

Ulrich Westenthanner, Schrobenhausen

# Hydraulik in Spezialtiefbaumaschinen

*Hydraulische Antriebssysteme müssen in modernen Spezialtiefbaumaschinen hohe Leistungen unter rauen Bedingungen überall in der Welt übertragen. In diesem Anwendungsfall hat die Hydraulik große Vorteile gegenüber anderen Kraftübertragungssystemen. Am Beispiel der Bohrgeräte werden zwei einsatzortspezifische Anforderungsprofile entwickelt, anhand derer vier verschiedene Hydrauliksysteme in einer gewichteten Bewertung gegenübergestellt werden. Dabei zeigt sich LUDV-Hydraulik als weltweit nahezu überall gleich gut einsetzbar; Systeme mit Mengenbedarfssteuerung sind mit hydraulischer Ansteuerung der Pumpen besser für weniger entwickelte Länder geeignet – mit elektrisch vorgesteuerten Pumpen in erster Linie für fortschrittliche Regionen.*

Dr.-Ing. Ulrich Westenthanner war bis 10/2001 wissenschaftlicher Assistent und Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landmaschinen der TUM (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. K.Th. Renius). Seit 11/2001 ist er Mitarbeiter der Bauer Maschinen GmbH, Schrobenhausen. Er ist verantwortlich für die Entwicklung der Hydraulik und Antriebstechnik.

## Schlüsselwörter

Hydraulik, mobile Arbeitsmaschinen, Spezialtiefbau, Bohrgerät

## Keywords

Hydraulics, mobile machinery, specialist foundation engineering, drill rig

Der Spezialtiefbau befasst sich mit der Gründung (Fundamente) schwerer Gebäude, der Abdichtung von Dämmen und der Erstellung und Abstützung tiefer Baugruben. Die Fa. Bauer ist hier seit etwa 1950 stark expandierend weltweit tätig und begann schon sehr früh eigene Spezialmaschinen herzustellen – mittlerweile als Marktführer mit rund 25 % Anteil. Seit 2001 ist die Bauer Maschinen GmbH ein selbständiges Unternehmen und erwirtschaftet mehr als 1/3 des Umsatzes im Konzern Bauer AG [1]. Hauptprodukte sind (Großdreh-) Bohrgeräte (stark überwiegend), Rammgeräte und Schlitzwandfräsen [2].

## Bohrgeräte

Bohrgeräte (Bild 1) sind universelle Maschinen, mit denen bewehrte Betonpfähle als Fundament für Brückenpfeiler oder Hochhäuser erzeugt werden. Als Pfahlwand (viele überschnittene Bohrpfähle nebeneinander) dienen sie als Wand einer Baugrube oder Dichtwand für einen Damm. Die Motorleistung (150 bis 650 kW) wird aufgrund großer Vorteile [3] durch hydrostatische Systeme übertragen:

- Hohe Leistungsdichte
- Übertragung sehr hoher Kräfte/Leistungen
- Translatorische Bewegungen unaufwändig
- Einfache Kraftübertragung über Schläuche
- Nahezu formschlüssige Koppelung zwischen Pumpen und Verbraucher
- Große Robustheit
- Gute Steuer- und Regelbarkeit
- Einfache Einbindung in komplexe elektronische Steuerungssysteme
- Einfacher Aufbau von kompletten Anlagen aus Baukastensystemen

Leider gibt es auch einige Nachteile:

- Relativ hohe Kosten (hochpräzise Herstellung der Komponenten)
- Wirkungsgradeinbußen durch Strömungsverluste und Leckagen
- Aufwendige Abdichtung gegen Leckagen
- Gefahr von Unfällen und Umweltverschmutzung bei Schlauchbruch

Sicherungssysteme und Fail-Safe-Schaltungen reduzieren die Unfallgefahr extrem; Bioöle beugen der Kontaminationsgefahr vor. Eine sorgfältige Auslegung des Gesamtsystems schöpft das Wirkungsgradpotenzial aus. Es muss die Anforderungen aus dem Ar-

beitsprozess eines Bohrgerätes erfüllen: Das intermittierende Grundverfahren arbeitet mit einer Kellystange – einer mehrfach teleskopierbaren, formschlüssigen Verbindung zwischen Bohrwerkzeug und Drehantrieb. Das innerste Element ist an der Hauptwinde befestigt, das äußerste liegt oben auf dem Drehantrieb auf. Verriegelungstaschen ermöglichen beim Abbohren mit dem Vorschub zusätzlichen Druck auszuüben. Über den unten am Drehantrieb angebrachten Drehteller kann auch ein Rohr zur Abstützung der Bohrlochwand in den Boden vortrieben werden. Die drei Verbraucher Drehantrieb, Hauptwinde und Vorschub müssen gleichzeitig mit großer Leistung bewegt werden können. Weitere Verbraucher sind Raupenfahrwerk, Schwenkantrieb, Hilfswinde und mehrere Kinematikzylinder – optional weitere kundenspezifische Kleinverbraucher. Auch ein zweiter Drehantrieb (nur für das Rohr; eigenes Vorschubsystem) oder eine Verrohrungsmaschine (für beson-

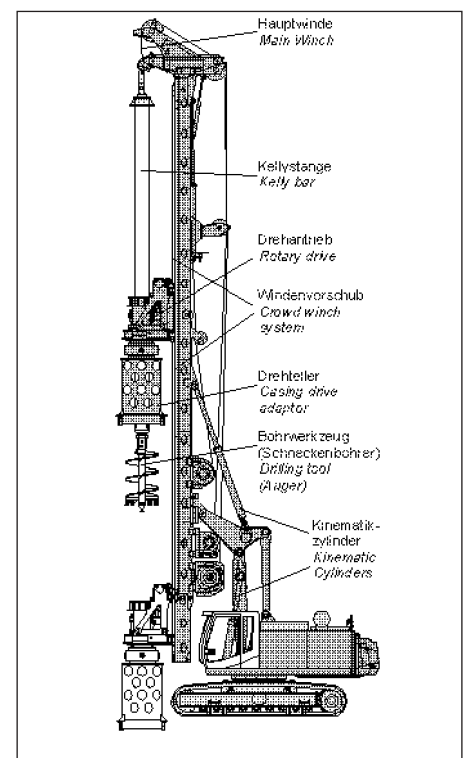


Bild 1: Aufbau eines Bohrgerätes Bauer BG 22 H (260 kW)

Fig. 1: Bauer drill rig BG 22 H (260 kW)

DAS TEAM VON NEW HOLLAND  
 ÜBERMITTELT HERRN PROF. RENIUS  
 DIE BESTEN WÜNSCHE ZUM  
 65. GEBURTSTAG!



ders hohe Kräfte beim Ziehen des Rohrstrangs) sind darstellbar.

### Anforderungen an die Hydraulik

Da Bohrgeräte von Bauer weltweit vertrieben werden, werden (hier vereinfachend zwei) regional unterschiedliche Anforderungsprofile betrachtet – fortschrittliche Länder (Europa, USA, Japan, Kanada) und weniger entwickelte (China oder Naher Osten; Tab. 1). Erstere haben ein hohes Lohnniveau, so dass Produktivität und Flexibilität (Anwendung des produktivsten Herstellungsverfahrens für die jeweilige Baustelle) der Maschine äußerst wichtig sind. Modularer Aufbau der Hydraulik und Realisierbarkeit unterschiedlichster Funktionen – alles auch bei gleichzeitiger Betätigung – sind ebenso wichtig wie Zukunftssicherheit durch Automatisierungsoptionen, um für (Bedien-) Komfort auf dem neuesten Stand der Technik offen zu sein. Hoher Wirkungsgrad (Kraftstoffkosten, Leistungsdichte) und gute Zuverlässigkeit zählen viel. Der Preis lässt sich durch die hohe Produktivität kompensieren. Das sehr gut ausgebildete Personal kann auch komplexere Maschinen reparieren und sich bei Ausfall von elektrischen Bauteilen oder Programmen gut behelfen. Seine große Sorgfalt im Umgang mit Filter-

systemen oder beim Ölwechsel beugt Problemen mit Ölverschmutzung vor.

In den weniger entwickelten Ländern ist das Lohnniveau niedrig, das Personal schlecht ausgebildet und die Finanzkraft oft gering. Die Umweltbedingungen (Klima, Infrastruktur) sind zudem größtenteils sehr herausfordernd. Entsprechend verschiebt sich die Gewichtung deutlich hin zu Herstellkosten, Betrieb mit verschmutztem Öl, Zuverlässigkeit und Reparaturfreundlichkeit (einfach zu verstehendes Gesamtsystem).

### Vergleich Hydrauliksysteme

Es werden vier verschiedene Hydrauliksysteme (alle mit Verstellpumpen für optimalen Wirkungsgrad bei unterschiedlichsten Be-

triebsbedingungen) für die Hauptverbraucher verglichen. Bei der Versorgung der Nebenverbraucher (Kinematikzylinder, Arbeitsvorschub) stellt nur ein Load-Sensing-System [4] eine geeignete Lösung dar – aufgrund der Möglichkeit, viele Verbraucher von nur einer Pumpe zu versorgen und trotzdem parallel zu betreiben (Druckwaagen verhindern die gegenseitige Beeinflussung) und der modularen Erweiterbarkeit.

Für die Anwendung bei den Hauptverbrauchern eignet sich eine Load-Sensing-Hydraulik (hier nach dem Prinzip der lastunabhängigen Durchflussverteilung LUDV [4]) nur bis etwa 300 kW, da bei größeren Motorleistungen systemimmanente Verluste signifikant werden (bei diesen Systemen wird der Durchfluss proportional zur Aus-

Tab. 1: Vergleich der Hydrauliksysteme

Table 1: Comparing hydraulic systems

Kriterium	Gewichtung		Hydrauliksystem			
	Fortschrittliche Länder (Europa, USA, Japan, Kanada)	Weniger entwickelte Länder	Lastunabhängige Durchflussverteilung (LUDV)	Mengenbedarfssteuerung mit hydraulisch angesteuerten Pumpen	Mengenbedarfssteuerung mit elektrisch angesteuerten Pumpen	Konstantdrucksystem mit Sekundärregelung
Leistungsbereich			bis 300 kW	bis 200 kW	o. E.	o. E.
Produktivität	5	2	+	0	++	++
Flexibilität	5	3	++	-	0	++
Zukunftssicherheit	5	1	++	-	-	++
Herstellkosten	3	5	+	+	+	---
Verfügbarkeit/Zuverlässigkeit	4	5	+	+	+	0
Unabhängigkeit von Elektrik/Elektronik	1	5	+	0	-	---
Anfälligkeit gegen Ölverschmutzung	2	5	0	++	+	+
Reparaturfreundlichkeit	3	5	-	++	+	-
Bedienbarkeit	5	1	++	0	+	++
Wirkungsgrad	4	1	0	0	+	++
<b>Bewertung</b>			<b>80</b>	<b>58</b>	<b>78</b>	

lenkung des Ventilkolbens über einen ständigen Druckabfall von 20 bar im Steuerschieber ausgeregelt). Sehr hohe Produktivität wird durch die flexible Aufteilung der Pumpen auf die Verbraucher erreicht. Für jeden wird die maximal zulässige Menge individuell am Mobilsteuerblock eingestellt. Das LUDV-System ist leicht durch Parallelschaltung um weitere Verbraucher zu ergänzen und zukunftssicher, da dem Verbraucher steuerdruckproportional ein exakter Volumenstrom zugeteilt wird, wodurch es großen Bedienkomfort und eine leichte Automatisierbarkeit aufweist. Die Herstellkosten halten sich in Grenzen, da die Mobilsteuerblöcke zwar teuer sind, aber man nicht für jeden parallel zu betreibenden Verbraucher eine eigene Axialkolben-Verstellpumpe vorsehen muss. Die Installation ist dadurch auch vereinfacht, was sich mit einem etwas höheren Einstellaufwand (jeder Verbraucher einzeln) nahezu aufhebt. Ein LUDV-System ist ein rein hydraulisch-mechanischer Regelkreis, was hohe Zuverlässigkeit bedeutet. Er besteht aus exakt abgestimmten und gefertigten Bauteilen, welche empfindlich gegen verschmutztes Öl sind und deren Zusammenspiel ohne fundierte Ausbildung und Erfahrung nur schwer zu analysieren ist.

Das zweite Grundsystem ist die hydraulische Mengenbedarfssteuerung [5]. Die Pumpen werden hier direkt aufgrund eines Steuerdrucksignals ausgeschwenkt, das bei der Betätigung eines Verbrauchers moduliert wird. Damit besteht ein grober Zusammenhang zwischen Joystickauslenkung und Verbrauchergeschwindigkeit. Über die Drosselung an den Steuerkanten entstehen Druckverluste. Da sich zwei Verbraucher, gleichzeitig von einer Pumpe versorgt, gegenseitig stark beeinflussen würden, bestimmt die Anzahl der unabhängigen Hy-

draulikkreise, wieviele Verbraucher parallel betrieben werden können. Darunter leidet auch die Produktivität. Für jeden Kreis muss ein Kompromiss in der Pumpeneinstellung gefunden werden, so dass nicht alle Verbraucher mit dem optimalen Volumenstrom versorgt werden, wenn man nicht für mehr Unterstützung durch Elektronik sorgt. Der ungenaue Zusammenhang zwischen Steuerdruck und Volumenstrom macht die Automatisierung schwierig und mindert Komfort und Bedienbarkeit. Hohe Reparaturfreundlichkeit und geringe Empfindlichkeit gegen verschmutztes Öl resultieren aus der Einfachheit des Systems. Die Mobilsteuerblöcke sind günstig, die vielen Verstellpumpen aber teuer; die aufwendige Installation (Wechselventilkaskaden im Vorsteuerbereich) wird durch einen geringen Einstellumfang kompensiert.

Abgeleitet davon ist eine Mengenbedarfssteuerung mit direkt elektrisch vorgesteuerten Pumpen. Produktivität, Flexibilität, Bedienbarkeit und Zukunftssicherheit werden durch exakte verbraucherspezifische Volumenströme und ihre Proportionalität zum Vorsteuerdruck deutlich gesteigert. Daraus ergibt sich ein guter Wirkungsgrad. Das System ist auf das Funktionieren der Elektronik angewiesen, hat aber akzeptable Notlauf Eigenschaften. Es ist immer noch sehr einfach zu verstehen, aber aufgrund der elektrischen Proportionalventile empfindlicher gegen Schmutz im Öl. Der größte Nachteil sind die hohen Herstellkosten, die aus den zusätzlich notwendigen elektronischen Komponenten herrühren.

Ein Konstantdrucksystem [6] muss in vielen Punkten wie Produktivität, Bedienbarkeit, Zukunftssicherheit, Flexibilität und vor allem Wirkungsgrad sehr gut bewertet werden, ist aber durch extrem hohe Herstell-

kosten, unverzichtbare elektronische Regelsysteme für die Sekundärverstellung und geringe Reparaturfreundlichkeit des elektronisch-hydraulischen Gesamtsystems gekennzeichnet (hohe Komplexität). Zudem ist es für Zylinder nicht sehr gut geeignet.

## Fazit

Die Bewertung ergibt für Bohrgeräte für den Markt „Fortschrittliche Länder“, dass sich das LUDV-System und die Mengenbedarfssteuerung mit elektrisch angesteuerten Pumpen (leistungsstarke Bohrgeräte) am besten eignen. Für die weniger entwickelten Länder ist die hydraulische Mengenbedarfssteuerung (etwas größere Robustheit) gegenüber dem LUDV-System leicht im Vorteil. Für die weltweite Anwendung weist das LUDV-System insgesamt die beste Bewertung auf.

## Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Bauer, K.-H. und Th. Bauer: Bericht zur Lage. Bohrpunkt 32 (2002), S.5
- [2] • Englert, K. und M. Stocker (Hrsg.): 40 Jahre Spezialtiefbau: 1953-1993; technische und rechtliche Entwicklungen; Festschrift für Karlheinz Bauer zum 65. Geburtstag. Werner Verlag, Düsseldorf, 1993.
- [3] Renius, K.Th.: Vorlesung Ölhydraulik. Technische Universität München, 2000
- [4] N.N.: LUDV-Steuerungstechnik für mobile Arbeitsmaschinen. O+P Ölhydraulik und Pneumatik 45 (2001), H. 3, S.148-155
- [5] • Murrenhoff, H. und H. Wallentowitz: Fluidtechnik für mobile Anwendungen. Mainz Verlag, Aachen, 1998
- [6] • Feuser, A. et al.: Der Hydrauliktrainer Band 6 – Hydrostatische Antriebe mit Sekundärregelung. Mannesmann Rexroth, 1989

# Ursache + Wirkung

Wer besser  
düngt,  
der besser  
erntet.



[www.rauch.de](http://www.rauch.de)

**RAUCH**  
Wir arbeiten  
genau