

Vickers™



Wirksame Verschmutzungs- kontrolle in Hydraulik- systemen

Kapitel 1 Einführung

Die Auswahl eines Filters und dessen geeignete Anordnung in einem Hydrauliksystem erfordert genau so viel Sorgfalt und die gleiche Erfahrung wie die Wahl der anderen Komponenten wie Pumpen, Ventile und Zylinder. Viele Projekt-Ingenieure nehmen lediglich den Katalog des Hydraulikgeräteherstellers als Leitfaden zur Hilfe, doch ist es leider immer noch üblich, daß die Hydraulikgerätehersteller allgemeine Angaben hinsichtlich der Filtration machen, indem sie zum Beispiel eine Filterfeinheit von 25 µm vorschreiben, ohne den Betriebsdruck, die Umgebungsbedingungen oder die Zahl der Arbeitsspiele zu berücksichtigen. Bei bestimmten Geräten mögen niedrigere Standardwerte zulässig sein. Beispielsweise arbeiten viele Pumpen älterer Bauart störungsfrei im Langzeitbetrieb, obwohl nur ein Sieb mit einer Maschenweite von 0,13 mm vorgesetzt ist. Auf der anderen Seite benötigen modernere Geräte, wie Steuerventile kleiner Nenngröße mit weitaus engeren Toleranzen als bei vielen Servoventilen, einen wesentlich besseren Schutz.

Gewöhnlich besteht der nächste Schritt darin, die Anordnung des Filters festzulegen. Auch hier werden die verallgemeinerten Empfehlungen des Filterherstellers häufig ohne Rücksicht auf die Besonderheiten des jeweiligen Systems übernommen. Schließlich wird die Größe des Filters bestimmt. Dies geschieht in vielen Fällen im wesentlichen einfach auf Grund der Nennweite der Hydraulikleitung. Dabei mag wohl sichergestellt sein, daß die empfohlene Strömungsgeschwindigkeit nicht überschritten wird, doch weit wichtiger, was häufig übersehen wird, sind der Filterwirkungsgrad und die Schmutzaufnahmekapazität des Filters.

Es muß zugegeben werden, daß diese einfache Bestimmung in vielen Fällen durchaus ausreichend erscheint. Wenn jedoch über 70% der Störungen in Hydrauliksystemen bekanntermaßen auf den schlechten Zustand der Hydraulikflüssigkeit zurückzuführen sind, besteht eine deutliche Notwendigkeit zur Anwendung eines systematischeren Verfahrens zur Kontrolle der Verschmutzung. Diese Notwendigkeit ist in verstärktem Maße durch die zunehmend ungünstigeren Bedingungen, unter denen die Systeme arbeiten, gegeben. Viele Jahre lang war zum Beispiel bei industriellen Hydrauliksystemen ein Druck von etwa 70 bar üblich. Heutzutage sind Systeme mit Drücken von 140 bis 210 bar weit verbreitet; ein großer Teil der Verunreinigungen, die früher weggespült wurden, wird bei diesen Systemen in die schmalen Spalten zwischen den Teilen gepreßt und richtet dort beträchtlichen Schaden an. Kleinere Tanks haben einen schnelleren Umlauf und damit weniger Gelegenheit zum Absetzen der Partikel. Höhere Betriebstemperaturen verursachen eine Verdünnung der Hydraulikflüssigkeit und damit in manchen Situationen eine Verringerung des Verschleißschutzes und eine Erhöhung der Verschmutzung.

Angesichts dieser Entwicklungen verlangt der Benutzer von Hydraulikgeräten eine Verbesserung der Zuverlässigkeit. Dieses Ziel läßt sich ganz bestimmt einfacher und mit weniger Kosten erreichen, wenn die Hydraulikflüssigkeit einen ausreichenden Reinheitsgrad aufweist. Es ist nicht schwierig, die Hydraulikflüssigkeit in gutem Zustand zu erhalten, vorausgesetzt, die entsprechenden Maßnahmen werden bereits bei der Konstruktion der Maschine ergriffen. Die Vorteile sind erhöhte Zuverlässigkeit und verlängerte Einsatzfähigkeit sowohl der Maschine als auch der Hydraulikflüssigkeit.

Systematische Betrachtung des Filtrationsproblems

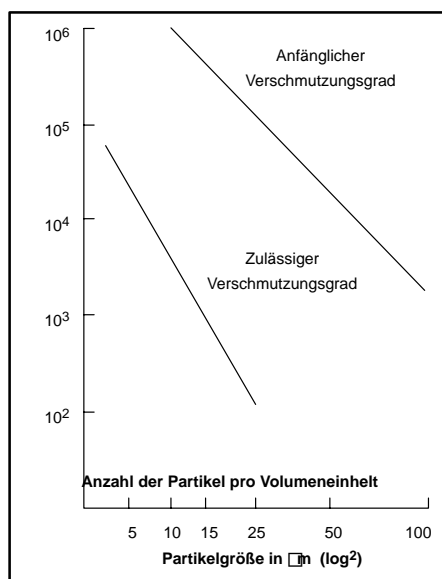
Um den größtmöglichen Schutz bei größtmöglicher Wirtschaftlichkeit zu erhalten, muß zunächst das Ziel definiert werden. Die Aufgabe besteht nicht, wie weithin angenommen wird, einfach darin, Partikel mit einer Größe jenseits eines willkürlich festgelegten Grenzwertes auszuschneiden. Statt dessen muß ein den Eigenschaften der verschiedenen Teile des Systems entsprechend annehmbarer Verschmutzungsgrad festgelegt und eingehalten werden.

Bei einem stabilisierten Verschmutzungsgrad muß die Menge der eingeführten Verunreinigungen gleich der Menge der durch Filtration ausgeschiedenen Verunreinigungen sein. Die eingeführten Verunreinigungen bestehen aus den den Bauteilen anhaftenden Verunreinigungen, den bei der Systemfüllung im Hydrauliköl enthaltenen Verunreinigungen und den über die Belüftungseinrichtungen und durch die Zylinderdichtungen aus der Atmosphäre aufgenommenen Verunreinigungen. Alle diese Verunreinigungen tragen über den Verschleißprozeß zur Entstehung von Partikeln bei.

Den den Systemteilen anhaftenden Verunreinigungen muß große Aufmerksamkeit gewidmet werden. Sie sind unvermeidlich und erreichen auch dann ein hohes Maß, wenn bei der Verlegung der Rohrleitungen und der Montage von Sammelblöcken große Sorgfalt aufgewandt wird. Durch Spülen kann ein Teil der ursprünglich vorhandenen Verunreinigungen beseitigt werden, doch gibt es viele Systeme, bei denen keine Spülung erfolgt und wo bei der Inbetriebnahme hohe Drücke bei gleichzeitiger Anwesenheit starker Verunreinigung auftreten. Das Resultat sind gewöhnlich Störungen an den Ventilen und starker Pumpenverschleiß, der praktisch immer zunächst unentdeckt bleibt. Sämtliche Hydrauliksysteme sollten deshalb zunächst mit geringem Druck betrieben werden, bis der gewünschte Verschmutzungsgrad erreicht ist.

Aus Abb. 1 ist die Beziehung zwischen dem konstruktiv festgelegten und dem tatsächlich auftretenden Verschmutzungsgrad vor Inbetriebnahme für einen typischen Anwendungsfall ersichtlich. Diese Darstellungsmethode ergibt sich auf natürliche Weise aus der in der Praxis vorkommenden logarithmischen Verteilung der Partikelgröße. Die relative Neigung der Kurven für die anfängliche und die zulässige Verschmutzung ist ein deutlicher Hinweis auf die Art der durchzuführenden Filtration.

Abb. 1: Typische Beziehung zwischen dem konstruktiv festgelegten Verschmutzungsgrad und dem Istgrad vor Inbetriebnahme. Es ist unbedingt darauf zu achten, daß das System durchgespült und mit geringem Druck betrieben wird, bis der zulässige Verschmutzungsgrad erreicht ist.



Die Methoden zur Bestimmung und zur Kontrolle des Verschmutzungsgrades werden später genauer behandelt. Im Augenblick können jedoch die Anforderungen an die Filteranlage hinsichtlich des Verhaltens in der Praxis und der Leistungsfähigkeit zusammengefaßt werden:

1. Die Filteranlage muß in der Lage sein, den anfänglichen Verschmutzungsgrad innerhalb eines annehmbaren Zeitraums auf das gewünschte Maß zu senken, ohne daß die Hydraulikkomponenten vorzeitig verschleißsen oder beschädigt werden.

2. Die Filteranlage muß in der Lage sein, den gewünschten Verschmutzungsgrad zu erreichen und zu halten, unter Einbeziehung eines ausreichenden Sicherheitsfaktors zur Berücksichtigung von Stoßbelastungen, die z. B. beim Nachfüllen auftreten können.

3. Eine ausreichend gute Qualität der Wartung durch den Anwender am Standort muß gewährleistet sein.

4. Die Filter müssen zu Wartungszwecken leicht zugänglich sein.

5. Der Filterzustand muß entsprechend den Anforderungen des Anwenders überprüft werden können.

6. In Anlagen mit ununterbrochenem Arbeitsablauf müssen Möglichkeiten zum Austausch von Elementen ohne Unterbrechung des Arbeitsprozesses vorgesehen sein.

7. Die Filter müssen eine ausreichende Schmutzaufnahmekapazität haben, um annehmbare Intervalle zwischen den Elementwechseln zu garantieren.

8. Durch den Einbau von Filtern in ein System dürfen keine unerwünschten Auswirkungen auf die Arbeitsweise der einzelnen Komponenten ausgelöst werden, wie z. B. hohe Staudrücke an den Leckölanschlüssen.

9. Es müssen Probeentnahmestellen vorgesehen sein, damit der anfängliche und der Betriebs-Verunreinigungsgrad überwacht werden können.

Kapitel 2 Aufnahme von Verunreinigungen - Arten und Quellen der Verschmutzung - Neue Hydraulikflüssigkeit

Obwohl die Hydraulikflüssigkeit unter relativ sauberen Bedingungen raffiniert und zusammengestellt wird, erfolgt die Lagerung üblicherweise in Fässern oder Tanks beim Anwender. Von diesem Punkt an ist die Hydraulikflüssigkeit nicht mehr rein, da die Leitungen Metall- und Gummipartikel abgeben und von den Behälterwänden stets Metall und Zunder abblättern. Lagertanks können insofern zum Problem werden, als Wasser in ihnen kondensiert und dadurch Rost entsteht sowie

Verunreinigungen aus der Atmosphäre eindringen, wenn nicht wirksame BelüftungsfILTER eingebaut werden.

Bei Lagerung der Hydraulikflüssigkeit unter annehmbaren Bedingungen werden die wichtigsten Verunreinigungen, die in das Hydrauliksystem gelangen, durch metallische Partikel, Kieselsäure und Fasern gebildet. Untersuchungen an Hydraulikflüssigkeiten, die von namhaften Herstellern geliefert wurden, enthielten eine durchschnittliche Anzahl von 30.000 bis 50.000 Partikeln, größer als $5 \mu\text{m}$ pro 100 ml, bei relativ geringer Feinstverschmutzung. Unter Verwendung einer transportablen Filterpumpe oder einer anderen Filtrationseinrichtung ist es möglich, einen großen Teil der Verunreinigungen aus der neuen Hydraulikflüssigkeit zu entfernen, bevor sie in das System gelangen und in kleinere Partikel zerschiffen werden.

Nebenbei muß gesagt werden, daß der auf Transport und Lagerung zurückzuführende Umfang der Verschmutzung vom jeweiligen Industriezweig abhängt. In der Luftfahrt z. B. ist eine hohe Reinheit erforderlich, wobei auch die Lagervorräte relativ kurzfristig umgeschlagen werden, während in der Schifffahrt weitaus längere Lagerzeiten die Regel und die Umgebungsbedingungen schwieriger zu beherrschen sind.

Verschmutzung durch die Montage der Bauteile

Bei neuen Maschinen tritt stets eine gewisse Montage-Verschmutzung auf. Sorgfalt beim Zusammenbau und beim Durchspülen des Systems führt zu einer Verminderung, jedoch nicht zu einer völligen Beseitigung der Verschmutzung. Typische Verunreinigungen in diesem Zusammenhang sind Späne, Verdampfungsniederschläge, Schmutz, Staub, Fasern, Sand, Feuchtigkeit, Lack, Schweißspritzer, Farbe und Spülflüssigkeit.

Die Menge der beim Durchspülen beseitigten Verunreinigungen wird nicht nur durch die Wirksamkeit des jeweiligen Filters bestimmt, sondern außerdem durch die Strömungsgeschwindigkeit der Spülflüssigkeit. Wenn nicht hohe Strömungsgeschwindigkeiten erreicht werden, löst sich ein großer Teil der Verunreinigungen erst dann, wenn das System in Betrieb genommen wird. Ausfall von Komponenten ist dann fast unvermeidlich. Unabhängig von der Intensität der Spülung sollte auf jeden Fall eine lastfreie Einlaufperiode eingehalten werden. Manche Verunreinigungen an den Bauteilen, wie z. B. Schweißzunder, bleiben häufig haften, bis Hydraulikflüssigkeit unter hohem Druck in den Zwischenraum zwischen Zunder und dem Grundmetall eindringt und die Verunreinigung dadurch gelöst wird.

Umgebungsbedingte Verschmutzung

In ein Hydrauliksystem können Verunreinigungen aus der unmittelbaren Umgebung eindringen. Bei Großanlagen, wie sie in Stahlwerken eingesetzt werden, können die Umgebungsbedingungen verhältnismäßig leicht ermittelt werden, auch wenn sie beträchtliche Unterschiede aufweisen.

Bei einer Koksofenanlage z. B. sind die Umgebungsbedingungen sehr verschieden von denen in einem Kaltwalzwerk. In vielen Fällen besteht die beste Lösung darin, die Hydraulikanlage zu ihrem Schutz in einem saubereren Raum gesondert aufzubauen, in dem auch die Wartungsarbeiten unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden können. Leider ist es nicht ungewöhnlich, daß Hydraulikaggregate den ungünstigsten Umgebungsbedingungen ausgesetzt werden, wohingegen die elektrischen Einrichtungen in druckbelüfteten Schränken mit Temperaturüberwachung geschützt angeordnet sind.

In den meisten Maschinensälen ist bei der Luftverunreinigung mit relativ großen Partikeln von 10-15 µm keine sehr feine Luftfiltration erforderlich, obwohl bei Schleifmaschinen ohne wirksame Absaugung lokale Probleme auftreten können. Andererseits wird in Gießereien und Steinbrüchen infolge der von der Luft getragenen abrasiven Partikel eine sehr gute Luftfiltration benötigt.

Auf dem Gebiet mobiler Geräte liegen besondere Probleme vor, da der Gerätehersteller im allgemeinen eine Standardmaschine zum Betrieb unter den unterschiedlichsten Bedingungen liefert.

Eindringstellen für umgebungsbedingte Verunreinigungen:

1. Belüftungseinrichtungen

Hier scheint nur sehr wenig Information über die eigentliche Filterleistung vorzuliegen; gewöhnlich werden nur nominale Rückhalteangaben aufgeführt. Es sind Fälle aufgetreten, in denen das Filterelement eingeschrumpft war und dadurch die Umgebungsluft unbehindert Zutritt hatte. Dies zeigt deutlich die Notwendigkeit, strengere technische Normen für derartige Erzeugnisse einzuführen.

Die Menge der durch den Filter hindurchtretenden Luft wird durch das Aufnahmevermögen der Hydraulikgeräte im System bestimmt. Dies bedeutet unter anderem, daß bei einfach wirkenden Zylindern, die unter schlechten Umgebungsbedingungen arbeiten, größere Mengen von Verunreinigungen eindringen.

Es ist erfreulich, daß einige Hersteller nun Filterpapier mit verbesserten Feinheitsgraden anbieten und in bestimmten Bereichen die Kombination von Einfüllstutzen und Belüftungseinrichtung nicht mehr zulässig ist. Eine separate Belüftungseinrichtung ist wirksamer und erleichtert die Entlüftung, während die Betankung durch ein geeignetes Filter erfolgt.

2. Abdeckplatten am Hydraulikaggregat

Bei manchen Anlagen kann man nicht selbstverständlich davon ausgehen, daß die Abdeckplatten stets wieder aufgebracht werden,

wenn auch dieser Mißstand zum Glück nicht mehr so häufig vorkommt wie früher. Bei der Konstruktion von Hydraulikaggregaten ist eine gute Abdichtung unerlässlich. In ungünstiger Umgebung dürfen solche Teile wie Siebe nicht innerhalb des Tanks angeordnet werden, wenn die Zugangsöffnungen jeweils wieder durch abnehmbare Abdeckplatten verschlossen werden müssen. Auch bei anderen austauschbaren Teilen können bei der Wartung Verunreinigungen eindringen; bei der Konstruktion sollten deshalb derartige Schwachpunkte möglichst vermieden werden.

3. Zylinderdichtungen

Absteifer können sehr feine Verunreinigungen nicht zu 100% von der Kolbenstange entfernen.

Wäre dies der Fall, würde auch der Schmierfilm von der Kolbenstange entfernt, mit dem Ergebnis, daß die Dichtung beschädigt werden könnte. In jedem Fall würde eine vollkommen trockene Kolbenstange die Dichtungen sehr schnell verschleifen. Wenn Zylinder in stark verschmutzter Umgebung ausgefahren bleiben, können erhebliche Mengen feiner Partikel in das System gelangen, wenn nicht eine Schutzvorrichtung, wie z. B. ein Balg, angebracht ist.

Dr. E. C. Fitch, Professor und Direktor des Fluid Power Research Center, Oklahoma State University, hat nachgewiesen, daß Kolbenstangendichtungen je cm² Kolbenstangen-Oberfläche etwa 1 Partikel größer als 10 µm hindurchlassen.

Durch die an Dichtungen und Abstreifringen auftretenden Verschleißerscheinungen kann sich die Eintrittsmenge wesentlich erhöhen. Bei ungünstigen Umgebungsbedingungen kann eine Kolbenstange mit einem Durchmesser von 50 mm in einem Zylinder mit 100 mm Hub, die mit einer Geschwindigkeit von 12 m/min ein- und ausfährt, somit etwa 20.000 Partikel/min größer als 10 µm mit sich führen. Diese Zahl kann sich für jeweils 100 Betriebsstunden um den Faktor 100 erhöhen. Dr. Fitch bezeichnet diese Angaben als „schwere Betriebsbedingungen“, hält sie jedoch für durchaus realistisch.

4. Im System erzeugte Verunreinigung

In einem Hydrauliksystem werden schon intern durch den Betrieb Verunreinigungen erzeugt. Diese Verunreinigungen entstehen durch Verschleiß, Korrosion, Kavitation und Veränderungen der Hydraulikflüssigkeit, d. h. Zersetzung, Oxydation usw. Die Erfahrung zeigt, daß in einem System, das sorgfältig durchgespült worden ist und bei dem gefilterte Hydraulikflüssigkeit in einen gegen das Eindringen von Verunreinigungen geschützten Tank (mit wirksamer Belüftungseinrichtung) nachgefüllt wird, die Verunreinigung hauptsächlich im System selbst erzeugt wird.

Wenn der anfängliche Verschmutzungsgrad zu hoch ist, führt dies zu Verschleiß und damit zu einer wesentlichen Beschleunigung bei der Entstehung von im System erzeugten Verunreinigungen.

Kapitel 3 Auswirkungen in Abhängigkeit von Art und Größe der Partikel

Es ist bekannt, daß die Verunreinigungspartikel alle Größen und Formen aufweisen und daß sie um so schwieriger zu zählen und in ihrer Zusammensetzung zu bestimmen sind, je feiner sie sind. Es läßt sich jedoch sagen, daß sie in ihrer Mehrzahl Schmirgeleffekt haben und daß sie - im Zusammenwirken mit der normalen Rauigkeit von Oberflächen - Material aus der Oberfläche herauschaben und -schneiden. Dieser Verschleiß ist für etwa 90% der auf Verschmutzung zurückzuführenden Ausfälle verantwortlich.

Die durch Verschmutzung verursachten Ausfälle lassen sich in drei Kategorien einteilen:

1. Plötzlicher Ausfall

Er tritt dann auf, wenn ein größeres Teilchen in eine Pumpe oder ein Ventil gelangt. Wenn z. B. ein Teilchen in einen Rotorschlitze gelangt und deshalb ein Flügel klemmt, kann dies dazu führen, daß die Pumpe oder der Motor festfrißt. Bei einem Ventil kann ein großes Teilchen an der entsprechenden Stelle dafür sorgen, daß das Ventil nicht mehr arbeitet. Ein weiteres Beispiel für einen plötzlichen Ausfall liegt dann vor, wenn die Vorsteuerdüse eines Ventils durch ein großes Teilchen blockiert wird. Kleinere Partikel können ebenfalls plötzliche Ausfälle verursachen, z. B. wenn ein Ventil infolge Verschlamung nicht weiterarbeitet.

2. Zeitweiliger Ausfall

Die Ursache eines derartigen Ausfalls sind Verunreinigung auf dem Sitz eines Tellerventils, das nicht mehr einwandfrei schließen kann. Wenn das Material des Sitzes nicht weich genug ist, um die Partikel aufzunehmen, können diese beim Öffnen des Ventils weggespült werden. Späterhin können andere Partikel, die dann erst wieder beim Öffnen des Ventils weggespült werden, zunächst das vollständige Schließen des Ventils verhindern. Auf diese Weise entstehen äußerst schwer zu lokalisierende zeitweilige Ausfälle.

3. Ausfall durch Abtragung

Diese Art Ausfall ist auf Verschleiß, Korrosion und durch Kavitation verursachte Erosion zurückzuführen. Die genannten Ursachen führen zu erhöhter interner Leckage in den Systemkomponenten, was sich oft nur schwer feststellen läßt. Dies kann, insbesondere bei Pumpen, einen plötzlichen Ausfall zur Folge haben. Es sind vor allem diejenigen Partikel, die größtmäßig genau in den Spalt zwischen zwei beweglichen Teilen passen, die den größten Verschleiß herbeiführen (Abb. 2).

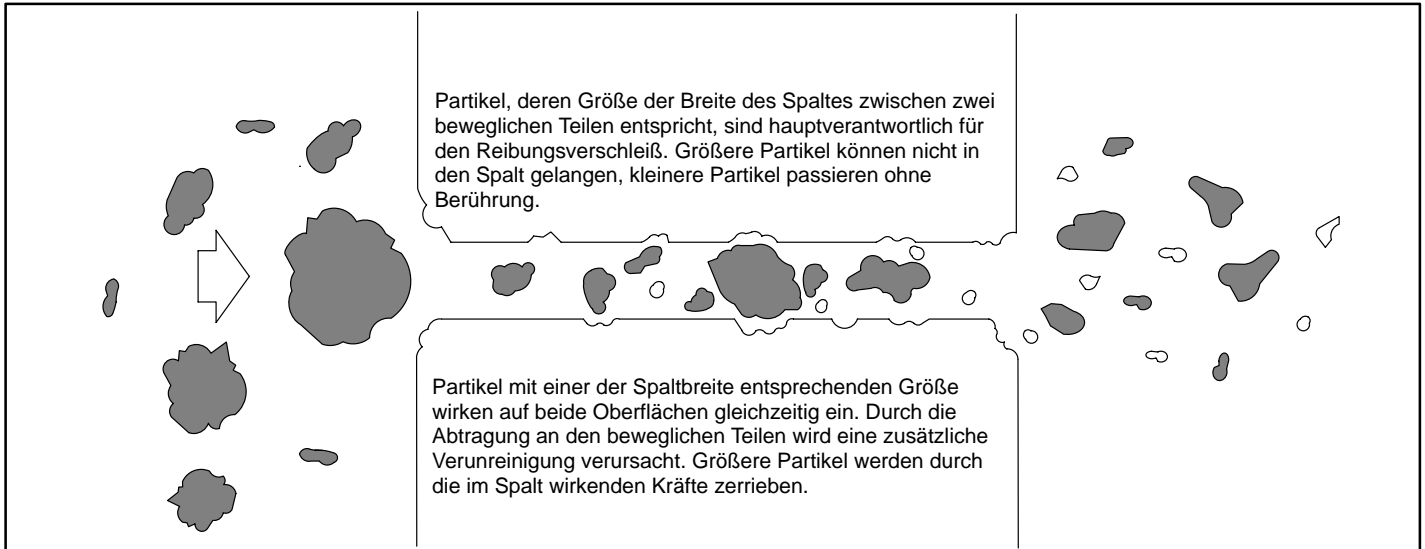
Die Toleranzen in Hydraulikkomponenten können in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden, nämlich etwa 5 µm für Hochdruckgeräte und 15-40 µm für Niederdruckgeräte. Die Toleranzen im jeweiligen Fall können sehr unterschiedlich sein, je nach der Art des Gerätes und den Betriebsbedingungen. Bereits bei der Konstruktion können deshalb bereits nachteilige Auswirkungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Betrachten wir deshalb die die kritischen Toleranzen beeinflussenden Faktoren und die jeweilige Art des Ausfalls bei den verschiedenen Komponentengruppen.

Pumpen

Sämtliche Hydraulikpumpen weisen Bauteile auf, die sich in gegenseitiger Abhängigkeit bewegen und durch einen engen, mit Hydraulikflüssigkeit benetzten Spalt voneinander getrennt sind. Im allgemeinen wirken zwischen diesen Bauteilen vom Druck abhängige Kräfte. Durch den Druck wird stets mehr oder weniger Hydraulikflüssigkeit durch diesen Spalt gepreßt. Das Ende der Lebensdauer der meisten Pumpen ist dann erreicht, wenn eine vergleichsweise sehr kleine Materialmenge an nur wenigen Stellen abgetragen worden ist. Daraus folgt, daß ein schneller Verschleiß dann stattfindet und die Pumpe schließlich festfressen kann, wenn die im Spalt vorhandene Flüssigkeit stark verunreinigt ist. Bei Niederdruckgeräten kann die Konstruktion mit relativ großen Toleranzen arbeiten; Verunreinigungen spielen da keine so große Rolle. Wenn der Druck niedriger ist, sind auch die Kräfte, die die Partikel an kritische Stellen befördern, niedriger. Die Druckerhöhung ist deshalb ein wichtiger Faktor bei der Bestimmung der Auswirkung von Verunreinigungen auf eine Pumpe.

Abb. 2: Zusammenwirken von beweglichen Teilen



Ein weiterer Faktor, der Einfluß auf die Spaltbreite hat, ist die Dicke des Flüssigkeitsfilms, die ihrerseits von der Viskosität der Hydraulikflüssigkeit abhängt. Bei der Konstruktion wird von einer optimalen Viskosität ausgegangen, die einerseits für eine ausreichende Dicke des Films sorgt, um die Lasten hydrodynamisch abzustützen, andererseits jedoch niedrig genug ist, um ein Füllen der Pumpe ohne Kavitationserscheinungen zu garantieren. In der Praxis zeigt sich häufig, daß die Anforderungen hinsichtlich der Filtration bei höheren Viskositäten weniger kritisch sind. Aus diesem Grunde sollte eine Flüssigkeit mit größtmöglicher Viskosität in Übereinstimmung mit den Ansaugbedingungen ausgewählt werden. Ebenso bringt eine ausreichende Temperaturkontrolle in dieser Hinsicht gute Resultate.

Diejenigen Stellen in einer Pumpe, an denen die Toleranzen besonders kritisch sind, werden nachfolgend aufgeführt:

Flügelzellenpumpe:

- Flügelspitze/Kurvenring
- Rotor/Seitenplatte

Zahnradpumpe:

- Zahn/Gehäuse
- Zahn/Seitenplatte

Axialkolbenpumpe:

- Schuh/Schrägscheibe
- Zylinderblock/Ventilplatte
- Kolben/Zylinderblock

In den Abb. 3, 4 und 5 sind die kritischen Stellen schematisch dargestellt.

In vielen der zuvor genannten Fällen stellen sich die Toleranzen unter Betriebsbedingungen von selbst ein, d. h., bei zunehmendem Druck wird die Spaltbreite geringer. Unter ungünstigen Bedingungen und insbesondere bei Stoßbelastung wächst damit die Anfälligkeit gegen kleinere Partikel. Auch wenn die Spaltbreite festgelegt ist, können die Bauteile unter hoher Belastung zur Exzentrizität neigen, wodurch wiederum eine Anfälligkeit gegen kleinere Partikel gegeben ist.

Es ist außerordentlich schwierig, genauere Angaben über die Größe der Spaltbreite, insbesondere bei dynamischer Belastung, und die Wirkung der verschiedenen großen Partikel in einem Spalt zu machen.

Aufgrund der vorhandenen Daten und der bisher gewonnenen Erfahrungen ist es jedoch möglich, den jeweiligen Verschmutzungsgrad anzugeben, der der Mehrzahl der Pumpen - bei ord-

nungsgemäßer Beachtung - eine genügend lange Lebensdauer garantiert. Diese Werte werden im nächsten Kapitel, das sich mit der Spezifizierung von Verschmutzungsdraden befaßt, aufgeführt.

Die Einsatzfähigkeit einer Pumpe ist dann beendet, wenn die Pumpe bei den vorgegebenen Werten für Drehzahl, Förderdruck und Flüssigkeitstemperatur nicht mehr die geforderte Förderleistung bringt. Als Anhalt sei gesagt, daß bei einem Nachlassen der Förderleistung um 15-20% eine Pumpe im allgemeinen nicht mehr einsatzfähig ist. Nur allzu häufig wird der Leistungsabfall nicht beachtet, bis schließlich ein plötzlicher Ausfall auftritt, wobei große Mengen von Verunreinigungen in das System gelangen. Falls das System nach einem derartigen Ausfall nicht ausreichend gereinigt wird, verkürzt sich die Lebensdauer der neuen Pumpe.

Im Interesse des Endanwenders sollte der Systemkonstrukteur eine Mindest-Förderleistung der Pumpe festlegen, um eine ausreichende Maschinenleistung sicherzustellen. Es sollten Möglichkeiten zur Überwachung der Pumpenleistung in Form von zeitweise oder ständig ange-

Abb. 3: Kritische Stellen bei einer Flügelzellenpumpe

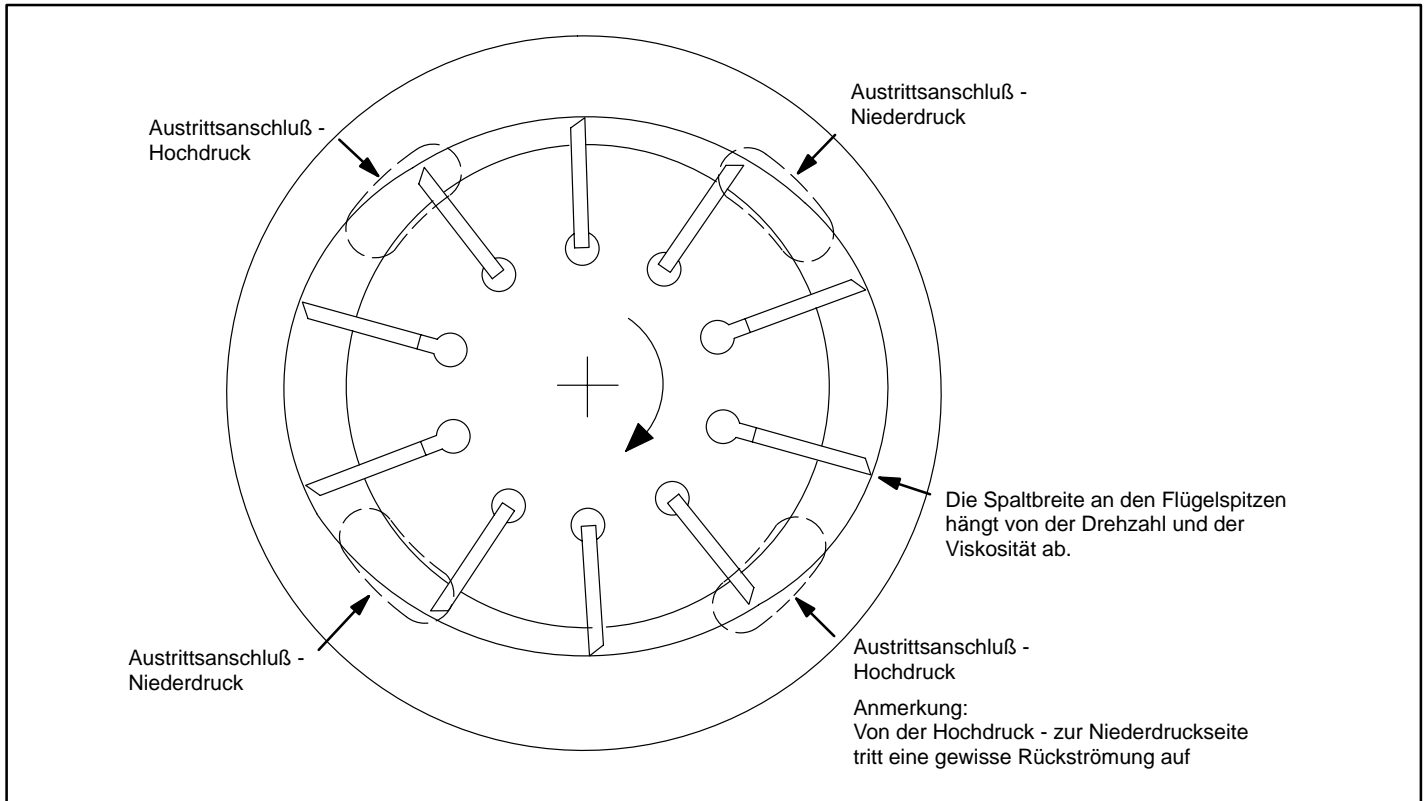


Abb. 4: Kritische Stellen bei einer Zahnradpumpe

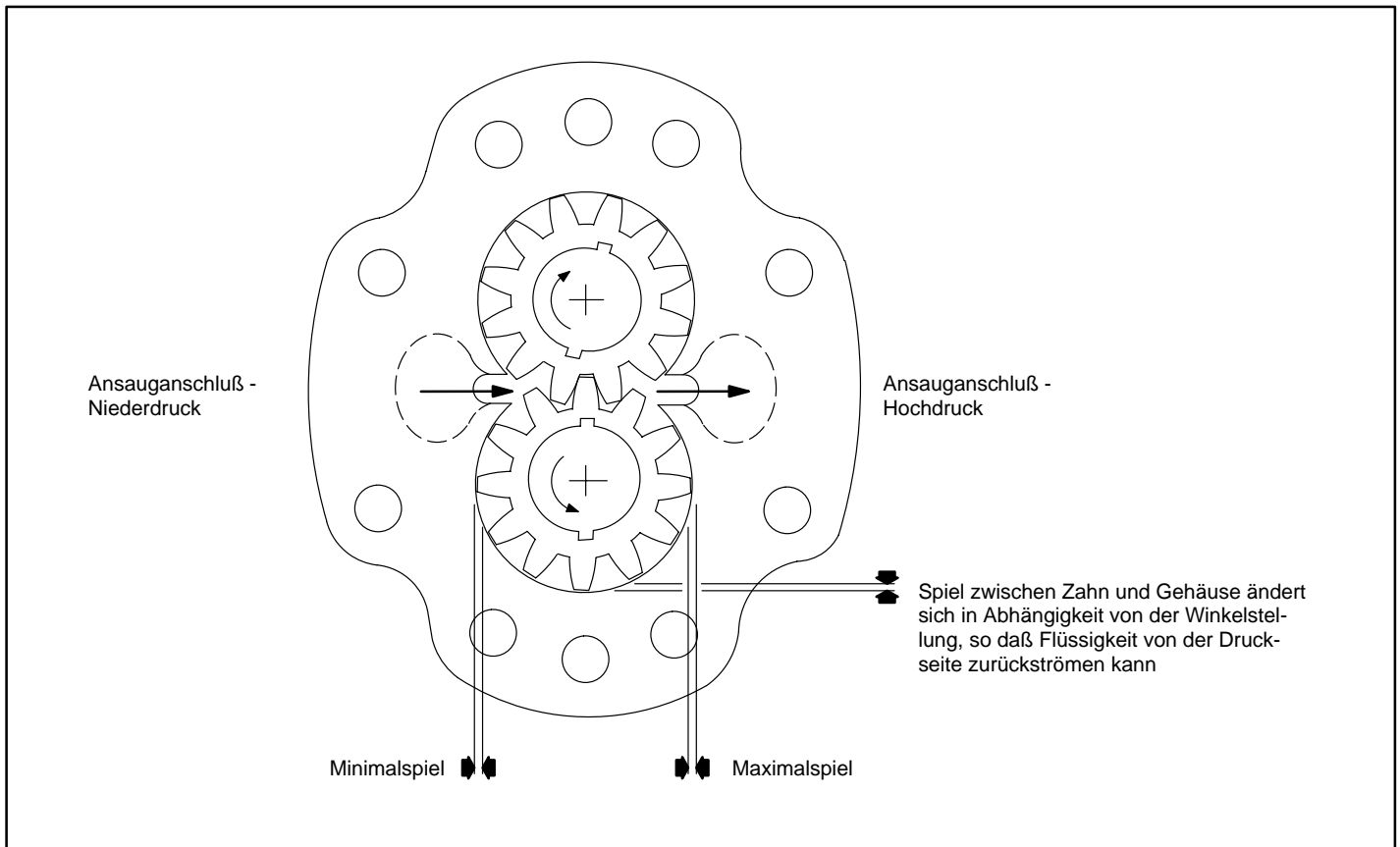
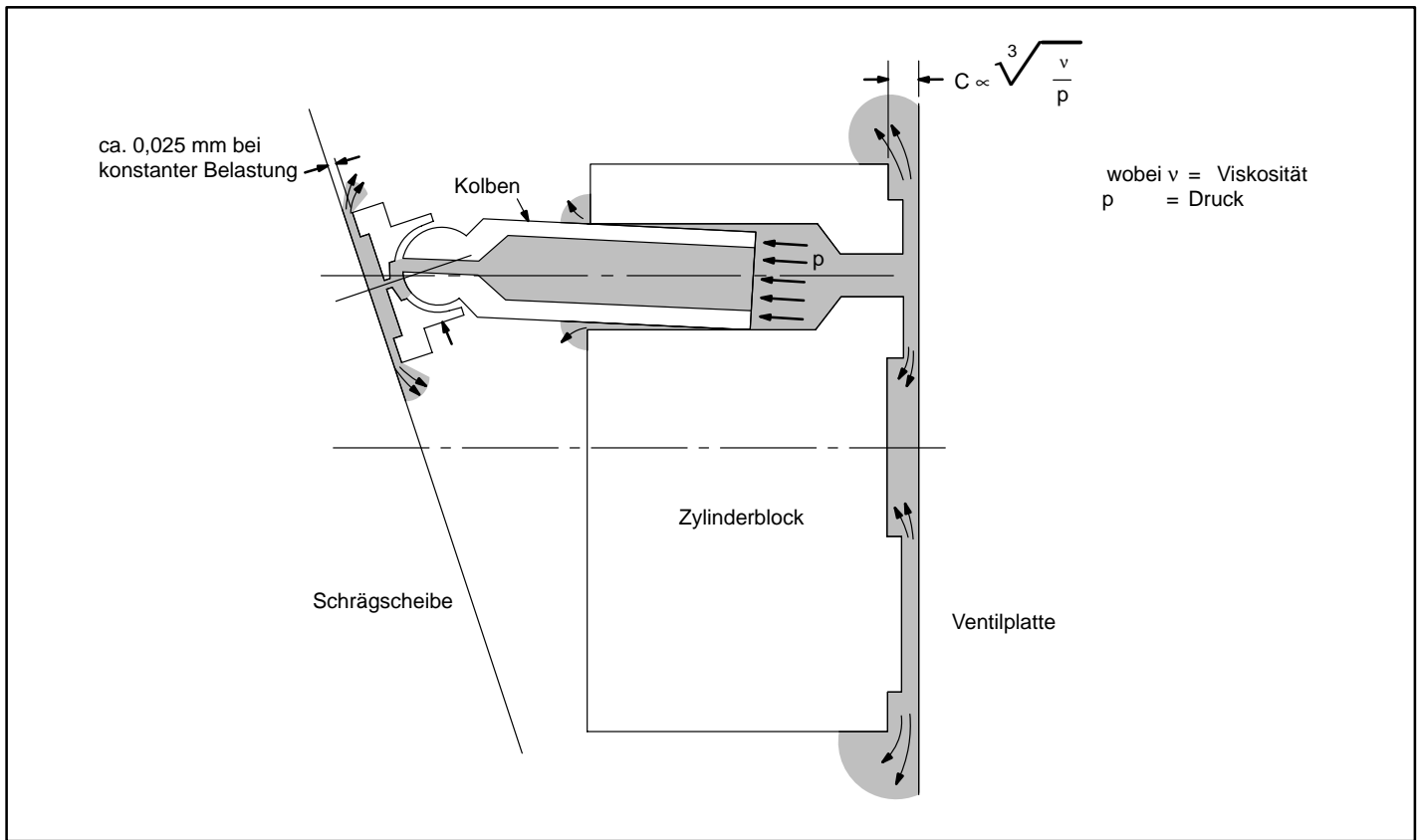


Abb. 5: Kritische Stellen bei einer Axialkolbenpumpe. Obwohl das Kolbenspiel festgelegt ist, ändert es sich in Abhängigkeit von der Exzentrizität infolge von Belastung und Viskosität.



schlossenen Instrumenten eingeplant sein, so daß sich Routineprüfungen durchführen lassen, um das Risiko plötzlicher Ausfälle zu vermindern. Bei Kolbenpumpen ist es meist einfach, den Leckölstrom zu messen. Dieser kann als Hinweis für den Zustand der Pumpen dienen.

Es sei betont, daß für den Endanwender die Gesamtkosten wichtig sind. Der Ausfall einer billigen Pumpe kann sehr wohl zu kostspieligen Ausfallzeiten führen. Wenn durch Einbau eines Durchflußmessers derartige Ausfälle vermieden werden können, lohnt sich die Investition für einen Durchflußmesser auf jeden Fall.

Motoren

Was über Pumpen gesagt wurde, gilt allgemein auch für Motoren vergleichbarer Konstruktion.

Besonders zu beachten ist die Tatsache, daß ein großer Teil der

Verunreinigungen, die die Pumpe passieren, auch zum Motor gelangen können und dort eine vergleichbare Abtragung verursachen. Falls der volumetrische Wirkungsgrad der Pumpe infolge des Verschleißes auf 85% des Ursprungswertes und der volumetrische Wirkungsgrad des Motors auf - angenommen - 90% des Ursprungswertes abgefallen ist, beträgt der volumetrische Gesamtwirkungsgrad von Pumpe und Motor nur noch $0,85 \times 0,9 = 76,5\%$ des Ursprungswertes. Aus diesem Grund ist eine Verschmutzungskontrolle und damit die Einhaltung eines bestimmten Reinheitsgrades der Flüssigkeit insbesondere bei hydrostatischen Antrieben von großer Wichtigkeit.

Wegeventile

Das zwischen Bohrung und Kolben festgelegte Radialspiel bewegt sich bei den meisten Wegeventilen im Bereich von 5 bis

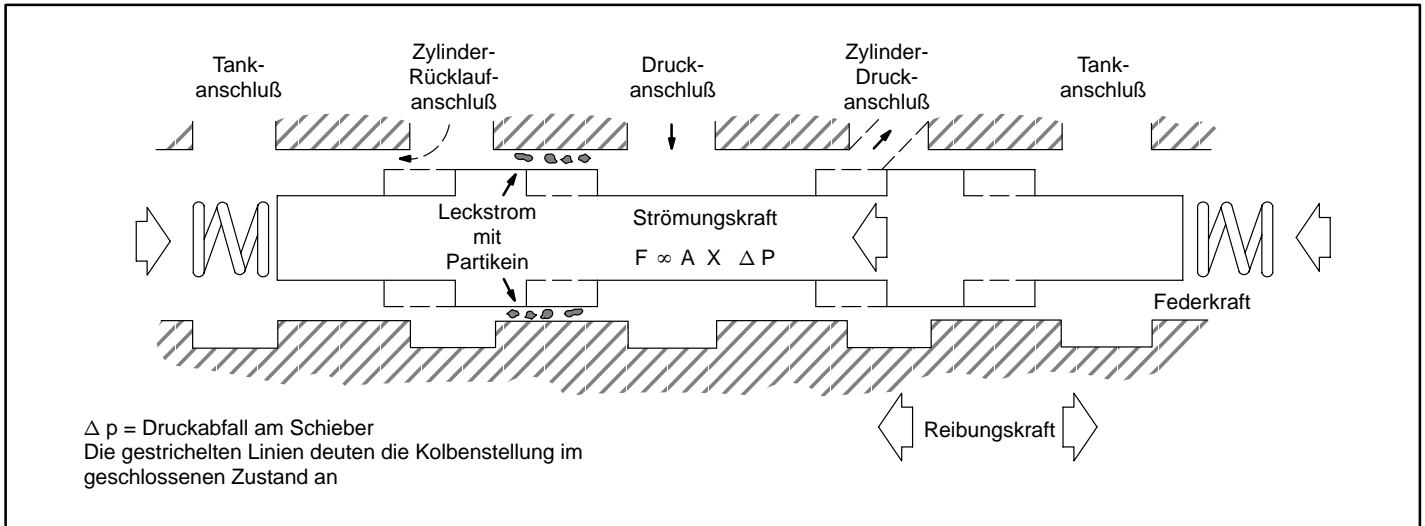
13 μm . Bekanntlich bereitet die Herstellung vollkommen runder und gerader Bohrungen außerordentliche Schwierigkeiten, und es ist somit wenig wahrscheinlich, daß sich ein Kolben genau in der Mitte des Spielbereichs befindet. Bei einem Ventil mit einer Nennweite von 1/8" hat auch ein guter Kolben im allgemeinen ein Spiel von weniger als 2,5 μm .

Die bei einem Elektromagnetventil wirksamen Kräfte sind in Abb. 6 dargestellt. Diese Kräfte setzen sich wie folgt zusammen:

Strömungskräfte + Federkräfte + Reibungskräfte + Trägheitskräfte.

Strömungs-, Feder- und Trägheitskräfte sind unveränderliche Faktoren. Die Reibungskräfte hängen jedoch zu einem großen Maß von der Filtration ab. Wenn das System durch Partikel, deren Größe den radialen und diametralen Spaltbreiten entspricht, stark verschmutzt ist, sind am Kolben höhere Stellkräfte erforderlich.

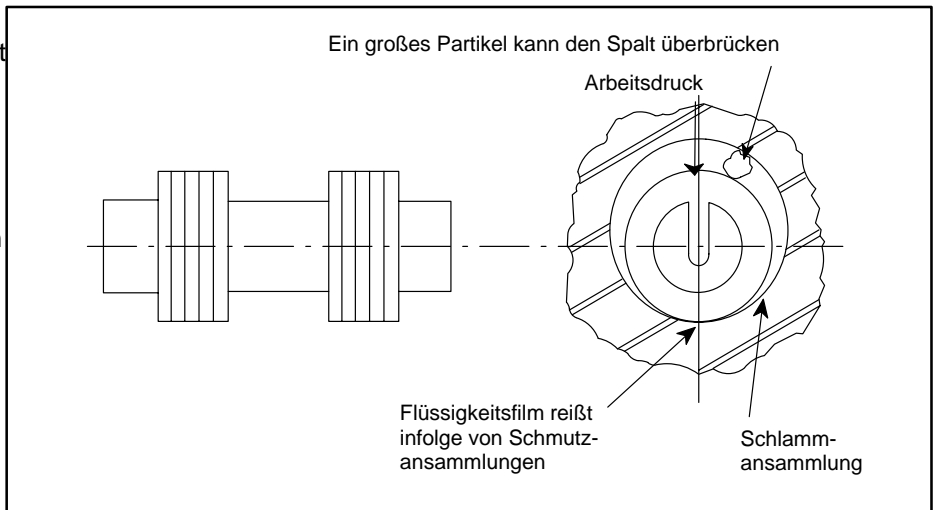
Abb. 6: Kritische Toleranzen an einem Ventilkolben (mit Angabe der Strömungswege und Kräfte)



Eine noch ungünstigere Situation entsteht bei Verschlammung, wobei die Verunreinigungen unter Druck in den Spalt gepreßt werden. Dies führt schließlich zu einem Reißen des Ölfilms, so daß der Kolben hängenbleibt (Abb. 7). **Abb. 7: Kritische Toleranzen an einem Ventilkolben. Im Regelfall ist eine gewisse Exzentrizität vorhanden.**

Diese Situation tritt dann ein, wenn dauernd unter Druck stehende Ventile nur wenig betätigt werden. In solchen Fällen sollte in der Druckleitung unmittelbar vor dem Ventil ein Filter sehr hoher Güte angeordnet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, daß bei der Betätigung des Bauteils Druckstöße entstehen können. Bei Einsatz von Filtern mit hohem Wirkungsgrad als Spezialschutz für einzelne Geräte oder Gerätegruppen kann ein sehr großes Aufnahmevermögen erforderlich werden, wenn die sonstigen Filter im System wesentlich größer sind.

Eine Vorstellung hinsichtlich der Kräfte, die zum Freimachen eines klemmenden Kolbens erforderlich sind, im Vergleich mit den durch den Elektromagneten ausgeübten Kräften, kann am Bei-spiel eines Ventils mit einer Nennweite von 1/8", das bei einem Druck von 210 bar arbeitet, gewonnen werden. Wenn ein Ventil dieser Art längere Zeit in der Federendstellung gehalten wird, wird es durch die Verschlammung zwischen Kolben und Bohrung vollkommen unbeweglich. Die



zur Überwindung dieses Zustands erforderliche Kraftwurde im Experiment mit etwa 135 N festgestellt. Feder und Elektromagnet zusammen konnten jedoch nur 45 N aufbringen. Der Verschlammung hat somit einen totalen Systemausfall verursacht.

Druckregler

Stark abrasiv wirkende Partikel in Flüssigkeiten mit hoher Strömungsgeschwindigkeit erodieren die Flächen, mit denen sie in Berührung kommen. Diese Situation tritt bei allen Druckreglern auf, insbesondere bei Druckbegrenzungsventilen, die dem maxima-len im System auftretenden Druckabfall sowie Strömungsgeschwindigkeiten in der Größen-

ordnung von 30 m/s ausgesetzt sind. Bei Vorsteuerventilen sind im allgemeinen niedrige Volumina bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten festzustellen. Eine starke Verschmutzung beeinträchtigt sowohl ihre Stabilität als auch die Reproduzierbarkeit.

Mengenregler

Die Toleranz für Verunreinigungen bei Mengenregelventilen wird sehr stark von der Gestaltung der Blende bestimmt.

In Abb. 8 sind z. B. zwei Blenden mit vollkommen unterschiedlicher Form, jedoch mit gleichem Querschnitt dargestellt. Die kerbenförmige Blende (a) erlaubt einen hohen Verunreinigungsgrad, ausgenommen bei niedrigen Einstellwerten, während die Blende (b) bei sämtlichen Einstellungen

viel empfindlicher gegen Verschmutzung ist.

Das Betriebsverhalten der Druckwaage kann bei sämtlichen Arten von druckkompensierten Mengenreglern durch Verunreinigung wesentlich beeinträchtigt werden, und zwar unabhängig von der Ventileinstellung. Eine Beschädigung der Meßblende kann ebenfalls vorkommen. Dies wird besonders bei niedrigeren Einstellwerten deutlich.

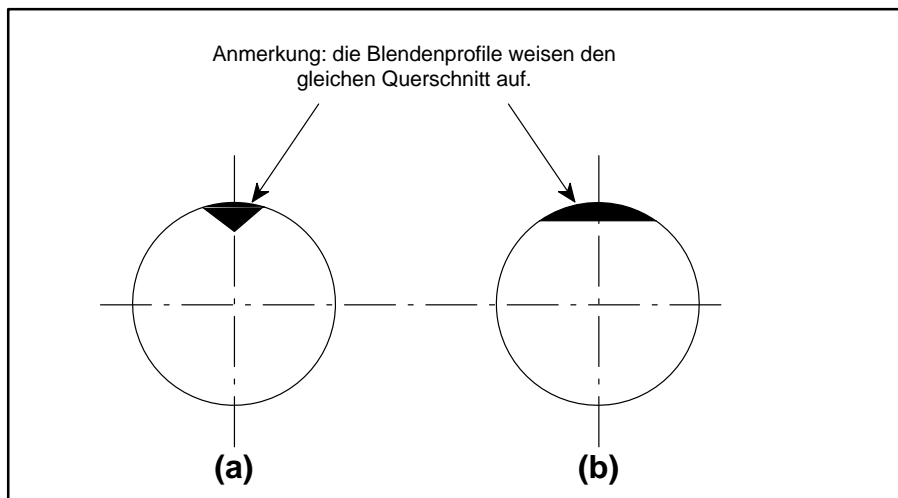
Allgemein gesprochen, werden sämtliche mit Kolben arbeitenden Regelventile durch Verschmutzung im System betroffen, insbesondere bei hohen Drücken. Wenn der Kolben präzise positioniert werden muß, wie z. B. bei Druckminderventilen, bei denen nur begrenzte Kräfte zur Kolbenverstellung zur Verfügung stehen, machen sich Verunreinigungen eher noch stärker bemerkbar. Andererseits sind Kegelventile, auch wenn eine gewisse Beeinträchtigung durch große Partikel nicht zu vermeiden ist, infolge der Selbstreinigung des Ventilsitzes gegen Verschmutzung wesentlich weniger empfindlich. Beschädigungen durch Erosion treten jedoch auch hier auf.

Zusammenfassung

Aus den obigen Angaben ist ersichtlich, daß einzelne große Partikel, die zur falschen Zeit an der falschen Stelle vorhanden sind, plötzliche Ausfälle verursachen können.

Die Flächen innerhalb der Komponenten sind durch einen Flüssigkeitsfilm, dessen Dicke ständig schwanken kann, voneinander zu trennen. Wenn ein Spalt durch Verunreinigungen überbrückt wird, tritt Verschleiß auf. Dadurch werden noch mehr Partikel erzeugt. Diese können dann ihrerseits in eine noch größere Anzahl noch kleinerer Partikel zermahlen werden. Einzeln oder in kleinen Mengen auftretende

Abb. 8: Blendenquerschnitte an Mengenregelventilen. Das Profil (b) ist anfälliger gegen Verschmutzung.



feine Partikel verursachen nicht unbedingt Beschädigungen. Wenn sie jedoch in größeren Konzentrationen vorhanden sind, können sie zu Störungen infolge Verschlämzung führen.

Das Ziel muß sein, die wirtschaftlichste Kombination von Verschmutzungskontrolle und Verschmutzungstoleranz für eine zuverlässig vorgegebene Lebensdauer einer Anlage unter bekannten Betriebs- und Umgebungsbedingungen zu finden.

Kapitel 4
Bestimmung des Verschmutzungsgrades

Wie zuvor bereits angegeben, wird häufig ein allgemeiner Filtrationsgrad von 25 µm vorgeschrieben, ohne Rücksicht auf den Arbeitsdruck, die lokalen Umgebungsbedingungen und die Betriebszeiten. Aus Erfahrung ist bekannt, daß die Wirksamkeit eines 25-µm Filters unter vergleichbaren Umgebungs- und Betriebsbedingungen je nach dessen Anordnung im System unterschiedlich ist. Außerdem kann sich die Filterwirkung bei konstant bleibender Durchflußmenge verbessern, da die Poren langsam verstopft werden. Bei schwankender Durchflußmenge oder unterbrochenem Fluß können jedoch ganz andere Ergebnisse auftreten, da die Partikel dann aus den Poren herausgeschwemmt werden und mehr feine Partikel passieren können.

Es sind eindeutig die Einsatzbedingungen, die den größten Einfluß auf den Verschmutzungsgrad bei Verwendung eines bestimmten Filters haben. Dies bedeutet, daß es unklug wäre, ohne nähere Angaben die Verwendung eines z. B. 25- µm Filters generell zu empfehlen bzw.

einer solchen Empfehlung zu folgen. Für den Anwender würde dies ein Investitionsrisiko bedeuten und für den Hersteller größte Schwierigkeiten bei der Behandlung von Garantiefällen.

Worauf es ankommt, ist, einen praktikablen Verunreinigungsgrad zu spezifizieren und zu erreichen. Es liegt dann im Verantwortungsbereich des Anwenders, diesen Grad einzuhalten. Der ProjektIngenieur wählt unter entsprechender Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen, des Systemdrucks und der Betriebszeiten die Filterelemente und die Einbauorte für die Filter so aus, daß der gewünschte Grad gehalten und kontrolliert werden kann.

Gegenwärtig ist dieses systematische Verfahren nur unter Schwierigkeiten durchzuführen, da z. B. noch nicht definiert werden kann, was genau nun eigentlich ein 10- µm -Partikel ist. Außerdem bestehen gewisse Schwierigkeiten, Informationen hinsichtlich der Erfüllung der in der Praxis maßgeblichen Forderungen von den Filterherstellern zu erhalten. Aufgrund der bisher vorliegenden Erfahrungen kann jedoch zumindest ein Anfang in die richtige Richtung gemacht werden.

Nützliche Daten konnten gewonnen werden durch:

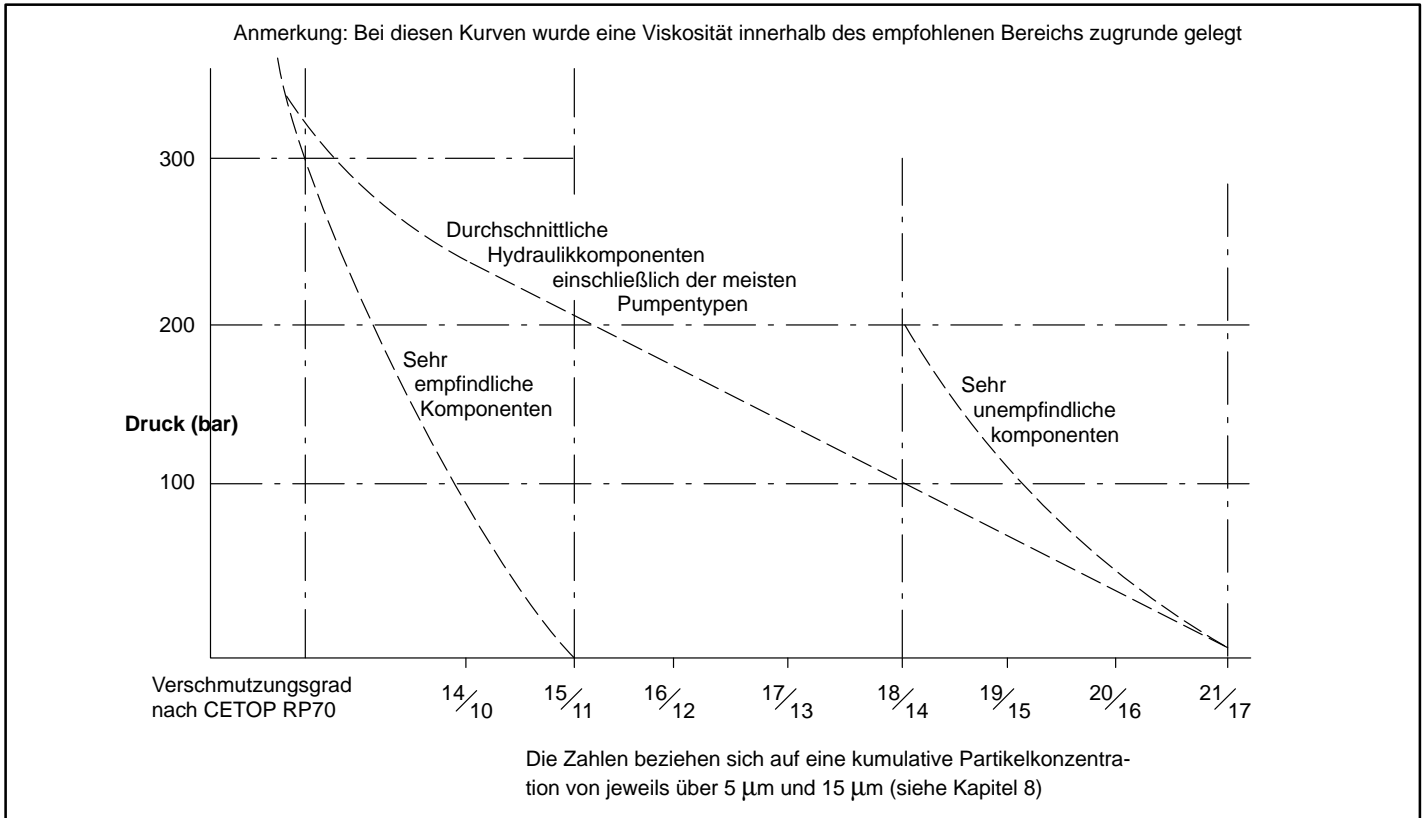
1. Entnahme von Proben aus den verschiedenartigsten Systemen im industriellen und im Fahrzeugsektor.
2. Analyse von auf Verschmutzung zurückzuführenden Betriebsausfällen.
3. Überwachung des Reinheitsgrades eines bestimmten Systems über drei Jahre hinweg, wobei die kritischen Stellen der Pumpe jährlich auf Verschleiß kontrolliert wurden.

Aus 1 und 2 läßt sich entnehmen, daß eine große Anzahl von allgemein-industriellen Systemen, bei denen die Gesamtzahl der Partikel über 5 µm bei 100.000 bis 300.000 pro 100 ml liegt, zufriedenstellend arbeitet. Diese Systeme arbeiten jedoch überwiegend im Niederdruckbereich oder sie sind aus Geräten aufgebaut, deren Beanspruchung mit Sicherheit unterhalb der Nenngrenzwerte liegt. Ebenso gilt, daß bei Hochleistungsgeräten eine hohe Wahrscheinlichkeit von Störungen gegeben ist, wenn die Hydraulikflüssigkeit mehr als 100.000 Stück 5-µm-Partikel pro 100 ml enthält.

Abb. 9: Vorschlag für zulässige Verschmutzungsgrade bei verschiedenen Hydrauliksystemen

Festlegung der Verschmutzungs-k-lasse nach CETOP RP70H		Maximaler Verunreinigungs-grad nach Partikeigröße		Empfindlichkeit	Systemart	Rückhalterate
5 µm	15 µm	5 µm	15 µm			β > 75
13	9	4000	250	Superkritisch	Gegen Verschlamung empfindliches Steuersystem mit sehr hoher Zuverlässigkeit; Labor oder Luft- und Raumfahrt	1-2
15	11	16000	1000	Kritisch	Hochleistungs-Servosysteme und Hochdrucksysteme mit langer Lebensdauer; z. B. Luftfahrt, Werkzeugmaschinen, usw.	3-5
16	13	32000	4000	Sehr wichtig	Qualitativ hockstehend und zuverlässige Systeme; allgemeiner Maschinenbau	10-12
18	14	130000	8000	Wichtig	Allgemeiner Maschinenbau und Fahrzeuge; mittlerer Druck, mittlere Kapazität	12-15
19	15	250000	16000	Durchschnittlich	Neiderdrucksysteme im Schwermaschinenbau oder Systeme, bei denen die Lebensdauer nicht der entscheidende Faktor ist	15-25
21	17	1,000000	64000	Hauptsächlich Schutz	Niederdrucksysteme mit großen Toleranzen	25-40

Abb. 10: Empfohlener Reinheitsgrad zur Erreichung hoher Lebensdauer



Bei der Beobachtung des Betriebsverhaltens eines bestimmten Systems zeigte sich, daß die Pumpe nur sehr wenig verschlissen war, jedoch zu keiner Zeit während der drei Jahre mehr als 16.000 Partikel mit einer Größe von über 5 µm pro 100 ml vorhanden waren. Eine Pumpe des gleichen Typs, die in einer ähnlichen Maschine eingebaut war und bei der die Filtration mit der gleichen Qualität erfolgte, wurde nach einer Einsatzdauer von 5 Jahren (Betriebsstundenzahl

geschätzt 40.000) kürzlich zerlegt. Sie wies nur geringe Verschleißerscheinungen auf.

Aufgrund der o.a. Feststellungen und anderer Untersuchungen konnte die Tabelle nach Abb. 9 aufgestellt werden. Aus dieser Tabelle lassen sich einige Anhaltspunkte hinsichtlich der Empfindlichkeit eines Systems entnehmen. Jedoch hängt der Grad der Empfindlichkeit weitgehend von der Art der jeweiligen Komponenten und dem der Konstruktion zugrunde

gelegten Systemdruck ab. Aus diesem Grund wurden die Kurven nach Abb. 10 erstellt. Aus diesen Kurven läßt sich bei bekanntem Systemdruck und nach Analyse der Empfindlichkeit der Systemkomponenten gegen Verunreinigungen der zulässige Verschmutzungsgrad entnehmen. Die Werte für den Verschmutzungsgrad sind nach CETOP RP70 erstellt. Diese Norm wird in Kapitel 8 erläutert.

Kapitel 5 Auswahl des Filters

Dieses Kapitel behandelt die wichtige Frage der Auswahl des oder der dem zulässigen Verschmutzungsgrad entsprechenden Filters. Zur Beantwortung dieser Frage müssen zunächst die von den einzelnen Herstellern angegebenen Werte näher untersucht werden.

Nominale Rückhalterate

Zur Bestimmung der nominalen Rückhalterate wurden die Spezifikationen MIL-F5504A und MIL-F5504B herausgegeben. In der Ausgabe A ist definiert, daß ein 10-µm-Filter 98 Gewichtsprozent sämtlicher Partikel der jeweiligen Verunreinigung (ACF-Teststaub) mit einer Partikelgröße von mehr als 10 µm bei festgelegten Konzentrationswerten ausscheiden kann. In der Ausgabe B ist definiert, daß ein 10-µm-Filter 95 Gewichtsprozent von Glaskügelchen mit einem Durchmesser von 10-20 µm bei einem hohen Konzentrationswert ausscheiden kann. Wenngleich diese beiden Spezifikationen bisher nur selten zugrunde gelegt wurden, arbeiten viele Hersteller mit ähnlichen Versuchen, um die nominale Rückhalterate für ihren Filter bestimmen zu können.

Derartige Versuche besitzen in zwei wichtigen Punkten jedoch nur einen begrenzten Aussagewert. Zunächst ist die zulässige Maximalgröße der den Filter passierenden Partikel nicht festgelegt. Bei Versuchen hat sich gezeigt, daß Filter, die ansonsten die Forderungen erfüllen, Partikel mit einer Größe bis zu 200 µm hindurchlassen können.

Zweitens ist die hohe Konzentration der Verunreinigungen nicht repräsentativ für die bei einem normalen System vorliegenden Bedingungen. In der Praxis gelangen die Partikel in niedrigen Konzentrationen zum Filter, und diejenigen Partikel, die eine geringere als die mittlere Porengröße haben, gelangen ohne

weiteres durch den Filter, so lange das Filtermittel noch einigermaßen sauber ist.

Aus den zuvor genannten Gründen hat es wenig Zweck, weiterhin mit nominalen Rückhalteraten zu arbeiten.

Absolute Rückhalterate

Im NFPA-Hydraulikwörterbuch (NFPA Fluid Power Glossary of Terms) ist die absolute Rückhalterate als der Durchmesser des größten harten, kugelförmigen Partikels, das einen Filter unter festgelegten Versuchsbedingungen passiert, definiert. Sie steht somit in Beziehung zur größten Öffnung eines Filterelements.

Der Begriff und der Versuch für diese Porengrößenbestimmung waren ursprünglich in der Mitte der fünfziger Jahre von Dr. Pall, Chairman der Pall Corporation, vorgeschlagen worden. Es handelt sich um einen Versuch, bei dem eine bestimmte Flüssigkeitsmenge nur einmal durch den Filter fließt. Der Flüssigkeit sind Glaskügelchen als künstliche Verunreinigung zugesetzt. Die erste Veröffentlichung erfolgte mit der Military Specification MIL-F8815, Erstausgabe März 1960. Diese Veröffentlichung war die erste moderne und vollständige Spezifikation für Flugzeug-Hydraulikfilter, die sich mit der Auswertung von absoluten Rückhalteraten (bezogen auf das größte Partikel), Wirkungsgrad, Schmutzaufnahmekapazität, Zusammenbruch, Ermüdung, Kaltstart usw. befaßt.

Die absolute Rückhalterate nach MIL-F8815 beträgt 15 µm. Dieser Spezifikation folgten die Spezifikation MIL-F25682, für eine absolute Rückhalterate von 25 µm, und die Spezifikation MIL-F27656, für eine absolute Rückhalterate von 5 µm. Für die beiden absoluten Rückhalteraten von 15 und 25 µm wurde die Verwendung von Glaskügelchen für den Versuch vorgeschrieben, da diese jederzeit in den erforderlichen Größen zur Verfügung stehen und sie sich infolge ihrer Kugelform leicht

von Sekundärverunreinigungen, die beim Versuch verursacht werden, unterscheiden lassen.

Bei Filtern mit 5 µm absoluter Rückhalterate, entsprechend MIL-F27656, sind Glaskügelchen nicht mehr ausreichend. Für diesen Bereich ist deshalb eine Mischung aus Glaskügelchen und Karbonyleisen E vorgeschrieben. In sämtlichen drei Spezifikationen wird die absolute Rückhalterate durch das größte einzelne kugelförmige Partikel bestimmt. Auf diese Weise kann eine wichtige physikalische Eigenschaft jedes Filtermittels, d.h. die Größenordnung der größeren Öffnungen, gemessen werden.

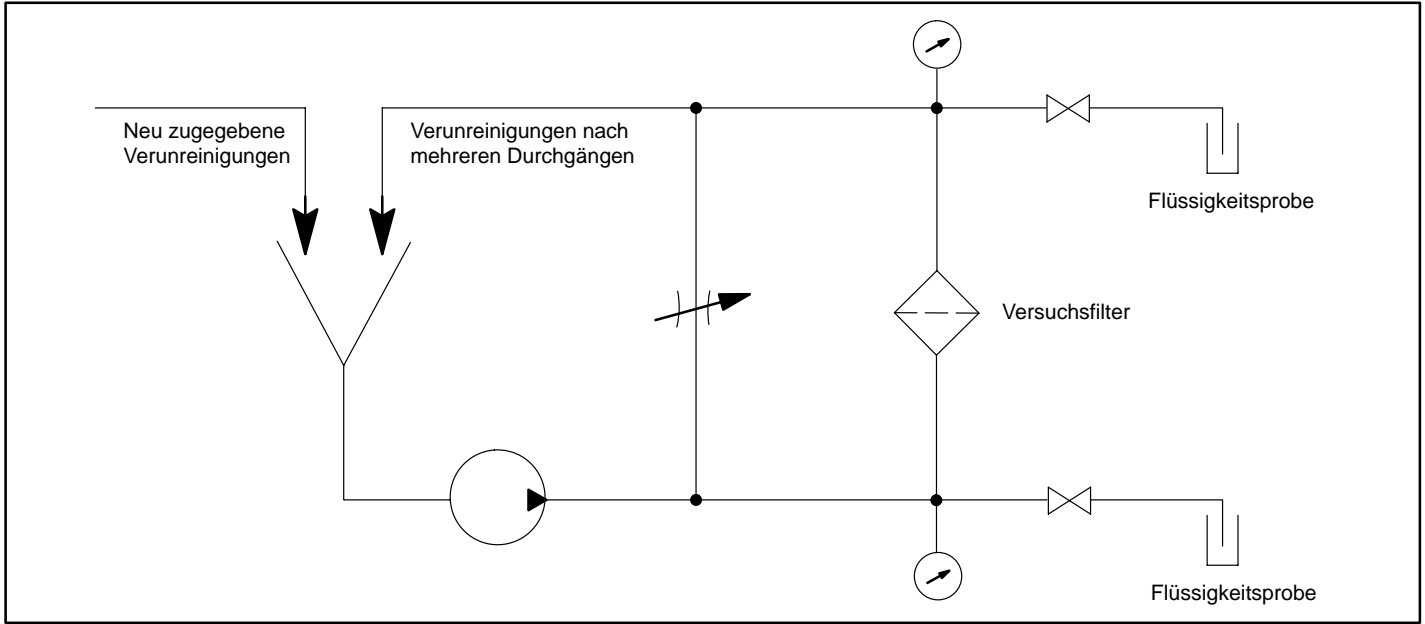
Der Blasenpunkt-Test

Mit diesem Versuch bestimmen die Hersteller den Bereich der größten Porosität. Dazu wird Druckluft auf der Innenseite des Filterelements, das zur Benetzung des Filtermittels in eine Flüssigkeit, wie z. B. Alkohol, eingetaucht wird, aufgebracht. Das Filterelement wird bei den einzelnen Druckstufen in der Flüssigkeit gedreht. Der Druck, bei dem der erste Blasenstrom aus dem Filterelement tritt, wird registriert. Der Versuch kann fortgesetzt werden, um die einzelnen Drücke, bei denen Luft aus den zweitgrößten, drittgrößten, viertgrößten usw. Öffnungen austritt, zu messen.

Bei weiterer, langsamer Erhöhung des Druckes wird ein Punkt erreicht, bei dem Luftblasen an der gesamten Oberfläche des Filterelements erscheinen. Es ist dies eine vereinfachte Methode zur Messung der mittleren Porengröße.

Präzise Ergebnisse lassen sich mit dem Blasenpunkt-Test nicht erzielen. Dies ist um so bedauerlicher, als es sich um eine sehr einfache Testmethode handelt. Demzufolge wird der Test hauptsächlich in der Qualitätskontrolle von Filterelementen angewandt, um sicherzustellen, daß keine Beschädigungen oder Dichtungsfehler vorliegen.

Abb. 11: Multipass-Testaufbau



Mittlere Porengröße

Die mittlere Porengröße gibt die durchschnittliche Größe der Poren im Filtermittel an. Dieses Maß ist insofern von Bedeutung, als es die Partikelgröße angibt, oberhalb derer der Filter wirksam wird. Es kann mittels des zuvor beschriebenen Blasenpunkt-Tests bestimmt werden.

Die sich aus dem Versuch ergebende Gesetzmäßigkeit wird aus folgender Formel abgeleitet:

$$\text{Anzahl der austrittsseitigen Partikel mit der Größe } > \chi\mu\text{m} = \text{Anzahl der ursprünglich zugegebenen Partikel der Größe } > \chi\mu\text{m} + \text{Anzahl der zugegebenen Partikel der Größe } > \chi\mu\text{m} + \text{Anzahl der ausgeschiedenen Partikel der Größe } > \chi\mu\text{m}$$

Multipass-Test

Bei diesem Versuch, mit dessen Hilfe das Betriebsverhalten eines Filters bestimmt werden soll, werden ständig Verunreinigungen unter kontrollierten Bedingungen in das System eingeleitet. Da die Verunreinigungen nur durch das Filter ausgeschieden werden können, zirkulieren sie so lange innerhalb des Systems, bis das Filter sie festhält. Das Filtrationsvermögen des Versuchsfilters wird durch Probenentnahmen auf der Eintritts- und der Austrittsseite überwacht.

Das Aufnahmevermögen für Verunreinigungen wird durch Wägen der versuchshalber bis zum Erreichen des vorgeschriebenen maximalen Druckabfalls am Filter zugegebenen Verunreinigungen gemessen.

Beta-Wert

Die Abscheideeigenschaften werden durch den Wert Beta angegeben. Dieser wird wie folgt definiert:

$$\beta \times = \frac{\text{Anzahl der Partikel größer als } \chi\mu\text{m, eintrittsseitig}}{\text{Anzahl der Partikel größer als } \chi\mu\text{m, austrittsseitig}}$$

Bei einem Beta-Verhältnis von 1 werden keine Verunreinigungen abgeschieden. Ein Wert von weniger als 1 ist nicht möglich, es sei denn, der Filter gibt Verunreinigungen ab.

Bei einem Filter mit einem Beta-Wert von mehr als 1 stabilisiert sich die austrittsseitige Partikelkonzentration auf einen praktisch konstanten Verunreinigungsgrad.

Klassifizierung der Filtereigenschaften für die Praxis

Nach welchen Gesichtspunkten auch immer der Filterhersteller die Eigenschaften seines Erzeug-

nisses klassifizieren mag, der Filtrationsgrad läßt sich grundsätzlich nach einer von drei Kategorien bestimmen, je nach Menge der abgeschiedenen Feinstverschmutzung. Typische, dieser Kategorien entsprechende Daten sind in Abb. 12 aufgeführt. Es liegt jedoch im Verantwortungsbereich des Herstellers, anzugeben, zu welcher der drei Klassen seine Erzeugnisse gehören. Gegenwärtig existiert keine allgemein anerkannte standardklassifizierung, es steht jedoch zu erwarten, daß die derzeitigen Bemühungen verschiedener Gremien schließlich zu einer international anerkannten Definition führen.

Abb. 12: Definition für praktikable Klassifikationskategorien

Kategorie	Nominale Rückhalterate * $\frac{1}{\eta}$	Absolute Rückhalterate $\frac{1}{\eta}$	Beta-Wert
Feinstabscheidung	1/2 to 1	3 to 5	β 3-5 > 75
Teilweise Feinstabscheidung	3 to 5	10 to 15	β 10-15 > 75
Keine Feinstabscheidung (Ausfiltern von größeren Verunreinigungen)	10 to 15	25 to 40	β 25-40 > 75

*Die nominalen Rückhalteraten sind nur zum Vergleich angegeben. Mit diesen Werten sollte nicht

außerdem ist diese Tabelle nicht zur Umrechnung von nominalen in absolute Rückhalteraten gedacht.

gearbeitet werden; Das tatsächliche Betriebsverhalten von Filtern wird durch zwei ungünstige Faktoren beeinträchtigt, nämlich durch Impulsbetrieb und durch das in einigen Fällen unbestimmbare Verhalten von internen Dichtungen und Bypass-Ventilen.

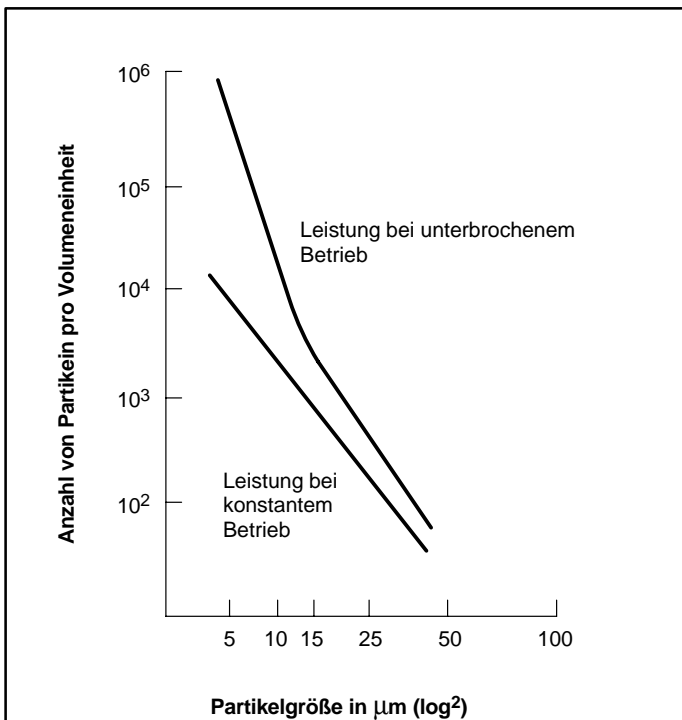
Impulsbetrieb

Durch Druckstöße können diejenigen feinen Partikel, die normalerweise zwischen den Fasern und den bereits ausgefilterten größeren Partikeln festsetzen, durch den Filter gespült werden.

Vergleichsweise ist hier die gleiche Wirkung gegeben wie bei einem Sieb, auf das ein Gemisch aus Steinen, die teils größer und teils kleiner als die Maschenöffnungen sind, aufgebracht wird.

Bei stationärem Sieb wird ein großer Teil der kleineren Steine zurückgehalten. Diese Steine fallen jedoch hindurch, wenn das Sieb gerüttelt wird. Durch Flüssigkeitsstöße erhöht sich deshalb der Anteil von Feinstverschmutzung auf der Austrittsseite des Filters. Dies spiegelt sich in der

Abb. 13: Die Filterleistung verschlechtert sich bei unterbrochenem Betrieb und bei Druckstößen. Dieser Effekt zeigt sich deutlich in den feineren Partikeln, die durch den Filter gepreßt werden.



Leistungskurve des Filters wider (Abb. 13).

Bypass

Eine Umgehung des Filters durch eingebaute oder außerhalb angeordnete Bypass-Ventile ist bei vielen Systemen zulässig, da nach einer Reihe von Umwälzvorgängen schließlich die gesamte Flüssigkeit den Filter durchströmt hat.

Außer bei Nebenstromfiltern ist normalerweise zu erwarten, daß der Bypass nur dann wirksam wird, wenn das Filterelement das Ende der Lebensdauer erreicht. Deshalb müssen die Auswirkungen eines vorzeitigen Öffnens des Bypass-Ventils oder einer schadhafte Innendichtung in Betracht gezogen werden. Da bei einer Umgehung, aus welchen Gründen auch immer, nicht zwischen feinen und groben Partikeln unterschieden wird, verlagert sich das Verunreinigungsprofil wesentlich mehr nach der Seite grobkör

Abb. 14: Einfluß von Bypass-Betrieb auf die Filterleistung

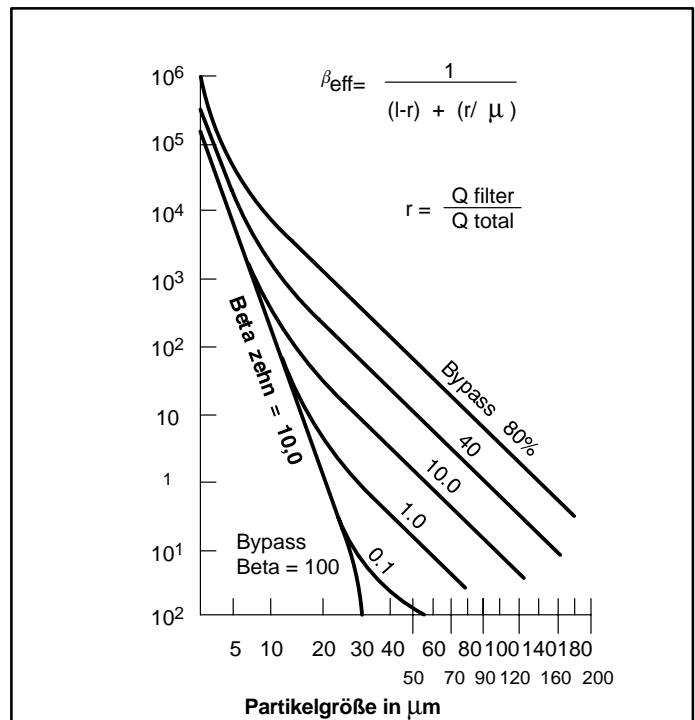


Abb. 15a: Angenommene, mittlere Porengröße 3 µm. Die Kurven zeigen den Abfall der Filterleistung, bezogen auf Partikel unterhalb dieser Größe, bei Impulsbetrieb.

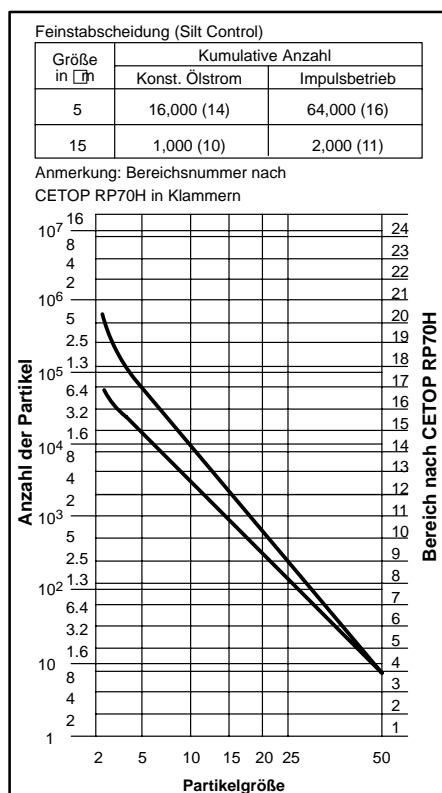


Abb. 15b: Angenommene, mittlere Porengröße 7 µm. Die Kurven zeigen den Abfall der Filterleistung, bezogen auf Partikel unterhalb dieser Größe, bei Impulsbetrieb.

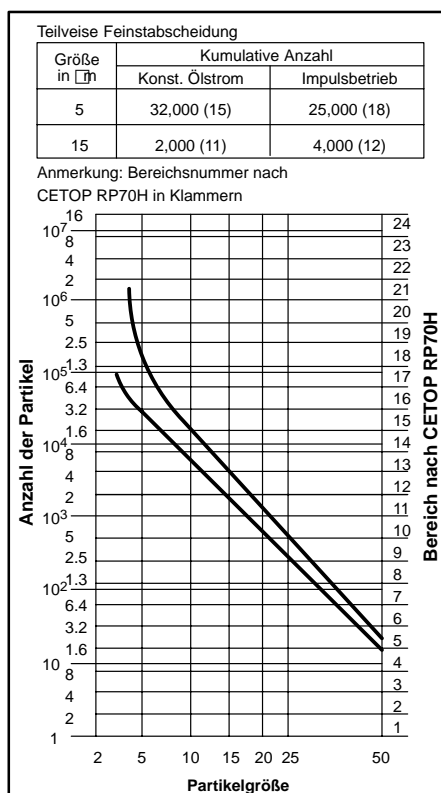
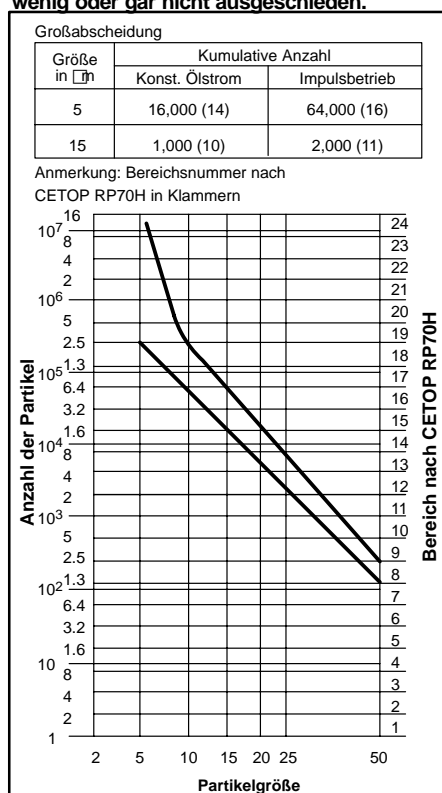


Abb. 15c: Angenommene, mittlere Porengröße 15 µm. Die Kurven zeigen den Abfall der Filterleistung, bezogen auf Partikel unterhalb dieser Größe, bei Impulsbetrieb. Partikel mit 5 µm werden wenig oder gar nicht ausgeschieden.



niger Partikel. Die von Dr. Fitch erarbeitete Abb. 14 stellt die Auswirkung der prozentualen Zunahme von Bypass-Strömen dar. Dabei zeigt sich, daß selbst bei einer Bypass-Menge von nur 0,1% die maximale Partikelgröße sich fast verdoppelt. Bei 1% wird das Dreifache überstiegen und bei 10% hat die Zunahme den Faktor fünf erreicht.

Die praktische Bedeutung eines Bypass-Ventils und die Notwendigkeit seines Einsatzes hängen von der Anordnung des Filters im System ab. Bei Saugfiltern z. B. ist ein Bypass-Ventil unbedingt erforderlich, damit die Pumpe bei verschmutztem Filter vor Kavitation geschützt wird.

Druckfilter sollen das System bei plötzlichem Ausfall der Pumpe schützen. Wenn ein derartiger Ausfall dann auftritt, wenn der Filter im Bypass arbeitet, ist kein Schutz vorhanden. Hier müssen eindeutig Hauptstrom-Druckfilter ohne Bypass eingesetzt werden, sobald die Notwendigkeit für die Verwendung eines derartigen Filters festgestellt ist. Es muß dann ein Filterelement eingesetzt werden, das dem

maximalen Systemdruck widerstehen kann. Dies erhöht die Kosten für das Filter. Bei Verstopfung des Filterelements fällt die Systemleistung ab; es muß deshalb ein zuverlässiges Warngerät vorhanden sein, um diesen Zustand rechtzeitig anzuzeigen.

Wenn ein Bypass-Ventil zulässig ist, muß der Systemkonstrukteur die bei einem vorzeitigen Öffnen bei Kaltstarts und bei Druckstößen auftretenden Wirkungen sorgfältig beachten. Die Vermeidung von Druckstößen, auch solchen bei niedrigem Druck, vermindert das Risiko, daß sich ein Bypass-Ventil im Normalbetrieb öffnet.

Zur Zeit sind erst wenige Informationen über das Ausmaß der Beeinträchtigungen, die Druckstöße auf die Filterleistung haben, verfügbar. Es bleibt zu hoffen, daß künftig Beta-Werte angegeben werden, die sich auf die Bedingungen beziehen, denen die Filter in der Praxis ausgesetzt sind. Selbstverständlich können in Fällen konstanten Durchflusses, was eher den Versuchsbedingungen

im Labor entspricht, genauere Angaben hinsichtlich der Filterleistung gemacht werden. Immerhin konnten unter Zugrundelegung der gegenwärtig zur Verfügung stehenden begrenzten Kenntnisse hinsichtlich der Leistung die Kurven in Abb. 15 entsprechend den einzelnen Kategorien erstellt werden.

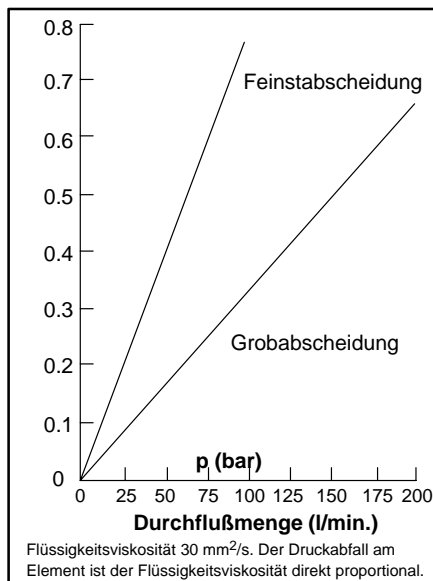
Aus den einzelnen Kurven ist die kumulative Anzahl von Partikeln mit einer Größe von 5 und 15 µm ersichtlich. Diesen Werten wurde die Norm CETOP RP70H (erläutert in Kapitel 8) zugrunde gelegt. Um die Arbeit mit dieser Unterlage zu erleichtern, werden die Bereichsnummern ebenfalls aufgeführt. Die Kurven werden anhand der festliegenden Zahlen für die beiden Werte aufgezeichnet und dann extrapoliert, um die zu erwartende Leistung bei repräsentativen Filtern darzustellen. Nimmt man an, daß sich diese Kurven auf die Leistung der von einem bestimmten Hersteller gelieferten Filter beziehen, ist es erforderlich, aufzuzeigen, daß die Werte für die tatsächlichen

Anforderungen, wenn sie in das Kurvenblatt eingetragen werden, unterhalb der Kurven für stetigen oder pulsierenden Strom bleiben.

Wenn es sich beispielsweise um ein System mit einem Arbeitsdruck von, angenommen, 150 bar handelt, und dieses System aus Komponenten mit einer durchschnittlichen Verunreinigungstoleranz aufgebaut ist, ist aus der Kurve für den Reinheitsgrad (Abb. 10) zu entnehmen, daß der gewünschte Verunreinigungsgrad etwa zwischen 15/11 und 18/14 liegen sollte.

Unter Bezugnahme auf die Abbildungen 15a und 15b zeigt sich, daß dies bei konstantem Durchfluß mit einem Filter für teilweise Feinstabscheidung erreicht werden kann. Demgegenüber ist bei pulsierendem Durchfluß ein Filter erforderlich, das die gesamte Feinstverschmutzung ausscheiden kann.

Abb. 16: Beispiel für den Druckabfall an sauberen Elementen für Feinstabscheidung und für Grobabscheidung vergleichbarer Größe



Man darf davon ausgehen, daß die meisten Druck- und Rücklaufleitungsfilter Druckstößen ausgesetzt sind. Die Gründe dafür werden genauer im Kapitel über die Anordnung der Filter behandelt.

Nebenstromsysteme bieten hingegen den Vorteil konstantbleibenden Durchflußmengen.

Nach wie vor gilt aber die Regel, daß die Verantwortlichkeit für die Spezifizierung des jeweiligen Filters auf der Seite des Filterherstellers liegt.

Filterauslegung

Gegenwärtig ist es üblich, daß die Hersteller die Durchflußmenge in bezug auf einen bestimmten Druckabfall bei sauberem Filter angeben (siehe Abb. 16). Dies ist zwar ein Hinweis auf das Aufnahmevermögen für Verunreinigungen, jedoch kann es durchaus erforderlich werden, daß der Projekt-Ingenieur Vorkehrungen für zusätzliche Schmutzaufnahme ausreichende Lebensdauer der Filterelemente zu garantieren. Nur allzu häufig haben Filterelemente, die lediglich aufgrund der Durchflußmenge bemessen wurden, eine kurze Lebensdauer. Bei der Festlegung eines größeren Aufnahmevermögens mögen zwar die Kosten zunächst höher sein, doch wird dieser zusätzliche Aufwand mit Sicherheit durch Verminderung der laufenden Kosten, d. h. weniger häufiger Wechsel der Elemente, verringerte Lohnkosten und verringerte Ausfallzeiten, wieder abgedeckt.

Zur korrekten Bemessung des Filters muß die Menge der in das Filter eintretenden Verunreinigungen in Beziehung zur wirksamen Filterfläche und zum maximal zulässigen Druckabfall gesetzt werden. Die Beziehung von Fläche zu Druckabfall zu ermitteln, ist jedoch nicht einfach, und es ist selten bekannt, welche Mengen von Verunreinigungen in das Filter eintreten.

Zum Vergleich des Aufnahmevermögens für Verunreinigungen von Hydraulikfiltern gibt es einen Laborversuch (Test zum Vergleich der Lebensdauer oder Versuch zur Bestimmung des Aufnahmevermögens). Hierbei werden einem Umwälzsystem

künstliche Verunreinigungen in stets gleichbleibender Menge zugesetzt; der Druckabfall wird dann in Abhängigkeit vom Gewicht der zugefügten Verunreinigungen aufgezeichnet, wie in Abb. 17 dargestellt. Die sich dabei ergebende Kurve hat eine charakteristische, bei einem gegebenen Filtermedium immer gleichbleibende Form.

Während der ersten Stufe des Versuchs zeigt sich, daß der Druckabfall langsam zunimmt, wohingegen er später sehr schnell ansteigt. Daraus ist zu entnehmen, daß es im Hinblick auf die Lebensdauer des Filter-elementes wenig Zweck hat, mit hohem Druckabfall zu arbeiten, nachdem das Knie der Kurve überschritten ist. Die Kurve zeigt außerdem, daß es vollkommen nutzlos ist, wenn sich der Projekt-Ingenieur lediglich mit dem Druckabfall an einem sauberen Element befaßt. Der wichtigere Faktor ist der Druckabfall am Filter nach Zugabe einer bestimmten Menge von Verunreinigungen.

Außer bei Filtern ohne Bypass-Ventil wird der maximale Druckabfall am Filterelement in der Regel durch die Einstellung des Bypass-Ventils bestimmt. Der Projekt-Ingenieur muß außerdem darauf achten, daß die Leistungswerte des Systems auch bei maximalem Druckabfall noch eingehalten werden. Bei zu klein bemessenen Filtern kann es geschehen, daß ein großer Teil der Flüssigkeit durch das Bypass-Ventil umgeleitet wird, ohne daß eine Anzeige erfolgt.

Zwar wird allgemein behauptet, daß die Lebensdauer eines gegebenen Filterelementes ohne Beeinträchtigung des Filterwirkungsgrades lediglich durch Vergrößerung der Filterfläche bei gleichbleibenden Außenabmessungen verlängert werden kann. Diese Überlegung trifft jedoch nicht zu, da den Außenabmessungen stets eine optimale Filterfläche zugeordnet ist. Bei Vergrößerung der Filterfläche treten nachteilige Wirkungen ein.

Abb. 17: Beispiel für das Aufnahmevermögen von Hydraulikfilterelementen

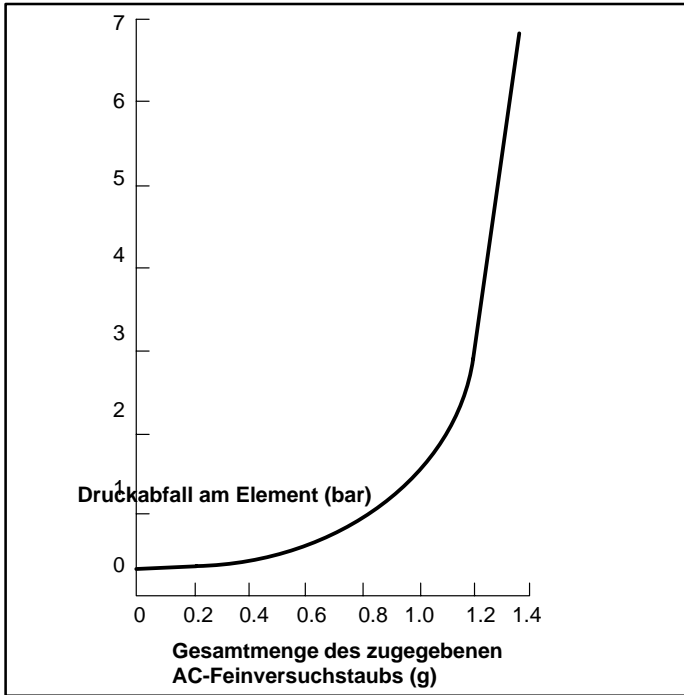
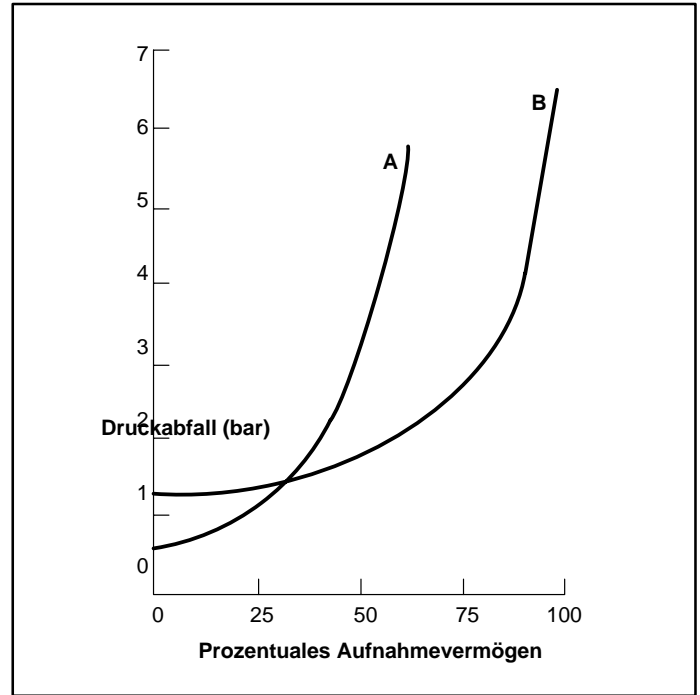


Abb. 18: Vergleich des Aufnahmevermögens und des Druckabfalls für zwei verschiedene Filter



Die zuvor beschriebene vergleichende Lebensdauer dient dazu, das Aufnahmevermögen für Verunreinigungen bei verschiedenen Filterelementen zu vergleichen. In Abbildung 18 ist das Aufnahmevermögen von zwei Filtern mit identischen Außenabmessungen eingetragen. Das Filter A hat im sauberen Zustand einen niedrigeren Druckabfall als das Filter B, da es eine größere Fläche aufweist.

Jedoch wurde das Höchstflächenmaß überschritten, und das Filter A besitzt daher eine geringere Lebensdauer als das Filter B bei gegebenem maximalen Druckabfall. Wie durch engen Aufbau die wirksame Fläche vermindert wird, ist in Abbildung 19 dargestellt. Die Falten schließen sich unter Druck, und die schmalen Ecken zwischen den Falten setzen sich schnell zu. Außerdem können Ermüdungserscheinungen infolge der

Druckwirkung auftreten. Da über die Versuche hinsichtlich des Aufnahmevermögens für Verunreinigungen keine Daten verfügbar sind, müssen die Angaben des Herstellers über die Durchflußmenge, bezogen auf einen bestimmten Druckabfall im sauberen Zustand, herangezogen und als Grundlage zur Schätzung des Aufnahmevermögens benutzt werden.

Abb. 19a: Eine Erhöhung der wirksamen Filterfläche bei gleichen Außenabmessungen kann unter Umständen die Schmutzaufnahmekapazität reduzieren.

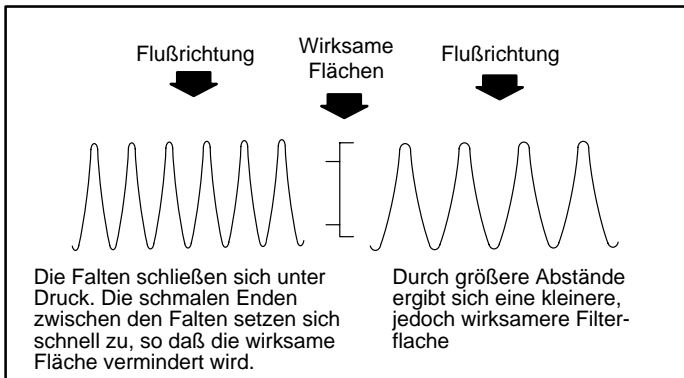
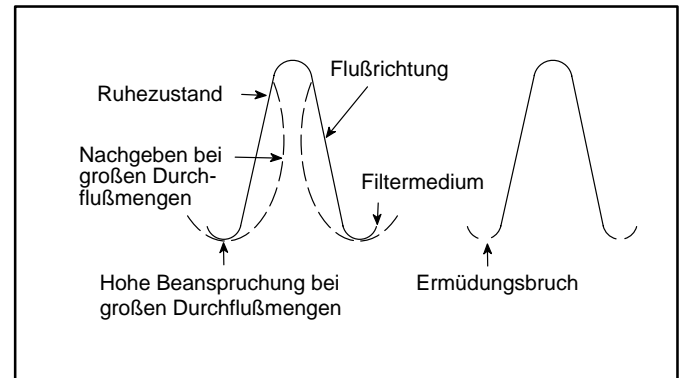


Abb. 19b: Ermüdungserscheinungen durch Nachgeben der Seitenflächen und Strecken der Faltenwurzeln infolge von Druckstößen und Druckabfall



Wiederholen wir noch einmal zusammenfassend:

Das Ziel ist es, zu erreichen, daß die Menge der eindringenden Verschmutzungen gleich der Menge der ausgeschiedenen Verschmutzungen sei. Es ist deshalb entscheidend für das tatsächliche Aufnahmevermögen des

Filtersystems für Verschmutzungen, bis zu welchem Grad die Menge der eindringenden Verunreinigungen kontrolliert werden kann. Die Menge der eindringenden Verunreinigungen besteht aus der Summe der den Teilen anhaftenden Verunreinigungen und der aufgenommenen Verunreinigungen. Diese

Verunreinigungen verursachen ihrerseits im System Verunreinigungen. Zunächst sollen detailliert die einzelnen Verunreinigungsquellen und die Faktoren, die ihr Eindringen kontrollieren, untersucht werden (Abb. 20).

Abb: 20 Praktische Schritte zur Kontrolle der Verschmutzung in Hydrauliksystemen

	Verunreinigungsquelle	Verhütungsmaßnahmen
Eindringende Verunreinigungen	Den Komponenten, Rohrleitungen, Verteilern usw. anhaftende Verunreinigungen Plus In der Füllflüssigkeit enthaltene Verunreinigungen	Gutes Durchspülen, Belastung des Systems erst nach Erreichen des zulässigen Verschmutzungsgrades Zuverlässigkeit des Lieferanten, Lagerung der Flüssigkeit unter den vorgeschriebenen Bedingungen (Verhütung von Verschmutzung, Kondensation usw.) Filtration der Flüssigkeit beim Einfüllen
	Eintritt von Verunreinigungen durch die Belüftungseinrichtung Plus	Leistungsfähige Belüftungseinrichtung, entsprechend dem Filtrationsgrad der Flüssigkeit ausgelegt
	Eintritt von Verunreinigungen bei, Nachfüllen von Flüssigkeit Plus	Geeignete Füllrichtungen mit Flüssigkeitsfilter
	Eintritt von Verunreinigungen bei der Wartung Plus	Durchführung dieser Aufgabe durch geeignetes Personal; entsprechende Konstruktion
	Eintritt von Verunreinigungen durch die Dichtungen an den Zylinderstangen Plus	Leistungsfähige Abstreifer; Schutz der Kolbenstangen gegen Luftverunreinigungen durch Balge
	Sekundärverunreinigung, verursacht durch die oben genannten Verunreinigungen und harte Einsatzbedingungen	Korrekte Auswahl der Flüssigkeit und Überwachung der Eigenschaften (Viskosität und Additive); Verringerung der Einflüsse durch Verunreinigungen auf die Systemkomponenten durch entsprechende Systemauslegung

Abb: 21 Bewertung und Klassifizierung der Systemreinheit in sieben Gruppen

UMGEBUNGSBEDINGUNGEN			GRAD DER KONTROLLE
GUT	MITTEL	SCHLECHT	
3	6	7	Wenig oder keine Kontrolle über das Eindringen von Verunreinigung (mehrere freiliegende Zylinder)
2	4	5	Einige Kontrolle über das Eindringen von Verunreinigungen (wenige Zylinder)
1	2	3	Gute Kontrolle über das Eindringen von Verunreinigungen (geschützte Zylinder)

Abb. 22: Auswahl von Druckleitungsfiltern

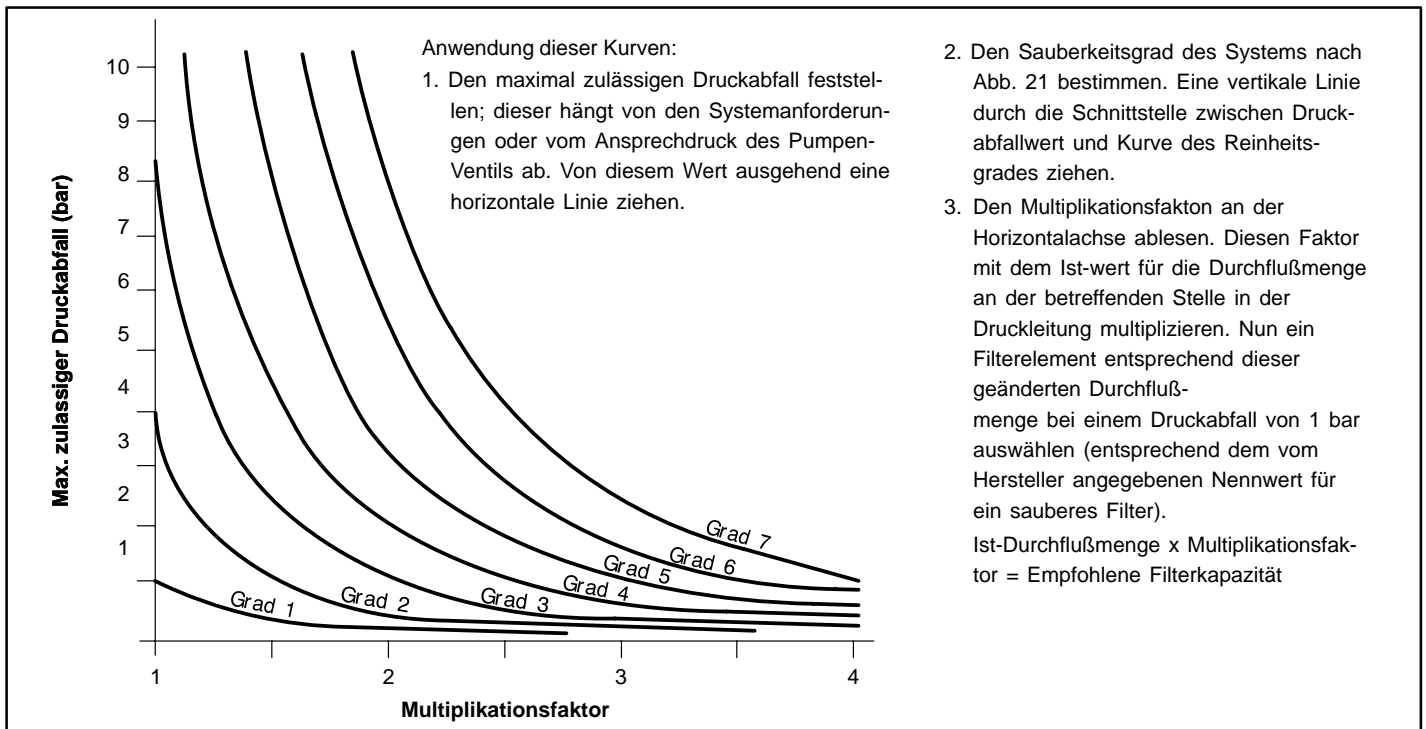


Abb. 23: Auswahl von Rücklauffiltern

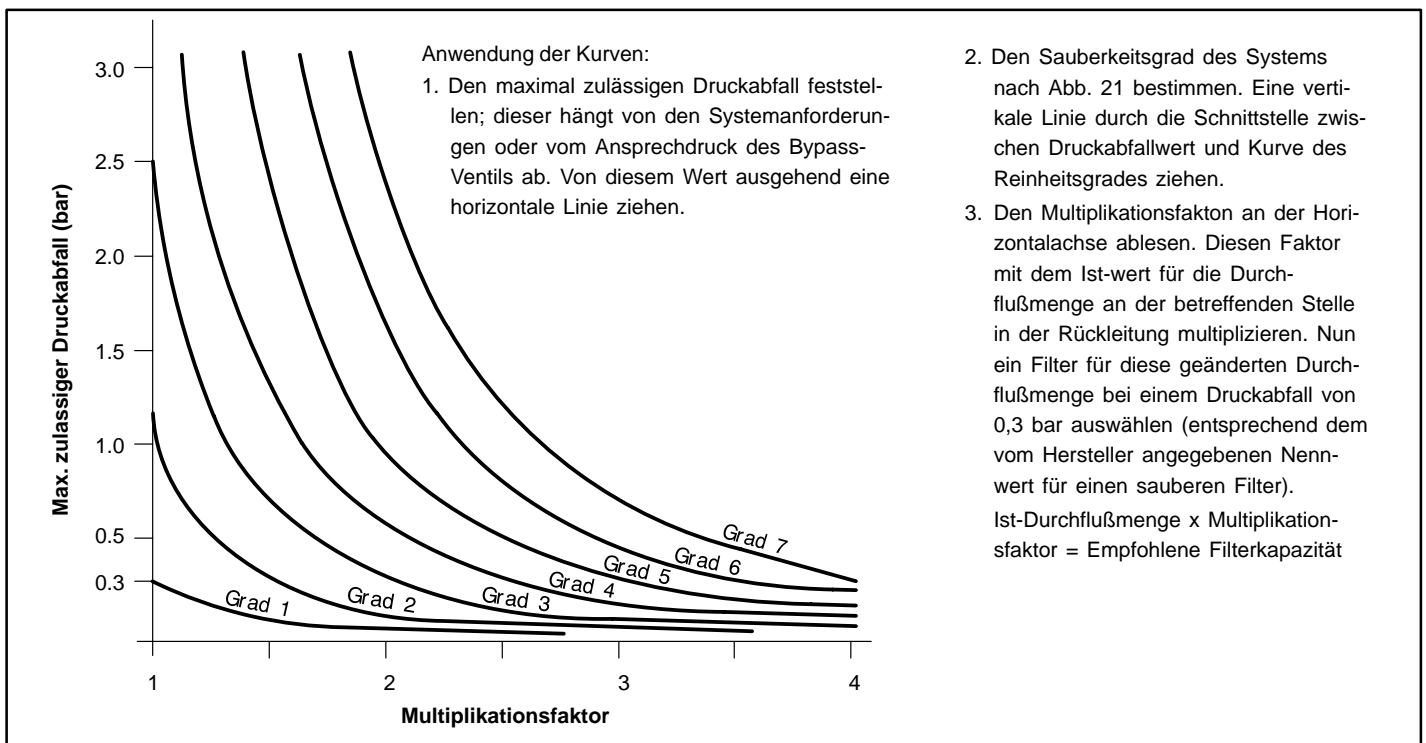
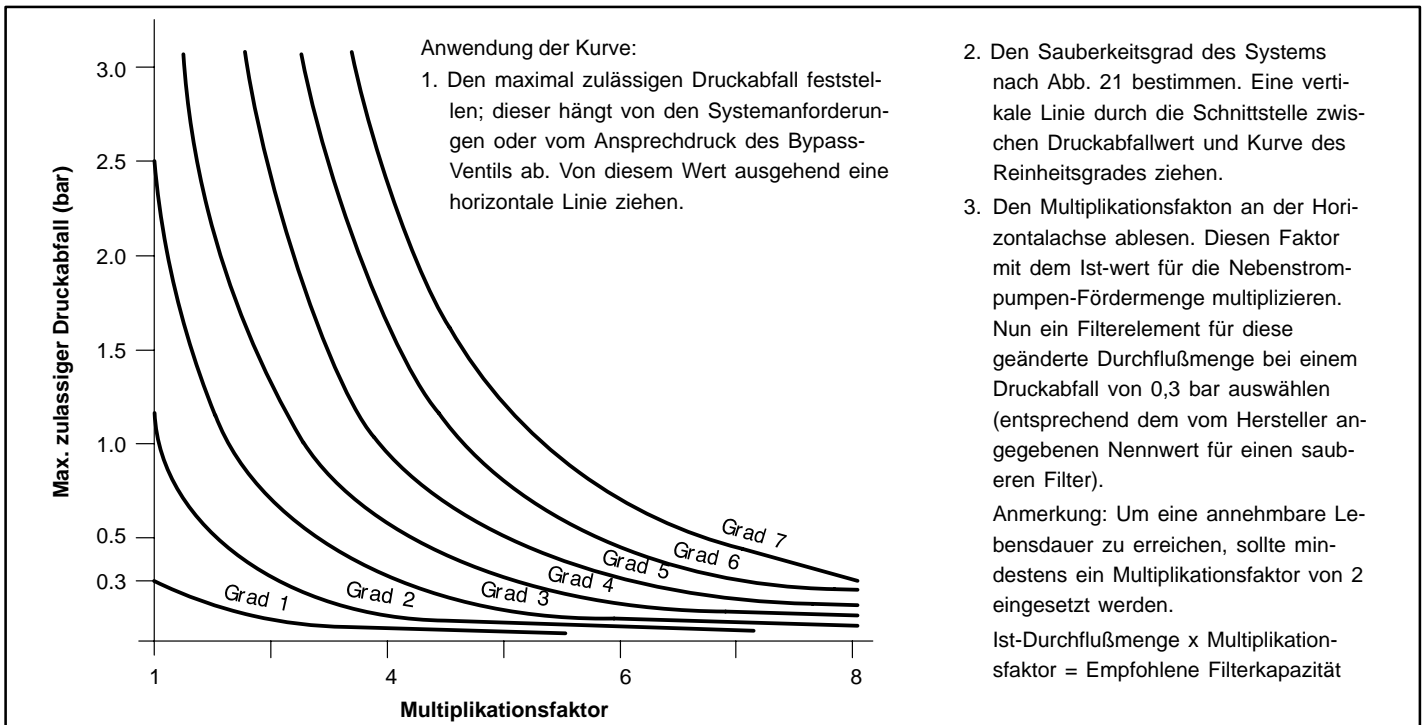


Abb. 24: Auswahl von Nebenstromfiltern



Kapitel 6 Anordnung des Filters

1. Filtration in der Pumpensaugleitung

Wenn eine zufriedenstellende Arbeitsweise des Hydrauliksystems erreicht werden soll, muß die Pumpe stets vorschriftsmäßig gefüllt werden. Der Konstrukteur widmet der Gesamtkonfiguration am Pumpeneintritt häufig zu wenig Aufmerksamkeit, so daß Kavitation immer noch eine Hauptursache für Pumpenausfälle ist.

Aus diesem Grund lohnt es sich, die den Vorgängen beim Füllen der Pumpe zugrundeliegenden Prinzipien nochmals zu betrachten. Die bei weitem häufigste Methode besteht darin, den auf die Oberfläche der Flüssigkeit im Reservoir wirkenden, atmosphärischen Druck auszunutzen, um die Flüssigkeit in die Ansaugkammer der Pumpe zu fördern. Aus Bequemlichkeitsgründen wird die Pumpe jedoch häufig oberhalb des Flüssigkeitsspiegels angeordnet. Siehe hierzu Abbildung 25.

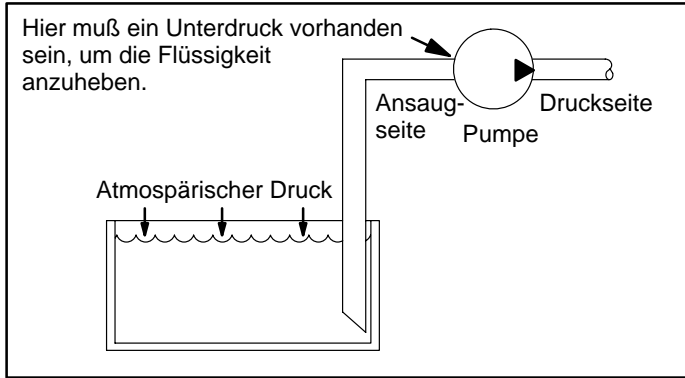
Die hydraulischen Grundprinzipien besagen, daß ein Differenzdruck bestehen muß, damit eine Strömung entsteht. Bei der Anordnung nach Abbildung 25 ist es erforderlich, daß die Pumpe durch eine mechanische Aktion einen Unterdruck an der Ansaugseite erzeugt. Bei den Herstellern ist es üblich, einen maximal zulässigen Unterdruck an der Ansaugseite anzugeben. Dieser liegt meistens in der Größenordnung von 0,17 bar. Unter Berücksichtigung des normalerweise auftretenden Druckabfalls kann somit nur ein sehr kleiner Druckabfall am Filter erlaubt sein. Maße und Kosten der Filter auf der Ansaugseite sind deshalb häufig größer als etwa die der Filter in der Rückaufleitung. Weiterhin kann Feinstverschmutzung bei derartig niedrigen Druckabfällen praktisch nicht mehr ausgefiltert werden.

Schwer entflammare Flüssigkeiten sind gegenüber Unterdruck sehr empfindlich. Sie weisen eine höhere spezifische Dichte als mineralische Flüssigkeiten auf, insbesondere, wenn es sich um

synthetische Flüssigkeiten handelt. Somit wird der Druckabfall vor der Pumpe erhöht und gleichzeitig ist ein höherer Druck erforderlich, um Flüssigkeit in die Pumpe zu fördern. Wasserglykole und Wasser/Öl-Emulsionen besitzen einen höheren Dampfdruck. Der Unterdruck an der Pumpenansaugseite ist in diesen Fällen nach Möglichkeit auf die Hälfte des bei mineralischen Flüssigkeiten auftretenden Wertes zu begrenzen, auch wenn die Temperatur nicht größer als 50°C ist. Ohne Rücksicht darauf, ob Ansaugfilter vorhanden sind oder nicht, muß im allgemeinen bei Verwendung derartiger Flüssigkeiten ein Vordruck an der Pumpenansaugseite vorgegeben sein. Siehe hierzu Abbildung 26.

Bei jeder Flüssigkeit werden die Ansaugbedingungen durch einen Vordruck jedoch verbessert, da die zur Erzeugung einer bestimmten Durchflußmenge zur Verfügung stehende Kraft dadurch verstärkt wird.

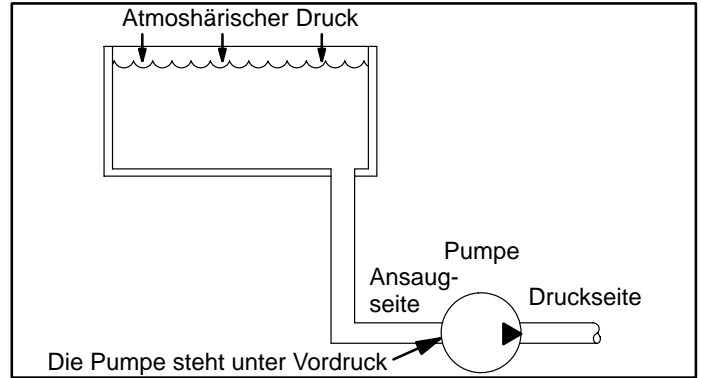
Abb. 25: Tank mit negativem Flüssigkeitsdruck



Hier muß ein Unterdruck vorhanden sein, um die Flüssigkeit anzuheben.

Sowohl bei Unterdruck als auch bei Vordruck an der Ansaugseite ist bei der Bemessung von Ansaugfiltern sicherzustellen, daß das Filter (Gehäuse und Element) sowie die zugehörigen Rohrleitungen erstens den gesamten Förderstrom passieren lassen, ohne daß der zulässige Ansaug-Unterdruck für die betreffende Pumpe überschritten wird, und zweitens einen Nebenstromweg aufweisen, der auch bei blockiertem Filterelement noch die Einhaltung dieses Grenzwertes gestattet (diese Anforderung bedingt häufig die Betätigung des By-pass-Ventils bei Drücken bis herunter zu 0,085 bar. Bei diesem Niveau ist jedoch nur selten eine ausreichende Zuverlässigkeit zu erreichen.

Abb. 26: Tank mit positivem Flüssigkeitsdruck



Um Kavitation zu vermeiden, ist bei sämtlichen Berechnungen zu berücksichtigen, daß die Flüssigkeit auch eine höhere Viskosität aufweisen kann, z. B. bei Kaltstarts.

Die übliche Filterfeinheit für Ansaugfilter beträgt 75 oder 150 μm . Es sind jedoch auch Filter-elemente mit bis zu 10 μm lieferbar. Dies bedeutet große Gehäuse und wahrscheinlich auch Übergröße bei der Gestaltung der Ansaugseite.

Elemente mit einer Filterfeinheit von 75 und 150 μm scheiden den größten Teil der Partikel, die größer sind, aus, sind jedoch relativ unwirksam bei der Abscheidung kleinerer Partikel. Durch den Einbau von Magneten wird ein Teil der

feinen metallischen Partikel ausgeschieden, doch müssen die Magnete innerhalb des Filters so angeordnet sein, daß die angesammelten Verunreinigungen unter keinen Umständen wegbrechen können und dadurch ganze Schmutzklumpen in die Pumpe gelangen.

Ein häufig für Ansaugfilter geforderter Vorteil ist die Einfachheit der Wartung. Wenn jedoch nach der Wartung der Verschlußdeckel nicht ordnungsgemäß wieder eingesetzt wird, kann unter Umständen Luft in das System eindringen. Dies bleibt oft unbemerkt und kann im System genauso schädlich wirken wie Schmutz.

Abb. 27: Filtration in der Druckleitung mit Bypass-Ventil

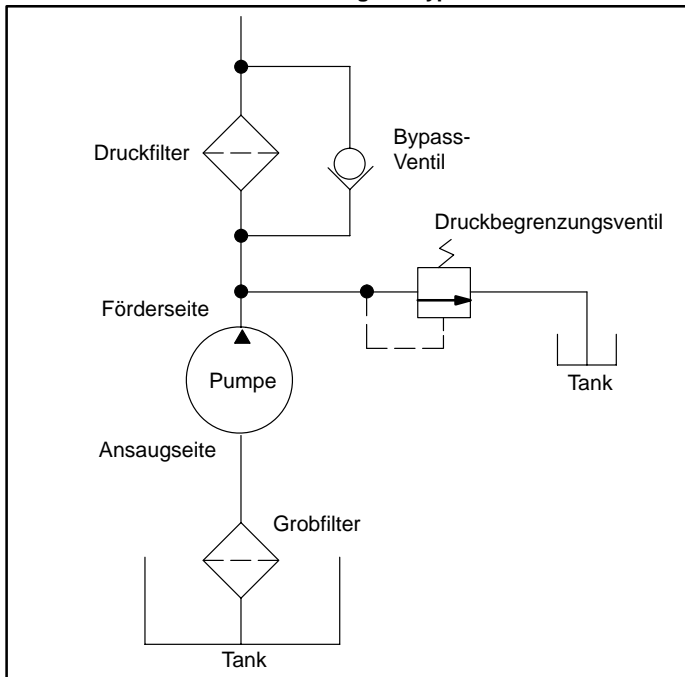
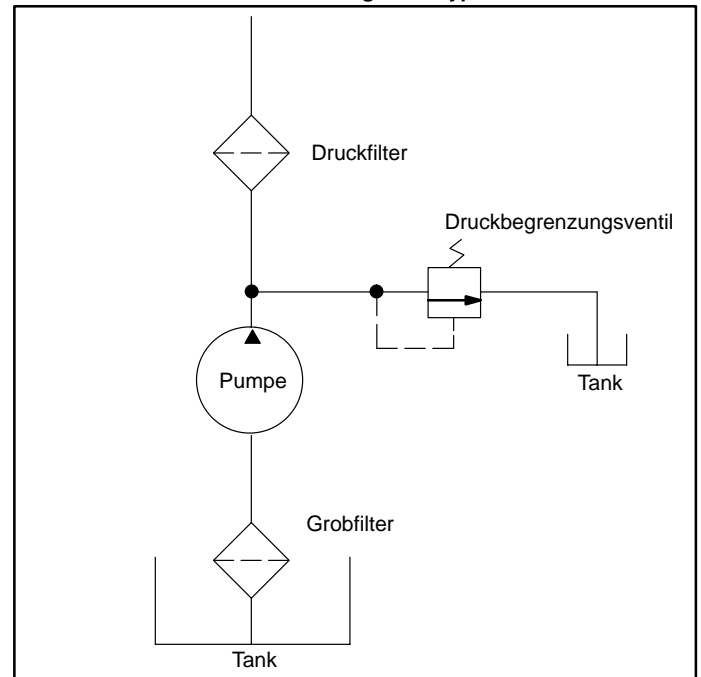


Abb. 28: Filtration in der Druckleitung ohne Bypass-Ventil



Saugfilter werden im allgemeinen in solchen Systemen eingesetzt, wo aufgrund der Art des Wartungsverfahrens große Partikel in den Tank gelangen können, zum Beispiel beim Nachfüllen. Wenn diese Filter nicht im Bypass arbeiten können, schützen sie die Pumpe gegen diese Art von Verschmutzungen. Durch eine entsprechende Konstruktion des Tanks, bei der ein Drahtsieb oder ein Beruhigungsblech vorgesehen ist, läßt sich an der Ansaugseite der Pumpe jedoch ebenfalls der zulässige Verunreinigungsgrad einhalten. Dabei können dann Siebe und Filter sowie die zugehörigen Anschlußteile in der Ansaugleitung entfallen, so daß die Saugbedingungen für die Pumpe verbessert werden.

Immer mehr Konstrukteure sehen getrennte Einfüllrichtungen, im allgemeinen in der Art von groben Filtern, vor, um die Notwendigkeit von Filtern in der Pumpensaugleitung zu eliminieren.

Wenn die Saugbedingungen für die Pumpe kritisch sind und die Füllung unter Überdruck erfolgen muß, wie häufig bei großen Kolbenpumpen mit veränderlichem Fördervolumen, wird üblicherweise ein Filter zwischen der Speisepumpe und der Hauptpumpe angeordnet. In diesen Fällen können die gleichen Richtlinien wie für die Bemessung von Druck- oder Rücklaufiltern angewandt werden. Wenn eine Pumpe mit veränderlichem Fördervolumen jedoch von Null auf maximales Fördervolumen verstellt wird, können Unterdrücke auftreten. Die hierbei möglichen Rückwirkungen auf das Filter sind sorgfältig zu beachten.

2. Filtration in der Druckleitung

Zunächst soll die Anordnung des Druckfilters im Verhältnis zur Pumpe und zum Druckbegrenzungsventil betrachtet werden.

In Abbildung 27 ist das Druckfilter auf der Niederdruckseite des Druckbegrenzungsventils angeordnet. Wenn kein Bypass-Ventil vorhanden ist, muß die Anordnung nach Abbildung 28 eingehalten werden. Die beim Arbeitszyklus durch das Filter

strömende Durchflußmenge hängt vom Systembedarf ab. Während der Entlastungsperioden tritt nur dann eine Leckströmung auf, wenn Wegeventile mit Durchflußsperrung in der Mittelstellung eingesetzt werden. Wenn die Entlastung durch Wegeventile mit offener Mittelstellung erfolgt, passiert in dieser Zeit die gesamte Pumpenfördermenge das Filter.

Um das Volumen der durch das Filter strömenden Flüssigkeit zu erhöhen, ist man dazu übergegangen, das Druckfilter zwischen Pumpe und Druckbegrenzungsventil anzuordnen. Siehe hierzu Abbildung 29. Die Befürworter dieser Anordnung führen an, daß das Druckbegrenzungsventil dabei vor den in der Pumpe erzeugten Verunreinigungen geschützt wird. In Wahrheit wird jedoch dieser Schmutz durch Pumpenverschleiß, der seinerseits dem Verschmutzungsgrad der auf der Ansaugseite in die Pumpe eintretenden Flüssigkeit direkt proportional ist, erzeugt.

Die Pumpe ist meist ein teures Bauteil; deshalb sollte man mehr darauf achten, durch verminderte Verunreinigungsmengen am Pumpeneingange den Verschleiß möglichst gering zu halten. Bei einer derartigen Anordnung ist ein Bypass-Ventil unerlässlich. Außerdem muß der filterhersteller dafür Gewähr bieten, daß sich bei Störungen am Filter kein zu hoher Druck an der Förderseite der Pumpe aufbaut.

Wenn mit Pumpen mit veränderlichem Fördervolumen gearbeitet wird, muß das durch das Filter durchströmende Flüssigkeitsvolumen sorgfältig analysiert werden. Nehmen wir das klassische Beispiel einer druckkompensierten Pumpe im Kompensationsfall (d. h. niedriges Fördervolumen bei maximalem Systembetriebsdruck), wo ein kleines Volumen gefördert wird, obwohl die Pumpe unter Druck arbeitet. Ein in der Druckleitung angeordnetes Filter scheidet dabei nur geringe Mengen an Verunreinigungen aus. Auch wenn ein Flüssigkeitsbedarf ansteht, ist dieser auf das Zylindervolumen beschränkt.

Wie in Abbildung 15 im Kapitel 5 dargestellt, hängt die Wirksamkeit des Filters von der Strömungsart ab, wenngleich zur Zeit noch kein Standardversuch zur Bewertung von Filtern bei Beaufschlagung mit Flüssigkeits- und Druckstößen sowie mechanischen Vibrationen existiert. Die Praxis hat gezeigt, daß sich die Filterleistung vermindert, doch hängt diese Verminderung nicht nur von der Qualität des jeweiligen Filtermediums ab, sondern ebenso von der Konstruktion des Filters. Es bleibt zu hoffen, daß eine Einigung auf bestimmte Standard-Versuchsparameter erfolgt und zukünftig ein Beta-Verhältniswert angegeben wird, der sich genauer auf die praktischen Filtrationsbedingungen im Hydrauliksystem bezieht. Außerdem wird es in Zukunft erforderlich sein, daß dem Projekt-Ingenieur Informationen über das Verhalten von integrierten Bypass-Ventilen unter System-Betriebsbedingungen zur Verfügung stehen.

Zusätzlich zu den bei der Betätigung von Ventilen entstehenden Vibrationen und abrupten Volumen- und Druckänderungen ist ein Druckleitungsfilter noch den durch die Pumpe verursachten Pulsationen ausgesetzt. Die Wirkungen derartiger Pulsationen wurden vor einiger Zeit in einem Prüfaufbau für hydraulische Bauteile demonstriert; dort erwies sich ein sogenannter 10- μm -Filter als praktisch absolut ungeeignet, Partikel mit einer Größe von weniger als 5 μm abzuscheiden.

Da Druckfilter den gesamten Systemdruck mit ausreichender Sicherheit aushalten können müssen, ist es das Bestreben, diese Filter klein zu halten, wodurch ihr Aufnahmevermögen für Verunreinigungen begrenzt ist. Die Hersteller geben üblicherweise eine Nenndurchflußmenge bei einem Druckabfall von etwa 1 bar für die Filter mit Bypass-Ventil und bei einem etwas höheren Druckabfall für Filter ohne Bypass-Ventil mit hochdifferenzdruckfesten Elementen an.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Druckfilter Bedingungen unterworfen sind, die sich weitgehend von denjenigen unterscheiden, die in einem Laboraufbau zur Prüfung von Filtern herrschen. Aus diesem Grund ist es für den Konstrukteur sehr schwierig, den Verunreinigungsgrad des jeweiligen Systems abzuschätzen. Die in Abbildung 15, Kapitel 5, angegebenen Werte basieren auf der praktischen Erfahrung unter Verwendung von Elementen guter Qualität.

In bestimmten Fällen sind Druckfilter sehr gut geeignet, das System bei plötzlichen Ausfällen der Pumpe zu schützen oder speziellen Schutz für ein bestimmtes Gerät oder eine bestimmte Gerätegruppe zu bieten. Ein Beispiel für letzteres wäre ein Servoventil, dessen Ausfall teuer zu stehen käme, obwohl anzumerken bleibt, daß ein Druckfilter ein Servoventil nicht gegen Verunreinigungen, die durch

Zylinderstangendichtungen eingedrungen sind, schützt. Hier wäre ein Filter ohne Bypass-Ventil einzubauen, das sicherstellt, daß das Filterelement dem größtmöglichen Differenzdruck widersteht. Bei Filtern mit By-pass-Ventil sollte eine Warnvorrichtung vorhanden sein, die die Verschmutzung des Elements anzeigt.

Hinsichtlich der Wartung ist zu sagen, daß das System zum Auswechseln der Elemente außer Betrieb gesetzt werden muß, wenn nicht externe Umgehungen vorhanden sind. Beim Elementwechsel geschieht es häufig, daß Luft in das System gelangt. Damit die Maschine wieder zufriedenstellend arbeitet, muß das System entlüftet werden.

3. Filtration im Rücklauf

Die übliche Anordnung eines Filters in der Rücklaufleitung ist in Abb. 30 dargestellt. Dabei fließt

die gesamte Rücklaufflüssigkeit durch das Filter. Die von den Pumpen, Motoren und bestimmten Ventilen kommenden Lecköleitungen dürfen keinen, über die System-Rücklaufleitung übertragenen, Druckstößen ausgesetzt werden; sie sind getrennt zum Tank zurückzuführen.

Wenn hohe Druckstöße auftreten (z. B. infolge unkontrollierter Dekompression oder hoher Beschleunigung der Flüssigkeitssäule in der Tankleitung des Druckbegrenzungsventils, wenn dieses Ventil anspricht), ist es in bestimmten Fällen unerwünscht, diese Druckstöße durch das Filter zu leiten. Um einen Zusammenbruch des Filterelementes infolge hoher Viskosität der Flüssigkeit, z. B. bei einem Kaltstart oder bei stark verschmutztem Element, zu vermeiden, ist ein internes oder ein externes Bypass-Ventil vorzusehen.

Abb. 29: Anordnung des Druckfilters vor dem Druckbegrenzungsventil bewirkt konstanten Filterstrom

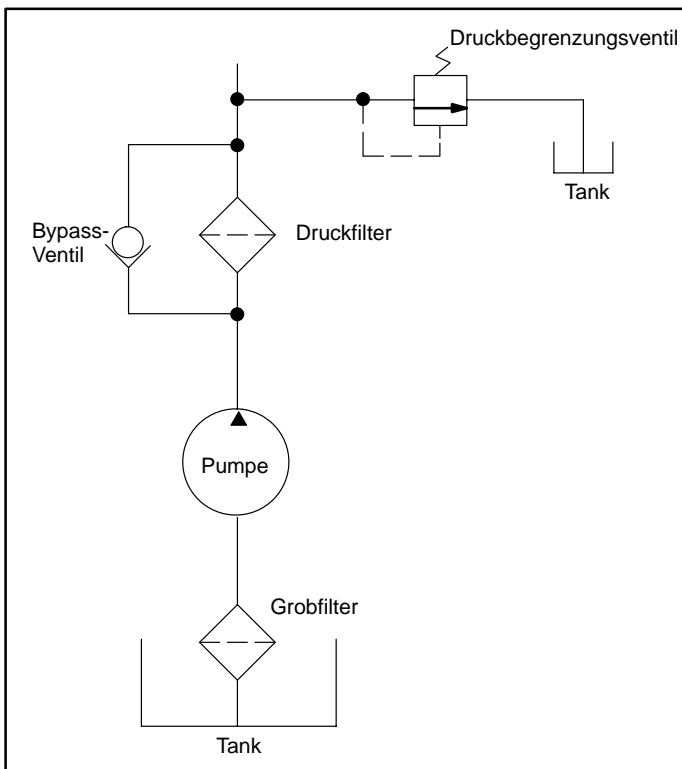
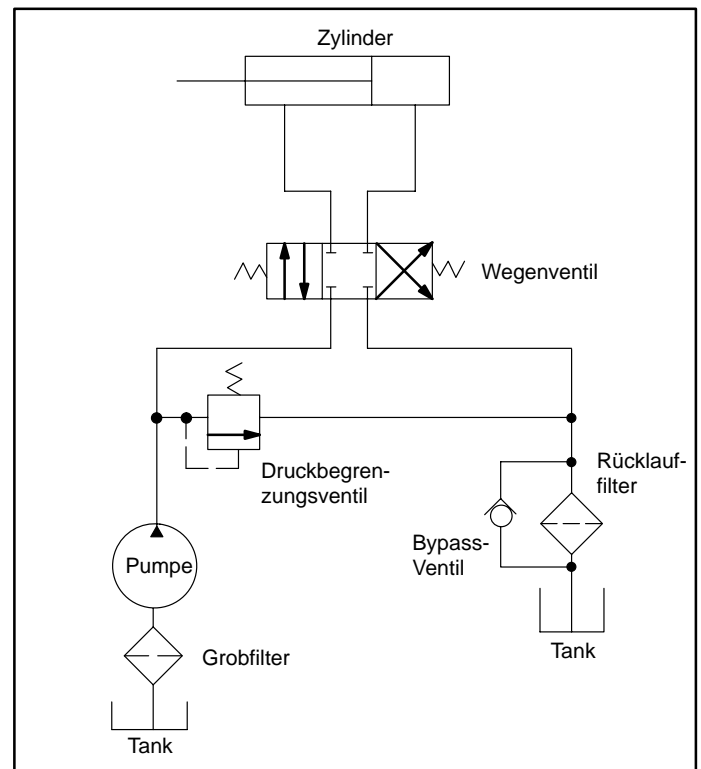


Abb. 30: Rücklaufleitungs-Filtration; Grundanordnung



Wenn das Bypass-Ventil infolge von Druckstößen bei geringen Durchflusssmengen anspricht, darf die zirkulierende Flüssigkeit nicht durch den bereits im Filter angesammelten Schmutz verunreinigt werden. Infolge der Natur der in den meisten Rückleitungen auftretenden Druckstöße vermindert sich die Filterleistung. Falls keine präzisen Daten vorliegen, ist das Filter anhand der Angaben für pulsierenden Durchfluß in Abb. 15, Kapitel 5, auszuwählen.

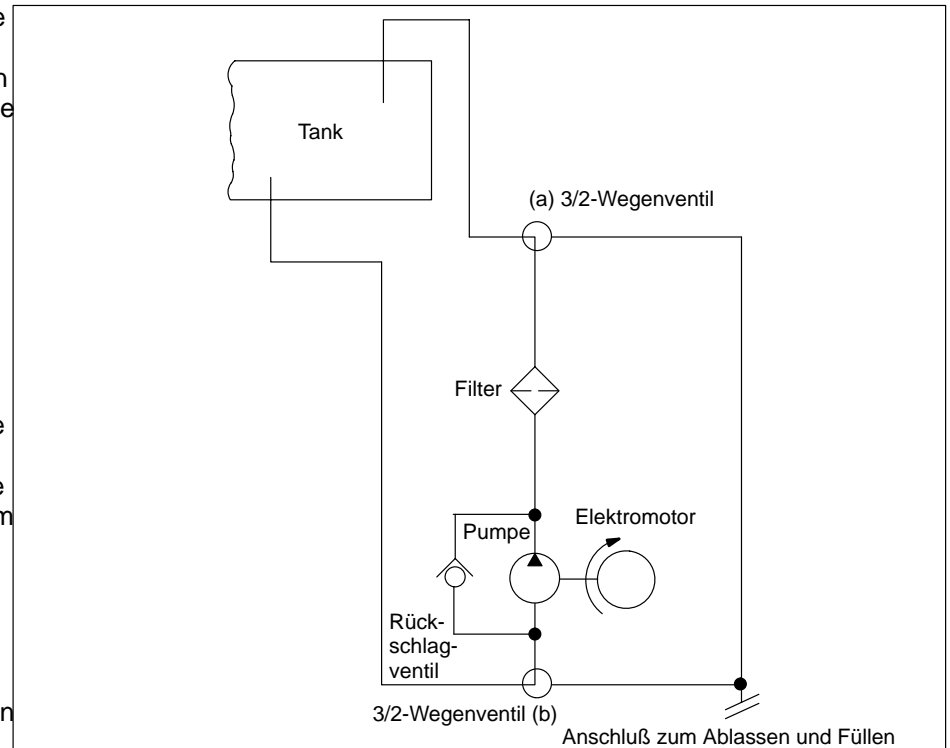
Bei Rücklauf-Vollstromfiltration müssen die Filter eine ausreichende Kapazität aufweisen, so daß sie die maximal auftretende Rücklaufmenge (einschließlich der den Pumpenstrom überschreitenden, wenn z. B. Differentialzylinder verwendet werden) verarbeiten können, ohne daß sich das Bypass-Ventil öffnet.

Dazu ist eine sorgfältige Abschätzung der Durchflußmenge an den Filtern erforderlich. Auch hier gelten die Hinweise bezüglich des Einsatzes von Pumpen mit variablem Fördervolumen, da das Filter bei druckkompensierten Pumpen nur von der dem Zylindervolumen entsprechenden Menge durchströmt wird.

Bei bestimmten Systemen ist eine Teilstromfiltration des Rücklaufs zulässig, wobei das By-pass-Ventil (intern oder extern) stets einen Bruchteil des Hauptstroms hindurchläßt. Bei einer derartigen Anordnung muß die den Filter durchströmende Durchflußmenge entsprechend dem jeweiligen Fall bemessen werden. In einigen Fällen kann eine zufriedenstellende Leistung bereits dann erreicht werden, wenn nur 10% der Flüssigkeit durch das Filterelement fließen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß ein Rücklauf-Filter das System nicht gegen Verschmutzung aus der Umwelt, die durch Entlüftungsventile oder beim Nachfüllen eindringt, schützt.

Abb. 31: Aufbau eines Nebenstrom-Filtrationssystems. Die Ventile (a) und (b) können so angeordnet werden, daß die Flüssigkeit entweder beim Einfüllen oder beim Ablassen gefiltert wird.



Wenn jedoch von Anfang an der Tank sauber gehalten wird und Vorsichtsmaßnahmen gegen das Eindringen von Verunreinigungen aus der Umgebung ergriffen werden, zeigt die Erfahrung, daß mit Rücklauf-Filtern eine wirksame Filtration auf wirtschaftliche Weise zu erreichen ist.

Nebenstromfiltration

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Effektivität von Filtern, sowohl in der Druck- als auch in der Rücklaufleitung, durch Druck und Flüssigkeitsstöße, Pulsationen, Vibrationen usw. vermindert wird, und zwar bis zu einem von der Art des Filtermediums und der Filterkonstruktion abhängigen Umfang.

Bei stetigem Strom, möglichst druckschwankungsfrei, ergibt sich eine optimale Filterleistung. Die einfachste Möglichkeit zur Erreichung dieses Ziels besteht darin, das Filter aus dem Hauptsystem herauszunehmen und in eine Umwälzeinheit mit unabhängigem Antrieb einzusetzen, so daß die

Filterleistung besser zu kalkulieren ist. Eine charakteristische Anordnung, obwohl noch an den Systemtank angeschlossen, ist in Abb. 31 dargestellt. Der wahrscheinliche Verschmutzungsgrad bei stetigem Durchfluß, bezogen auf die drei Filtergrößen, ist in Abb. 15, Kapitel 5, aufgeführt. Die Genauigkeit, mit der die Durchflußmenge eingehalten wird, bestimmt, ob der jeweilige Verschmutzungsgrad erreicht und eingehalten werden kann.

Eine vernünftige Qualität der Konstruktion und der Fertigung des Systems vorausgesetzt, dürften die wichtigsten Faktoren bei der Festlegung der Durchflußmenge für Nebenstromfiltration die Umgebungsbedingungen und die Tankgröße sein. Aufgrund der bis heute gesammelten praktischen Erfahrungen können die in Abb. 32 aufgeführten Richtwerte zugrunde gelegt werden. Die daraus abgeleitete Durchflußmenge läßt sich dann zur Festlegung der Filtergröße nach dem in Kapitel 5 dargelegten Verfahren benutzen.

Abb. 32: Einheitswerte für die Durchflußmenge bei Nebenstromfiltration

Umgebungsbedingungen	Durchflußmenge (l/min.) als Prozentsatz des Tankvolumens (Liter)
GUT	5%
MITTEL	10%
SCHLECHT	20%

Bei Nebenstromfiltration wird die Aufgabe des Konstrukteurs vereinfacht, da er keine Rücksicht auf die Strom- und Druckeigenschaften des Hauptsystems nehmen muß. Er kann den besten Filter wählen und die am besten geeignete Durchflußmenge festlegen und dann die Filtergröße so einsetzen, daß sich die gewünschte Wartungsfrequenz ergibt.

Falls der gewünschte Verschmutzungsgrad nicht erreicht wird, lassen sich Korrekturen hinsichtlich der Durchflußmenge oder des Filtertyps leicht durchführen, ohne daß dadurch die Konstruktion des Hauptsystems beeinflusst wird. Weiterhin kann das Nebenstromsystem vor dem Hauptsystem in Betrieb genommen werden, um die Hydraulikflüssigkeit im Tank zu reinigen und den vorhandenen Verschmutzungsgrad nach Inbetriebnahme des Hauptsystems an der Pumpe herabzusetzen. Durch die Einfügung einer einfachen Ventilanordnung läßt sich erreichen, daß zunächst die Erstfüllung und dann die Nachfüllung filtriert werden. Im Idealfall läuft das Nebenstromsystem kontinuierlich, so daß sich im Tank bei jeder Inbetriebnahme des Hauptsystems nur saubere Flüssigkeit befindet.

Im Unterschied zu den Hauptstromfiltern filtriert das Nebenstromsystem die Flüssigkeit auch dann, wenn Pumpen mit variablem Fördervolumen im untersten Fördermengenbereich arbeiten.

Da die Nebenstromfilter vom Hauptsystem unabhängig sind, können sie an der für die Wartung am besten geeigneten Stellen angeordnet werden. Ein Elementwechsel hat keinen Einfluß

auf das Hauptsystem. Diese Arbeit kann jederzeit ausgeführt werden, ohne daß das Hauptsystem abgeschaltet werden muß, und ohne daß Luft in das Hauptsystem gelangen kann. An die Fähigkeiten des Wartungspersonals werden somit fast keine Ansprüche gestellt.

Ob die Nebenstromfiltration als einzige Filtrationsmaßnahme angewandt werden kann, hängt von vielen Faktoren in bezug auf die Eigenschaften, den Umfang und den Ursprung der Verunreinigungen ab. Da es sich um eine partielle Filtration handelt, muß entschieden werden, ob ein spezieller Schutz einzelner Komponenten oder Komponentengruppen vor vagabundierenden Partikeln erforderlich ist, um plötzliche Ausfälle zu verhindern.

Rückblick

In den bisherigen Ausführungen wurde versucht zu zeigen, daß je nach Umständen, Möglichkeiten, sowohl zur Ansaugleitung als auch zur Druckleitungs-, zur Rücklaufleitungs- oder zur Nebenstromfiltration bestehen. Dies vor dem Hintergrund, daß die Filterhersteller bis vor einiger Zeit behaupteten, daß Druckleitungsfilter sämtliche Probleme lösen könnten und die nun ein Rücklauffilter-Programm anbieten. Umgekehrt gibt es Hersteller von Rücklauffiltern, in deren Angebot sich nun Druckleitungsfilter befinden.

Der wichtigste Punkt besteht darin, zu erkennen, daß auch beim Entwurf eines Filtrationssystems Risiken eingegangen werden müssen, genauso wie auf allen anderen Gebieten der Technik. Ein einziges Partikel in der

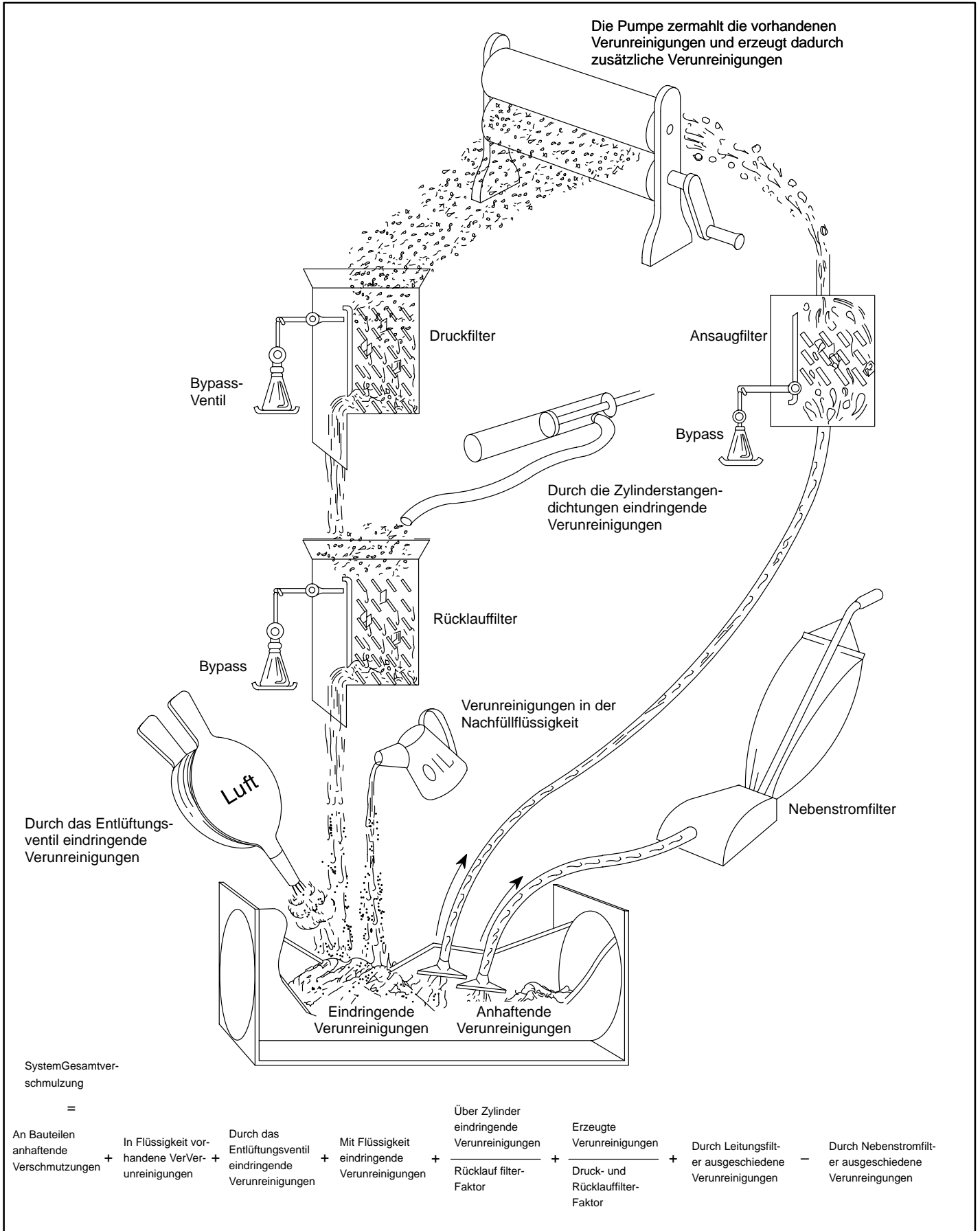
Größenordnung von 5 bis 10 µm kann eine Systemstörung verursachen, wenn es zu einem kritischen Zeitpunkt an der falschen Stelle erscheint.

Der Werkzeugmaschinenkonstrukteur hat vielleicht den Vorteil, die Leistung eines Filtrationssystems an einem Prototyp ausprobieren und Änderungen vor der Fertigungsaufnahme durchführen zu können. Der Konstrukteur von Großanlagen, wie z. B. Walzwerken, hat diese Gelegenheit hingegen nicht. Sein Entwurf muß von vornherein alle Fehlerquellen berücksichtigen. Er muß gegebenenfalls sämtliche ihm zur Verfügung stehende Verfahren zur Auswahl von Filtern anwenden, um das Risiko teurer Ausfälle so klein wie möglich zu halten. Das Risiko besteht so lange, bis a) realistischere Daten über die Filterleistung vorliegen und b) die Wartungspraxis wesentlich verbessert worden ist.

Der Inhalt der vorstehenden Absätze läßt sich am besten anhand einer Abbildung (Abb. 33) darstellen. Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, daß nur die Kontrolle der den Einzelheiten anhaftenden Verunreinigungen durch sorgfältige Installation und Ausnützung aller vorhandenen Möglichkeiten zur Verhinderung von Verunreinigung durch eindringenden Schmutz zu dem Ziel führen, die im System erzeugte Verunreinigung auf einem zulässigen Niveau zu halten.

Die Menge der in die Pumpe eintretenden Verunreinigungen stellt einen kritischen Faktor dar. Diese Verunreinigungen sind derart zu kontrollieren, daß die in der Abbildung durch einen Ausfall dargestellte Wirkung verhindert wird. Die Schwierigkeit, derartige Verunreinigungen durch Ansaugfilter zu kontrollieren, wurde deutlich dargelegt. Solche Filter sollten hauptsächlich dem Zweck dienen, den Eintritt großer Partikel in die Pumpe zu verhindern, damit keine plötzlichen Ausfälle auftreten.

Abb. 33: Darstellung der Filtrations-Grundgleichung



Auf der Druckseite der Pumpe wird die Fähigkeit eines Druckfilters, Partikel abzuscheiden, weitgehend durch abrupte Änderungen der Durchflußmenge und des Drucks beeinträchtigt. Diese Änderungen führen dazu, daß Partikel durch das Filtermedium gepreßt werden. Aus der Praxis ist bekannt, daß an Nebenstromventilen unter bestimmten Umständen Störungen auftreten können. Durch die Filterkonstruktion muß deshalb verhindert werden, daß die Verunreinigungen in einem solchen Fall anfangen zu wandern.

Durch die Zylinderstangendichtungen eindringende Verunreinigungen können sich, auch wenn sie zum unteren

Größenordnungsbereich gehören, trotzdem zu größeren Mengen ansammeln. Die Leistung eines Rückleitungs-filters hängt wiederum von der Größe der Änderungen von Durchflußmenge und Druck ab.

Mittels Nebenstromfiltration läßt sich eine optimale Filtrationsleistung erreichen, so daß der Verschmutzungsgrad besser kontrolliert werden kann. Die Möglichkeiten zur Ausscheidung von Verunreinigungen hängen nicht nur von Filterfeinheit ab, sondern außerdem auch von der Durchflußmenge. Damit eine dem Endbenutzer zumutbare Elementlebensdauer erreicht wird, muß ein ausreichendes Aufnahmevermögen für Verunreinigungen vorgesehen werden.

Zur Erleichterung der Arbeit wurden die wichtigsten Entwurfstufen aus dem Text zusammengefaßt und in Kapitel 7 aufgeführt.

Kapitel 7 Entwurfstufen und Arbeitsbeispiele

Entwurfstufen

1. Die kritischen Komponenten feststellen. Wie in Kapitel 3 dargestellt, ist die Pumpe in vielen Systemen die kritischste Komponente. Wenig betätigte und dauernd unter Druck stehende Kolbenventile benötigen jedoch ebenfalls Schutz vor Verschlammlung. Weiterhin müssen im unteren Einstellbereich arbeitende Mengenregelventile unabhängig vom Druck vor Verschlammlung geschützt werden. Auch Mengen- oder Druck-Steuerventile erreichen eine höhere Reproduzierbarkeit, wenn die Verschlammlung unter Kontrolle gehalten wird. Mittels der Verschmutzungsempfindlichkeit der Systemkomponenten zu bestimmen, d.h.
 - a) Sehr empfindliche Komponenten, z. B. Proportionalsteuereinheiten
 - b) Durchschnittliche Hydraulikkomponenten, einschließlich der meisten Pumpen
 - c) Unempfindliche Komponenten, z. B. unter niedrigem Druck arbeitende Bauteile. Wenn der Systemdruck bekannt ist, kann der gewünschte Verschmutzungsgrad (Bandbriete) festgelegt werden.
2. Aus Abb. 15 bestimmen, welche Filterkategorie sowohl hinsichtlich Konstantstrom als auch hinsichtlich pulsierendem Strom erforderlich ist. Dieser Faktor ist nur einer derjenigen, die bei der Bestimmung der Anzahl, der Art und der Größe der Filter zu berücksichtigen ist.
3. Die einzelnen potentiellen Verunreinigungsstellen detailliert betrachten (siehe Abb. 20). Die Umgebungsbedingungen sind selten völlig unbekannt, doch haben die Projekt-Ingenieure, wie auf vielen Gebieten der Technik, auch hier häufig unzureichende Kenntnisse von den praktischen Gegebenheiten. Aus Abb. 20 sind die einzelnen kritischen Punkte ersichtlich. Wenn das System besser gegen das Eindringen von Verunreinigungen geschützt wird, können sich die Anlagekosten zunächst erhöhen. Auf die Dauer vermindern sich jedoch die Betriebskosten. Der wichtigste Faktor sind die Gesamtkosten. Entsprechend Abb. 21 sind die einzelnen Möglichkeiten zur Kontrolle der Verschmutzung sorgfältig zu untersuchen. Anschließend ist das System entsprechend Abb. 21 einzuordnen.
4. Die Einbauorte für die Filter festlegen. Auch dabei ist zu berücksichtigen, daß die wirtschaftlichste Lösung sowohl von den Anlage- wie auch von den Betriebskosten abhängt.
5. Die Durchflußmenge an den einzelnen Filter-Einbauorten feststellen. Dabei ist zu beachten, daß Pumpen mit veränderlichem Fördervolumen, wie druckkompensierte Pumpen, häufig längere Zeit mit geringer Förderleistung, jedoch unter vollem Betriebsdruck arbeiten und die Pumpe deshalb geschützt werden muß. Am Filter können auch Durchflußmengen oberhalb der maximalen Pumpen-Fördermenge auftreten, z. B. die an der Kolbenfläche eines Differentialzylinders austretende Flüssigkeitsmenge. Unkontrollierte Flüssigkeitsdekompression kann kurzzeitig ebenfalls zu sehr hohen Durchflußmengen führen.
6. Den maximal zulässigen Druckabfall am jeweiligen Filter bestimmen. Dabei sind sämtliche Betriebsbedingungen, wie Kaltstarts usw., zu berücksichtigen.
7. Die Strömungsart am jeweiligen Einbauort analysieren. In den Druck- und Rückleitungen tritt wahrscheinlich pulsierender Druck auf (Abb. 15). Bei Nebenstromfiltration kann gleichbleibende Strömung angenommen werden. Nun lassen sich die Filterwerte bestimmen.

8. Filtergröße
 - a) Druckfilter werden nach Abb. 22 bestimmt.
 - b) Rücklauffilter werden nach Abb. 23 bestimmt.
 - c) Nebenstromfilter werden nach Abb. 24 bestimmt.
9. Das geeignete Anzeigergerät für den Filterzustand entsprechend den vom Benutzer festgelegten Forderungen auswählen (diese Anforderungen erfragen und nicht erraten).
10. Bei kontinuierlich arbeitenden Anlagen entsprechend konstruierte Einrichtungen bereithalten, damit die Anlage zum Elementwechsel nicht angehalten werden muß (bei Nebenstromfiltration nicht erforderlich).
11. Sicherstellen, daß die Filter zur Wartung leicht zugänglich sind.

12. Kontrollieren, ob die Arbeitsweise der Komponenten durch den Einbau von Filter in den Hauptstrom nicht beeinträchtigt wird.
13. Sicherstellen, daß das Filtermaterial mit der systemflüssigkeit voll verträglich ist.
14. Die Anforderungen hinsichtlich Langzeitbetrieb beachten. Insbesondere bei großen Systemen sind Möglichkeiten zum Durchspülen von Abschnitten, aus denen die Hydraulikflüssigkeit nicht von selbst abfließen kann, vorzusehen.
15. Entnahmestellen vorsehen.
16. Empfehlungen für die Verschmutzungskontrolle durch den Anwender erstellen. Die Methoden zur Aufzeichnung von Daten und zur Analyse der Ergebnisse werden in Kapitel 8 dargelegt.

Arbeitsbeispiele

Aus den folgenden Beispielen ist zu entnehmen, wie mit den verschiedenen Kurven und Tabellen gearbeitet werden kann, sobald der Filter-Einbauort festgelegt worden ist.

Beispiel 1: Druckleitungsfiltration

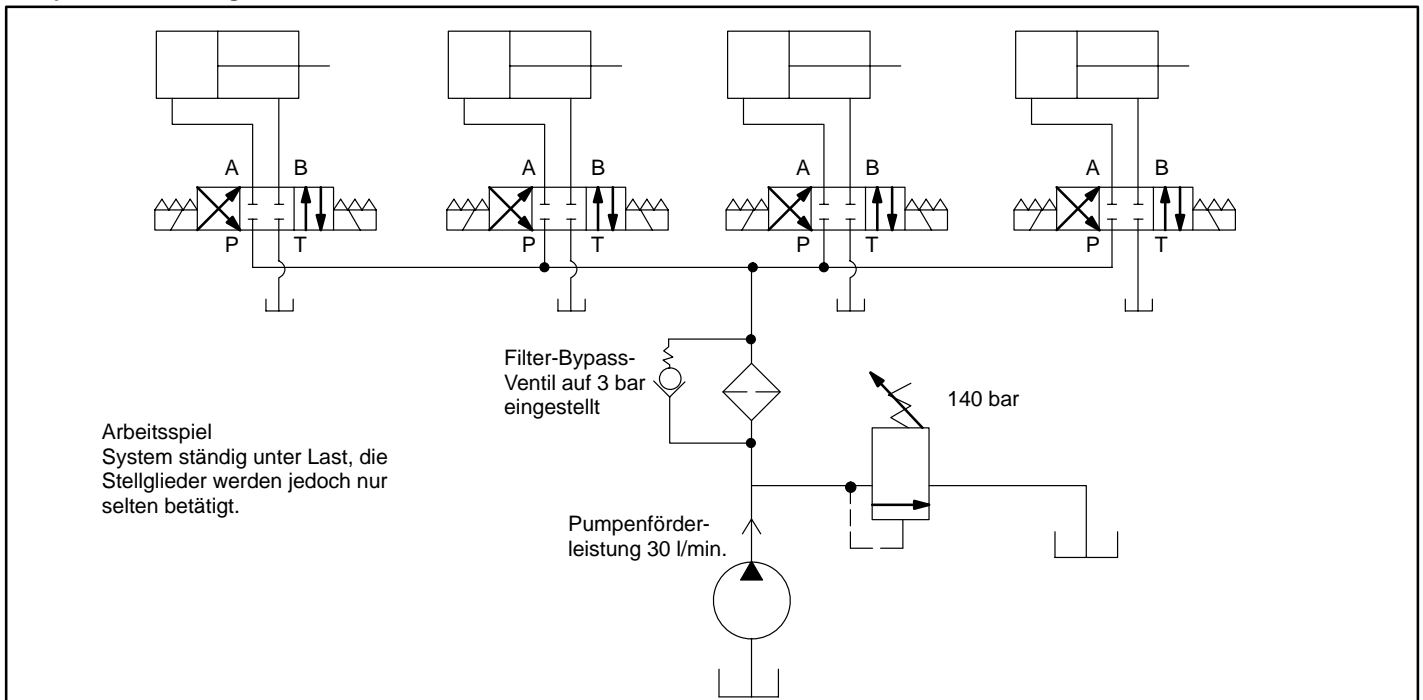
Maximaler Systemdruck 140 bar.
 Pumpe mit festem Fördervolumen, Förderleistung 30 l/min.
 Verschmutzungsempfindlichkeit der Komponenten: Kleine Kolbenventile, unter Druck stehend und deshalb empfindlich gegen Verschlammung.

In den Verunreinigungscurven (Abb. 10) die Kurve für durchschnittliche Komponenten und 140 bar nehmen. Empfohlenes Profil: 17/13. Aus Abbildung 15 den Filter für Grad 17/13 bei 5 und 15 µm auswählen. Dabei mögliche Verschlammung in Betracht ziehen. Einen Filter für teilweise Feinstabscheidung wählen.

Die Umgebungsbedingungen sind gut, der Eintritt von Verunreinigung kann jedoch nur wenig oder gar nicht kontrolliert werden, da sich Zylinder im System befinden. Die Umgebungsbedingungen entsprechen deshalb dem Grad 3 (Abb. 21).

Der Druckabfall am Filterelement wird durch ein Bypass-Ventil auf 5 bar begrenzt. Aus den Auswahlkurven für Druckleitungsfilter (Abb. 22) ergibt sich am Schnitt-

Beispiel 1: Druckleitungsfiltration



-punkt der Kurve für Grad 3 bei einem Druck von 3 bar ein Multiplikationsfaktor von 1,4.

Deshalb: Durchflußkapazität des Filters bei einem Druckabfall von 1 bar = 30 l/m bei sauberer Hydraulikflüssigkeit (Pumpenfördermenge $\times 1,4 = 42$ l/min). Der Druckabfall am Filterelement ist der Viskosität proportional.

Zusammenfassung: Für das System ist ein Filter für eine Durchflußmenge von 42 l/min bei einem Druckabfall von 1 bar bei sauberer Hydraulikflüssigkeit und bei der vorher festgelegten Viskosität der Systemflüssigkeit zur teilweisen Feinstfiltration erforderlich.

Beispiel 2: Rücklauffiltration

Maximaler Systemdruck 70 bar.

Pumpe mit konstantem Fördervolumen, Förderleistung 100 l/min. Verschmutzungsempfindlichkeit der Komponenten: Pumpe, Ventil und Zylinder können als durchschnittlich verunreinigungsempfindlich klassifiziert werden.

Aus der Darstellung der Verunreinigungscurven (Abb. 10) ist diejenige für durchschnittliche Komponenten bei 70 bar auszusuchen. Das empfohlene Verunreinigungsprofil entspricht 19/15. Nun ist aus Abb. 15 ein Filter

diesem Grad entsprechend auszuwählen. In diesem Fall könnte ein Grobfilter verwendet werden. Da sich jedoch ein Druckbegrenzungsventil durch den Filter entläßt und außerdem wahrscheinlich Dekompressionsstöße auftreten, wird ein Filter zur teilweisen Feinstfiltration empfohlen. Die maximale Durchflußmenge am Filter beträgt 200 l/min bei einem Zylinder mit einem Flächenverhältnis von 2:1.

Die Umgebungsbedingungen sind gut, wobei die Verunreinigung durch Eindringen von Verschmutzung bis zu einem gewissen Maß unter Kontrolle steht. Es wird Grad 2 vorgeschlagen (Abb. 21).

Der Druck am Filterelement wird durch das Bypass-Ventil auf 1,5 bar begrenzt. Aus den Auswahlkurven für Rücklauffilter (Abb. 23) läßt sich entnehmen, daß sich am Schnittpunkt der Kurve für Grad 2 und einem Druck von 1,5 bar ein Multiplikationsfaktor von weniger als 1 ergeben würde. In derartigen Fällen wird der Mindestfaktor 1 eingesetzt. Hier ist genügend Durchflußkapazität vorhanden, um den größeren Ölstrom beim Einfahren des Zylinders aufzunehmen. Während der belastungsfreien Zeiten fließt durch den Filter lediglich eine Menge von 100 l/min.

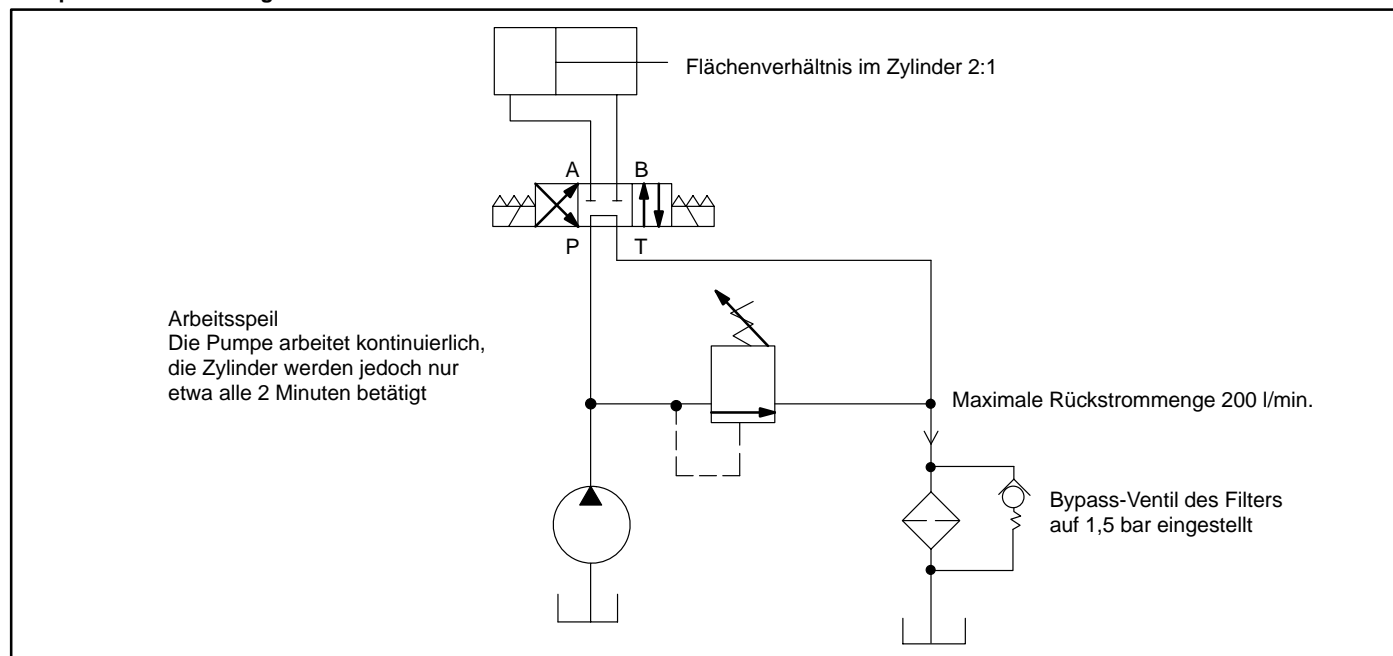
Zusammenfassung: In diesem Fall wird ein Filter zur teilweisen Feinstfiltration für eine Durchflußmenge von 200 l/min bei einem Druck von 0,3 bar bei sauberer Flüssigkeit und der vorherbestimmten Flüssigkeitsviskosität benötigt. Der Druckabfall am Element ist der Viskosität proportional.

Beispiel 3: Nebenstromfiltration

Maximaler Systemdruck 200 bar. Druckkompensierte Pumpe mit veränderlichem Fördervolumen; maximale Förderleistung 70 l/min. Tankkapazität 200 Liter. Verunreinigungsempfindlichkeit der Komponenten: Kritische Komponente ist die Pumpe.

Von den Kurven für den Verunreinigungsgrad (Abb. 10) ist die Kurve für durchschnittliche Komponenten bei 200 bar auszusuchen. Das empfohlene Verunreinigungsprofil lautet 15/11. Anhand von Abb. 15 ist ein diesem Grad entsprechendes Filter auszuwählen. Es ist zu erkennen, daß unter den in diesem Fall herrschenden konstanten Durchflußbedingungen Grad 15/11 sowohl mit einem Feinstfilter als auch mit einem Filter für teilweise Feinstfiltration eingehalten werden kann.

Beispiel 2: Rücklaufleitungsfiltration



Die Wahl des Filters hängt somit von der Frage ab, welches Risiko eingegangen werden kann. In der Praxis ist es ein einfacher Arbeitsgang, einen Filter der einen Kategorie gegen einen solchen der anderen an Ort und Stelle auszutauschen, so daß das Risiko minimal ist.

Entsprechend Abb. 32 beträgt die Förderleistung der Nebestrompumpe unter der Annahme durchschnittlicher Begingungen 20 l/min.

Die Umgebungsbedingungen sind schlecht, doch läßt sich unter Anwendung der entsprechenden Konstruktionsprinzipien eine gute Kontrolle über eindringende Verunreinigungen erreichen. Es wird Grad 3 angenommen.

Der Druckabfall am Filterelement wird durch ein Bypass-Ventil auf 1 bar begrenzt. In den Auswahlkurven für Nebestromfilter ergibt der Schnittpunkt der Kurve für 3 Grad bei 1 bar einen Multiplikationsfaktor von 2,7. Die Durchflußkapazität des Filters bei einem Druckabfall von 0,3 bar bei sauberer Flüssigkeit beträgt somit $20 \times 2,7 = 54$ l/min.

Zusammenfassung: In diesem Fall bestünde das Nebestromsystem aus einer Pumpe mit einer Förderleistung von 20 l/min und einem Filter für teilweise Feinstfiltration. Letzteres könnte ohne Schwierigkeiten gegen ein Feinstfilter ausgewechselt werden, falls der gewünschte Verunreinigungsgrad nicht erreicht wird.

Das Element ist entsprechend einer Durchflußmenge von 54 l/min bei einem Druckabfall von 0,3 bar bei sauberer Flüssigkeit und der vorherbestimmten Flüssigkeitsviskosität auszuwählen.

Der Druckabfall am Element ist der Viskosität proportional.

Kapitel 8 Entnahme und Analyse von Flüssigkeitsproben

Nur sehr wenige Hydrauliksysteme weisen Ventile zur Entnahme von Flüssigkeitsproben auf. In den meisten Fällen können jedoch Proben aus dem Tank an der Stelle, an der die Hydraulikflüssigkeit zur Pumpe abgeleitet wird, entnommen werden. Wenn das System mit Ventilen zur Probeentnahme ausgestattet ist, können diese zur Überwachung des Filterverhaltens benutzt werden.

Die Ventile müssen so angeordnet sein, daß die Probeentnahme auch wirklich repräsentative Proben ergibt. Gegenwärtig sind noch keine Standardverfahren zur Probeentnahme an Hydrauliksystemen festgelegt. Bis dies der Fall ist, müssen Tankproben weiterhin durch Ansaugen entnommen werden. Falls ein Entnahmeventil in einen Tank eingebaut werden soll, ist ein Kugelventil mit Teflonsitz und einer Rohröffnung entsprechend Abb. 34 zu verwenden. Auf diese Weise wird die Probe am wenigsten zusätzlich verunreinigt.

Wenn andere Entnahmestellen notwendig werden, sind sie vorzugsweise dort anzuordnen, wo turbulente Strömung herrscht. Häufig wird ein T-Stück ohne Stichleitung eingebaut. Es ist jedoch anzumerken, daß unter den Fachleuten über diesen speziellen Aspekt unterschiedliche Meinungen bestehen. Es sollte hier ebenfalls ein Kugelventil verwendet werden. Die Anordnung sollte an einer solchen Stelle innerhalb des Systems erfolgen, an der die Durchflußmenge normalerweise konstant ist.

Beispiel 3: Nebestromfiltration

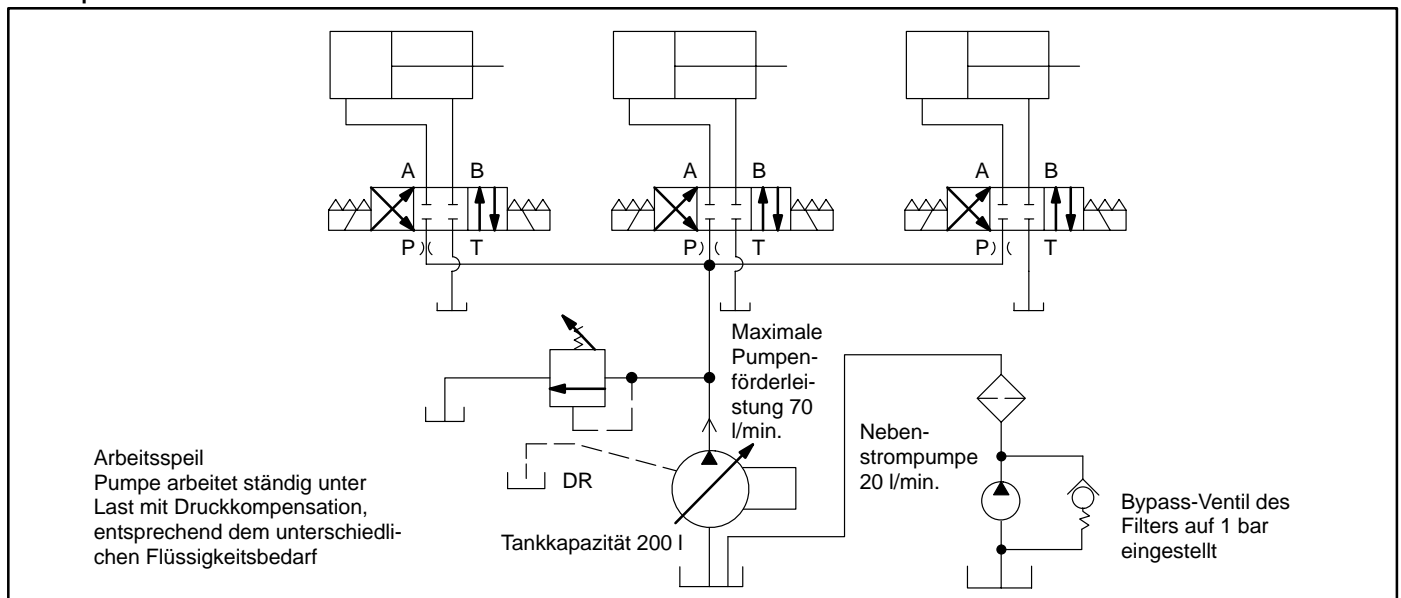
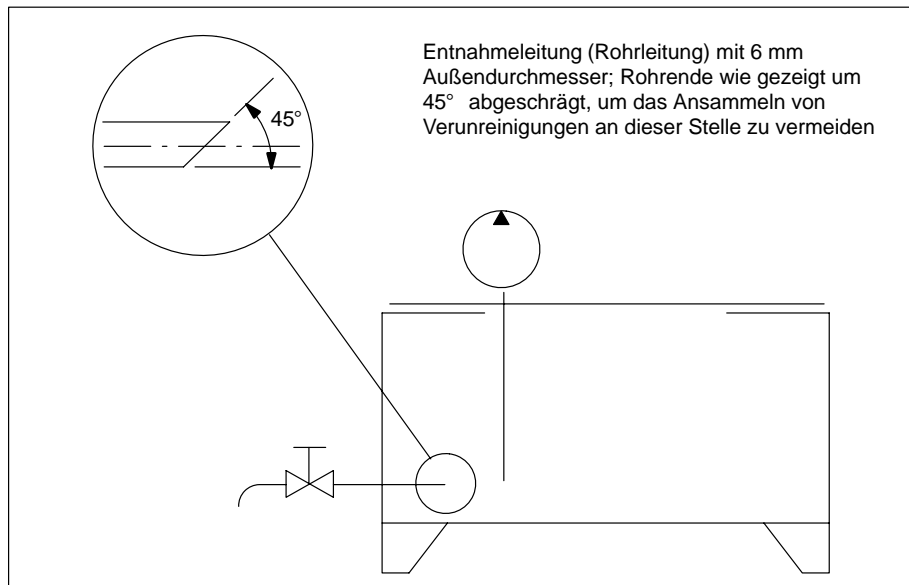


Abb. 34: Anordnung eines Entnahmeventils am Tank mit Einzelheit



Da nur etwa 200 ml Flüssigkeit entnommen werden, ist es wichtig, das Ventil so klein wie möglich zu wählen. Im Idealfall ist ein kleines Ventil einzubauen und die Probe beim vollständig geöffneten Ventil über eine Rohrleitung mit enger Bohrung auf der Niederdruckseite des Ventils zur Durchflußbegrenzung zu entnehmen. Falls ein großes Ventil eingebaut ist, kann es nur wenig geöffnet werden, um die Durchflußmenge zur Entnahme ausreichend zu begrenzen. Die Ventilöffnung ist dann meistens so eng, daß größere Partikel zurückgehalten werden und Erosion auftritt. Beide Effekte beeinträchtigen die Repräsentativität der Probe.

Bei der Probeentnahme ist große Sorgfalt anzuwenden, um zuverlässige Resultate zu erhalten. Aufgrund der praktischen Erfahrungen wurden folgende Verfahren entwickelt.

Reinigen der Flasche

Es sind saubere neue Flaschen mit Schraubkappen zu verwenden. Der Arbeitsablauf ist wie folgt:

1. Etwa 75 ml Kraftfahrzeugbenzin einfüllen und die Flasche gut durchschütteln.

2. Die Flasche sofort nach dem Durchschütteln entleeren.
3. Die Arbeitsgänge 1 und 2 wiederholen.
4. Die Flasche mit der Öffnung nach unten halten und gründlich mit einem geeigneten Aerosol-Lösungsmittel durchspülen.
5. Den Arbeitsgang 4 wiederholen.
6. Etwas saubere Plastikfolie auf die Flaschenöffnung auflegen und die Kappe aufschrauben.

Drei Entnahmeverfahren

Zur Entnahme von Flüssigkeitsproben haben sich drei Methoden eingebürgert; sämtliche Verfahren haben folgende Punkte gemeinsam:

Keine Probe durch Unterbrechen einer Leitung entnehmen, d. h. durch Lösen einer Verbindung oder durch Entleeren eines Schlauchstücks.

Bei Entnahme der Probe auf größtmögliche Sauberkeit achten.

Methode 1

Diese Methode wird angewandt, wenn ein geeignetes Ventil zur Probeentnahme zur Verfügung steht. Dabei ist der obenstehende Hinweis in bezug auf die Strömung zu beachten.

1. Das System mindestens 30 Minuten lang in Betrieb nehmen, bevor die Probe entnommen wird, um Verunreinigungen in der Flüssigkeit so gleichmäßig wie möglich zu verteilen.
2. Das Entnahmeventil öffnen und mindestens 500 ml Hydraulikflüssigkeit durch das Ventil ablaufen lassen.
3. Die Probenflasche unter das geöffnete Ventil halten und 150 bis 200 ml Hydraulikflüssigkeit einfüllen. Das Ventil bei der Probeentnahme nicht berühren, es könnten Partikel sich vom Ventil lösen und eine Verfälschung der Probe verursachen.
4. Die Probenflasche entfernen und das Ventil schließen.
5. Die Probenflasche sofort mit der Kappe verschließen.

Methode 2

Diese Methode wird angewandt, wenn kein geeignetes Ventil zur Verfügung steht und ein Standardventil mit unbekanntem Eigenschaften hinsichtlich der Abgabe von Verunreinigungen benutzt werden muß.

1. Das System mindestens 30 Minuten lang in Betrieb nehmen, bevor die Probe entnommen wird.
2. Das Ventil öffnen und mindestens 51 Hydraulikflüssigkeit durch das Ventil abfließen lassen, bevor die Probe entnommen wird. Am besten wird dabei die Hydraulikflüssigkeit durch einen Plastikschlauch wieder in den Tank zurückgeleitet. Das Ventil nicht schließen.
3. Nach dem Durchspülen des Ventils den Plastikschlauch vom Ventil abziehen, das Ventil aber nicht schließen. 150 bis 200 ml Hydraulikflüssigkeit in die Probenflasche abfüllen. Das Ventil bei der Probeentnahme nicht berühren.
4. Die Flasche abnehmen und das Ventil schließen.

- Die Probenflasche sofort mit der Kappe verschließen. Nach Möglichkeit sind Ventile mit graphitimprägnierter Packung zu meiden, da die Packung häufig Graphit in die Hydraulikflüssigkeit abgibt. Bei Drücken oberhalb von 15 bar ist diese Methode nicht geeignet.

Methode 3

Diese Methode wird bei Hydrauliksystemen, bei denen kein Entnahmeventil vorhanden ist und die Probe aus dem Tank entnommen werden muß, angewandt. Wenn die folgenden Angaben zur Vorbereitung und zur Durchführung eingehalten werden, können die in der Probe enthaltenen Partikel auf repräsentativer Basis ausgezählt werden. Die Ausstattung umfaßt ein ausreichend langes Stück Plastikschlauch mit einem Glasrohr von 60 cm Länge an einem Ende und einem Glasrohr von 8 cm am anderen Ende, ausgespülte Probeflaschen mit einem Inhalt von 250 ml und ein Aerosol-Lösungsmittel, das zum Verdünnen der Hydraulikflüssigkeit geeignet ist.

Verfahren

- Vor der Probeentnahme ist der Schlauch innen und außen mit dem Aerosol-Lösungsmittel zu spülen.
- Die Probe ist dann zu entnehmen, wenn sich das System im normalen Betriebszustand befindet, frühestens aber 30 Minuten nach Inbetriebnahme.
- Das Entlüftungsventil oder den Deckel vom Tank abnehmen. Vorher aber die Umgebung des Teils sorgfältig säubern. Die Positionierung des Entnahmeschlauchs im Tank ist von großer Wichtigkeit - die Öffnung muß mindestens 15 cm von den Wandungen, vom Boden, vom Flüssigkeitsspiegel usw. entfernt sein. Die Probe ist dann durch Ansaugen in den Entnahmeschlauch zu ziehen und in die Probenflasche zu füllen. Dieser Arbeitsgang ist zu wiederholen, bis die erforderliche Flüssigkeitsmenge entnommen worden ist.

Partikelanalyse

Die Methoden zur Partikelzählung sind geeignet für Partikel, die eine Größe von mehr als 5 µm haben. Außerdem geben sie Hinweise auf die Art der Verunreinigungen. Grundsätzlich gibt es zwei Methoden, und zwar die Auszählung mittels Mikroskop und die automatische Auszählung.

Von den mikroskopischen Methoden ist die Methode ARP-599A oder eine modifizierte Version davon weit verbreitet. Die Flüssigkeitsprobe wird durch eine Labormembran gefiltert. Die auf der Membran zurückbleibenden Partikel werden dann statistisch in Größengruppen eingeteilt und gezählt.

Bei der mikroskopischen Zählmethode des Institute of Petroleum werden die Verunreinigungen auf eine Membran niedergeschlagen. Diese Membran wird dann transparent gemacht, so daß die Partikel mittels Durchsicht untersucht werden können. Außerdem können die Partikel auf einer Leinwand vergrößert dargestellt werden.

Abgesehen davon, daß das Auszählen sehr zeitraubend ist, können verschiedene Personen bei der gleichen Vorlage zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Die Ergebnisse erfahrener Zähler liegen jedoch im allgemeinen innerhalb annehmbarer Grenzwerte. Zum Vergleich sollten stets Kontrollzählungen durchgeführt werden.

Automatische Zähler

Es gibt mindestens zwei moderne Geräte zur Abtastung mittels Computer und zur Bildschirmdarstellung. Die Verunreinigungen werden auf einer vorbereiteten Membran eingebracht. Auf dem Monitor erscheint dann eine stark vergrößerte Abbildung. Es erfolgt eine optische Abtastung des die Verunreinigungen enthaltenden Bereichs. Die Partikel können in ihrer Gesamtheit oder aber auch nach besonderen Kriterien ausgezählt werden.

Die Zählresultate werden in Zahlenform angezeigt. Der Computer im Instrument kann so programmiert werden, daß er diese Informationen in beliebiger Form abgibt, z. B. als Anzahl in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsvolumen oder als prozentualen Verteilungswert. Die eingespeicherten Digitalinformationen lassen sich in Querschnitte oder in Größtmaße auf der X- oder der Y-Achse umwandeln.

Andere Instrumente, die nach dem Prinzip der Lichtunterbrechung arbeiten, zählen die in einer Flüssigkeit schwebenden Partikel. Diese Flüssigkeit kann eine Flaschenprobe sein. Es ist auch möglich, das Instrument direkt an ein Hydrauliksystem anzuschließen, da der Meßkopf für Leitungsdrücke von mindestens 210 bar ausgelegt ist. Die Flüssigkeitsprobe fließt durch eine kleine, rechteckige Öffnung und an einem Fenster vorbei. Die Partikel passieren das Fenster nacheinander, wenn nicht bestimmte Konzentrationswerte überschritten werden. Das von einer Wolframlampe kommende Licht wird durch das Fenster in einen parallelen Strahl mit genau eingehaltenem Querschnitt umgeformt und auf einen Fotodetektor gerichtet. Wenn die einzelnen Partikel am Fenster vorbeiwandern, verringern sie den Querschnitt des Lichtstrahls entsprechend ihrer Größe. Es spielt dabei keine Rolle, ob das Licht absorbiert, reflektiert oder abgelenkt wird, so lange es nicht zum Detektor gelangt.

Am Fotodetektor wird dadurch eine bestimmte Spannungsverminderung (oder Ausfall) proportional zur Partikelgröße verursacht. Die Partikel werden in mehreren Zählkanälen mit voreingestellter Zählschwelle entsprechend ihrer Größe summiert. Jeder Kanal kann auf einen bestimmten Größenbereich eingestellt werden, so daß der Operator jeden beliebigen Größenbereich wählen kann.

Da diese Instrumente nach dem Prinzip der Querschnittsverminderung eines Lichtstrahls arbeiten, messen sie die Projektionsflächen der Partikel und registrieren dann die Durchmesser von Kreisen oder äquivalenten Flächen. Leider können sie nicht zwischen festen Partikeln und Luftblasen unterscheiden.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik ist es nicht möglich, die Ergebnisse der verschiedenen in Gebrauch befindlichen Zählmethoden zueinander in Beziehung zu setzen. Ein Methodenvergleich kann deshalb nur von Fachleuten auf dem Gebiet der verschiedenen Zählmethoden und -techniken durchgeführt werden.

Partikel mit einer Größe von weniger als 5µm

Bei der Zählung von Partikeln mit einer Größe von weniger als 5 µm mittels der Lichtunterbrechungs-Methode treten verschiedene Probleme auf. Kleinere Partikel können zwar mit dem Mikroskop festgestellt werden, jedoch lassen sie sich nur unter großen Schwierigkeiten zählen.

Es gibt eine Methode zur nichtquantitativen Messung von Partikeln, die kleiner als 5 µm sind. Mittels dieser Methode wird der Verschlammungsindex festgestellt. Dabei wird die Durchflußmenge einer sauberen Hydraulikflüssigkeit, die durch eine Membran fließt, mit derjenigen der Flüssigkeitsprobe beim gleichen Druck verglichen.

Die Grenzen dieser Methode bestehen darin, daß nicht mischbare Flüssigkeiten, wie Wasser, den gleichen Effekt wie die Partikel verursachen, d. h., sie verstopfen die Membran und führen dadurch zu einer Erhöhung der Zahl für den Verschlammungsindex.

Darstellung der Daten für die Partikelverunreinigung

Zur grafischen Darstellung einer Reihe der in Gebrauch befindlichen Klassifizierungsarten wird die halblogarithmische Methode (siehe Abb. 35) angewendet. Da bei dieser die Zahl der Partikel kumulativ eingetragen. Bei dieser Art der Darstellung wird jedoch eher mehr

Gewicht auf die größeren Partikel gelegt, die nur einen sehr kleinen Prozentsatz der Gesamtmenge ausmachen, und die Partikelgrößen unterhalb von 15 µm erscheinen als Masse. Damit das Aufkommen an kleineren Partikeln genau untersucht werden kann, läßt sich die Kurve im vergrößerten Maßstab auf einfach/doppelt-logarithmisches Papier umzeichnen (Abb. 30).

Die Aufgabe, aus derartigen Daten eine Einteilung in Verunreinigungs-klassen vorzunehmen, wäre viel einfacher, wenn man von geraden Kurven mit gleicher Steigung ausgehen könnte. Wie zuvor gezeigt wurde, kommt dies in der Praxis so gut wie nicht vor, da die Steigung zum Beispiel nicht nur von der Art des Filterelements, sondern auch von dessen Anordnung im System abhängt.

Was erforderlich wäre, um diese unterschiedlichen Kurven zu begradigen, ist ein logischeres

Abb. 35: Typische Partikelverteilung, dargestellt im halblogarithmischen Maßstab

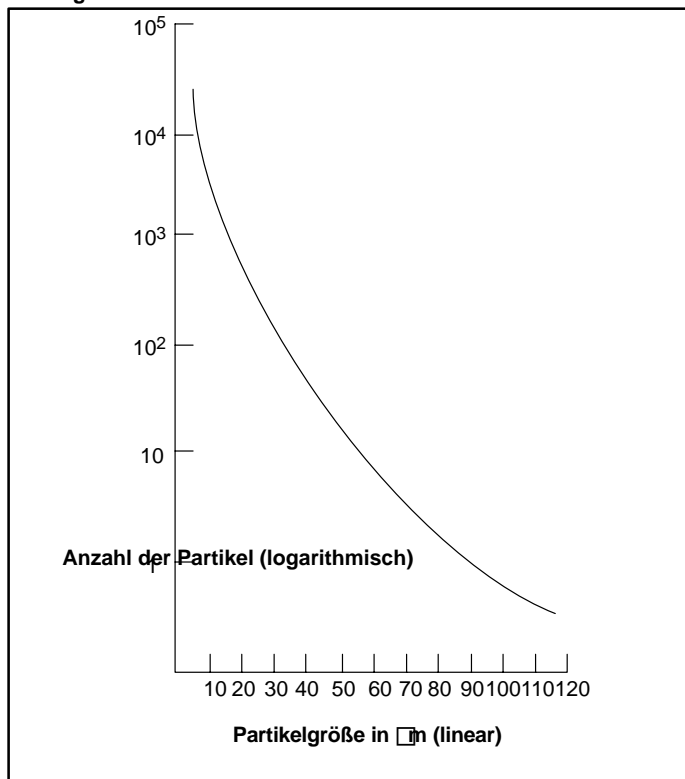
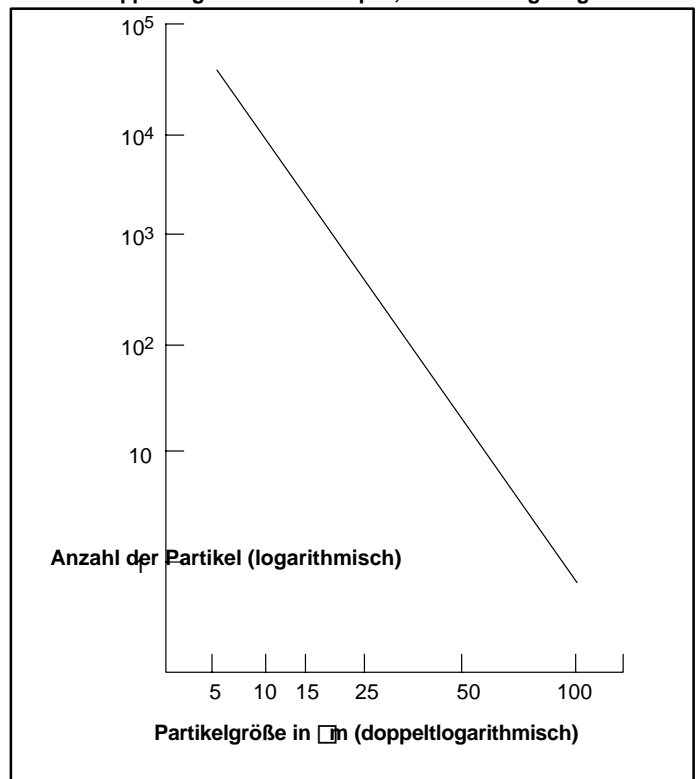


Abb. 36: Kurve nach Abb. 35, umgezeichnet auf einfach/doppelt-logarithmisches Papier, um sie zu begradigen



und einfacheres Verfahren der Auswertung, das die Grenzen der Meßgenauigkeit berücksichtigt sowie die Notwendigkeit der Wiedergabe unterschiedlicher Kurvensteigungen. Dieses Verfahren müßte außerdem eine einfache, wirksame und eindeutige Kommunikation zwischen den Lieferanten und den Anwerdern von Hydraulikgeräten ermöglichen und den Verunreinigungsgrad mit Feststoffen in der Flüssigkeit deutlich beschreiben.

Das System CETOP RP 70 dürfte diesen Anforderungen im Laufe der Zeit entsprechen. Eine Zusammenfassung der hier interessierenden Abschnitte ist im vorliegenden Aufsatz enthalten.

Abb. 37: Zuordnung der Bereichsnummern im System CETOP RP 70 in Abhängigkeit von den gezählten Partikeln

Anzahl der Partikel pro 100 ml Mehr als und Bis zu		Bereichsnummer
8M	16M	24
4M	8M	23
2M	4M	22
1M	2M	21
500k	1M	20
250k	500k	19
130k	250k	18
64k	130k	17
32k	64k	16
16k	32k	15
8k	16k	14
4k	8k	13
2k	4k	12
1k	2k	11
500	1k	10
250	500	9
130	250	8
64	130	7
32	64	6
16	32	5
8	16	4
4	8	3
2	4	2
1	2	1

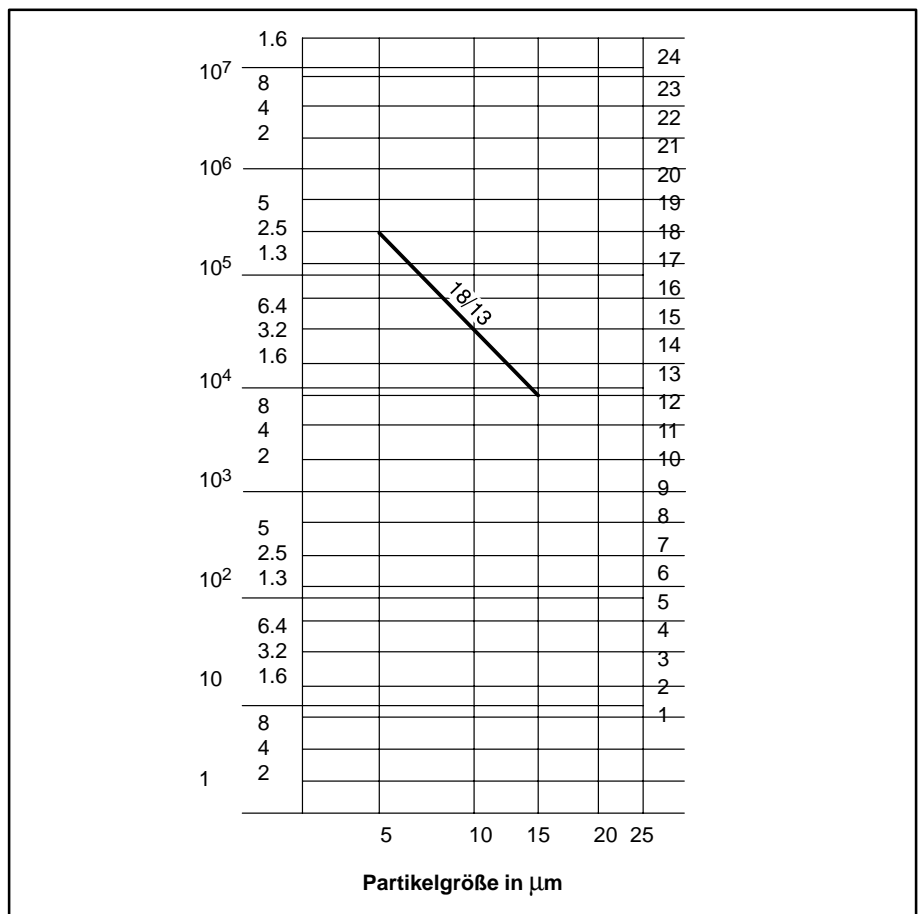
Die Angaben über das Verunreinigungsprofil sind zur Verwendung bei der Spezifizierung von Hydraulikflüssigkeiten gedacht. Es ist jedoch nicht beabsichtigt, mit der Norm eine Empfehlung oder eine Vorschrift hinsichtlich des zulässigen Verunreinigungsgrades in einem bestimmten System auszusprechen. Weiterhin wird keine Meßmethode vorgeschrieben oder empfohlen, noch wird die Art der Verunreinigung festgelegt.

Die meisten existierenden Methoden zur Definierung der Mengenwerte für Verunreinigung mit Feststoffen basieren auf der Voraussetzung, daß bei allen derartigen Verunreinigungen eine vergleichbare Verteilung der Partikelgrößen vorhanden ist. Diese Annahme kann bei natürlichen Verunreinigungen, wie bei in der Luft enthaltenem Staub, zutreffen. Sie gilt jedoch nicht notwendigerweise für Verunreinigungen, die in einem System umgewälzt

Abb. 38: Ergebnisse einer typischen Partikelzählung

Partikel-Großenbereich	Anzahl der Partikel pro 100 ml Hydraulikflüssigkeit
5 - 15 µm	195.200
15 - 25 µm	3.880
25 - 50 µm	1.280
50 - 100 µm	232
über 100 µm	76

Abb. 39: Kurzbezeichnung für die Verunreinigung. Um diese Bezeichnung zu erhalten, wird der Gesamtzahl der Partikel oberhalb von 5 µm und derjenigen oberhalb von 15 µm jeweils eine Bereichsnummer zugeordnet; diese Bereichsnummern werden dann mit einem Schrägstrich zusammengefaßt: 18/13



worden sind und dabei in einer Pumpe zerkleinert und in Filtern separiert wurden.

Um derartige Veränderungen der Größenverteilung zu berücksichtigen, wird das Verunreinigungsprofil durch zwei Zahlen definiert. Diese geben jeweils die Anzahl von Feststoffpartikeln oberhalb von 5 µm und von 15 µm pro 100 ml Probenflüssigkeit an.

Um die Anzahl der Bereiche nicht zu groß werden zu lassen und doch sicherzustellen, daß sich die einzelnen Stufen deutlich voneinander abgrenzen, wurde das Stufenverhältnis mit 2 festgelegt. Aus Abb. 37 ist ersichtlich, wie die Mengenwerte den einzelnen Bereichsnummern zugeordnet sind.

Es wurde folgendes Verfahren angewandt:

Aus einer Flüssigkeitsprobe von 100 ml werden zunächst sämtliche Partikel mit einer Größe oberhalb 5 µm ausgezählt und einer Bereichsnummer aus der rechten Spalte zugeordnet. Als nächstes werden sämtliche Partikel mit einer Größe oberhalb von 15 µm summiert und ebenfalls einer Bereichsnummer zugeordnet, wie bei den 5-µm-Partikeln. Die Abb. 30 zeigt zum Beispiel die Ergebnisse einer typischen Zählung.

In diesem Fall sind 200.668 Partikel mit einer Größe von mehr als 5 µm vorhanden; die Bereichsnummer lautet somit 18. Die Anzahl der Partikel mit einer Größe von mehr als 15 µm beträgt 5.468, die Bereichsnummer ist somit 13. Durch Zusammenfassung dieser beiden Nummern mittels Schrägstrich ergibt sich die Profilbezeichnung 18/13 (Abb. 39).

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Anwendung dieses Systems. Die erste besteht darin, die gerade angeführten Regeln streng einzuhalten, und die zweite, die Ergebnisse tatsächlich durchgeführter Messungen auf grafischem Wege miteinander zu vergleichen.

In Abb. 40 sind 34 Beispiele für Verunreinigungsprofile aufgeführt (siehe den Anhang zu CETOP). Diese lassen sich leicht auch aus den Angaben in der Tabelle in Abb. 37 zusammenstellen.

Die CETOP-Kurzbezeichnung basiert auf der Tatsache, daß harte abrasive Partikel in der Größenordnung um 5 µm ein scheinbares Seitenverhältnis von etwa 1 aufweisen, und daß bei Partikeln oberhalb von 15 µm im allgemeinen das Seitenverhältnis 3 nicht überschritten wird.

Es sind somit weitere Informationen erforderlich, um den Anteil an faserförmigen Verunreinigungen, die Reibungswirkung der Verunreinigungen und irgendwelche besonderen Verunreinigungen, z. B. die häufig in Getreidemöhlen

Abb. 40: Tabellarische Zusammenstellung von Verunreinigungsdraden und der zugehörigen Kurzbezeichnungen

Code	Anzahl der Partikel pro 100 ml			
	Über 5 µm		Über 15 µm	
	Mehr als und Bis zu		Mehr als und Bis zu	
20/17	500k	1M	64k	130k
20/16	500k	1M	32k	64k
20/15	500k	1M	16k	32k
20/14	500k	1M	8k	16k
19/16	250k	500k	32k	64k
19/15	250k	500k	16k	32k
19/14	250k	500k	8k	16k
19/13	250k	500k	4k	8k
18/15	130k	250k	16k	32k
18/14	130k	250k	8k	16k
18/13	130k	250k	4k	8k
18/12	130k	250k	2k	4k
17/14	64k	130k	8k	16k
17/13	64k	130k	4k	8k
17/12	64k	130k	2k	4k
17/11	64k	130k	1k	2k
16/13	32k	64k	4k	8k
16/12	32k	64k	2k	4k
16/11	32k	64k	1k	2k
16/10	32k	64k	500	1k
15/12	16k	32k	2k	4k
15/11	16k	32k	1k	2k
15/10	16k	32k	500	1k
15/9	16k	32k	250	500
14/11	8k	16k	1k	2k
14/10	8k	16k	500	1k
14/9	8k	16k	250	500
14/8	8k	16k	130	250
13/10	4k	8k	500	1k
13/9	4k	8k	250	500
13/8	4k	8k	130	250
12/9	2k	4k	250	500
12/8	2k	4k	130	250
11/8	1k	2k	130	250

In der obigen Tabelle sind die am häufigsten vorkommenden Kurzbezeichnungen zwischen den Bereichen 8 und 20 aufgeführt. Weitere, in der Tabelle nicht enthaltene, Kurzbezeichnungen können aus Abb. 39 abgeleitet werden.

auftretenden, zu beschreiben. In manchen Fällen mag es von Bedeutung sein, die Meßmethode anzugeben, z. B. Mikroskop oder Art des automatischen Zählers.

Die dem System CETOP RP70 eigenen Vorteile können wie folgt zusammengefaßt werden:

Die erste Nummer der Klassifizierungsangabe, d. h. die Anzahl der Partikel oberhalb von 15 µm läßt sich relativ genau mittels sämtlicher gegenwärtig in Gebrauch befindlicher Zählsysteme, sowohl manuell als auch automatisch, bestimmen.

Es klassifiziert den Verunreinigungsgrad für die beiden wichtigsten Zonen mittels Angabe der Beziehung zwischen den Mengen an groben und feinen Partikeln.

Es berücksichtigt die unterschiedlichen Kurvensteigungen im Bereich zwischen den Zählwerten für 5 µm und 15 µm Partikel und gibt diese an.

Die Klassifizierung kann direkt aus den Zählergebnissen abgeleitet werden, ohne daß die Notwendigkeit eines grafischen Vergleichs gegeben wäre, wenngleich bei letzterem in bestimmten Fällen Vorteile erkennbar sind.

Es steht nicht wesentlich im Gegensatz zu anderen vorhandenen Systemen. Die Verhältniszahlen ermöglichen die Beschreibung der am häufigsten vorkommenden Verunreinigungsbereiche mit zwei Zahlen. Die Bereiche weisen jedoch genügend Abstand auf, um sinnvolle Bedeutung zu haben.

In Abb. 41 ist ein häufig benutztes Formular zur Angabe der sich bei der Partikelzählung ergebenden Daten abgedruckt.

Kapitel 9 Schlußfolgerungen

Jede Untersuchung hinsichtlich der Verschmutzung von Hydraulikflüssigkeiten umfaßt vier Personengruppen:

1. Flüssigkeitshersteller oder -lieferant
2. Hydraulikgeräte- und Filterhersteller
3. Hersteller der Maschinen, in die die Hydraulikgeräte eingebaut werden
4. Endbenutzer der Maschine.

Jede dieser Personengruppen hat dem Markt gegenüber eine gewisse Verantwortung zur Lieferung von Erzeugnissen, die ihre Aufgabe zufriedenstellend und zu annehmbaren Preisen erfüllen, und bei jeder müssen bestimmte Kenntnisse hinsichtlich der Sauberkeit der Hydraulikflüssigkeit vorhanden sein.

Der Lieferant der Hydraulikflüssigkeit liefert diese Flüssigkeit mit dem geforderten Reinheitsgrad bei entsprechender Berechnung.

Der Hersteller der Hydraulikgeräte muß seinen Kunden über die Art der Hydraulikflüssigkeit und ihren Reinheitsgrad im Hinblick auf das Optimum für den jeweiligen Anwendungsfall informieren.

Der Maschinenhersteller, der dem Endbenutzer gegenüber für die Lieferung verantwortlich ist, muß sich über die damit verbundenen Anforderungen im klaren sein. Dazu gehören die Lieferung der Hydraulikflüssigkeit, die Bereitstellung von Wartungseinrichtungen und der einzuhaltende Zuverlässigkeitsgrad. Es bleibt ihm überlassen, welchen Vorschlag er dem Kunden macht. Dies kann bedeuten, daß er zum Beispiel einen billigen Wegwerfartikel, der relativ häufig ausgetauscht werden muß, anbietet, oder aber ein teureres Gerät, bei dem lediglich hin und wieder ein preiswertes Teil, wie eine Filterpatrone, auszuwechseln ist.

Die endgültige Entscheidung liegt beim Endbenutzer. Er muß in der Lage sein, den tatsächlichen Wert der einzelnen ihm angebotenen Erzeugnisse zu vergleichen. Jeder Benutzer legt aber andere Bewertungsmaßstäbe an. Für den Endbenutzer bemißt sich der Wert einer Pumpe daran, wie sie für seinen Zweck geeignet ist, wie lange sie ihre Aufgabe zufriedenstellend erfüllen wird und wie hoch die Wartungskosten sind. Er interessiert sich nicht dafür, wie viele 10 µm Partikel in 100 ml Hydraulikflüssigkeit enthalten sind.

Das Interesse des Benutzers richtet sich auf denjenigen Filter, der den geforderten Reinheitsgrad zu geringsten Kosten ermöglicht. Damit diese Entscheidung getroffen werden kann, müssen die Anschaffungskosten für das jeweilige Gerät mit den Betriebskosten verglichen werden. Beispielsweise wären u. U. die Vorteile einer sehr teuren Pumpe, die mit „verschmutzter“ Hydraulikflüssigkeit arbeitet, mit denjenigen für eine preiswerte Pumpe plus Filter zu vergleichen.

Wenn die Hydraulikindustrie das Vertrauen, das sie gegenwärtig genießt, weiter erhalten will, muß sie aussagefähigere Spezifikationen für die verschiedenen Filterarten festlegen. Die Spezifikationen müssen es dem Endbenutzer ermöglichen, seine Forderungen zu erfüllen, ohne daß er unbedingt weiß, wie dies im einzelnen geschieht. Diejenigen Personene, die diese Spezifikationen erstellen müssen, sind auch diejenigen, die die Anforderungen im Detail kennen. Die Verantwortlichkeit ist zwischen den Herstellern von Filterelementen, die die Möglichkeiten und Grenzen kennen müssen, und den Herstellern von Hydraulikgeräten, die den Bedarf kennen müssen, aufzuteilen. Diese beiden Gruppen sollten in der Lage sein, sich in einer begriffssicheren Sprache miteinander zu verständigen.

Gegenwärtig stehen keine ausreichenden Techniken zur Verfügung, die sämtliche Aspekte der Messung der Verschmutzung von Hydraulikflüssigkeiten umfassen. Dies sollte aber nicht daran hindern, einen Anfang in der richtigen Richtung zu machen. Die Kurventabelle für den Verschmutzungsgrad, z. B., ist nicht ein für allemal zu 100% genau. Es wird ständig notwendig sein, diese Kurven anhand neuerer Erfahrungen zu überarbeiten.

Der Anstieg der Kosten für die Anlagen-Ausfallzeiten und den Wartungsaufwand muß den Endbenutzer dazu bringen, die laufenden Kosten sowohl für neue als auch für vorhandene Anlagen sorgfältiger zu untersuchen. Damit er dazu in der Lage ist, muß er den Teil, den die Verschmutzungskontrolle bei der Bestimmung dieser Kosten für Hydraulikanlagen spielt, besser beurteilen können. Es steht zu hoffen, daß dieser Aufsatz einige nützliche Hinweise auf die eigentliche Art dieses Problems gegeben und den Weg zu mehr systematischen und kostengünstigeren Lösungen gewiesen hat.

Abb: 41: Musterformular zur Angabe der Ergebnisse von Partikelzählungen

PARTIKELZAHLBOGEN

KUNDE:

MASCHINE:

PROBE:

ENTNAHMEDATUM:

ENTNAHMEMETHODE:

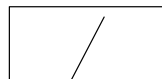
HYDRAULIKFLUSSIGKEIT:

ZAHLMETHODE:

ERGEBNISSE:

PARTIKELGROSSE IN MIKROMETER	>5	15>	25>	50>	>100
PARTIKEL PRO 100 ml					

VERUNREINIGUNGSKURZBEZEICHNUNG NACH
CETOP STD RP70H:



ART DER VERUNREINIGUNGEN ALS GESCHÄTZTER PROZENTSATZ DER
GESAMTVERUNREINIGUNG:

REFLEKTIERENDE METALLE	%
SCHWARZMETALLE	%
SILIKAT	%
ELASTOMERE/PLASTIK	%
BAUMWOLLFASERN	%
KOHLE	%
ANDERE (ANGEBEN)	%

ANDERE BEOBACHTUNGEN: (Z. B. WASSERGEHALT IN P.P.M.)

ANALYSE ERSTELLT VON:

DATUM: