

- [6] *Wallichs, A. u. H. Schöpke:* Die Berechnung von Zahnradgetrieben unter besonderer Berücksichtigung der Drehzahlnormung. Z.VDI 80 (1936) Nr. 9, S. 241/44.
- [7] *Best, W.A.:* John Deere power trains — Quad Range and Perma-Clutch (John Deere-Getriebe mit vier Fahrbereichen und "Perma"-Kupplung). SAE-paper Nr. 720 795 (1972).
- [8] *Ronayne, R.J. u. R.E. Prunty:* Oliver over/under hydraulic drive (Hoch und runter lastschaltbares Oliver-Getriebe). Farm, Constr. + Industr. Machinery Meeting, Milwaukee/Wisc. Sept. 1968, SAE-paper Nr. 680 569 (1968).
- [9] *North, M.R.:* Case 1970 Agri-King tractors (Case "Agri-King"-Schlepper 1970). SAE-paper Nr. 690 589 (1969).
- [10] —: Prospekte und Konstruktionszeichnungen der David Brown Tractors GmbH, Seelze/Hannover.
- [11] *Looman, J.:* Zahnradgetriebe, Grundlagen und Konstruktion der Vorgelege- und Planetengetriebe. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1970.
- [12] *Franz, G.:* Die historische Entwicklung des Pfluges. Landtechnik 14 (1959) Heft 1/2, S. 6/10.
- [13] —: Hydraulically propelled tractor (Hydraulisch angetriebener Schlepper). Farm Mech. 6 (1954) Nr. 62, S. 224/25 Ref. in Landtechn. Forschung 4 (1954) Nr. 3, S. 95.
- [14] *Kahrs, M.:* Konstruktion und Anwendung von Axialkolbenmaschinen in Schrägtrommel- und Schrägscheibenbauweise. Ölhydraulik u. Pneumatik 17 (1963) Nr. 1, S. 1/9.
- [15] *Zenker, W., M.W. Beusch u. D. Zeus:* A new automatic system for farm machinery (Ein neues automatisches Antriebs-system für landwirtschaftliche Maschinen). Diesel and Gas Turb. Progr. 38 (1972) Nr. 7, S. 15/17.
- [16] *Gego, A.:* INTRAC-System 2000 — a new agricultural system (INTRAC-System 2000 — ein neues System der Landtechnik). ASAE-paper Nr. 72-689 (1972).
- [17] *Scholtz, K.-H.:* Hydrostatische Fahrtriebe für Landmaschinen. Linde-Berichte aus Technik u. Wiss. Nr. 27 (April 1970) S. 37/47.
- [18] *Ross, W.A.:* Designing a hydromechanical transmission for heavy duty trucks (Konstruktion eines leistungsverzweigten hydrostatischen Getriebes für schwere Lastkraftwagen). SAE-paper Nr. 720 725 (1972).
- [19] *Wadman, B.:* Responder automatic transmission ready for market (Automatisches Getriebe "Responder" bereit zur Markteinführung). Diesel and Gas Turb. Progr. 39 (1973) Nr. 6, S. 32/35.

Ursachen und Folgen der Verschmutzung von Hydraulikflüssigkeiten

Von Otto Böinghoff, Braunschweig *)

DK 631.372:62 - 82:62 - 73

Die Lebensdauer hydrostatischer Bauelemente wird sehr stark durch die Verschmutzung des Hydrauliköles beeinflusst. Gerade bei landwirtschaftlichen Maschinen und Ackerschleppern, die oftmals in Schmutz und staubiger Atmosphäre eingesetzt werden, muß die Ölverschmutzung beachtet werden. Dazu werden Schmutzarten, Schmutzquellen und der Einfluß der Schmutzteilchen auf die Lebensdauer beschrieben. Weiter wird ein neues Verfahren zur Ermittlung des erforderlichen Ölfilters oder zur Vorausberechnung der Lebensdauer bei bekannter Ölverschmutzung vorgestellt.

1. Einleitung

In jeder Hydraulikanlage, sei es in einem Ackerschlepper, einer Werkzeugmaschine oder in einem Flugzeug, werden mit dem Hydrauliköl eine Vielzahl kleiner Schmutzteilchen umgewälzt. Ihre Anzahl und ihre Größe haben neben den übrigen Betriebsbedingungen wie Drehzahl, Druck und Temperatur einen sehr großen Einfluß auf die Betriebssicherheit und die Lebensdauer der Hydraulikelemente, die in den letzten Jahren immer schmutzempfindlicher geworden sind. Der Grund hierfür liegt hauptsächlich in der Anhebung der Betriebsdrücke zwecks geringeren Leistungsgewichtes, was wiederum zur Verringerung der Leckverluste besonders enge und damit schmutzempfindliche Dichtspalte zwischen bewegten Elementen erfordert. Wie sehr gerade ein hoher Betriebsdruck die Schmutzempfindlichkeit z.B. einer Pumpe vergrößert, zeigt **Bild 1**. Auf der Abszisse ist der Betriebsdruck in bar und auf der Ordinate die Konzentration der Schmutzteilchen, als Teilchenzahl je cm^3 Flüssigkeit, aufgetragen, die für eine bestimmte Lebensdauer zulässig ist. Die von *Fitch* aufgrund langjähriger Untersuchungen erstellte Kurve zeigt sehr deutlich, daß bei hohen Drücken sehr fein gefiltert werden muß, damit die Pumpe die geforderte Lebensdauer erreicht [1]. Gerade die Filterung aber scheint heute immer noch nicht die notwendige Beachtung zu finden, denn schätzungsweise 60 bis 75 % [2] aller Schäden in Hydraulikanlagen könnten durch die richtige Auswahl und Wartung von Filtern vermieden oder weiter hinausgeschoben werden.

*) Dipl.-Ing. O. Böinghoff ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies) der TU Braunschweig.

Den großen Einfluß der Verschmutzung auf die Lebensdauer zeigte besonders eindrucksvoll ein in den USA durchgeführter Test an einer Mobilhydraulikanlage. Nachdem man das eingebaute 25- μm -Filter durch ein Filter mit einer Feinheit von 3 μm ersetzt hatte, verachtete sich die Standzeit der Hydraulikelemente [2].

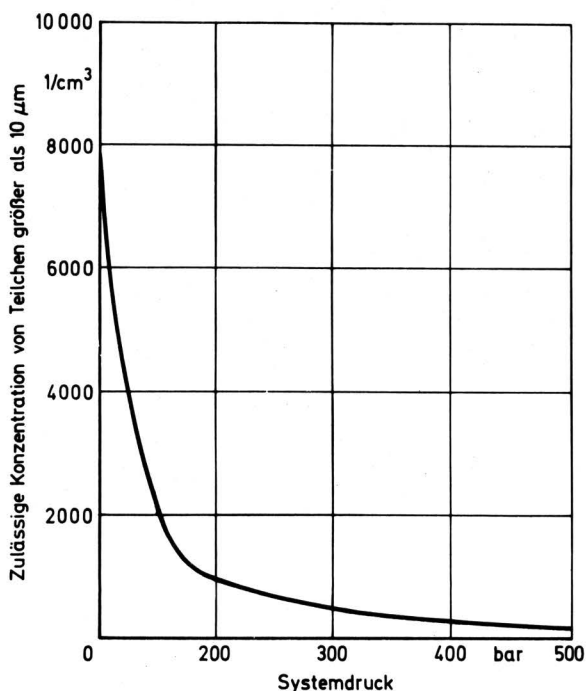


Bild 1. Zulässige Verschmutzung als Funktion des Systemdruckes für eine Pumpe bei gleicher Lebensdauer.

2. Schmutzarten, Schmutzquellen und Schmutzverminderung

Unter den Begriff "Schmutz" fallen hier alle festen, flüssigen und gasförmigen Stoffe, die sich in einer Hydraulikanlage schädlich auswirken. Die Größe der schädlichen Schmutzteilchen liegt je nach Empfindlichkeit der Hydraulikelemente zwischen 1 und 200 μm , also in einem Größenbereich, den man sich nur schwer vorstellen kann. Um diesen etwas zu veranschaulichen, sind in **Bild 2** einige vergleichbare Teilchen aus unserer Umwelt dargestellt, deren Kleinheit allgemein bekannt ist. Es ist zu erkennen, daß entsprechend dem obengenannten Größenbereich selbst Schmutzteilchen von der Größe eines Bakteriums schädlich sein können.

Schmutz gerät in ein Hydrauliksystem durch:

- den Fertigungsprozeß und die Montage
- das Einfüllen neuer Hydraulikflüssigkeit
- den Betrieb der Anlage
- die Wartung der Anlage.

Die durch die Fertigung und die Montage in ein System gelangten Schmutzteilchen, z.B. Metallspäne, Gußsand, Schleifstaub, Schweißrückstände und Dichtungspartikel, sind wegen ihrer Härte besonders verschleißfördernd und können schon in den ersten Betriebsstunden zu Schäden führen. Daher ist bei der Montage auf eine sorgfältige Reinigung aller Bauteile zu achten, wobei die einschlägigen Richtlinien und Empfehlungen [3] beachtet werden sollten. Auch sollte schon der Konstrukteur auf eine reinigungsfreundliche Gestaltung der Bauteile achten, d.h. er sollte Sacklöcher vermeiden und schwer zugängliche Hohlräume mit Reinigungsöffnungen versehen. Gereinigte Bauteile müssen durch Verschlußstopfen bis kurz vor der Montage staubdicht verschlossen werden.

Die neue Hydraulikflüssigkeit enthält in der Regel sehr viele Schmutzteilchen [3, 4, 5], z.B. Lackreste aus den Transportbehältern, verklumpte Additive und Staub. Daher sollte sie nur durch feine Siebe oder Filter in das System eingefüllt werden. Wegen der gestiegenen Anforderungen liefern heute schon einige Mineralölfirmen in den USA natürlich gegen Aufpreis besonders gereinigte Hydrauliköle [6].

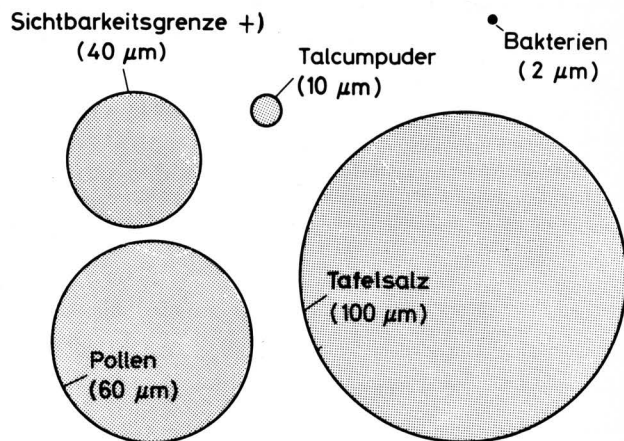


Bild 2. Darstellung zur Veranschaulichung der Größenverhältnisse kleiner Teilchen.

+) Hinweis auf die Größe eines einzelnen Teilchens, das unter normalen Bedingungen noch erkennbar ist

Der größte Teil des Schmutzes gerät erst beim Betrieb der Anlagen in die Hydraulikflüssigkeit. Dies sind vor allem Abrieb, abgeplatzte Lackteilchen und Alterungsprodukte des Öles, die in den Anlagen entstehen, sowie Staub, Luft und Wasser, die von außen durch die Belüftungsventile oder durch "hydraulische Steckdosen" in die Systeme gelangen. Dieser Schmutz kann den Systemen nur durch eine kontinuierliche und ausreichende Filterung wieder entzogen werden. Ohne Filterung würde die Verschmutzung ständig zunehmen und kurzfristig Schäden verursachen.

Als eine nicht zu vernachlässigende Schmutzursache muß auch die unsachgemäße Wartung vieler Anlagen angesehen werden. Oft werden Putzwolle oder einfache Lappen anstelle fusselfreier Putztücher zur Reinigung der Elemente verwendet, wodurch Fasern in die Systeme geraten können. Ebenso steigt die Verschmutzung unzulässig stark an, wenn Filtereinsätze nicht rechtzeitig gereinigt oder ausgetauscht werden.

3. Auswirkungen des Schmutzes auf Funktionssicherheit und Lebensdauer

Je nach der Beschaffenheit und der Größe der Schmutzteilchen sind ihre Auswirkungen auf die Funktionssicherheit und Lebensdauer der Hydraulikelemente unterschiedlich. So rufen gasförmige Stoffe (z.B. Luft) Kavitationserscheinungen wie Geräusche und Druckschwingungen hervor oder fördern die Oxidation der Hydraulikflüssigkeit. Flüssige Verunreinigungen, wie Wassertröpfchen, fördern ebenfalls die Oxidation des Hydrauliköls, aber auch die Korrosion der Metallteile, wodurch einerseits Gleitflächen beschädigt werden können und andererseits die Korrosionsprodukte, z.B. Rostteilchen, die Verschmutzung vergrößern.

Den weitaus schädlicheren Einfluß auf Funktionssicherheit und Lebensdauer haben jedoch die festen Schmutzteilchen in der Hydraulikflüssigkeit. Sie wandern in enge Spalte, wo sie zwischen relativ zueinander bewegten Bauteilen erhöhte Reibungskräfte und in Extremfällen sogar ein Verkleben verursachen können. Außerdem erzeugen sie sehr starken Verschleiß an den Gleitflächen, da die meisten von ihnen relativ hart sind (z.B. Gußsand, Metallteilchen und Staubkörner). In **Bild 3** wird gezeigt, wie sich die Größe der Teilchen auf den Verschleiß auswirkt. Teilchen, die größer als die Spaltweite sind, wandern nicht in den Spalt und können dort

auch keinen Schaden anrichten (Fall A). Teilchen, die gerade in den Spalt hineinpassen, kratzen an beiden Spaltbegrenzungen und erzeugen dabei Abrieb, also neuen Schmutz (Fall B). Kleine Teilchen dagegen durchfließen den Spalt, ohne Schaden anzurichten, wenn sie sich nicht verklumpen und dann zu Verstopfungen führen (Fall C). Da aber selbst in einfachen Pumpen schon Spaltweiten bis hinunter zu $0,5 \mu\text{m}$ [7] auftreten, wird deutlich, daß auch kleinste Schmutzteilchen noch Verschleiß erzeugen.

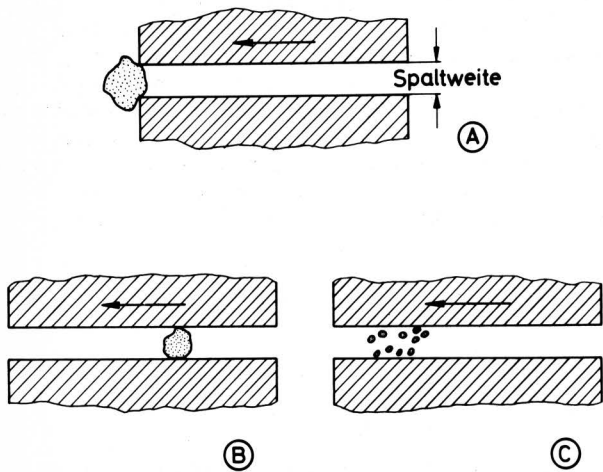


Bild 3. Spaltweite und Teilchengröße.

Die Kratzer und Riefen, die in die gleitenden Oberflächen gezogen werden, führen z.B. in den Pumpen zu einem größeren Leckölstrom und damit zu erhöhten Leistungsverlusten, die sich vor allem durch starke Erwärmung der Hydraulik-Elemente bemerkbar machen. Dadurch wird die Viskosität des Öles verringert, was wiederum zu erhöhter Reibung und zu verstärkter Abrieberzeugung führen kann.

Bei Ventilen rufen die mit hoher Geschwindigkeit an den scharfen Steuerkanten vorbeiströmenden Schmutzteilchen besonders starke Abnutzungserscheinungen hervor, wie Bild 4 zeigt. Dadurch wird das Ventil undicht, so daß schwere Lasten von den Hubzylindern nicht mehr festgehalten werden, sondern langsam absinken, eine sehr gefährliche Folge des Ventilverschleißes.

Neben den hier genannten mechanischen Schäden durch feste Schmutzteilchen fördern vor allem Eisen- und Kupferpartikel als Katalysatoren die Bildung klebriger und lackähnlicher Polymerisationsprodukte aus der Hydraulikflüssigkeit. Diese verstopfen vorzeitig Filterelemente und erhöhen die Reibung an bewegten Elementen.

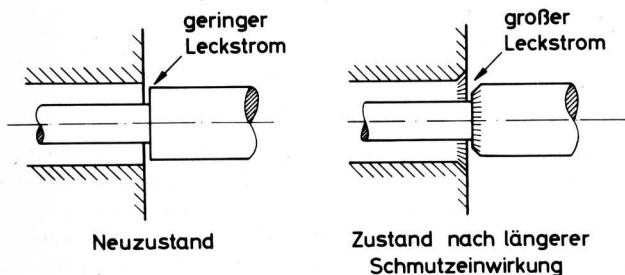


Bild 4. Verschleiß durch Schmutz an einem Längsschieberventil.

4. Kennzeichnung des Verschmutzungsgrades

Um überhaupt Aussagen über Lebensdauer und erforderliche Filterfeinheit machen zu können, muß ein "Verschmutzungsgrad" der Flüssigkeit definiert werden, der die Teilchengrößenverteilung, d.h. die Anzahl der Teilchen in bestimmten Größenintervallen, berücksichtigt, denn gerade diese Größenverteilung beeinflusst den

Verschleiß. Einige Normen und Normenvorschläge, die in den USA erarbeitet wurden, berücksichtigen zwar die Größenverteilung der Schmutzteilchen bei der Aufstellung verschiedener Verschmutzungsklassen, doch ist die Einteilung zu grob, um brauchbar zu sein [3, 6].

Dagegen besitzt das Verschmutzungsdiagramm, das an der Oklahoma State University in den USA entwickelt wurde, beträchtliche Vorteile. Bild 5 zeigt dieses Diagramm, in dem die Teilchengrößenverteilung in einer beliebigen Flüssigkeit als Gerade dargestellt werden kann. Auf der Abszisse, die im \log^2 -Maßstab unterteilt ist, steht die Teilchengröße d in μm und auf der Ordinate ist im \log -Maßstab die Zahl z der Teilchen je cm^3 aufgetragen, die größer sind als die zugehörige Teilchengröße d . Weiterhin enthält das Diagramm errechnete Kurven, die die Gesamtmasse aller in der Flüssigkeit enthaltenen Teilchen über $1 \mu\text{m}$ Größe, bezogen auf 1 dm^3 der Flüssigkeit, angeben. Um nun den Verschmutzungsgrad einer Hydraulikflüssigkeit in diesem Diagramm darzustellen, muß mit Hilfe eines Teilchenzählgerätes festgestellt werden, wieviele Teilchen in der Flüssigkeit vorkommen, die größer als z.B. 10, 20, 30 μm usw. sind. Diese Meßwerte werden als Punkte in das Diagramm eingetragen und näherungsweise durch eine Gerade verbunden, die dann die Größenverteilung der Schmutzteilchen darstellt. Eine solche Gerade ist in Bild 5 zu sehen. Sie tangiert die Kurve für eine Schmutzmasse von 10 mg/dm^3 , d.h. also, daß die Beispielflüssigkeit 10 mg/dm^3 Schmutzteilchen enthält, die größer als $1 \mu\text{m}$ sind. Zur Kontrolle kann nun noch die Masse der Teilchen je dm^3 Flüssigkeit gemessen und mit der sich aus dem Diagramm ergebenden Masse verglichen werden. Diese Kontrolle ist wegen der oft fehlerhaften Ergebnisse der Zählgeräte empfehlenswert.

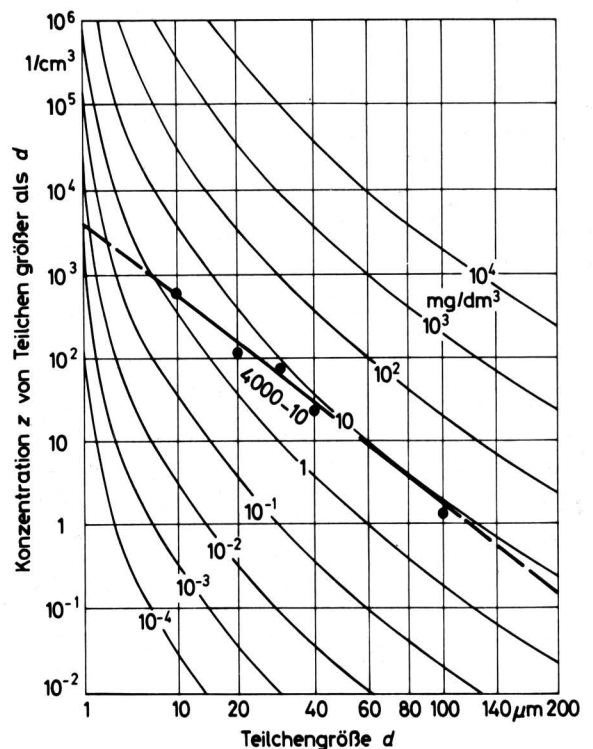


Bild 5. Verschmutzungsdiagramm mit Teilchengrößenverteilung.

Der Verschmutzungsgrad der Flüssigkeit wird gekennzeichnet durch den Schnittpunkt der Geraden mit der Ordinate, also durch die Zahl der Teilchen je cm^3 Flüssigkeit, die größer als $1 \mu\text{m}$ sind, und die Masse dieser Teilchen je dm^3 der Flüssigkeit. Die Beispielflüssigkeit hat den Verschmutzungsgrad $4000 - 10$, d.h. 4000 Teilchen größer als $1 \mu\text{m}$ sind in 1 cm^3 Flüssigkeit enthalten und die Masse der Schmutzteilchen je dm^3 der Flüssigkeit beträgt 10 mg .

Die Gültigkeit des Verschmutzungsdiagramms wurde in den USA durch umfangreiche Untersuchungen vor allem von *Fitch* [8, 9, 10] nachgewiesen. Die Verschmutzungszustände aller untersuchten Hydraulikflüssigkeiten aus vielen Bereichen der Technik ließen sich in guter Näherung im Diagramm als Geraden mit unterschiedlichen Neigungen und Anfangspunkten darstellen.

5. Verfahren zur Filterauswahl bei gegebener Lebensdauer

5.1 Bestimmung der schmutzabhängigen Lebensdauer

Die Lebensdauer einer Hydraulikeinheit ist beendet, wenn sich ein ihr zugeordneter Leistungsparameter infolge Verschleiß unter einen zulässigen Wert verringert hat. In den weiteren Ausführungen sollen nur Pumpen behandelt werden, die ja bezüglich Verschleiß die anfälligsten Elemente der Hydraulikanlagen darstellen. Eine Pumpe ist dann an der Grenze ihrer Lebensdauer angelangt, wenn sie bei Nenndrehzahl und Maximaldruck gerade noch einen festgelegten Mindestförderstrom, z.B. 80 % des Anfangsförderstromes, liefert. Die Größe des Verschleißes, der diesen Förderstromabfall verursacht hat, hängt natürlich nicht allein vom Verschmutzungsgrad der Hydraulikflüssigkeit, sondern auch von den folgenden Parametern ab:

- Verschleißverhalten des Materials
- Gestaltung der Bauelemente
- Eigenschaften der Hydraulikflüssigkeit
- Betriebsbedingungen (Druck, Drehzahl, Temperatur).

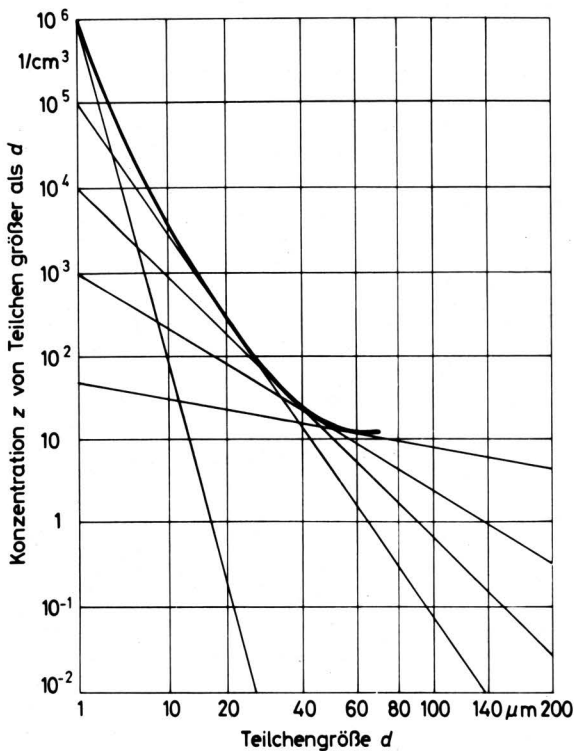


Bild 6. Konstruktion eines Schmutztoleranzprofils im Verschmutzungsdiagramm.

Diese 4 Parameter ändern sich natürlich mit Pumpenbauart und -hersteller, so daß jeder Pumpentyp eine ganz spezifische Empfindlichkeit gegen feste Schmutzteilchen aufweist. Diese sogenannte Schmutzempfindlichkeit ist bei verschiedenen Teilchengrößen unterschiedlich und muß in einem Labortest [9] ermittelt werden. Dabei wird die Pumpe unter Nennlastbedingungen über konstante Zeitabschnitte verschiedenen genau festgelegten Verschmutzungsgraden der Flüssigkeit ausgesetzt und der jeweils sich ergebende Förderstromabfall gemessen. Mit den Ergebnissen des Testes wird nun

rechnerisch eine Reihe von Verschmutzungsgraden, für die die Pumpe die gewünschte Lebensdauer aufweist, ermittelt und in das Verschmutzungsdiagramm eingetragen, Bild 6. Die Einhüllende der sich ergebenden Geradenschar ist das sogenannte Schmutztoleranzprofil für die gewünschte Lebensdauer, die dann erreicht wird, wenn der Verschmutzungsgrad der Hydraulikflüssigkeit im Verschmutzungsdiagramm unterhalb des Profils liegt.

Bei entsprechender Normung könnten die Pumpenhersteller für ihre Pumpentypen Schmutztoleranzprofile für verschiedene Lebensdauerwerte erstellen, wie sie in Bild 7 für 100, 1000 und 10000 Stunden Lebensdauer dargestellt sind. Die Anwender hätten nur durch ausreichende Filterung für einen Verschmutzungsgrad unterhalb des entsprechenden Schmutztoleranzprofils zu sorgen. Es müßte dabei auch berücksichtigt werden, wie oft und wie lange die betreffende Pumpe unter Vollast oder Teillast arbeitet, denn die Schmutztoleranzprofile gelten für Vollast.

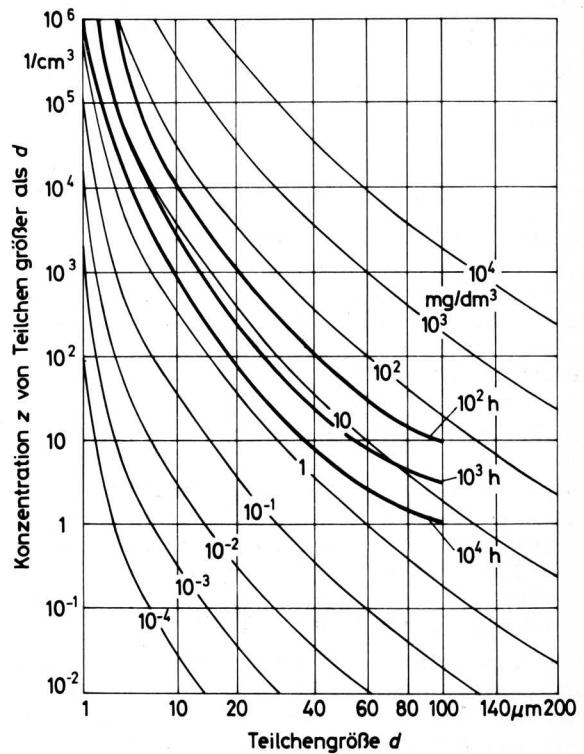


Bild 7. Schmutztoleranzprofile einer Pumpe.

5.2 Auswahl des Filters

Die Auswahl eines ausreichenden Filters für einen bestimmten Anwendungsfall bereitet heute dem Konstrukteur trotz einer Vielzahl verschiedener Leistungs- und Kenndaten für Filter erhebliche Schwierigkeiten. Das erkennt man deutlich an den oft sehr unterschiedlichen Filtervorschriften der Hydraulikhersteller, die den verschiedenen Anwendungsfällen meist nicht Rechnung tragen.

Die Leistung eines Filters läßt sich sehr gut durch einen Labortest feststellen, bei dem eine Versuchsflüssigkeit mit Nenndurchfluß durch das Filter fließt, wobei im Zulauf kontinuierlich eine konstante Menge Versuchsschmutz zugesetzt wird. Die Verschmutzungsgrade vor und hinter dem Filter werden in kurzen Zeitabständen gemessen und, wenn sie sich stabilisiert haben, ins Verschmutzungsdiagramm eingezeichnet. Bild 8 zeigt diese beiden Verschmutzungsgrade, deren Zwischenraum als Schmutztoleranzspektrum bezeichnet wird. Als weiteres Ergebnis liefert der Test die Standzeit des Filtereinsatzes für die Testverschmutzung.

Das Schmutztoleranzspektrum, das ein Filterelement in einer praktischen Hydraulikanlage liefert, kann einigermaßen genau nur über die Standzeit bestimmt werden. Erreicht z.B. ein Filter in einer praktischen Anlage eine Standzeit, die 10mal so groß ist wie die des Laborversuchs, so liegen alle Punkte des praktischen Schmutztoleranzspektrums um den Faktor 10 tiefer als die Ergebnisse des Laborversuchs.

Alle Verschmutzungsgrade an den verschiedenen Stellen einer Hydraulikanlage liegen zumindest bei Hauptstromfiltration innerhalb des Schmutztoleranzspektrums, und zwar bei Anordnung kurz hinter dem Filter an der unteren und bei Anordnung vor dem Filter an der oberen Grenze. Hat man also z.B. ein Saugfilter vor der Pumpe angeordnet, so genügt es, wenn ihr Schmutztoleranzprofil für die gewünschte Lebensdauer knapp oberhalb der unteren Grenze liegt, wie es in Bild 8 dargestellt ist.

Zur Auswahl eines Filters für eine praktische Anlage müssen also zunächst die Standzeiten verschiedener Filterelemente beim praktischen Betrieb der Anlage ermittelt werden. Mit dem aus dem Labortest gegebenen Schmutztoleranzspektrum der Filter und dem Schmutztoleranzprofil des empfindlichsten Elements der Hydraulikanlage kann dann das Filter ausgewählt werden, dessen Leistung für die geforderte Lebensdauer ausreicht und das nur so fein wie nötig filtert.

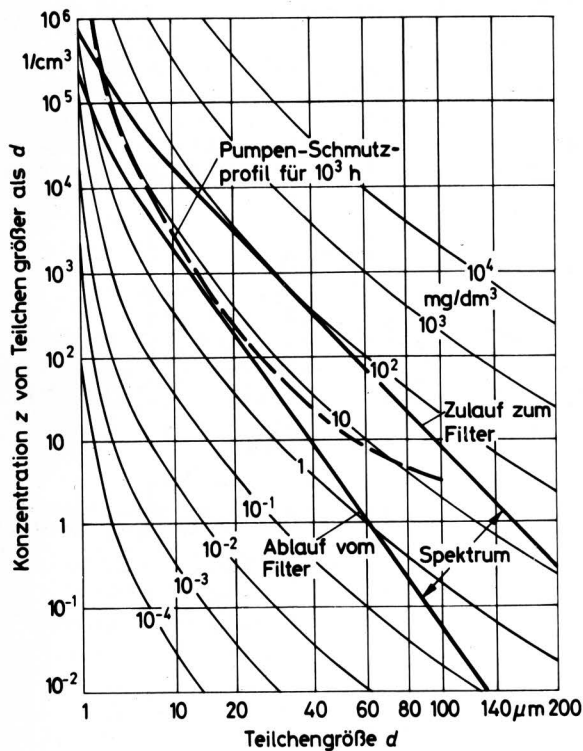


Bild 8. Schmutztoleranzspektrum eines Filters mit Schmutztoleranzprofil einer Pumpe.

5.3 Möglichkeiten des Verfahrens und Voraussetzungen für die Anwendung

Mit Hilfe des hier nur andeutungsweise vorgestellten Verfahrens ist es möglich, die folgenden Punkte im voraus zu bestimmen [9]:

- Die Lebensdauer eines Hydrogerätes in Abhängigkeit vom Verschmutzungsgrad
- Die Auswahl eines ausreichenden Filters für eine vorgegebene Lebensdauer
- Der Leistungsabfall eines Hydrogerätes, wenn Einsatzdauer und Verschmutzungsgrad gegeben sind.

Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß die Testbedingungen und das Berechnungsverfahren genormt werden und daß die Hydraulikhersteller Schmutztoleranzprofile für ihre Hydraulikelemente bzw. Schmutztoleranzspektra für ihre Filter erstellen und bekanntgeben. Eine solcherart einheitliche und vergleichbare Darstellung der Schmutzempfindlichkeit würde außerdem die Hydraulikhersteller zu verstärkter Entwicklung schmutzunempfindlicherer Geräte anregen. Hierzu gehört vor allem eine selbsttätige Nachstellung der Bauelemente an Dichtspalten, um besonders den Verschleiß durch die kleinen Schmutzteilechen auszugleichen, denn diese lassen sich nur durch teure Filtereinsätze aus der Betriebsflüssigkeit entfernen.

6. Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß in jeder Hydraulikanlage eine Vielzahl kleiner Schmutzteilechen mit der Betriebsflüssigkeit umgewälzt wird, deren Zahl und Größe die Lebensdauer und Funktionssicherheit der Bauelemente beeinträchtigt. Sie geraten oftmals schon bei der Montage in die Anlage und ihre Zahl vermehrt sich während des Betriebes durch Abrieb und Umgebungsschmutz. Es muß kontinuierlich mit ausreichender Feinheit gefiltert werden, damit sich der Verschmutzungsgrad der Hydraulikflüssigkeit in tragbaren Grenzen bewegt. Es wurde ein Verfahren vorgestellt, das in den USA entwickelt wurde, und das eine brauchbare Kennzeichnung des Verschmutzungsgrades einer Flüssigkeit erlaubt. Auch gestattet dieses Verfahren die Auswahl von Filtern zur Erlangung einer ausreichenden Lebensdauer oder die Errechnung der voraussichtlichen Lebensdauer bei gegebenem Verschmutzungsgrad. Diese Anwendung des Verfahrens setzt jedoch eine ausreichende Normung und die Bereitstellung bestimmter typspezifischer Kennwerte durch die Hydraulikhersteller voraus.

Schrifttum

- [1] Scholtz, K.-H.: Wirtschaftlicher Einsatz von Hydraulikfiltern. *öhydraulik u. pneumatik* Bd. 17 (1973) Nr. 10, S. 269/73.
- [2] Bernhard, H. u. S. Martin: Filterlatein – verständlich gemacht. *fluid* Bd. 7 (1973) Nr. 9, S. 22/27.
- [3] Wüsthof, P. u. P.M.A.L. Hezemans: Kolloquium über Filter in hydraulischen Systemen. *Industrieanzeiger* Bd. 90 (1968) Nr. 60, S. 26/30.
- [4] Wells, R.M.: Filtration and cleanliness of fluid, Part I + II. *Hydraulic Pneumatic Power* Bd. 12 (1966) Nr. 133, S. 50/53; Nr. 134, S. 110/12.
- [5] Russel, E.J.: Contamination measurement and its relation to field failures. SAE-paper Nr. 680614 (1968) Milwaukee/Wis.
- [6] Weinschelbaum, M.: Studien über die Verschmutzung in Hydrauliksystemen. *Technica* 19 (1970) Nr. 15, S. 1203/08.
- [7] Crone, J.: Neue Wege der Hydraulikfiltration *öhydraulik u. pneumatik* Bd. 13 (1969) Nr. 12, S. 578/82.
- [8] Fitch, E.C.: Einfluß verschmutzter Druckflüssigkeiten auf Hydrogeräte. *Fachtagungsbericht Öhydraulik und Pneumatik* 1971, Hannover.
- [9] Fitch, E.C. u. G.E. Maroney: A fundamental method for establishing contaminant tolerance profiles for pumps. *Second Fluid Power Symposium* 4th - 7th January 1971, Guilford, Paper C 1.
- [10] Fitch, E.C.: Requirements for an effective program in fluid contamination control. ASTM. (Special technical publications) Philadelphia 1971, S. 39/49.