

Prof. Dr.-Ing. B. Stoffel
Fachgebiet Turbomaschinen
und Fluidantriebstechnik
Fachbereich 16 · Maschinenbau

Magdalenenstraße 4
64289 Darmstadt
Telefon (0 61 51) 16 - 21 53
Telefax (0 61 51) 16 - 24 53
e-mail: stoffel@tfa.tu-darmstadt.de



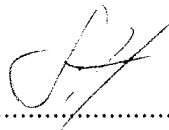
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Technische Stellungnahme

**zur Eignung der Klappe HYDROMAT DN 1200
für den Einsatz in dem Hochwasserrückhaltebecken Benhausen
des Wasserverbands Obere Lippe**

erstellt von
Prof. Dr.-Ing. Bernd Stoffel
Leiter des Fachgebiets Turbomaschinen und Fluidantriebstechnik
der Technischen Universität Darmstadt

Darmstadt, 01.07.2006



.....
Prof. Dr.-Ing. B. Stoffel

Der Verfasser der Stellungnahme

Der Verfasser dieser Stellungnahme vertritt in Forschung und Lehre das Gebiet der Maschinen, Komponenten und Anlagen für Flüssigkeiten und Gase. Im Rahmen seiner Vorlesungen, insbesondere der Vorlesungen "Planung von Pumpenanlagen" und "Kavitation" werden auch die besonderen Aspekte der Funktion sowie des Betriebs- und Kavitationsverhaltens von Rohrleitungs-Armaturen behandelt. Im Rahmen von Forschungsvorgaben, z.B. in dem derzeit laufenden Vorhaben "Untersuchungen zur Eignung von CFD als Entwicklungswerkzeug für Industriearmaturen", wurden und werden auch experimentelle Untersuchungen zum Betriebs-, Kavitations- und Geräuschverhalten verschiedener Armaturen-Bauarten, u.a. von Klappen, durchgeführt.

Aufgabenstellung

Das Ingenieurbüro Winkler und Partner GmbH, Stuttgart, fragte schriftlich bei dem Verfasser an, ob in einer kurzfristig zu erstellenden Expertise die Eignung einer Klappe mit dem Produktnamen Hydromat für das in Bau befindliche Hochwasserrückhaltebecken Benhausen beurteilt werden könne. Dazu wurde eine Zeichnung beigelegt, die einen Längsschnitt durch die betreffende Anlage zeigt. In Telefongesprächen des Verfassers mit Herrn Winkler vom Ingenieurbüro Winkler und Partner sowie mit Herrn Hüsemann vom Wasserverband Obere Lippe wurden weitere Einzelheiten der Aufgabenstellung, der aktuelle Stand und die mögliche Vorgehensweise in Anbetracht der Terminalsituation geklärt. Dabei erfuhr der Verfasser, dass im Rahmen der Ausschreibung für das Hauptverschlussorgan sowie ein im Bypass angeordnetes zusätzliches Verschlussorgan kleinerer Nennweite u.a. auch ein Angebot der Fa. Hydromaten KG (Träger + Entenmann) für deren Produkte mit der Produktbezeichnung Hydromat einging. Mit diesem Produkt besteht weder bei dem Ingenieurbüro noch bei dem Wasserverband Obere Lippe bisher eine eigene Betriebserfahrung. Die Besonderheiten der Klappen mit dem Produktnamen Hydromat (und deren Unterschiede zu Klappen von Wettbewerbern) bestehen insbesondere in dem zentrisch gelagerten Klappenkörper und dem Dichtsystem. Eine Entscheidung über die Beschaffung der Klappen für das Rückhaltebecken Benhausen steht unmittelbar bevor. Weit reichende Änderungen an dem Bauwerk sind nicht mehr möglich, jedoch erfordert die Festlegung der zu installierenden Klappen dementsprechende unterschiedliche Betonierungsarbeiten im Klappenbereich. Herr Hüsemann veranlasste eine Unterbrechung der den Bereich der Klappe betreffenden Betonierungsarbeiten, bis das Ergebnis der vorliegenden Stellungnahme vorliegt. Wegen der kurzen Zeit zwischen der Anfrage um eine Expertise, der Klärung der Aufgabenstellung und dem für die Bestellentscheidung letztmöglichen Termin sowie einer schon vorher festgelegten mehrtätigen Auslandsreise und verschiedenen anderen Verpflichtungen des Verfassers wurde vereinbart, dass der Verfasser nach einem Besuch und Fachgespräch bei der Fa. Hydromaten KG in Heidelberg und unter Heranziehung einschlägiger Fachliteratur bis zum Ende der 26. KW eine kurze technische Stellungnahme als Entscheidungshilfe erstellt, die sich in Anbetracht der Terminalsituation nur auf die Eignung der Klappe Hydromat mit ihren konstruktiven Besonderheiten in der im Übrigen in allen baulichen und betriebstechnischen Merkmalen bereits festgelegten Anlage bezieht.

Vorgehensweise

In Ergänzung zu den schriftlich und telefonisch bereits erhaltenen Informationen bat der Verfasser um auszugsweise Zusendung der Ausschreibungsunterlagen für die Klappen, die ihm am 19.06.2006 von dem Ingenieurbüro Winkler und Partner per Fax übermittelt wurden.

Unmittelbar im Anschluss an seine Auslandsdienstreise führte der Verfasser am 26.06.2006 einen Besuch und ein ausführliches Fachgespräch bei der Fa. Hydromat KG mit den Herren Schambach und Entenmann durch. Dabei bestand auch die Möglichkeit zur Besichtigung einer Klappe DN 1200 vergleichbarer Ausführung und des Teilelagers. Im Rahmen des Fachgesprächs wurden auch die besonderen Betriebsbedingungen in Rückhaltebecken, die Betriebserfahrungen und Referenzen des Klappen

herstellers in anderen Einsatzgebieten, insbesondere in Talsperren, die konstruktiven Details der Hydromat-Klappen und ein Vergleich der zentrisch bzw. exzentrisch gelagerten Klappenbauarten diskutiert. Weiter bezog der Verfasser in seine Stellungnahme eine Auswertung verschiedener relevanter Literaturquellen [1]-[4] ein.

Grundlagen und Kriterien für eine Beurteilung

Die Haupt- und ggf. Nebenverschlussorgane in Regen- und Hochwasserrückhaltebecken unterliegen besonderen *Betriebsbedingungen und Anforderungen*, die sich von denen in anderen Anwendungsgebieten, z.B. Wasserkraftanlagen, unterscheiden. So stehen die Anlagen und die Armaturen über längere Betriebszeiten trocken. Nach der Füllung und bei der Entleerung der Becken gelangen mitgeführte Feststoffbestandteile (von feinkörnig bis grob), soweit sie nicht von den vorgeschalteten Vorrichtungen (Rechen, Siebe) zurückgehalten werden, in den Bereich der Armaturen und deren Dichtungen. Die besonderen Betriebsbedingungen können weiterhin zur Bildung von Inkrustierungen auf den flüssigkeitsberührten Oberflächen der Armaturen führen. Die Armaturen dienen nicht nur als Absperrorgane, sondern werden auch als Regelarmaturen zur kontrollierten Steuerung des Becken-Abflusses verwendet, d.h. in unterschiedlichen Klappenstellungen zwischen "geschlossen" und "ganz geöffnet" betrieben.

Die grundsätzliche Eignung von Klappen für den Einsatz in Rückhaltebecken sowie deren Vorteile (u.a. geringerer Bauraum, geringere Kosten) und Nachteile (stärkere Kavitationsneigung, Geräuschentwicklung und Schwingungsanregung) im Vergleich zu anderen Armaturenbauarten wurde schon in der Literatur (z.B. [2], [3]) gewürdigt und steht hier aufgrund der bereits getroffenen Festlegungen nicht in Frage.

Die Beurteilung kann sich daher nur auf die unterschiedlichen zur Ausführung gelangenden Klappenbauarten, deren konstruktive Besonderheiten sowie deren Eignung für die besonderen Einsatzbedingungen in Rückhaltebecken beziehen. Die Unterschiede erstrecken sich dabei zunächst auf die Anordnung der Klappendrehachse im Gehäuse (zentrisch, exzentrisch, doppelexzentrisch, mit Lenkhebelertrieb), in Verbindung damit auf die Ausführung und Wirkung der Dichtung (Elastomer, metallisch, an der Klappenscheibe oder im Gehäuse) sowie der Lagerung (geteilte oder durchgehende Welle). Wesentliche aus der Bauart und Konstruktion resultierende Merkmale sind

- der Durchflussbeiwert (K_V bzw. ζ) und dessen Abhängigkeit vom Klappenwinkel,
- das Klappen-Drehmoment und dessen Abhängigkeit vom Klappenwinkel,
- die Kavitationsgrenzen in Abhängigkeit von Vor- und Gegendruck (X_f bzw. σ) und dessen Abhängigkeit vom Klappenwinkel,
- die Schwingungsanregung und Geräuscherzeugung,
- Möglichkeit und wahrscheinliche Orte von Werkstoffschäden durch Kavitationserosion,
- Verhalten der Dichtungselemente bei eingedrungenen Feststoffen,
- innere Strömungsführung und damit verbundene Auswirkungen auf die Bildung von Inkrustierungen.

Relevante Merkmale der Hydromat-Klappen und Beurteilung ihrer Eignung für das Rückhaltebecken Benhausen

Bei den Klappen mit der Bezeichnung Hydromat handelt es sich um *zentrisch gelagerte* Klappen. Dies hat zur Folge, dass die Innenkontur des Klappengehäuses - anders als bei exzentrischer Lagerung - keine Querschnittseinschnürung (zur Ausbildung eines Dichtsitzes) aufweist. Der damit verbundene

geringere Durchflusswiderstand bei geöffneter Klappe ist im vorliegenden Fall weniger relevant als die *Vermeidung von Strömungsverwirbelungen und -ablösungen* hinter einer Querschnittseinschnürung, die, wenn sie wie bei exzentrischen Klappen vorhanden sind, verstärkt zu Ablagerungen und Inkrustierungen beitragen können. Die Querschnittsversperrung durch die Klappenscheibe und damit der Durchflussbeiwert in Abhängigkeit vom Klappenwinkel zeigt bei zentrischer Lagerung aus geometrischen Gründen einen *gleichförmigeren Verlauf* als bei exzentrischer Lagerung, die bei kleinen Öffnungswinkeln zu einer schnelleren Zunahme des Öffnungsquerschnitts führt. Ein wichtiges Merkmal der zentrischen Lagerung ist auch das bei allen Klappenwinkeln in *Schließrichtung wirkende hydraulische Moment* an der Klappenwelle (vgl. [1], [3]). Dadurch kann es nicht beim Durchgang durch einen Klappenwinkel mit Momentenumkehr zum Klappen bzw. zu einer erhöhten dynamischer Belastung der Welle/Klappenscheibe-Verbindung und der Lager kommen. Ein Spindelgetriebe zur Klappenverstellung (wie im vorliegenden Falle vorhanden) sichert die erforderliche Selbsthemmung des Klappenantriebs. Die zentrische Lagerung ermöglicht (anders als die exzentrische) eine *durchgehende Welle*, die zu einer erhöhten mechanischen Steifigkeit und Robustheit gegenüber einer Schwingungsanregung an der Klappenscheibe führt. Dieses Konstruktionsmerkmal weist auch die Hydromat-Klappe auf, bei der eine durchgehende Welle aus Edelstahl, die nicht direkt der Flüssigkeit ausgesetzt ist, die Klappenscheibe trägt. Die Verbindung Klappenscheibe/Welle erfolgt bei der Hydromat-Klappe formschlüssig mit Passfedern, was nach [3] im Hinblick auf die statischen und dynamischen Belastungen bei dem stets gleichsinnig wirkenden statischen Drehmoment einer zentrisch gelagerten Klappe unproblematisch ist.

Hinsichtlich der *Kavitationsneigung* besteht kein prinzipieller Unterschied einer zentrisch gelagerten gegenüber einer exzentrisch gelagerten Klappe. Hier bestimmen im Wesentlichen die Einbau- und Betriebsbedingungen (Zulaufdruck, Gegendruck, Klappenwinkel) das Auftreten und die Intensität von Kavitation. Im vorliegenden Fall besteht nach der dem Verfasser überlassenen Längsschnitt-Zeichnung bei bis zum Stauziel gefülltem Rückhaltebecken eine geodätische Zulaufhöhe von mehr als 9 m. Auch besteht offenbar ein (aus der Längsschnitt-Zeichnung und den Angaben nicht näher ermittelbarer) Einstau-Gegendruck, da sich noch eine Leitung zum UW anschließt, was sich nach [2] günstig auf das Kavitationsverhalten auswirkt. Nach Bild 6.22 in [1] sowie nach eigenen Untersuchungen an einer Modellklappe vergleichbarer Ausführung am Institut des Verfassers kann man folgern, dass unter den im vorliegenden Fall gegebenen Druckbedingungen bei sehr geringer Klappenöffnung nur schwache oder keine Kavitation eintritt, dagegen bei großen Öffnungswinkeln (90° = ganz geöffnet) eine Kavitation mit deutlichem Schädigungspotenzial auf der Klappenscheibe oder an der Gehäuse- bzw. Rohrwand auftreten kann. So wird in [1] auf S. 91 auch empfohlen, die Klappen bei auftretender Kavitation "nicht langfristig" in diesem Zustand zu betreiben, um Schäden an der Klappe oder an der nachfolgenden Rohrleitungs-Innenwand zu vermeiden. Dies hängt mit dem Ort der Blasenimplosionen bei der jeweiligen Kavitationsart und -zone zusammen. Günstig wirkt sich dabei, wie auch in der Literatur vermerkt, eine unmittelbar stromab an die Klappe anschließende Rohrleitungserweiterung aus, wie sie auch im vorliegenden Falle (von DN 1200 auf DN 1400) ausgeführt ist.

Ein wesentliches Merkmal aller Klappen ist das *Dichtungssystem*, das bei geschlossener Klappe für die Abdichtung zwischen Hochdruck- und Niederdruckseite der Klappe sorgt. Hier liegt eine Besonderheit der Hydromat-Klappen in der Ausführung der mit der Klappenscheibe fest verbundenen Weichdichtung aus Elastomer-Material, die gegen die metallische Gegenfläche des Gehäuses dichtet. Diese unterscheidet sich von dem Dichtsystem exzentrisch gelagerter Klappen verschiedener Wettbewerber durch folgende Merkmale:

Bei der Hydromat-Klappe ist ein relativ breites Elastomer-Dichtelement in einer Nut der Klappenscheibe angeordnet und mit dieser durch Vulkanisierung fest verbunden. Das Dichtelement ist somit, anders als bei den Dichtsystemen typischer exzentrisch gelagerter Klappen, im Falle einer Beschädigung nicht einzeln auswechselbar, vielmehr muss dann die gesamte Klappenscheibe ausge-

wechselt werden. Andererseits ergibt sich bei der Dichtung der Hydromat-Klappen beim Schließen beim ersten Kontakt zwischen Elastomerelement und Gehäuse aufgrund der Formgebung dieses Elements und der Gehäuseform bereits eine Flächenberührung. Durch weitere Betätigung des Klappenantriebs über diesen Klappenwinkel, bei dem der erste Kontakt stattfindet, hinaus wird eine zunehmende Anpresskraft zwischen Dichtelement und Gehäuse erzeugt, die sich in einer Zunahme des erforderlichen Antriebs-Drehmoments äußert, wobei das Dichtelement nicht geschert, sondern nur auf Druck beansprucht wird. Es handelt sich um eine kraftschlüssige Dichtfunktion, wobei im Falle der Hydromat-Klappen eine mehrfache Absicherung gegen Überbeanspruchung des Dichtkontakts oder des motorischen Antriebs durch eine Drehmomentenbegrenzung erfolgt. Das bei den Hydromat-Klappen ausgeführte Dichtsyste ermöglicht, ähnlich wie bei anderen weichdichtenden Armaturen oder bei Exzentrerschneckenpumpen, eine vorübergehende Aufnahme körniger und harter Feststoffe (z.B. Sand- und Kieskörner) durch elastische Einbettung im Dichtelement und deren Freigabe beim Lösen der Anpressung, ohne dass dabei das Dichtelement beschädigt wird. Große und weniger harte mitgeführte Feststoffe, z.B. Äste, die beim Schließen zwischen Dichtelement und Gegenfläche eingeklemmt werden, können dagegen bei zunehmender Anpresskraft abgeschert werden, ohne das Dichtelement zu beschädigen. Damit erklären sich auch die nach Herstellerangaben sehr hohen Standzeiten des Hydromat-Dichtsyste. Ein prinzipieller betrieblicher Nachteil des Dichtsyste der Hydromat-Klappen gegenüber den Dichtsyste exzentrisch gelagerter Klappen anderer Hersteller kann daher vom Verfasser nicht gesehen werden.

Referenzen des Herstellers

Der Hersteller der Hydromat-Klappen kann auf eine umfangreiche Referenzliste mit Einsätzen seiner Produkte in Anlagen von überregionalen Energie- und Wasserversorgern sowie von Chemieunternehmen (mit jeweils mehreren Hunderten Hydromat-Klappen) und auf eine dreistellige Kundenzahl im Bereich der kommunalen Wasserversorgung verweisen. Beispielfhaft sind bei den Stadtwerken Heidelberg Hydromat-Klappen seit den 50er Jahren im Einsatz. Ein Einsatz als Abschlussorgan in Rückhaltebecken konnte zwar nach einer Information des Herstellers aufgrund seiner Recherche in dessen Archiv bisher nicht gefunden werden. Jedoch liegen positive Betriebserfahrungen mit mehreren Einsätzen in Talsperren über Betriebszeiten von 30 bis 40 Jahren ohne erforderliche Reparatur- oder Austauscharbeiten vor, wobei die Betriebsbedingungen für Auslaufarmaturen von Talsperren denen von Rückhaltebecken in mancher Hinsicht nahe kommen.

Zusammenfassende Beurteilung

Auf der Basis

- der allgemeinen technischen Grundlagen, des Standes der Technik, der Heranziehung relevanter Literatur sowie der Erfahrungen und Kenntnisse des Verfassers auf dem Gebiet der Rohrleitungsarmaturen, insbesondere der Klappen für Absperr- und Drosselaufgaben,
- der dem Verfasser zur Verfügung stehenden Informationen über die konstruktive Ausführung der Klappen mit der Bezeichnung Hydromat und die besonderen Einsatzbedingungen in dem im Bau befindlichen Hochwasserrückhaltebecken Benhausen

sieht der Verfasser keine technischen Aspekte oder Argumente, die gegen einen Einsatz der Hydromat-Klappen in dem Hochwasserrückhaltebecken Benhausen sprechen.

Literatur:

- [1] K.-J. Peschges: "Experimentelle Untersuchungen zum Kavitations- und Betriebsverhalten einer linsenförmigen Drosselklappe", Dissertation am Fachgebiet Hydraulische Maschinen und Anlagen der TH Darmstadt, 1978

- [2] R. Dorn: "Experimentelle Untersuchungen zum betriebs- und Kavitationsverhalten einer exzentrischen Grundablass-Drosselklappe unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der stromabwärtigen Rohrlänge", Dissertation am Fachgebiet Hydraulische Maschinen und Anlagen der TH Darmstadt, 1984
- [3] H. J. Kecke, P. Kleinschmidt: "Industrie-Rohrleitungsarmaturen", Buch erschienen im VDI-Verlag, 1994
- [4] Technische Unterlagen zu dem Produktprogramm HYDROMAT der Hydromaten KG, Heidelberg