

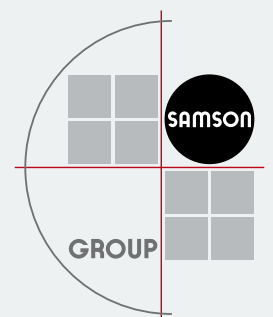
■ SONDERDRUCK

Lebenszykluskosten von Stellventilen
Neuer Ansatz zur Berechnung von Ventilauslegungen



Verfasser:
Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer
Dipl.-Ing. Domagoj Vnucec

Sonderdruck aus
atp edition
11/2010 · 52. Jahrgang
www.atp-online.de



Lebenszykluskosten von Stellventilen Neuer Ansatz zur Berechnung von Ventilauslegungen

Jörg Kiesbauer, Domagoj Vnucec, SAMSON AG

Die Lebensdauer eines Stellventils wird durch verschiedene Zyklusphasen charakterisiert. Die daraus resultierenden Lebenszykluskosten setzen sich hauptsächlich aus den Anschaffungskosten sowie den Folgekosten zusammen, die den Betrieb und die Instandhaltung eines Stellventils beinhalten. Abhängig von der Ventilausführung und den Betriebszuständen, denen das Ventil ausgesetzt ist, können die Folgekosten einen erheblichen Anteil an den Lebenszykluskosten darstellen. Die Betrachtung der Folgekosten wird somit ein zunehmend wichtiger Bestandteil der Ventilauslegung.

SCHLAGWÖRTER Stellgeräte / Ventilauslegung / Lebenszykluskosten / Asset Management

Life Cycle Costs of Control Valves –

New Approach for Calculation of Valve Sizing

The life cycle of a control valve is divided into different phases. The resulting life cycle costs are mainly made up of the acquisition costs and the follow-up costs for operation and maintenance. Depending on the valve type and operating conditions, the follow-up costs can account for a large proportion of the overall costs. As a result, assessing these follow-up costs is increasingly gaining importance in valve sizing.

KEYWORDS Actuators / Valve Sizing / Life Cycle Costs / Asset Management

In der Industrie stellt die Instandhaltung einen wesentlichen Anteil in der Kostenstruktur dar. Die Instandhaltungskosten nehmen sogar einen höheren Stellenwert ein als die abzuschreibenden Investitionskosten. Daher ist es im Interesse des Anlagenbetreibers, Anlagenkomponenten zu verwenden, die sich durch eine möglichst lange Lebensdauer auszeichnen, um somit die Instandhaltungskosten und auch die eventuell damit verbundenen Ausfallkosten zu minimieren. Die Verlängerung der Lebensdauer, die auf einem optimierten Produkt basiert, ist meist auch mit vergleichsweise höheren Investitionskosten verbunden.

Dieser Beitrag zeigt, dass die Kosten des gesamten Produktlebenszyklus bei der Auswahl eines Stellgerätes heranzuziehen sind.

Die Gesamtlebenszykluskosten setzen sich aus den Anteilen mehrerer Zyklen zusammen (siehe Bild 1). Der Grundstein für den Gesamtkostenverlauf eines Produkts wird in der ersten Phase der Entwicklung und Produktion gelegt. Dieser Zyklus ist geprägt von dem Potenzial des Herstellers, der mit seinem Know-how ein auf die Prozessanforderungen optimiertes Stellventil entwickeln und produzieren kann. Diese höhere Produktqualität, bedingt durch ein hochwertiges Design und

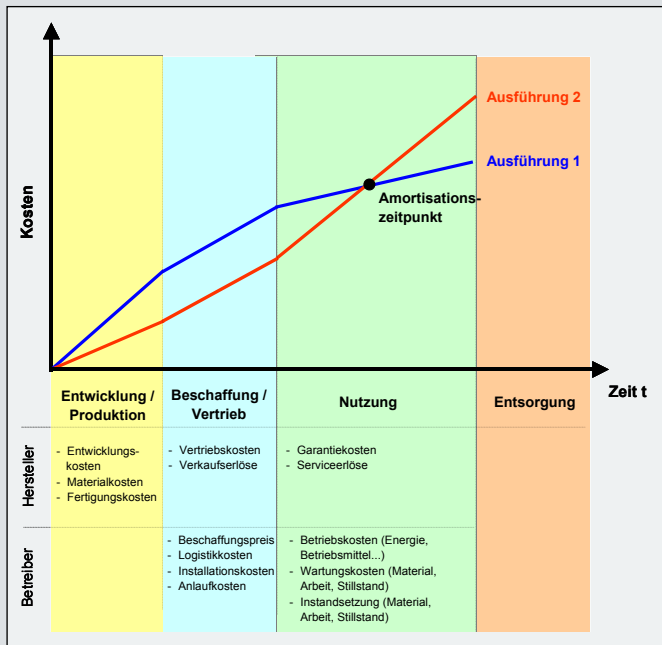


Bild 1: Gesamtlebenszykluskosten und -erlöse

entsprechende Materialien, hat somit höhere Kosten im Bereich Entwicklung, Materialbeschaffung sowie Fertigung zur Folge.

Die zweite Phase der Produktlebensdauer stellt den Vertrieb beziehungsweise die Beschaffung eines Stellventils dar. Deswegen Beschaffungspreis setzt sich zusammen aus den Vertriebskosten zuzüglich entsprechender Vertriebsenerlöse. Seitens des Betreibers müssen in dieser Phase allerdings auch zusätzliche Kosten hinsichtlich der Inbetriebnahme berücksichtigt werden.

Da die beschriebenen Kosten unabhängig vom verkauften oder eingesetzten Stellgerät und somit unabhängig von der Produktentwicklung sind, ergibt sich in diesem Lebenszyklus des Produktes ein relativ ähnlicher Kostenverlauf (siehe Bild1). Die aus Sicht des Anlagenbetreibers wichtigste Phase eines Stellventils ist dessen tatsächliche Betriebsdauer. Neben den anfallenden Betriebskosten für Energie sowie entsprechende Betriebsmittel sind vor allem die Kosten für die Wartung und Instandhaltung eines Gerätes die treibenden Faktoren der Lebenszykluskosten. In dieser Phase zeigt die höhere Produktqualität eines Stellventils, dass abhängig von den vorliegenden Betriebsbedingungen deutlich geringere Instandhaltungskosten anfallen als bei einer vergleichsweise billigeren Ventilausführung.

Das beschriebene Kostenverhalten führt in der Nutzungsphase dazu, dass ab einem gewissen Zeitpunkt das Stellgerät mit den höheren Anschaffungskosten sich wieder amortisiert hat. Dieser Amortisationszeitpunkt sollte natürlich möglichst zu Beginn der Nutzungsphase liegen, sodass für den Anlagenbetreiber ein großes Einsparpotenzial zu erzielen ist und die Entscheidung zugunsten des hinsichtlich der Investitionskosten teureren Stellventils die logische Konsequenz ist. Im Beitrag wird gezeigt, dass die Ermittlung des Amortisationszeitpunktes eine sehr gute Kenntnis über die Lebensdauer der Stellgerätekomponten in Abhängigkeit der möglichen kritischen Prozessbedingungen erfordert.

Der letzte Lebenszyklus eines Produktes stellt dessen Entsorgung dar. Diese Phase wird rein formal bei der Betrachtung

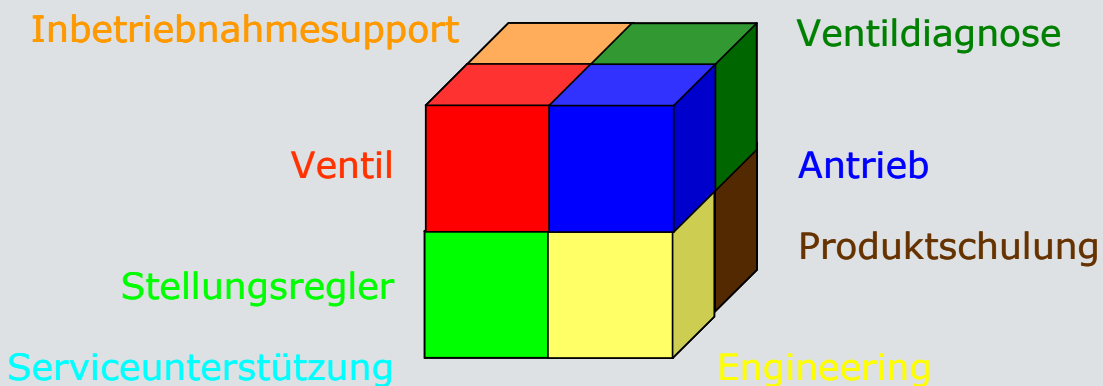


Bild 2: Stellgerät als gesamtheitliches Produkt

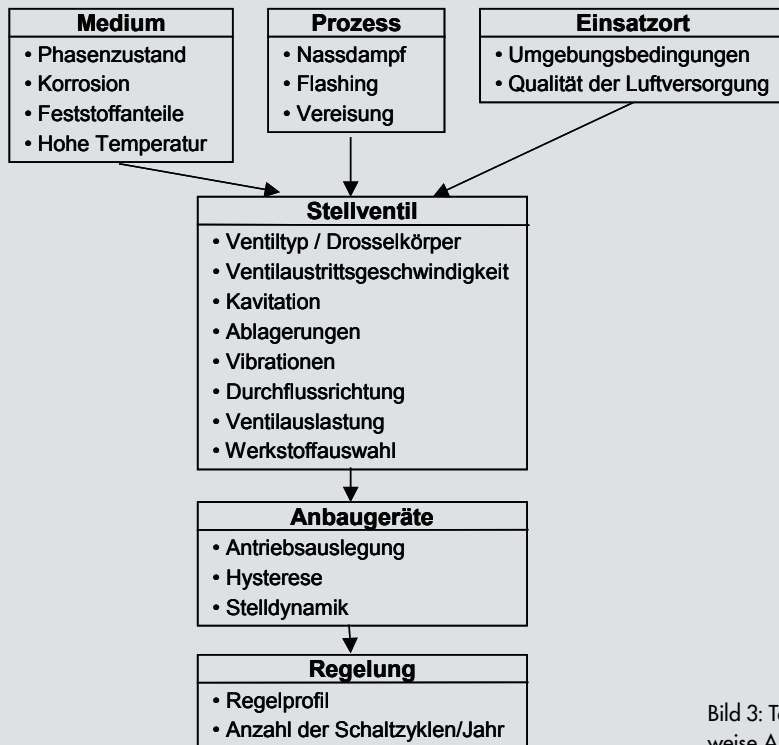


Bild 3: Teilübersicht der möglichen kritischen Betriebszustände beziehungsweise Anforderungen

der Gesamtlebenszykluskosten berücksichtigt. Da die Demontage- und Entsorgungskosten relativ unabhängig vom Stellgerät sind, kann diese Phase für die Entscheidungsfindung zwischen zwei Ventilen vernachlässigt werden.

1. Stellgeräteauswahl

Die Beschaffung eines Stellgerätes stellt im klassischen Sinne nur den Erwerb eines Stellventils mit einem entsprechenden Antrieb und eventuell vorhandenen Anbaugeräten wie beispielsweise einem Stellungsregler dar. Im Hinblick auf die Reduzierung der Lebenszykluskosten muss jedoch das Stellgerät als ganzheitliches Produkt bestehend aus verschiedenen Features verstanden werden. Neben der eigentlichen Hardware sind weitere Eigenschaften wie:

- Engineering,
- Inbetriebnahmesupport,
- Ventildiagnose,
- Serviceunterstützung sowie
- Produktschulung

von großer Wichtigkeit (siehe Bild 2). Diese Bestandteile sind hinsichtlich ihrer Bedeutung gleichwertig. Kann der Gerätehersteller eines der Features nicht in gleichwertiger Qualität gewährleisten, führt dies letztendlich auch zu einer deutlich reduzierten Qualität des Gesamtproduktes „Stellgerät“. Denn mit Hinblick auf möglichst geringe Lebenszykluskosten muss neben dem Engineering und der daraus resultierenden Hardware auch ein über die gesamte Lebensdauer umfassender Service gewährleistet sein. Somit gilt es, dieses Gesamtpaket zusammen mit dem Kunden auf die entsprechende Anwendung abzustimmen, sodass aus Sicht des Kunden ein optimales Produkt mit den niedrigsten Lebenszykluskosten angeboten werden kann.

1.1 Engineering

Die anwendungsspezifische Auslegung eines Stellventils ist die Grundvoraussetzung bei der optimalen Auswahl eines Stellgerätes. Hierzu muss seitens des Anlagenbetreibers eine möglichst ausführliche Spezifikation vorliegen. Beispielsweise bedeutet dies hinsichtlich der Ventilauslegung, dass mög-

Verfügung steht und somit erosionsbedingt die Gefahr einer externen Leckage gegeben ist. Weiterhin ist bei einem Einsatz eines Durchgangsgehäuses zu beachten, dass das Ventil nicht in schließender Richtung angeströmt wird, da ansonsten ein gebündelter, zweiphasiger Strahl auf den Gebäudeboden trifft und ebenfalls eine externe Leckage verursacht.

Ein weiteres Kriterium, das mediumsunabhängig erheblich die Lebensdauer eines Stellgerätes beeinflusst, ist dessen Austrittsgeschwindigkeit. Insbesondere zweiphasige Zustände wie Flashing, aber auch Nassdampf oder Kavitation führen in Kombination mit zu hohen Ventilaustrittsgeschwindigkeiten zu einem verstärkten Erosionsverschleiß. Zusätzlich können auch Vibrationen hervorgerufen werden, die vor allem bei Kegeltypen, die nur im Ventiloberteil geführt werden, mechanische Schädigungen verursachen.

Der Kavitationszustand ist an sich noch nicht bauteilschädigend. Jedoch kann bei hohen Differenzdruckverhältnissen und entsprechend hohen Differenzdrücken Kavitationserosion auftreten. Daher sollte bei diesen Betriebszuständen möglichst auf Dreharmaturen verzichtet und differenzdruckabhängig ($\Delta p > 25 \text{ bar}$) auch eher mehrstufige Kegelgarnituren eingesetzt werden.

Falls eine hohe Dichtigkeitsanforderung in Form einer hohen Leckageklasse vorliegt, sollte darauf geachtet werden, dass die Regelbetriebspunkte nicht im Bereich der Schließstellung liegen. Insbesondere in Kombination mit zweiphasigen oder feststoffbeladenen Medien ist ein verstärkter Verschleiß der Dichtkante und somit eine Erhöhung der inneren Leckage zu erwarten.

Eine kritische Betrachtung des Antriebes als auch der Anbaugeräte ist ebenfalls notwendig. Beispielsweise sollte bei rückwärtig angeströmten Hubventilen ein möglichst steifer Antrieb verwendet werden, um aufgrund des Sogeffektes ein Zuschlagen des Kegels in den Sitz und somit eine Schädigung der Garnitur zu vermeiden.

Es sind auch die Anforderungen an die Stelldynamik zu überprüfen. Schnelle Stellzeiten in Kombination mit einer hohen, jährlichen Anzahl von Schaltzyklen oder auch einem Auf-Zu-Regelprofil führen insbesondere zu einer schnelleren Abnutzung der Stopfbuchse und somit zu einer äußeren Undichtigkeit. Die genannten, aber auch weitere kritische Betriebszustände gilt es in Zusammenarbeit mit dem Kunden zu

vermeiden, um somit ein zuverlässiges Stellgerät mit einer möglichst langen Lebensdauer zu gewährleisten.

1.2 Performanceüberwachung und Service

Die einzelnen Komponenten eines Stellgerätes sind durch unterschiedliche Lebensdauer geprägt. Vor allem in Abhängigkeit der Anwendung kann es vorzeitig zu einem Ausfall einer Komponente und somit des gesamten Stellgerätes kommen. Um diesen Ausfall und die daraus ungeplanten Anlagenzustände zu verhindern, ist ein gutes Plant Asset Management zwingend notwendig. Ein Ansatz für ein gesamteinheitliches Asset Management ist eine vorausschauende Wartung der Anlagenkomponente. Hierzu ist beispielsweise ein selbstüberwachendes Stellgerät bereits Stand der Technik, das zugleich ein kostengünstiges Mittel zur Realisierung dieser Anforderung darstellt.

Bei der Selbstüberwachung von Stellgeräten lassen sich mit Hilfe einer intelligenten Auswertung von Standardsignalen in einem frühen Stadium bereits eventuell vorhandene Verschleißerscheinungen wie beispielsweise eine Stellantriebsleckage, eine Sitzlage oder auch eine Veränderung der Reibungsverhältnisse detektieren. Die ausgewertete Stellgerätdiagnose wird letztendlich an das entsprechende Prozessleitsystem weitergeleitet (siehe Bild 4), sodass basierend auf den Hinweisen dem Anlagenbetreiber ausreichend Zeit bleibt, um für das nächste Wartungsintervall entsprechende Ersatzteile zu organisieren und den eigentlichen Wartungs- und Instandhaltungszeitraum möglichst kurz zu halten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der bei der Instandhaltung, insbesondere bei ungeplanten Anlagenstillständen, berücksichtigt werden sollte, ist die Nähe von entsprechenden Vertriebs- und Servicestützpunkten zur Anlage. Denn eine lokale Ersatzteilbevorratung der Stützpunkte gewährleistet schnelle Reaktionsmöglichkeiten des Stellgerätheherstellers und somit möglichst kurze Instandhaltungszeiten. Weiterhin sind zertifizierte Servicewerkstätten mit geschultem Personal Grundvoraussetzung, um dem Anlagenbetreiber einen optimalen Support hinsichtlich Engineering und Service zu bieten. Diese Eigenschaften, insbesondere die Servicenähe sind geldwerte Vorteile für den Anlagenbetreiber, die sich in Form von geringeren anfallenden Produktionsausfallkosten niederschlagen.

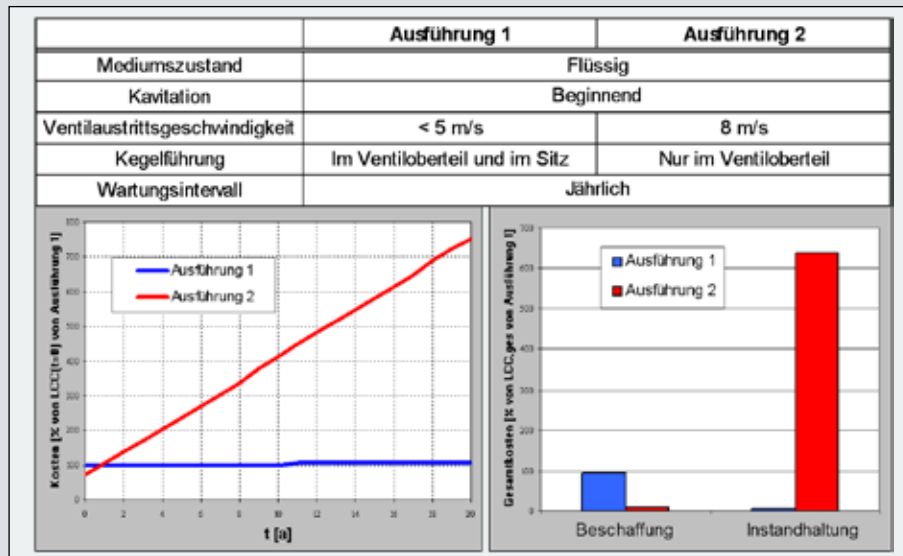


Bild 5: LCC-Vergleich zwischen zwei Ventilausführungen

2. Kostenanalyse

Eine genaue Durchführung der Lebenszykluskostenermittlung ist seitens des Ventilherstellers nicht möglich, da hierfür wichtige Informationen vom Anlagenbetreiber wie Installations-, Anlauf- sowie Betriebskosten nicht vorliegen. Das Mittel der Lebenszykluskostenberechnung ist jedoch eher von Interesse, um mehrere Stellgeräteausführungen miteinander vergleichen zu können. Daher ist eine relative Betrachtung der Lebenszykluskosten im Grunde schon ausreichend, indem nur eine Gegenüberstellung der Beschaffungskosten eines Stellgerätes mit den in der Nutzungsphase anfallenden Wartungs- und Instandsetzungskosten durchgeführt wird. Die anderen Kostenarten aus der Beschaffungsphase wie beispielsweise die Installations- und Anlaufkosten sowie die Betriebskosten aus der Nutzungsphase sind bei etwa gleicher Ventillinnenweite beziehungsweise bei etwa gleichen Stellgeräteabmessungen relativ konstant und können daher für die beschränkte Betrachtung der Lebenszykluskosten vernachlässigt werden.

Allgemein setzt sich die Berechnung der Instandhaltungskosten aus folgenden Parametern zusammen, die für sämtliche Komponenten eines Stellgerätes vorliegen müssen:

- MTBF: Durchschnittliche Zeitdauer zwischen zwei Ausfallereignissen (Mean Time Between Failures)
- b: Zeitliches Verschleißverhalten
- LFCC: Austauschgrenze (Limit For Change Component)
- CMi: Instandhaltungs- / Ersatzteilkosten

Um die anfallenden Instandhaltungskosten während der gesamten tatsächlichen Betriebsdauer qualitativ angeben zu können, muss insbesondere die charakteristische Lebensdauer MTBF sowie das zeitliche Verschleißverhalten für den zu betrachtenden Prozess bekannt sein. Dies bedeutet, dass basierend auf den zuvor beschriebenen kritischen Betriebszuständen eine Datenbank vorliegen muss, in der für jede einzelne Stellgerätkomponente zustandsabhängig entsprechende empirische MTBF-Werte enthalten sind. Diese zustandsabhängigen Lebensdauern sind möglichst durch eigene Versuchsreihen zu ermitteln. Da seitens des Herstellers nicht alle zustandsabhängigen Untersuchungen in dessen Prüffeldern durchgeführt werden können, ist auch die Möglichkeit gegeben, auf charakteristische Lebensdauerwerte aus den Anlagen zurückzugreifen. Hierzu müssen jedoch intelligente Stellungsreglersysteme vorliegen, die über die gesamte Betriebsdauer Stellgerätefehler detektieren und speichern. Durch Zusammenarbeit zwischen dem Gerätehersteller und dem Anlagenbetreiber kann letztendlich ein Informationsaustausch stattfinden.

Mit Hilfe des Parameters für das zeitliche Verschleißverhalten (degressiv, linear, progressiv) kann für jede Komponente in Kombination mit dem MTBF-Wert zu jedem Zeitpunkt der entsprechende Verschleißzustand ermittelt werden.

Bei den Instandhaltungskosten wird prinzipiell unterschieden zwischen einer ausfallbedingten Instandhaltung und einer In-

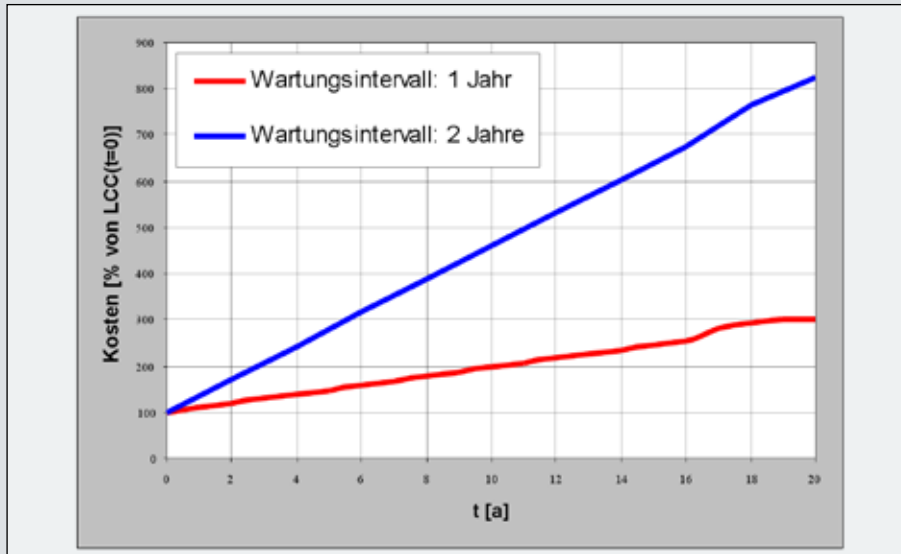


Bild 6: LCC-Vergleich zwischen zwei Instandhaltungsstrategien

standhaltung, die innerhalb einer zyklischen Wartung erfolgt ist. Wird innerhalb eines Wartungsintervalls festgestellt, dass der Verschleißzustand die zulässige Austauschgrenze LFCC überschritten hat, dann ist ein Austausch der entsprechende Komponente erforderlich. Die Austauschgrenze selbst ist ein Wert, der abhängig ist von den Anforderungen an das Stellgerät. So ist beispielsweise bei einer durchgehend geforderten inneren Dichtigkeit ein deutlich früherer Austausch der Sitz-Kegel-Garnitur vorzunehmen als bei normalen Anforderungen. Eine ausfallbedingte Instandhaltung muss hingegen bei der Lebenszyklusberechnung berücksichtigt werden, wenn vor einem Wartungsintervall ein kompletter Verschleiß einer Komponente vorliegt. Dann müssen bei der Berechnung auch entsprechende Ausfallkosten aufgrund des ungeplanten Stillstandes berücksichtigt werden.

Mit einem geeigneten LCC-Softwaretool, in dem die dargestellten Aspekte, insbesondere die zustandsabhängigen Kennwerte, implementiert sind, ist eine Gegenüberstellung der relevanten Lebenszykluskosten zwischen mehreren Stellgeräteauführungen möglich.

Bild 5 zeigt das Ergebnis eines Lebenszykluskostenvergleiches zwischen zwei verschiedenen Hubventilausführungen bei vorliegender beginnender Kavitation. Bei einer aus technischen Sicht optimalen Ventilausführung (Ausführung 1) liegen nach einer betrachtenden Betriebsdauer von 20 Jahren Gesamtlebenszykluskosten vor, die sich im We-

sentlichen aus den Anschaffungskosten des Stellgerätes zusammensetzen. Wird hingegen wie bei der Ausführung 2 eine kleinere Ventilmennweite und eine einfachere Kegelvariante gewählt, die nur im Ventiloberteil geführt wird, so sind zwar die Anschaffungskosten von dieser Variante im Vergleich zur optimalen Ausführung um etwa 30% niedriger, die nachfolgenden Instandhaltungskosten fallen hingegen um ein Vielfaches höher aus.

Der Grund für die immens ansteigenden Lebenszykluskosten liegt darin, dass aufgrund der kleineren Ventilmennweite eine höhere Austrittsgeschwindigkeit vorliegt, die in Kombination mit der beginnenden Kavitation zu einem verstärkten Verschleiß führt, insbesondere im Bereich des Kegels. Somit ist die Ersparnis, die bei der Anschaffung der zweiten Ausführung vorliegt, bereits nach etwa einem Jahr Betriebsdauer in Form von Instandhaltungskosten wieder aufgebraucht worden.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus dem LCC-Softwaretool, indem vor allem bei vorweg bekannten kritischen Stellventilen die optimalen Instandhaltungsintervalle ermittelt werden. Das Beispiel von Bild 6 zeigt, dass bei einer jährlichen Wartung deutlich geringere Lebenszykluskosten anfallen als bei einem Wartungsintervall von 2 Jahren. Der Grund hierfür liegt darin, dass bei einem längeren Wartungsintervall auch ungeplante Instandhaltungen auftreten, die vor allem aufgrund der anfallenden Ausfallkosten die Lebenszykluskosten in die Höhe treiben.

Fazit

Die Betrachtung der Lebenszykluskosten im Voraus kann nur dann sinnvoll erfolgen, wenn die charakteristische Lebensdauer MTBF der einzelnen Stellgerätekomponten für alle möglichen, vor allem kritischen Betriebszustände auf empirischer Basis in einem Berechnungstool vorliegen. Somit ist die Berechnung der Lebenszykluskosten ein hilfreiches Werkzeug, um eine neutrale Beurteilung verschiedener Stellgeräteaushörungen durchzuführen. Hierbei wird bereits ein aussagekräftiges Ergebnis erzielt, indem eine Gegenüberstellung zwischen den Beschaffungskosten eines Stellgerätes und den folgenden Instandhaltungskosten durchgeführt wird.

Referenzen

- [1] Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. S 705: Entwicklung eines Life-Cycle-Cost Konzeptes für den Maschinen- und Anlagenbau. 2007
- [2] EN 60300-3-3: Zuverlässigkeitsmanagement: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten. Beuth Verlag GmbH, Berlin, März 2005
- [3] Kiesbauer, J., Vnucec, D., Roth, M., und Stoffel, B.: Vorhersage der Kavitationsaggressivität im Hinblick auf Bauteilschädigung bei Stellventilen. atp – Automatisierungstechnische Praxis 47 (2005), H 12, S. 54 – 62
- [4] Kiesbauer, J.: Stellventile bei kritischen Prozessbedingungen in Raffinerien. Industriearmaturen, Vulkan Verlag, Essen, H. 3, 2001, S. 243 – 250
- [5] König, G., und Kiesbauer, J.: Ganzheitliches Asset Management bei Stellgeräten. Industriearmaturen, Vulkan Verlag, Essen, H. 4, 2005



Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer

(geb. 1960) ist Mitglied des Vorstandes Forschung und Entwicklung der SAMSON Aktiengesellschaft, Mess- und Regeltechnik, Frankfurt/Main. Seit 1999 wirkt er in der Working Group 9 Final Control Elements des IEC SC 65B und im DKE K 963 Stellgeräte für strömende Stoffe mit, seit

2008 ist er auch ein Voting Member des ISA SP 75 Standardization Committee for Control Valves.

SAMSON AG

Weismüllerstraße 3 · 60314 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 4009 1300
E-Mail: drjkiesbauer@samson-ag.com



Dipl.-Ing. Domagoj Vnucec

(geb. 1974) ist Leiter der Abteilung „Entwicklungsprüfstand“ der SAMSON AG, Mess- und Regeltechnik, Frankfurt/Main. Seine Hauptarbeitsfelder sind Planung und Auswertung von strömungskustischen Laborversuchen an Stellgeräten, Einsatz von CFD-Programmen zur Strömungsberechnung, Entwicklung und Optimierung von Berechnungs- und Auslegungssoftware für Stellgeräte.

SAMSON AG

Weismüllerstraße 3 · 60314 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 4009 1796
E-Mail: dvnucec@samson.de

■ Innovation aus Tradition



SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHNIK · Weismüllerstraße 3 · 60314 Frankfurt am Main
Telefon: 069 4009-0 · Telefax: 069 4009-1507 · E-Mail: samson@samson.de · Internet: www.samson.de