

## **Binnenwasserstraßen - Entwurf, Bau, Betrieb und Unterhaltung (1.2)**

### **Hydraulische Kompaktantriebe für plug-and-drive- Technologie**

**Dipl.-Ing. Rolf Kühlewind**

Fachstelle Maschinenwesen Süd, Nürnberg

#### **Einführung**

Rechtzeitig mit dem Start ins nächste Jahrtausend wurde an der Schiffsschleuse Himmelstadt ein neues Tor- und Schützenantriebskonzept in serienfertiger Bauweise vorgestellt, das grundsätzliche Ideen zur Optimierung von Hydrauliksystemen in sich vereint. So wurde nicht nur in der Anlagensystematik und -struktur größter Wert auf innovative Konzepte gelegt, sondern auch die Einfachheit und Robustheit unter Verzicht auf sonst übliche „nice-to-have“-Komponenten stand im Mittelpunkt der Ausführungen.

Es wurde im Auftrag und Zusammenarbeit der Fachstelle Maschinenwesen Süd in Nürnberg, einer Unterbehörde der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, von der Firma Lingk & Sturzebecher aus Stuhl bei Bremen ein Kompaktantrieb in plug-and-drive-Technologie entwickelt, der sich neben seiner Überflutungssicherheit vor allem durch kompakte Bauweise, flexible Einsetzbarkeit und hohe Wartungsfreundlichkeit auszeichnet.

#### **1. Grundsatzideen und Leistungsanforderungen**

Anlass für die Neugestaltung bereits bestehender Antriebskonzepte bilden die Grundinstandsetzungsarbeiten von Schleusen, wobei möglichst geringe Eingriffe durch Hoch- und Tiefbau erfolgen sollen. Bislang werden hierbei zwei Antriebsarten eingesetzt:

- elektromechanische Antriebe
- elektrohydraulische Antriebe

Bei den elektromechanischen Antrieben wird die Antriebskraft in der Regel für die Stemmtor-Zylinder von einem Motor über mehrere Getriebestufen auf ein Drehsegment mit nachfolgender Torschubstange übertragen. Die Umlaufverschlüsse (ULV) zum Befüllen und Entleeren der Schleusenammer werden mit Hilfe von Gall'schen Ketten betätigt. Ein besonderes Problem bei diesen z.T. aus den 30er Jahren stammenden Anlagen bereitet vor allem die Schmierung der offenliegenden Getriebelager und Zahnräder, denn durch Schwallwasser und Überflutung werden die eingesetzten Schmierstoffe in das Flusswasser eingetragen und verursachen damit eine nach heutigen Richtlinien unzulässig hohe Belastung der Wasserstraße. Darüber hinaus ist keine ausreichende Verfügbarkeit von Ersatzteilen, wie etwa der Zahnräder, mehr gewährleistet.

Schon ab den sechziger Jahren wurde Tor- und ULV-Antriebe elektrohydraulisch ausgeführt, die auch zum Teil heute schon zur Erneuerung anstehen. Die bislang eingesetzten Antriebseinheiten bestehen in der Regel aus den Zylindern und einem Zentralaggregat. Diese Aggregate werden in speziellen Antriebshäusern hoch-

wassersicher installiert, da eine Überflutung zum Ausfall der Anlagen führen würde. Dies führt zu hohen Investitionen bei Umbau- und Neubauarbeiten und darüber hinaus zu zeit- und kostenintensiven Instandhaltungsmaßnahmen, die vor Ort – oftmals nur mit erheblichem Aufwand – durchgeführt werden müssen. Zusätzlicher Zeitaufwand entsteht durch die Rücksichtnahme auf den laufenden Schleusenbetrieb. Schlimmstenfalls sind sogar die Einstellung des Schleusenbetriebs und die zeitweilige Sperrung der Schifffahrt notwendig.

Aus diesen Gesichtspunkten standen bei den Überlegungen zu einem zeitgemäßen Antriebskonzept vor allem die Aspekte Betriebssicherheit, Standardisierung der Antriebskomponenten und der mögliche Verzicht auf eine Aufstellung der Aggregate in Antriebshäusern im Vordergrund. Für die bestmögliche Wirtschaftlichkeit der Anlage, sollte ein möglichst wartungsarmer und einfacher Antrieb konzipiert werden, der als zusammenhängende Einheit überflutungssicher und umweltfreundlich eingesetzt werden kann. Darüber hinaus soll die Konstruktion so universell ausgeführt sein, dass ein Einsatz in der gesamten hydraulischen Antriebstechnik möglich ist. Nachfolgende Anforderungen wurden deshalb der Neukonzeptionierung zugrunde gelegt:

- Hinsichtlich Betriebssicherheit und Lebensdauer wird ein einfacher und robuster Aufbau angestrebt, was den Verzicht auf empfindliche Komponenten und anfällige Steuerungskonzepte bedeutet.
- Der Antrieb soll weitgehend aus genormten Bauteilen aufgebaut sein. Die verwendeten Komponenten müssen absolut wartungsarm sein und wirtschaftlich unterhalten werden können.
- Anstelle einer zentralen Hydraulikversorgung, die mehrere Antriebe aus einem gemeinsamen Tank bedient, sollen getrennte, voneinander unabhängig arbeitende und gegenseitig austauschbare Hydraulikaggregate, mit denen jeweils nur ein Zylinder betrieben wird, eingesetzt werden. Dieses trägt zu einer erheblichen Erhöhung der Anlagenübersichtlichkeit und somit neben einer deutlichen Senkung der Wartungskosten zu einer vereinfachten Suche allfälliger Fehler und deren Behebung bei.
- Ein modularer Aufbau soll einen unkomplizierten Wechsel von defekten Komponenten und eine Wartung in betriebseigenen Werkstätten mit Zugriff auf bereitstehende Werkzeuge, Vorrichtungen und Ersatzteillager anstelle von „Vor-Ort-Reparaturen“ ermöglichen.
- Die einfache Montage und Demontage der einzelnen Module, die Möglichkeit zum schnellen Wechsel des kompletten Antriebs sowie der Anschluss eines Notaggregats mit nur wenigen Handgriffen sollen einen unbeeinträchtigten Schleusenbetrieb auch im Notfall gewährleisten.
- Der Antrieb soll mit allen Modulen gegenüber Wasser gekapselt ausgeführt werden, so dass er ggf. auch in Bereichen, die überflutet werden können (Schwallwasserbereich, Einbau unter Planie), ohne Einschränkungen betriebs- und umweltsicher einsetzbar ist. Spezielle Hochbauten zur Aufnahme von Antriebskomponenten werden somit überflüssig.

- Zur Fernsteuerung der Antriebe sollen diese mit einem internen Wegmeßsystem ausgerüstet werden, das auch nach einer Versorgungsunterbrechung die exakte Position der Kolbenstange des Zylinders ohne Referenzfahrt angibt.

Während der Grundinstandsetzung der Schleuse Himmelstadt wurden insgesamt acht identische Kompaktaggregate und jeweils vier Stemmtor- und ULV-Zylinder installiert. Zum weiteren Lieferumfang gehörten u.a. zwei Notaggregate und ein Service-Board. Die technischen Daten der Antriebe sind in Abschnitt 8 zusammengefasst.

## 2. Die Hydraulikkompakteinheit

Um die Verfahrgeschwindigkeiten der Zylinder an die jeweiligen Betriebsvorgaben anzupassen, werden die Kompaktaggregate von Frequenzumrichtern gespeist. Daher kann auf robuste Konstantpumpen- und Schwalventiltechnik für die Kompaktaggregate zurückgegriffen werden. Neben der Positionserfassung der Kolbenstange werden zur Fernsteuerung weitere Antriebsparameter wie Arbeitsdruck, Öltemperatur, Ölstand und Filterverschmutzung überwacht, so dass sich allfällige Störungen bereits im Vorfeld vom Anlagenbetreiber erkennen und leicht beheben lassen.

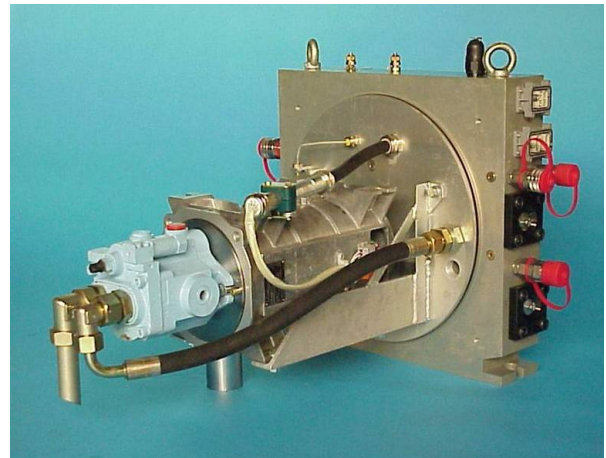


**Bild 1:** Hydraulikkompakteinheit

Die Verrohrung, die aufgrund der baulichen Nähe von Aggregat und Zylinder sehr kurz ausfallen kann, sowie die Verkabelung der Kompaktantriebe ist mit hydraulischen Schnellverschlusskupplungen und Steckkontakten der Schutzart IP68 (überflutungssicher) ausgeführt. Dieses erlaubt ein sauberes und zudem extrem schnelles und unkompliziertes Austauschen der auf Rollwagen gelagerten Aggregate. Während der Inbetriebnahme wurden hier selbst mit ungeübtem Personal Austauschzeiten von weit unter 10 Minuten erreicht! Um den hohen Umweltauforderungen des Verkehrswasserbaus zu genügen, wird das Aggregat mit synthetischem Ester (Wassergefährdungsklasse 0) betrieben.

Die Hydraulikkompakteinheit besteht aus einem Antriebsmodul, einem Ventilmodul sowie einem verbindenden Zentralmodul.

Das Antriebsmodul dient als Vorratstank für das Hydrauliköl sowie als Antriebseinheit. In dem Antriebsmodul ist eine Pumpenkombination, bestehend aus Axialkolbenpumpe und angeflanschem Unteröl-Elektromotor untergebracht. Vom Motor und der Pumpe muss lediglich das Kolbenstangenvolumen befördert werden, so dass bei Zylindereinfahrt das im Behälter vorhandene Luftvolumen, bedingt durch das zurückfließende Kolbenstangenvolumen, verdichtet wird. Das Antriebsmodul arbeitet wartungsfrei. Der Fluidstand wird automatisch kontrolliert. Das Antriebsmodul (Rundbehälter) ist druckdicht an einem Zentralmodul angebracht.



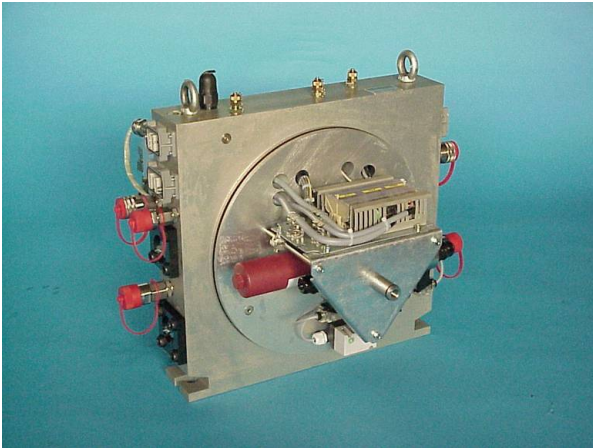
**Bild 2:** Zentralmodul mit Antriebsmodul

Gleichzeitig dient das Zentralmodul als Ankereinheit für Elektromotor und Pumpe sowie für alle Anbauteile auf der Ventilmodulseite. Ebenso ist das Zentralmodul Aufnahmeinheit für alle elektrischen Leitungen und Stecker, alle hydraulischen Leistungs-, Kontroll- und Notbetriebsanschlüsse und alle Steuerungsventile. Durch diese Anordnung entfällt jegliche Verrohrung, da alle hydraulischen Verbindungen durch Bohrungen im Zentralmodul dargestellt werden.

Das Ventilmodul, ebenfalls als Rundbehälter ausgeführt und an der Gegenseite des Zentralmoduls montiert, ist ölfrei und besteht aus:

- Druckfilter mit Verschmutzungskontrolle
- Wegeventil des Arbeitszylinders
- Temperaturbegrenzungsschalter

Grundsätzlich ist der Innenraum des Ventilmoduls so konzipiert, dass ein komplettes Steuermodul zur Ein- und Ausgabe von Steuerungs- und Stellgrößen untergebracht werden kann, so dass auf zusätzliche Steuerkästen außerhalb des Antriebes verzichtet werden könnte. Bei der Ausführung im Projekt „Himmelstadt“ wurden jedoch diese elektrischen Komponenten aus Wartungsgründen bewusst außerhalb angeordnet.



**Bild 3:** Zentralmodul mit Ventilmodul

An dem Zentralmodul sind elektrische Steckverbindungen in der Schutzart IP 68 montiert. In diesen Steckverbindungen werden Leistungs- und Steuerkabel eingeführt, die von einem externen Steuerkasten kommen. Eine schnelle Demontage kann somit durch das Abziehen der Steckverbindung im Havariefall erfolgen. Die Kompaktantriebe sind in witterungsbeständigem Aluminium sowie in wasserdichter, überflutungssicherer Ausführung gebaut. Alle abgehenden Hydraulik- und Elektroanschlüsse sind in Edelstahl ausgeführt.

### 3. Antriebszylinder



**Bild 4:** Tor-Antriebszylinder

Wie bei den Kompaktaggregaten werden die Antriebszylinder mittels hydraulischer Schnellverschlusskupplungen und elektrischem Steckkontakt (Positionserfassung, 24 V-Ventilversorgung für ULV-Notabsenkung) angeschlossen. Auch die mechanischen Anbindungen der Zylinder sind konstruktiv so gestaltet, dass sie mit wenigen Handgriffen aus den wartungsfreien Lagerungen gelöst werden können. Zylinderspezifische Funktionen wie Eilgangschaltung am Stemmtor und Notabsenkung bei Stromausfall am ULV-Zylinder werden von einem direkt an den Zylinder montierten Steuerblock übernommen. Durch die Steuerblöcke verfügen die Zylinder darüber hinaus über eigene Druckbegrenzungs- und Lasthalteventile, so dass Einstellarbeiten am Kompaktaggregat entfallen und somit eine 100 %ige Austauschbarkeit aller Aggregate gewährleistet ist. In konsequenter Fortführung eines wartungsfreundlichen Antriebskonzepts sind die internen Wegmeßsysteme beider Zylindertypen mit einem Druckrohr ausgerüstet, das einen Austausch des Sensors ohne Ablassen der Druckflüssigkeit gestattet.

### 4. Service-Board und Notaggregat

Einen weiteren Schwerpunkt bildet das umfangreiche Sicherheitskonzept des Antriebs. Mit Hilfe des mobilen



**Bild 5:** Notaggregat

Service-Boards ist es möglich, ein Kompaktaggregat sowohl bei Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten im Bauhof als auch bei Ausfall der gesamten Schleusensteuerung zu betreiben und zu überwachen. Im Bedarfsfall genügt das einfache Umkuppeln der elektrischen

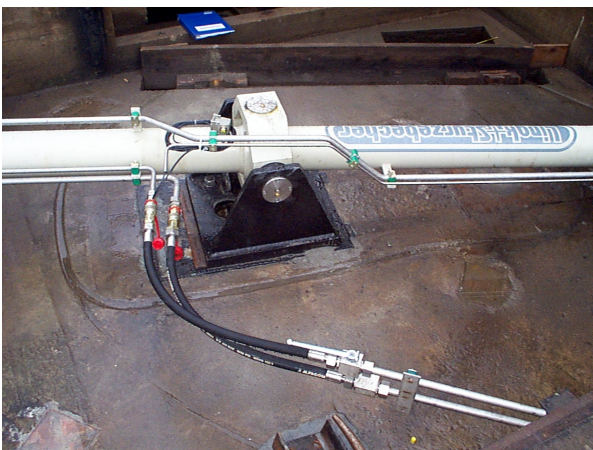


**Bild 6:** Service-Board

schen Steckverbinder, um einen kontrollierten Handbetrieb zu realisieren. Ein Betätigen der Zylinder ist aber auch mit Hilfe der tragbaren Notaggregate möglich. Ohne weitere Umbaumaßnahmen können diese mit Schnellverschlusskupplungen einfach an das jeweilige Kompaktaggregate angeschlossen werden. Durch Umlagen eines Kugelhahns wird dann von Normal- auf Notbetrieb umgeschaltet. Es besteht aus seinem Grundrahmen, auf dem eine kleine Zahnradpumpenkombination, bestehend aus Zahnradpumpe mit Zwischenflansch und Elektromotor, Manometer, Handwegeventil mit Druckbegrenzungsventil sowie vier Schläuchen mit angebauten Schlauchkupplungshälften angebracht sind. Natürlich kann bei Bedarf das Notaggregate auch mit einem kleinen Notstromerzeuger betrieben werden.

### 5. Tor-Zylinderlagerung

Bei der Konzeption der Tor-Zylinderlagerung wurde vorausgesetzt, dass der Kompaktantrieb in die vorhandenen Antriebsgruben unter Planie und ohne Tiefbauarbeiten eingebaut werden kann. Die Lagerung des Zylinders ist in Bild 7 dargestellt. Für den Antrieb wurde die bereits bestehende Stahlfundamentierung genutzt. Die vorhandenen Königszapfen sind entfernt worden und die neue Lagerung wurde mittels einer Grundplatte mit den Stahlfundamenten verschraubt. Das Kardangeln, in dessen Zentralachse sich der Antriebszylinder befindet, wurde als geschlossener, kompakt gebauter Rahmen mit Lagerzapfen ausgeführt. Durch einfaches Ziehen der beiden äußeren Zapfenlager lässt sich der Tor-Zylinder recht schnell ausbauen und austauschen.



**Bild 7:** Tor-Zylinder-Lagerung

### 6. Toranlenkung

Für die Toranlenkung wurde eine neuartige Konstruktion realisiert (Bild 8). Kolbenstange und Tor sind durch einen Bolzen kraftschlüssig verbunden. Auf dem Kolbenstangenkopf ist ein Gelenklager montiert. Der Innenring des Gelenklagers ist mit einer Konushülse bestückt. Diese Hülse wird mittels einer Schraubverbindung auf den Konus des fliegenden Torbolzens gepresst. Soll der Hydraulikzylinder vom Tor getrennt werden, so wird zunächst der Abdeckschirm demontiert. Danach wird mittels einer Abdrückschraube die Hülse vom Konus des Bolzens abgedrückt und dadurch die kraftschlüssige Verbindung gelöst.

Alle Nachteile der bisherigen Toranlenkungen wie z.B. genauestes Einfädeln von Bolzen oder Einlegen von Distanzringen treten bei der vorgenannten Ausführung nicht mehr auf. Die hier gewählte Lösung der Toranlenkung ist einfach und leicht zu händeln.



**Bild 8:** Toranlenkung

### 7. Wartung, Demontage

Die hydraulische Anlage ist wartungsarm, weil alle Arbeiten zur inneren Schmierung der Geräte entfallen. Die Wartung erstreckt sich im wesentlichen auf die Kontrolle des Fluidstandes im Flüssigkeitsbehälter, Filterkontrolle sowie Fluidwechsel.

Die Demontage einer Hydraulikkompakteinheit ist relativ einfach möglich. Folgende Arbeitsschritte sind dazu durchzuführen:

- Abziehen der Elektro-Steckverbinder an dem Zentralmodul
- Lösen der Hydraulikleitungen an den Schnellverschlusskupplungen

Nachdem diese Arbeitsschritte durchgeführt wurden, kann die Hydraulikkompakteinheit von einem Kran abgehoben werden bzw. auf dem Rollenwagen weggeschoben werden. Ebenso kann auch nur der Austausch des Zylinders alleine erfolgen. Ein kompletter Zylinderwechsel kann in 60 Minuten von 3 Personen unter Beistellung eines kleinen Hebezeuges durchgeführt werden.

Neben diesen deutlichen technischen Vorteilen der Kompaktantriebe gegenüber konventionellen Hydrauliksystemen ist insbesondere die Wirtschaftlichkeit hervorzuheben. Die mit diesem neuen Antriebskonzept verbundenen Gesamtanschaffungskosten betragen im Vergleich zum leistungsidentlichen Schleusenbetrieb mit zentraler Hydraulik weniger als die Hälfte!

Neben dem hier beschriebenen Einsatz im Verkehrswasserbau bieten sich die Kompaktaggregate in allen Bereichen an, in denen eine sichere, flexible und wartungsarme Hydraulikversorgung an witterungsungeschützten oder ökologisch sensiblen Standorten gefragt ist.

**Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen (1)**  
 Hydraulische Kompaktantriebe für plug-and-drive- Technologie

**8. Technische Daten**

Bauteil	Kenngroße	Kennzahl
Kompaktaggregat KPA11/200	- elektrische Versorgung	400 VAC, 3~Frequenzumrichterbetrieb
	- elektrische Nennleistung	11 kW
	- maximaler Arbeitsdruck	250 bar
	- maximaler Volumenstrom	48 l/min
	- Druckmedium	Aviaticon HY HE 22
	- Tankvolumen	100 Liter
	- Abmessungen (H x B x L)	660 mm x 760 mm x 1350 mm
	- Gewicht (befüllt)	600 kg
	- Temperaturbereich	-20° C bis 80° C
- Schutzart	IP68	

Bauteil	Kenngroße	Kennzahl
Stemmtor-Zylinder LS-DZ-160/100-2800	- Hub	2800 mm
	- Kolbendurchmesser	160 mm
	- Stangendurchmesser	100 mm
	- Gewicht (befüllt)	750 kg
	- Zugkraft	176 kN
	- Druckkraft	117 kN
	- Betriebs-Verfahrgeschwindigkeit	0,05 m/s

Bauteil	Kenngroße	Kennzahl
ULV-Zylinder LS-DZ-D-110/70-2650	- Hub	2650 mm
	- Kolbendurchmesser	110 mm
	- Stangendurchmesser	70 mm
	- Länge der Endlagendämpfung	60 mm
	- Gewicht (befüllt)	320 kg
	- Zugkraft	110 kN
	- Druckkraft	46 kN
- Betriebs-Verfahrgeschwindigkeit	0,05 m/s	

**Verfasser**

Dipl.-Ing. Rolf Kühlewind  
 Fachstellenleiter  
 Fachstelle Maschinenwesen Süd  
 Gleißbühlstrasse 7, 90502 Nürnberg  
 Tel.: 0911 20645 – 600  
 E-Mail: [kuehlewind.fms@genion.de](mailto:kuehlewind.fms@genion.de)