

... die Dichtung ist schuld!

Ausfall der Hydraulikzylinder-Dichtungen durch extern erzeugte Schwingungen



1: Ansicht des Brückenbauwerkes

Ingo Rühlicke

In der Praxis bestehen oftmals vorgefasste Meinungen zu bestimmten Standardproblemsituationen, wie beispielsweise Stick-Slip-Effekten oder Leckagen in ölhydraulischen Anlagen, die dazu führen können, dass die tatsächlichen Ursachen der beobachteten Probleme oft unerkannt bleiben und zu dauerhaften Betriebsstörungen sowie enormen wirtschaftlichen Schäden führen können.

Autor: Dr.-Ing. MBA Ingo Rühlicke ist Leiter Projekt und Export bei der Walter Hunger KG in Lohr am Main. Dieser Beitrag wurde zur 14th ISC – Internationale Dichtungstagung Stuttgart 2006 gehalten

Im vorliegenden Fall traten nach mehrmonatiger Betriebsdauer einer hydraulisch betätigten Klappbrücke weithin hörbare Brumm- und Knarrgeräusche während des Brückenhubes auf. Zugleich zeigte sich ein deutlicher Ölfilm auf den Kolbenstangen der Hydraulikzylinder, die zu den brummenden Brückenklappen gehören. Seitens des Betreibers sowie eines hinzugezogenen Gutachters wurden die vermeintlichen Verursacher der Geräusche schnell identifiziert, nämlich die Dichtungen an den Kolbenstangen der Hydraulikzylinder. Die Anforderung an den Lieferanten der Hydraulikzylinder, den Mangel durch einen Dichtungswechsel schnellstmöglich zu beseitigen, erging umgehend. Nach kurzer Prüfung des Sachverhaltes durch einen Servicetechniker vor Ort wurde ein Wechsel der Stangendichtungen beschlossen, obwohl es unverständlich erschien, dass gerade die leckenden Zylinder, deren Dichtungen ja gut geschmiert waren, Stick-Slip-Verhalten zeigen sollten.

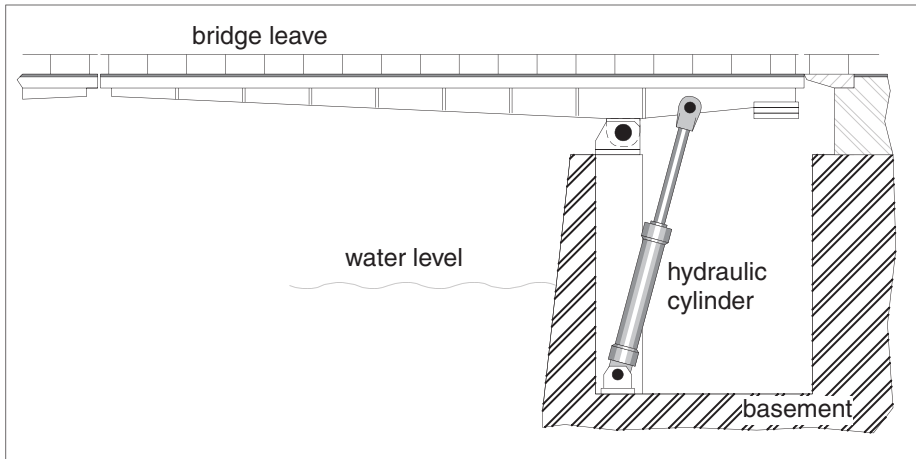
Dieser bis hier kaum nennenswerte Verlauf einer Betriebsstörung mit zwangsläufig

folgendem Serviceeinsatz sollte sich als Beginn einer langen Fehlersuche, einer unerwarteten Fehleranalyse sowie eines schwierigen Verfahrens zur Genehmigung der Störungsbeseitigung erweisen.

Ausführung des hydraulischen Zylinderantriebes

Bei dem in **Bild 1** gezeigten Brückenbauwerk werden vier einzelnen Klappen jeweils von einem Hydraulikzylinder betätigt. Die Zylinder sind am Rückarm einer jeden Brückenklappe angeordnet und sind als Zug- und Druckzylinder ausgelegt. Jede Brückenklappe ist mit einem geringen Übergewicht am Klappenende ausbalanciert, jedoch können Windkräfte sowohl zu Zug- als auch zu Druckkräften in nahezu jeder Öffnungsposition führen.

Die Hydraulikzylinder mit den Abmessungen $\varnothing 320 \times \varnothing 180 \times 2,550$ mm (K x S x H) sind in klassischer Ausführung mit verchromter Kolbenstange und einer Dachmanschettenabdichtung an der Kolbenstange ausgeführt. Damit wurde einer



2: Einbausituation des Zylinders

konkreten Forderung der Spezifikation ent-
sprochen, die damit begründet wurde, dass
ein Dichtungswechsel ohne den Ausbau
der Hydraulikzylinder möglich sein muss.
Der Einbau einer Dachmanschette mit ge-
teilten Ringen stellt hierfür die gängigste
und kostengünstigste Lösung dar. Als rei-
bungsarme Kolbenstangenführung dienen
Kunststoff-/PTFE-/Bronze-Compound-Ele-
mente. Das Betriebsmedium für die Hyd-
raulikanlage ist Panolin Synth HLP 15.

Die mechanische Anlenkung der Zylind-
er erfolgt am Zylinderboden sowie am
Kolbenstangenende über sphärische
Gelenklager. Deren wartungsfreie Ausfüh-
rung sowie der einzusetzende Lagertyp wa-
ren in der Spezifikation für das Brücken-
bauwerk bereits eindeutig festgeschrieben.
Bild 2 zeigt die Einbausituation der Hyd-
raulikzylinder am Brückenbauwerk.

Geräusentwicklung und Leckage an den Zylinderköpfen

Die beschriebenen Brumm- und Knarrge-
räusche mit nachfolgender externer Lecka-
ge an den Kolbenstangenabdichtungen tra-
ten nacheinander an allen vier Brücken-
klappen auf. Verstärkt durch die enorme
akustische Abstrahlfläche der stählernen
Brückenklappen war die Ursache der Ge-
räusche nicht zu lokalisieren. Durch die Be-
obachtung über einen längeren Zeitraum
war auch bekannt, dass die Geräusche bei
höheren Umgebungstemperaturen wesent-



3: Leckage am Zylinder

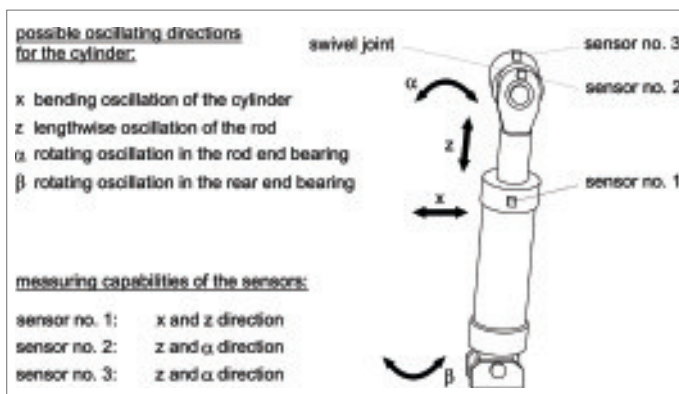


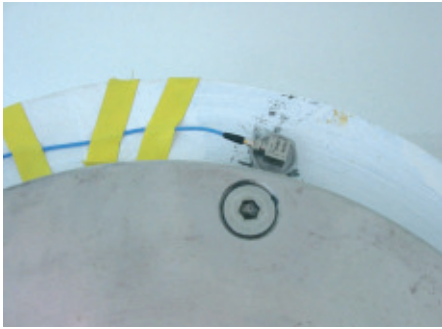
4: Ausgebaute Dachmanschettendichtung

lich lauter waren und bei kalten Temperatu-
ren im Winter ganz verschwanden. Interes-
sant, aber vorerst nicht erklärbar, war auch
die Tatsache, dass an den Zylindern wenige
Tage nach Auftreten der Geräusche eine er-
hebliche äußere Leckage, wie im **Bild 3** ge-
zeigt, an der Kolbenstangenabdichtung zu
beobachten war.

Während eines ersten Serviceeinsatzes

5: Schwingungs- richtungen am Zylinder





6: Anordnung der Beschleunigungssensoren an Gelenklager (oben) und Zylinderkopf unten)

wurden die Dachmanschetten der Kolbenstangenabdichtung ausgebaut und durch neue Dachmanschetten gleicher Ausführung ersetzt. Die Überprüfung der Einbaumaße zeigte keine Abweichungen von den Konstruktionsdaten und stimmte mit den Fertigungs- und Montageberichten der Zy-

linder überein. Damit wäre die von einem hinzugezogenen Gutachter aufgestellte Annahme, dass die Dachmanschetten mit zu großer Vorspannung montiert wurden und dadurch Stick-Slip-Verhalten aufweisen, eigentlich wiederlegt gewesen. Vielmehr zeigten sich die ausgebauten Dachmanschetten in einem hervorragenden Zustand. Es waren weder Verschleiß noch mechanisch oder chemisch bedingte Schädigungen zu erkennen (Bild 4).

Bereits bei der Wiederinbetriebnahme zeigte sich, dass alle bisherigen Anstrengungen vergebens waren. Die Brummgeräusche waren unverändert vorhanden und die äußere Leckage sollte sich bereits nach wenigen Tagen wieder deutlich zeigen. Während des Serviceeinsatzes wurden auch Ölproben von der Hydraulikflüssigkeit Pannolin Synth HLP 15 aus den Hydraulikzylindern entnommen und im Labor untersucht. Das Ergebnis gab jedoch ebenso wenig einen Hinweis auf die Störungsursache wie eine weitere genaue Untersuchung der ausgebauten Dachmanschetten.

Diesem ersten Reparaturversuch folgte ein weiterer, ebenso ergebnisloser Versuch, bei dem Dachmanschetten mit größerer Vorspannung eingebaut wurden. Danach wurde der Fall von der Serviceabteilung zurück in die Projektteilung gegeben, welche die Zylinder konstruiert hatte.

Basierend auf den Meldungen der Servicetechniker wurde die Problematik in der Projekt- und Konstruktionsabteilung diskutiert und die Zylinderkonstruktion analysiert. Es wurden nicht nur keine Fehler festgestellt, auch das Ausbleiben von Ergebnissen bei den Serviceeinsätzen war untypisch und ließ vermuten, dass lediglich Symptome behandelt wurden, die Ursache aber bisher nicht ermittelt werden konnte. Dar-

aufhin wurde eine genaue Analyse der Betriebszustände beschlossen.

Betriebsanalyse des Brückenbauwerkes

In Vorbereitung der Untersuchungen vor Ort wurden zunächst einige theoretische Betrachtungen bezüglich des möglichen Schwingverhaltens der Zylinder angestellt. Während der Hubbewegung bleiben der Kolbenstange lediglich zwei Freiheitsgrade, jeweils einer in Hubrichtung und einer in Schwenkrichtung des Lagers am Kolbenstangenende (Bild 5).

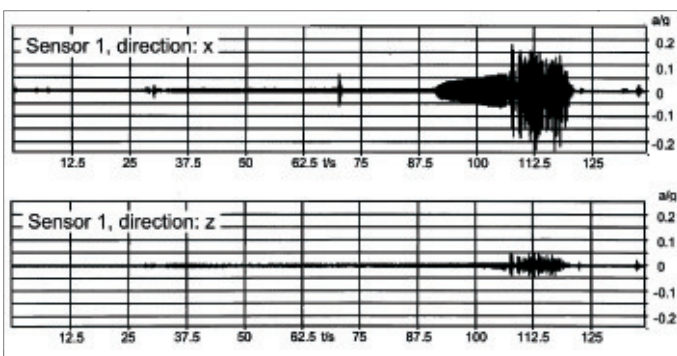
Eine überschlägige Abschätzung der möglichen Eigenfrequenz f_{el} der Kolbenstange bei Längsschwingungen (z-Achse) mit angekoppelter Brückenmasse zeigte, dass diese Schwingungen weit unterhalb der Frequenz liegen würden, die als ein Brummtönen wahrgenommen werden können. Wenn man davon ausging, dass der Zylinder spielfrei montiert wurde und Stange und Rohr in Längsrichtung hinreichend steif sind, dann können die Dicht- und Führungselemente, die ja nur in Längsrichtung bewegt werden, nicht für die Schwingungsanregung verantwortlich sein.

Bei dem zweiten Freiheitsgrad, der Schwenkbewegung um das Lager am Kolbenstangenauge (α -Winkel), wird um einen Winkel von etwa 80° geschwenkt. Eine Schwingungsanregung seitens des Lagers würde hier zu Biegeschwingungen des Zylinders (x-Achse) sowie der Kolbenstange führen. Bestimmend für die Eigenfrequenz f_{eB} sind die Biegesteifigkeit des Zylinderrohres mit ausgefahrenem Kolbenstangenende sowie die Eigenmasse des Hydraulikzylinders. Es zeigte sich, dass diese Eigenfrequenz f_{eB} durchaus im Bereich hörbarer Brummtöne liegen kann.

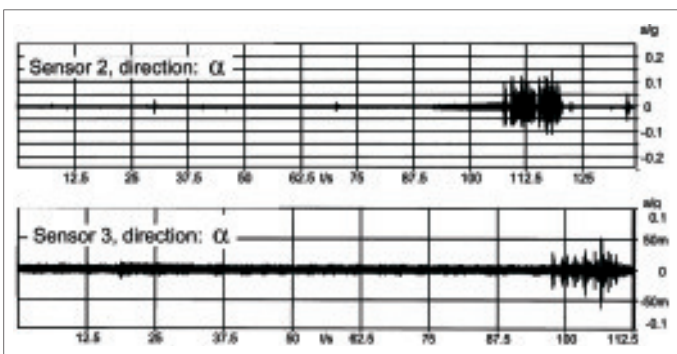
Eine hydraulische Anregung der Schwingungen, etwa durch die Pulsation der Pumpen, wurde auf Grund der großen Leitungslänge, den verwendeten Hydraulikschläuchen sowie der ebenfalls in Hubrichtung (z-Achse) liegenden Wirkrichtung der Schwingungen ausgeschlossen.

Während mehrerer Betriebszyklen wurden dann vor Ort alle zuvor analysierten Punkte genau untersucht. Die Symptome waren deutlich erkennbar als spürbare, höherfrequente Vibrationen am Zylinder, nicht lokalisierbare Geräusche, ausgestrahlt von der gesamten Stahlstruktur sowie Leckage an der Stangenabdeckung.

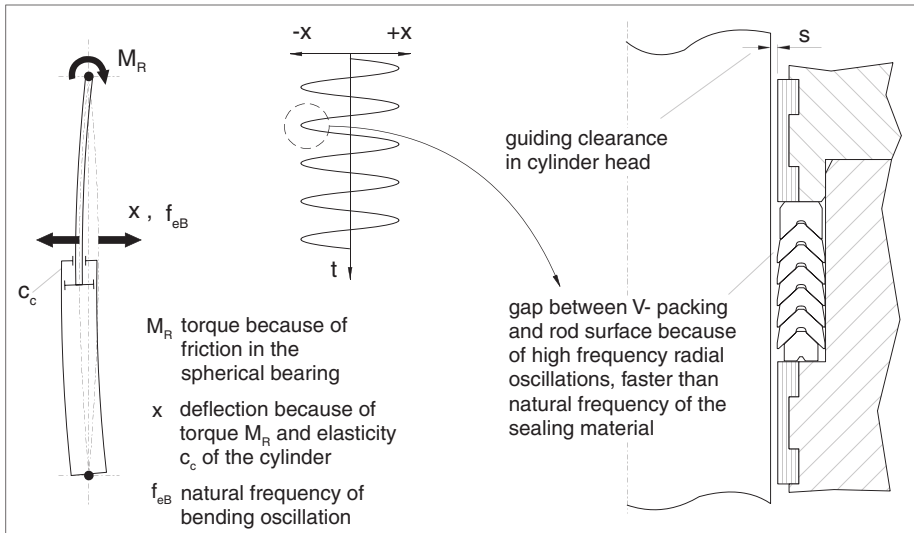
Die Erkenntnis kam in 3,5 m Höhe bei einer genauen Betrachtung des Zylinderkopfes während des Betriebes. Die Schwingungen, nämlich eindeutig Biegeschwingungen senkrecht zur Hubrichtung, waren hier viel deutlicher spürbar und sogar zu beobachten. Bezüglich der Schwingungsanregung kam nur das obere Gelenklager an der Kolbenstange in Frage. Basierend auf dieser Beobachtung wurde die Theorie von Biege-



7: Ergebnisse der Schwingungsmessung in x- und z-Richtung an Sensor 1

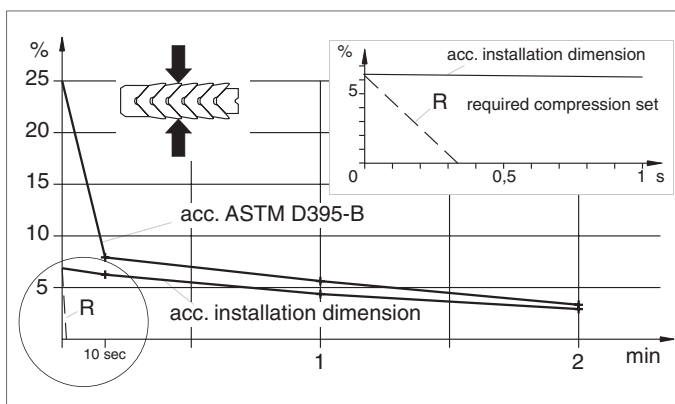


8: Ergebnisse der Schwingungsmessung in α -Richtung an Sensor 2 und 3



9: Biegeschwingung und radiale Verlagerung der Kolbenstange

10: Compression Set der Viton-Dachmanschette



schwingungen der Zylinder, verursacht durch Stick-Slip-Effekte in den wartungsfreien Gelenklagern, aufgestellt. Ein Haften des Lagers während der Schwenkbewegung führt dabei zu einer Durchbiegung des Hydraulikzylinders, die sich beim Losbrechen des Lagers dann wieder entspannt. Erweitert wurde die Theorie durch die Annahme, dass die Biegeschwingungen zu oszillatorischen, radialen Verlagerungen der Kolbenstangen im Führungsspiel der Zylinderköpfe führen. Da die Frequenz dieser radialen Schwingungen das Nachstellvermögen (Compression Set) der Dichtlippen aus Viton-Material übersteigt, entstehen Schwingspalte, welche zu der beobachteten Leakage führen.

Um die Theorie zu überprüfen, wurde die messtechnische Erfassung der Betriebszustände beschlossen und die Versuchsdurchführung dem Betreiber sowie dem Gutachter zur Genehmigung vorgelegt. Auch der Lagerhersteller konnte für die Durchführung der Feldversuche gewonnen werden.

Durchführung und Ergebnisse der Schwingungsversuche

Den möglichen Freiheitsgraden des Hydraulikzylinders entsprechend wurden Beschleunigungssensoren am Zylinderkopf, am Zylinderboden sowie am Gelenklager der Kolbenstange befestigt, um die Schwin-

gungen zu messen. Für die Erfassung der Messwerte wurde jede Brückenklappe mit den normalen Betriebsparametern gefahren. Die Bilder 5 und 6 zeigen die Anordnung der Beschleunigungssensoren an den Hydraulikzylindern.

Die Messergebnisse bestätigten eindeutig die Theorie über Biegeschwingungen der Zylinder, die durch Stick-Slip-Effekte in den wartungsfreien Gelenklagern verursacht werden. Während in der Biegeebene x des Zylinders (Sensor 1) sowie in der Drehrichtung α um das Gelenklager des Kolbenstangenauges (Sensor 2) deutliche Schwingungen gemessen wurden, waren in der Bewegungsrichtung der Kolbenstange, und damit in Wirkrichtung möglicher Stick-Slip-Effekte der Zylinderdichtungen, keine Schwingungen messbar (**Bild 7 und 8**, INA Schaeffler KG). Einen Hinweis auf die Größe der Reibkraft in dem oberen Gelenklager lieferte Sensor 3, der an dem Lagerzapfen für das obere Gelenklager angebracht war. Obwohl dieser massiv ausgeführte Lagerzapfen mit ca. 220 mm Durchmesser sehr torsionssteif ist, konnten auch hier Schwingungen in α -Richtung gemessen werden.

Die Erklärung der äußeren Leakage an der Kolbenstangendichtung des Hydraulikzylinders basiert auf der Annahme, dass die Abstützung der Kolbenstange in den Führungselementen des Zylinderkopfes bei je-

dem Nulldurchgang der Biegeschwingung von einer Seite zur gegenüberliegenden Seite wechselt (**Bild 9**). Dabei findet eine radiale Verlagerung der Kolbenstange im Zylinderkopf in der Größenordnung des Führungsspiels statt. Um die Dichtungsverspannung aufrecht zu erhalten und die Kolbenstange zuverlässig abzudichten, müssen die Dichtlippen der Dachmanschette in der Lage sein, der radialen Bewegung mit der Frequenz der Biegeschwingung zu folgen. Andernfalls werden bei jeder vollen Biegeschwingung kurzzeitig Spalte, beiderseits zwischen Dichtung und Kolbenstange, entstehen.

Um das Rückstellvermögen der Dichtung, den Compression Set, zu überprüfen wurde der Einfachheit halber zunächst eine statische Versuchsanordnung, ähnlich ASTM D395-B jedoch bei Raumtemperatur, gewählt. Das Dachmanschettensatzpaket wurde dabei über zwei Stunden um 25 % (ASTM D395-B) sowie zum Vergleich um 7 % (entspricht Einbaumaß von 15 mm Höhe) radial verpresst. Nach Entlastung des Dachmanschettensatzes wurde unmittelbar danach und dann über einen Zeitraum von mehreren Minuten die Rückstellung gemessen. Das Ergebnis ist in **Bild 10** dargestellt und macht deutlich, dass das eingesetzte Viton-Material nur über ein sehr langsames und begrenztes Rückstellvermögen verfügt. Der Anstieg „R“ im Diagramm bezeichnet das erforderliche Rückstellvermögen, das nötig wäre, um die

Dichtlippe bei der gemessenen Biegeschwingfrequenz von ca. 8 Hz und einem Führungsspiel von $s = 0,2$ mm gerade noch an der Kolbenstange anliegen zu lassen.

Maßnahmen zur Störungsbeseitigung

Nachdem die Ursache der Geräusche sowie der Leckage eindeutig identifiziert war, konnte gezielt dagegen vorgegangen werden. In Zusammenarbeit mit dem Lagerhersteller wurden Maßnahmen erarbeitet um die Reibung zwischen dem Lagerinnenring und der wartungsfreien Gleitschicht zu reduzieren. Dazu wurde eine Teflon basierte Schmieremulsion, welche die geplante Lebensdauer der Lager von 30 Jahren nicht beeinträchtigen soll, von außen in das Lagergehäuse gepresst. Der Erfolg stellte sich sofort bei der ersten Anwendung ein; die Brummgeräusche sowie die spürbaren Schwingungen verschwanden augenblicklich. Zeitgleich mit der Lagerschmierung wurden auch noch einmal die Dachmanschettensätze getauscht und mit der projektierten Vorspannung versehen. Die Kolbenstangenabdichtung erwies sich seitdem auch über einen längeren Zeitraum als dicht. Es bleibt jedoch abzuwarten, ob die monatelang aufgetretenen Biegeschwingungen, die ein wechselseitiges Anschlagen der Kolbenstange an die Führungsbänder zur Folge hatten, das Führungsspiel nicht vergrößert

haben. Eine derart verschlechterte Führung und Zentrierung der Kolbenstange könnte langfristig kürzere Dichtungswechselintervalle erforderlich machen.

Weitere Informationen erteilt:
Walter Hunger KG
Hydraulikzylinderwerk
Rodenbacher Str. 50
97816 Lohr am Main
Telefon: 09352-501-0
Telefax: 09352-501-106
E-Mail: info@hunger-hydraulik.de
Internet: www.hunger-hydraulik.de

INFO 15th ISC

Die 15th ISC – Internationale Dichtungstagung Stuttgart 2008 findet am 7./8. Oktober 2008 an der Universität Stuttgart statt.

Weitere Informationen:
www.sealing-conference.com oder bei ralf.stemmjack@vdma.org
Der vollständige Tagungsband der 14th ISC mit CD-ROM kann zum Preis von Euro 140,- unter ralf.stemmjack@vdma.org bezogen werden.

BESUCHEN SIE UNS!



SENSOR + TEST 2007
DIE MESSTECHNIK-MESSE

22.-25. Mai 2007
Halle 8
(Aktionshalle)

Vereinigte Fachverlage GmbH