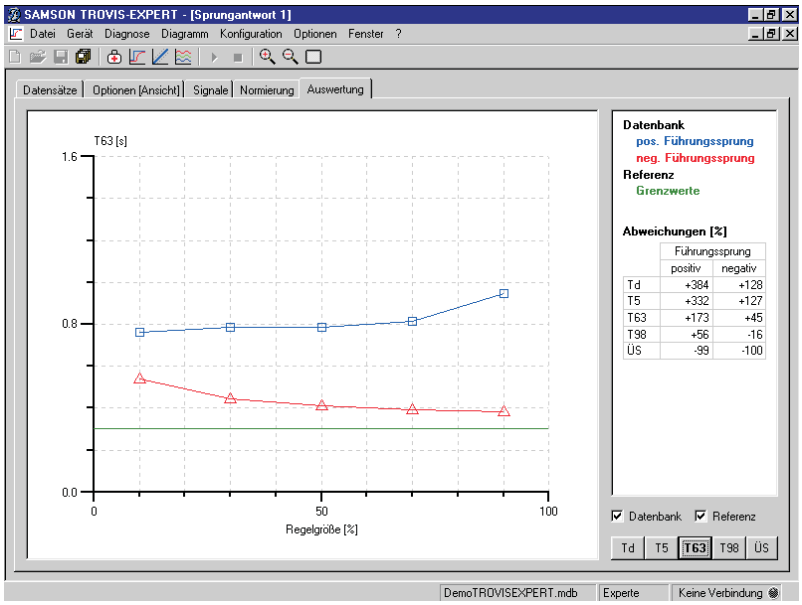


Bild 5c: Auswertung von Sprungantworten (EnTech)

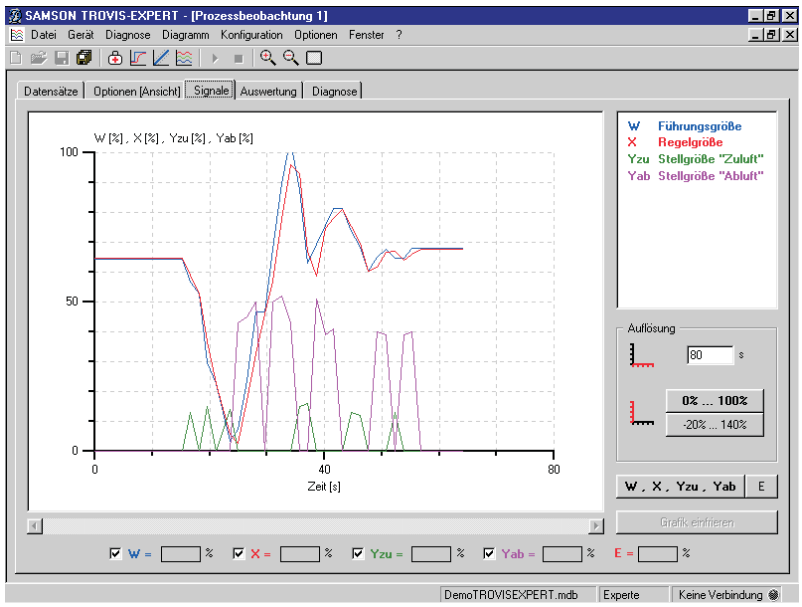


Bild 6a: Prozessbeobachtung: Führungs- und Regelgröße über der Zeit einschließlich der internen Ansteuersignale der Hilfssteuerventile im Stellungsregler

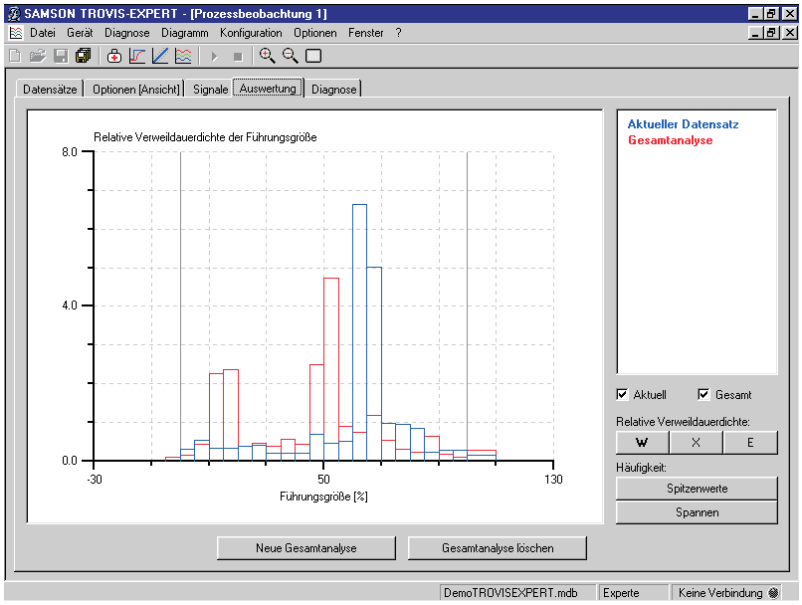


Bild 6b: Prozessbeobachtung: Statistische Auswertung mit relativer Verweildauerdichte

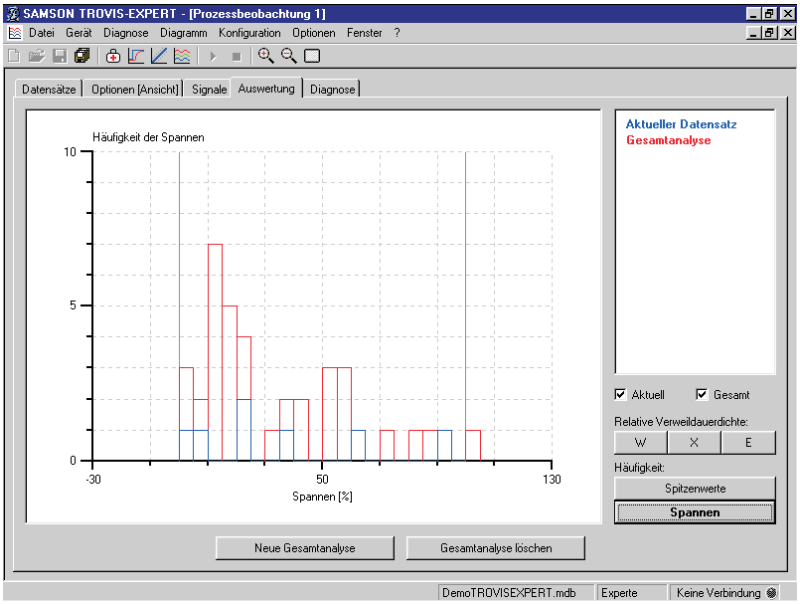


Bild 6c: Prozessbeobachtung: Statistische Auswertung mit Häufigkeit der Spannen

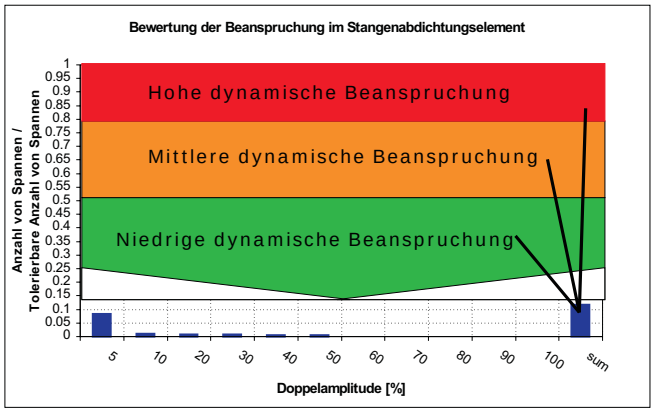


Bild 6d: Bewertung der dynamischen Belastung z.B. eines Metallbalges

Bezieht man nun die detektierte Spannenhäufigkeit auf die ertragbare Lastwechselzahl für jede Spannenklasse (5, 10, ... 100 %), so kann man für jede Spannenklasse einen Belastungswert berechnen. Da die in der Datenbank gespeicherten Messdaten für die betrachtete Messstelle nur einen Ausschnitt aus dem „Lebenszyklus des Stellgerätes" darstellen, ist die detektierte Spannenhäufigkeit mit dem Quotienten aus dem gespeicherten Gesamtweg im Stellungsregler (Wegintegral) und dem Gesamtweg aller für die Messstelle aufgenommenen Messdaten (Datenbank) zu multiplizieren. Die Summe für alle Spannenklassen ist ein Maß für die gesamte dynamische Belastung (Bild 6d):

- Gesamtbelastungswert < 0,5: niedrige dynamische Beanspruchung,
- 0,5 < = Gesamtbelastungswert < 0,8: mittlere dynamische Beanspruchung,
- Gesamtbelastungswert > = 0,8: hohe dynamische Beanspruchung.

3.4 Tests zur gezielten Fehlerfrüherkennung (Fehlerdiagnose)

Die Fehlerdiagnose bezieht sich hierbei vor allem auf den Stellantrieb und das Stellventil sowie die Luftdruckversorgung des Stellungsreglers. Im Stellungsregler selbst laufen bei den meisten Fabrikaten interne Routinen zur Überprüfung der elektronischen und mechanischen Hardware ab [1].

Bei federbelasteten, pneumatischen Stellantrieben liegt es nahe, den Stelldruck in der mit Druckluft beaufschlagten Membrankammer zu erfassen und hauptsächlich Informationen über das Stellventil zu gewinnen.

Viele Stellungsreglerhersteller implementieren in den Stellungsregler einen Drucksensor. Es wird dann im offline-Betrieb (Prozess nicht aktiv, oder Ventil im Bypass) die sogenannte „Ventilsignatur" in Form des Stelldruckes in Abhängigkeit der Ventilstellung bestimmt, mit der man z.B. die Hysterese ohne Stellungsregler ermitteln kann. Online-Tests bei laufendem Prozess sind in der Regel nicht möglich.

Jeder zusätzliche Sensor bedeutet gleichzeitig auch höhere Kosten und auch möglicherweise zusätzliche Fehlerquellen. Daher liegt der Reiz eigentlich darin, die für die Stellungsregelung notwendigen Signale der vorhandenen Sensorik - also z.B. die gemessene Ventilstellung - „intelligent" zu bewerten.

Bei Stellungsreglern mit internem digital angesteuerten i/p-Umformer besteht bei quasistatischen Zuständen eigentlich ein Zusammenhang zwischen dem Strom i und dem Druck im Stellantrieb. Dabei bestimmt vor allem die Qualität des Umformers die Höhe der Hysterese und die Reproduzierbarkeit einer solchen Kennlinie. Aus Kostengründen kommt hier oft kostengünstige Technik zum Einsatz, deren „Schwächen" dann im digitalen Regelalgorithmus kompensiert werden müssen. Diagnosen mittels der Bewertung des Zusammenhanges p = f(i) sind daher nur schwer realisierbar und bisher nicht bekannt.

Dagegen eignen sich digitale Stellungsregler mit pulsweiten-moduliert angesteuerten Hilfssteuerventilen und getrennter Belüftung und Entleerung des Stellantriebes zur Fehlerfrüherkennung ohne zusätzliche Sensorik im offline und online-Betrieb [1, 5].

Offline-Tests (Prozess nicht aktiv):

Hier können Tests über den ganzen Ventilstellungsbereich durchgeführt werden.

- der Nullpunkttest,
- der Leckagetest,
- der Schließ- und Öffnungszeittest bei voller Luftleistung des Stellungsreglers,
- die Diagnose-Sprungantworttests für 5 Referenzventilstellungen (10, 30, 50, 70 und 90 %) bei geringer Auslenkung (max. ± 2 %).

Online-Test (Prozess aktiv):

Es können nun nur Tests um den aktuellen Sollwert zu Beginn des Tests erfolgen.

- der Leckagetest,
- der Diagnose-Sprungantworttest für die aktuelle Ventilstellung bei geringer Auslenkung (max. ± 2 %).

Tabelle 1: Diagnosetestauswertung im Hinblick auf Stellgerätveränderungen

Parameter-Veränderungen	Diagnose-sprung-antworttest	Diagnose-sprung-antwortest	Leckagetest	Öffnungs-Zeittest	Nullpunkt-test
Neu - Referenz	$\Delta t_V/\Delta t_L$ **Entlüften**	$\Delta t_V/\Delta t_L$ **Belüften**			
Keine Änderung	0/0	0/0	0		
Geringere Reibung	–/0	–/0	0		
Höhere Reibung	+/0	+/0	0		
Geänderter Versorgungs-druck	0/0	+–/+–	0		
Geringerer Versorgungs-druck (offline)	0/0	+–/+–	0	– Federn öffnend	
Höherer Versorgungsdruck (offline)	0/0	+–/+–	0	+ Federn öffnend	
Federbruch (offline)	++/+0	+0/–	0		
Druckdifferenz vorhanden (online)	+–/+–	+–/+–	0		
Luftfilterverschmutzung	–/–	++/++	0		
Antriebsleckage			+		
Nullpunkt geringer					–
Nullpunkt höher					+

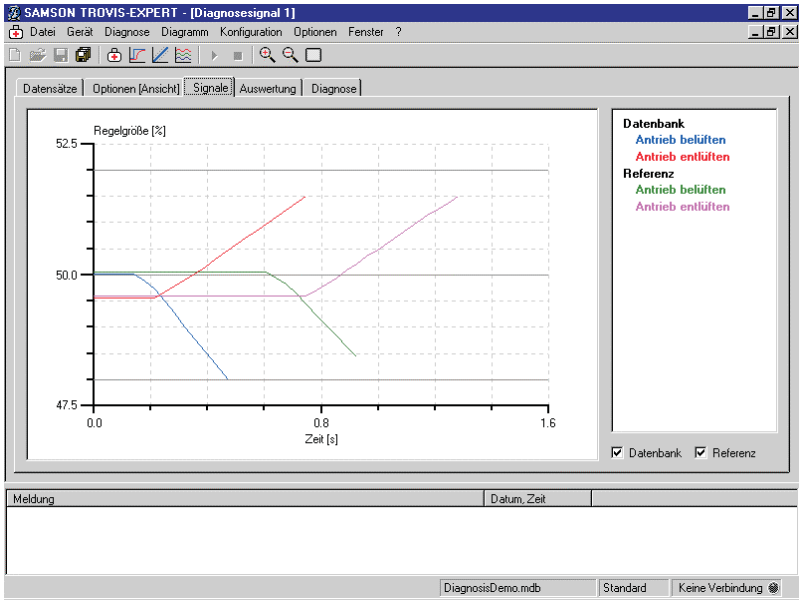


Bild 7: Diagnose-Sprungantworttest (Referenztest 50 %, Wiederholungstest 50 % mit reduzierter Reibung)

Beim **Nullpunkttest** fährt der Ventildrosselkörper in den Ventilsitz und bestimmt die aktuelle Lage des Nullpunktes. Gravierende Nullpunktänderungen können z.B. mit Verschleiß am Drosselkörper oder Sitz verbunden sein (Änderung < 0 oder > 0) oder mit Verschmutzung (Änderung > 0).

Während des **Leckagetests** werden beide Hilfssteuerventile für eine bestimmte Zeit geschlossen, so dass der Stellungsregler den Stellantrieb weder belüftet noch entlüftet. Kontinuierliche Ventilstellungsänderungen nach unten bei der Konstellation „Antriebsfedern schließend" bzw. nach oben bei „Antriebsfedern öffnend" deuten auf eine Leckage im Stellantrieb hin (Pneumatikverschraubungen, Membranundichtigkeit etc.). Die Leckagerate kann unmittelbar als Ventilstellungsänderung [%]/Zeit[s] angegeben werden.

Der **Schließ- und Öffnungszeittest** bei voller Luftleistung des Stellungsreglers (Hilfssteuerventile ständig geöffnet) bestimmt vier Zeitparameter:

- Öffnungsverzugszeit als Zeit zwischen dem Teststart und dem Beginn der Ventilstellungsänderung (Öffnen),
- Öffnungslaufzeit für Ventilstellung 0 bis 100 %,
- Schliessverzugszeit als Zeit zwischen dem Teststart und dem Beginn der Ventilstellungsänderung (Schließen),
- Schließlaufzeit für Ventilstellung 100 bis 0 %.

Der Kern dieser Tests ist der **Diagnose-Sprungantworttest** (s. Bild 7) um eine bestimmte Ventilstellung. Er ist durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Im laufenden Betrieb (aktiver Prozess) wird mit kleinen Auslenkungen (max. ± 2 %) gearbeitet, um nur *geringe Prozessstörungen* auszulösen,
- die Sprünge erfolgen in beiden Richtungen (Be- und Entlüften des Stellantriebes),
- aufgrund der konstanten, aber kleinen Pulsweiten bei der Ansteuerung der Hilfssteuerventile und der damit verbundenen geringen Luftleistung des Stellungsreglers wird jeweils eine nahezu konstante Änderungsgeschwindigkeit der Ventilposition erreicht, was sich leicht auswerten lässt und nur zu sehr geringen Overshoots führt, die Auswertung liefert 2 Verzugszeitwerte Δt_V (Zeitspanne ohne Änderung der Ventilstellung nach Auslösen des Sprunges) und 2 Laufzeitwerte Δt_L (Zeit pro 1 % Ventilstellungsänderung) für Be-und Entlüften (Bild 7), die Richtungsumkehr erfolgt aus der Bewegung heraus (unten 52 %–>50 %–>52 % bzw. 48 %–>50 %–>48 %), so dass die Verzugszeiten im wesentlichen der Gleitreibung proportional sind.

Die *Standardauswertung* dieser Tests beinhaltet die folgenden Schritte:

- Durchführung des Referenztests (Neuzustand) als offline-Test,
- Durchführung von online oder offline-Wiederholungstests,
- anschließend Vergleich zwischen den Wiederholungs- und den Referenz-Zeitwerten aus den Diagnosesprungantworten (lineare Interpolation für die 5 Referenzventilstellungen),
- zusätzliche Vergleichsmöglichkeiten bei im offline-Modus wiederholten Tests über die Zeitwerte aus den Schließ- und Öffnungszeittests.

Diese Standardauswertung ermöglicht die Erkennung der Veränderung wichtiger Stellgeräteparameter gemäß Tabelle 1.

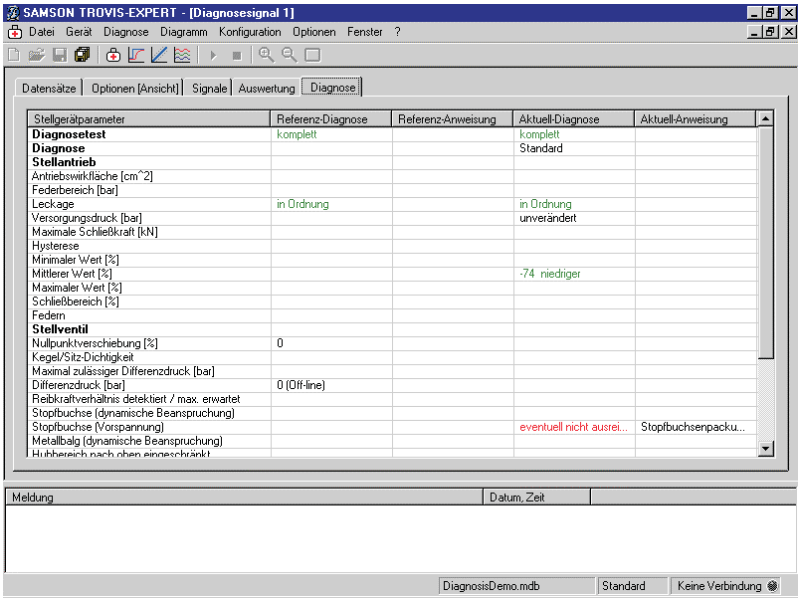
Auf dieser Basis, verbunden mit Erfahrungswerten z.B. bezüglich der Mindestvorspannung einer nachziehbaren Packung für die Ventilstangenabdichtung, kann dann zu jeder Feststellung eine Empfehlung oder Anweisung gegeben werden.

Beispiel 1:

Bild 7 zeigt die gemessenen Sprungantworten für den offline-Referenztest (3. Ventilposition 50 %) und für den online-Referenztest (50 %) mit reduzierter Vorspannung der nachziehbaren Stopfbuchsenpackung. Es fällt auf, dass die Verzugszeiten für Be- und Entlüften um ca. 75 % reduziert sind, die Laufzeiten sind dagegen aber praktisch unverändert. Demzufolge ist die Vorspannung um ca. 75 % kleiner als im Neuzustand.

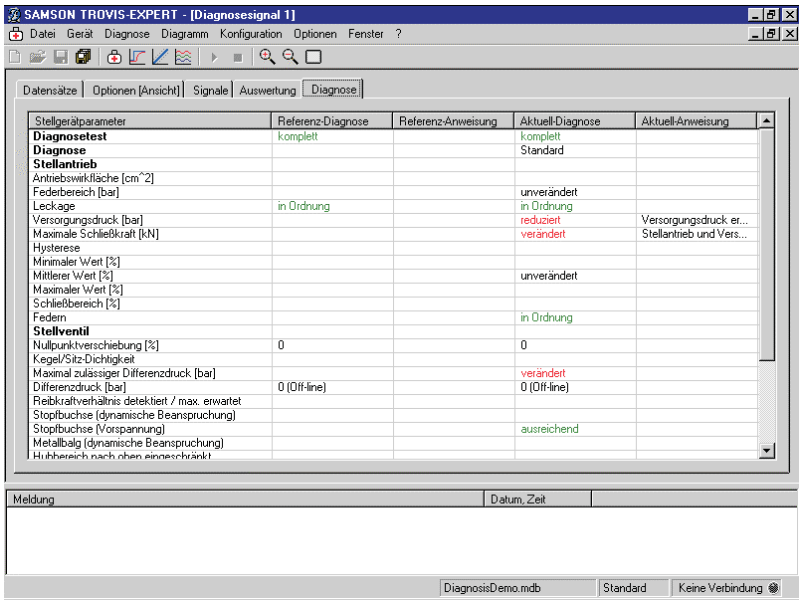
Bild 8 zeigt den umfassenden Diagnosebericht, der die wichtigsten Parameter des Stellantriebes, des Stellventiles und des Stellungsreglers in Form von Feststellungen und Empfehlungen bewertet. Die meisten Aussagen sind natürlich nur für den aktuellen Test (Wiederholungstest) möglich, weil das Hauptverfahren von Vergleichen zwischen Wiederholungstests und Referenztests lebt. Zur Leckage und zum Nullpunkt sind auch beim Referenztest Auswertungen möglich.

Speziell hier liefert dieser Bericht die Aussage, dass die Hysterese aus Sicht des Stellantriebes um ca. –75 % abgenommen hat und demzufolge die Stopfbuchsenpackung eventuell nicht mehr ausreichend dichtet. Folglich müsste das Wartungspersonal die Stopfbuchsenpackung nachziehen und auf Undichtigkeit prüfen.



Stellgeräteparameter	Referenz-Diagnose	Referenz-Anweisung	Aktuell-Diagnose	Aktuell-Anweisung
Diagnosetest	komplett		komplett	
Diagnose			Standard	
Stellantrieb				
Antriebswirkfläche [cm^2]				
Federbereich [bar]				
Leckage	in Ordnung		in Ordnung	
Versorgungsdruck [bar]			unverändert	
Maximale Schließkraft [kN]				
Hysterese				
Minimaler Wert [%]				
Mittlerer Wert [%]			-74 niedriger	
Maximaler Wert [%]				
Schließbereich [%]				
Federn				
Stellventil				
Nullpunktverschiebung [%]	0			
Kegel/Sitz-Dichtigkeit				
Maximal zulässiger Differenzdruck [bar]				
Differenzdruck [bar]	0 (Off-line)			
Reibkraftverhältnis detektiert / max. erwartet				
Stopfbuchse (dynamische Beanspruchung)				
Stopfbuchse (Vorspannung)			eventuell nicht ausrei...	Stopfbuchsenpacku...
Metallbalg (dynamische Beanspruchung)				

Bild 8: Diagnosebericht zu Bild 7



Stellgeräteparameter	Referenz-Diagnose	Referenz-Anweisung	Aktuell-Diagnose	Aktuell-Anweisung
Diagnosetest	komplett		komplett	
Diagnose			Standard	
Stellantrieb				
Antriebswirkfläche [cm^2]				
Federbereich [bar]			unverändert	
Leckage	in Ordnung		in Ordnung	
Versorgungsdruck [bar]			reduziert	Versorgungsdruck er...
Maximale Schließkraft [kN]			verändert	Stellantrieb und Vers...
Hysterese				
Minimaler Wert [%]				
Mittlerer Wert [%]			unverändert	
Maximaler Wert [%]				
Schließbereich [%]				
Federn			in Ordnung	
Stellventil				
Nullpunktverschiebung [%]	0		0	
Kegel/Sitz-Dichtigkeit				
Maximal zulässiger Differenzdruck [bar]			verändert	
Differenzdruck [bar]	0 (Off-line)		0 (Off-line)	
Reibkraftverhältnis detektiert / max. erwartet				
Stopfbuchse (dynamische Beanspruchung)				
Stopfbuchse (Vorspannung)			ausreichend	
Metallbalg (dynamische Beanspruchung)				

Bild 9: Diagnosebericht bei verändertem Luftversorgungsdruck

Beispiel 2:

Bild 9 zeigt den Diagnosebericht nach Reduzierung des Luftversorgungsdruckes für den Stellungsregler. Die Grundfeststellung ist die Reduzierung des Versorgungsdruckes verbunden mit der Empfehlung, den Netzdruck zu überprüfen (oder auch den Druckminderer bzw. die Anzeige am Stellgerät). Folgemeldungen bei dem hier betrachteten Stellventil mit der Sicherheitsstellung „Antriebsfedern Ventil öffnend“ sind die Reduzierung der Schließkraft (Dichtkraft an Kegel und Sitz) und der somit reduzierte maximal zulässige Differenzdruck am Stellgerät.

Stehen mathematische Modelle für den Stellungsregler (Luftleistung in Abhängigkeit des Stelldruckes, des Luftversorgungsdruckes und des Steuersignales), für den Stellantrieb (Zusammenhang Stelldruck Ventilstellung) und für das Stellgerät (Reibkraft, mindest erforderliche Dichtkraft etc.) zur Verfügung, so sind einzelne Parameter auch berechenbar. Dies lässt sich für Hubstellventile natürlich wesentlich einfacher realisieren als für drehverstellbare Stellgeräte.

Bild 10 zeigt den sich daraus ergebenden, erweiterten Diagnosebericht zu Bild 9. Zum einen ist eine umfassende Überprüfung des offline-Referenztests möglich im Hinblick auf die Verifizierung der vorgegebenen Stellantriebsdaten (s. Bild 1c), zum anderen kann der aktuelle Wiederholungstest genauer bewertet werden: hier z.B. nicht nur die Aussage „Versorgungsdruck reduziert“, sondern „Reduzierung von 6 auf 1.8 bar“, außerdem Hinweise auf die Höhe der Reduzierung der Schließkraft bzw. des max. zulässigen Differenzdruckes.

4. Zusammenfassung

Leistungsfähige Ventildiagnoseprogramme bieten die Möglichkeit der Visualisierung der Stellgeräte-Performance. Das wesentliche sind aber vor allem gezielte Tests zur Fehlerfrüherkennung im Hinblick auf eine vorbeugende, zustandsorientierte Wartung.

Es wurde ein Diagnosetool vorgestellt, dass ohne zusätzliche Sensorik beim digitalen Stellungsregler auskommt und dabei eine hohe Anzahl von Bewertungsmöglichkeiten in Form von Feststellungen und Empfehlungen bezüglich der Hauptbestandteile eines Stellgerätes bieten kann, und dies meist ohne das Hinzuziehen von Experten.

Natürlich kann aus den ermittelten Kenndaten nicht immer zweifelsfrei auf die Ursache geschlossen werden , wie z.B. von der Schließkraft über die Reibung auf die Vorspannung einer Stopfbuchse, aber zumindest werden Systemveränderungen erkannt, die für die oben genannten Ziele doch sehr hilfreich sein können.

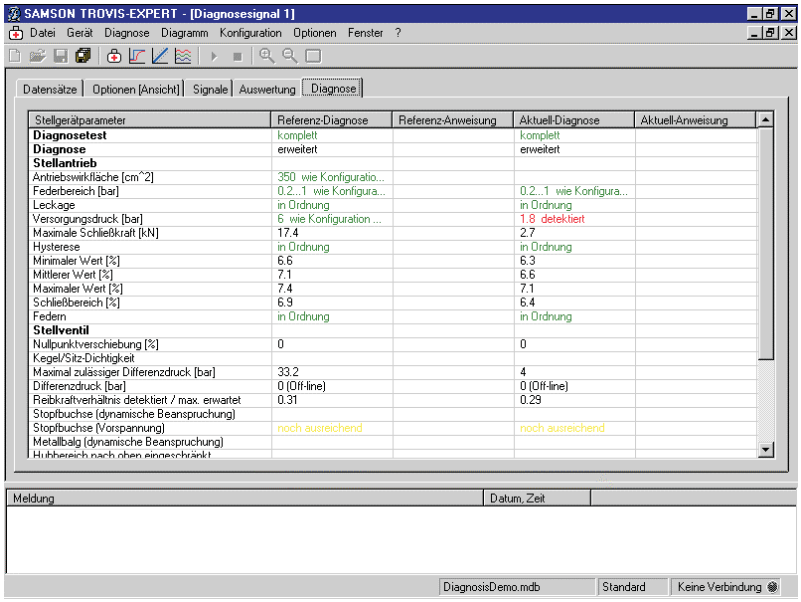


Bild 10: Erweiterter Diagnosebericht auf Basis eines mathematischen Modelles

Moderne Diagnosetools speichern alle Testergebnisse in datums- und uhrzeitorientierten Datenbanken ab. Folglich sind sicherlich Trends von Parameterveränderungen erkennbar. Eine daraus abgeleitete automatische Beurteilung des Stellgerätes im Hinblick auf die Standzeit bzw. den Vorschlag des nächsten Wartungstermins, verbunden mit der Spezifizierung der benötigten Ersatzteile, ist derzeit jedoch noch nicht möglich.

Bei aller Wichtigkeit der Systemdiagnose zur vorbeugenden Wartung sollte allerdings nicht übersehen werden, dass eine sorgfältige Auslegung und Auswahl des Stellgerätetyps immer noch die beste Garantie für geringe "Costs of Ownership" ist.

Literatur

[1] *Kiesbauer, J., Hoffmann, H.*, „Verbesserte Prozeßzuverlässigkeit und Wartung mittels digitaler Stellungsregler", Automatisierungstechnische Praxis 40 (1998), Vol. 2, p. 22-34

[2] *Benez, Hj.*: Instandhaltung-Themenschwerpunkt der 58. NAMUR-Hauptsitzung, Automatisierungstechnische Praxis 38 (1996) H. 3, S. 58 ff.

[3] EnTech, Automatic Controller Dynamic Specification (Version 1.0, 11/93)

[4] DIN 45667: Klassierverfahren für das Erfassen regelloser Schwingungen, Deutsche Normen, Oktober 1969

[5] *Pandit, M., König, J., Hoffmann, H.*: Ein kommunikationsfähiger, elektropneumatischer Stellungsregler, Automatisierungstechnische Praxis 35 (1993) H. 7, S. 408 - 413

Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer ist Leiter der Abteilung "Entwicklungsprüfstand" der SAMSON AG, Mess- und Regeltechnik, Frankfurt/Main. Hauptarbeitsfelder: Strömungstechnische und akustische Untersuchungen an Stellgeräten und Reglern ohne Hilfsenergie sowie Entwicklung und Optimierung von Berechnungsverfahren. Entwicklung und Erprobung von Diagnosemethoden für Stellgeräte.

SAMSON AG
Weismüllerstraße 3
D-60314 Frankfurt/Main
Tel.: (0 69) 40 09-4 64
Fax.: (0 69) 40 09-9 20
Internet: http://www.samson.de
E-Mail: drki@samson.de