

HYDAC

FILTERTECHNIK

**Contamination
Management
in der Praxis**

Von der Bearbeitung
bis zur Auslieferung

HYDAC FILTERTECHNIK GMBH

Postfach

D-66280 Sulzbach/Saar

Telefon (06897) 509-01

Telefax (06897) 509-846

Seite 3	1	Definition des Contamination Managements	Seite 25		4.5 Durchführung einer Reinheitsuntersuchung auf einem Spülstand
Seite 5	2	Grundlagen des Contamination Managements	Seite 26		4.5.1 Ermittlung der Gesamtverschmutzung eines Systems
Seite 5		2.1 Definition der Verschmutzungsarten	Seite 27	5	Contamination Monitoring
Seite 8		2.2 Folgen partikulärer Verschmutzung in Fluidsystemen	Seite 28		5.1 Planung
Seite 12		2.3 Klassifizierung partikulärer Verschmutzung in Flüssigkeiten	Seite 28		5.2 Durchführung
Seite 13		2.3.1 ISO 4405 - «Hydraulische Druckflüssigkeit - Flüssigkeitskontamination - Ermittlung der partikulären Verschmutzung mittels gravimetrischer Analysemethoden»	Seite 28		5.3 Begehung der Fertigungs- bzw. Montagelinie
Seite 14		2.3.2 ISO 4406:1999	Seite 29		5.4 Ergebnisse
Seite 15		2.3.3 NAS 1638	Seite 31	6	Erstellen einer Reinheitsspezifikation
Seite 16		2.3.4 SAE AS 4059	Seite 32		6.1 Aufbau einer Reinheitsvorschrift
Seite 17		2.3.5 Vorgehensweise bei der Auswertung der Flüssigkeitsproben nach ISO 4406:1999, NAS 1638, und SAE AS 4059	Seite 35	7	Verschmutzungsquellen bei der Fertigung oder Montage von hydraulischen Systemen
Seite 19	3	Bestimmung der Restschmutzmenge auf Bauteilen	Seite 35		7.1 Vermeidung von Schmutzeintrag bei der Fertigung und Montage von hydraulischen Systemen
Seite 19		3.1 Ultraschallverfahren	Seite 36		7.2 Entfernung von partikulärer Verschmutzung aus hydraulischen Systemen (Praxiserfahrungen) und von Bauteilen
Seite 20		3.2 Spülverfahren	Seite 36		7.2.1 Reinigungsanlagen
Seite 20		3.3 Schüttelverfahren	Seite 40		7.2.2 Funktionsprüfung
Seite 21		3.4 Auswerteverfahren	Seite 42		7.3 Lagerung, Logistik und Umgebung
Seite 23	4	Analyse der Reinheit von Bauteilen und Komplettsystemen auf dem Spülprüfstand	Seite 42		7.4 Zulieferteile und Eigenfertigungsteile
Seite 23		4.1 Turbulente Strömung	Seite 43	8	Inbetriebnahmespülung
Seite 24		4.2 Dispergierende Wirkung	Seite 45	9	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
Seite 25		4.3 Durchströmung aller Kanäle und Flächen	Seite 47	10	Contamination Management in der Praxis
Seite 25		4.4 Pulsierende Strömung beim Spülen	Seite 49		Literaturnachweis

1 Definition des Contamination Managements

Das Contamination Management (Saubereitsmanagement) beschäftigt sich mit der Analyse und Optimierung von Prozessen nach Gesichtspunkten der Sauberkeit von Bauteilen, Systemen und eingesetzten Fluiden.

In modernen Hydrauliksystemen – im Automobilbau und der Zulieferindustrie, der Hydraulikindustrie und der Mobilhydraulik – werden heutzutage kleinere, leichtere und leistungsfähigere Komponenten eingesetzt als z. B. noch vor 10 Jahren. Durch die Verwendung dieser Komponenten steigt auch die Anforderung an die Systemreinheit, wie verschiedene Studien in der Vergangenheit bewiesen haben.

Ca. 70-80 % aller Ausfälle von Hydrauliksystemen sind auf eine erhöhte Verschmutzung des Systems zurückzuführen. Diese Ausfallquote trifft nicht nur auf die klassische Hydraulikindustrie zu. Insbesondere in der Automobilbranche, wo die Verwendung von elektrohydraulischen Systemen zunimmt, ist das Thema Contamination Management aktuell. Der Begriff Hydrauliksysteme oder Fluidsystem wird hier allgemein für alle Branchen (Automobil-, Hydraulik- und Mobilhydraulikindustrie) verwendet. In der Automobilbranche finden derzeit Reinheitsspezifikationen für die folgenden Systeme Anwendung:

- Motoren (Kraftstoffversorgung, Ölversorgung)
- Servolenkung
- Automatikgetriebe/Schaltgetriebe
- Elektrohydraulisch unterstützte Systeme (Federung, Kupplung, Bremsen, ABS, ESP)
- Zentralhydrauliken

Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ist dazu gedacht, aufzuzeigen, in welchen Bereichen das Contamination Management zum Einsatz kommt.

In der Vergangenheit wurden Fluidsysteme mit einer Systemfiltration ausgestattet, die das System bei der Inbetriebnahme abgereinigt hat und danach die Aufgabe hatte, die Reinheit des Systemfluids auf einem konstanten Level zu halten, z. B. Verwendung von Inbetriebnahmefiltern und kurzem ersten Wartungsintervall mit Wechsel auf die Systemfiltration. Aufgrund der steigenden Anforderungen an moderne hydraulische Systeme (verlängerte Wartungsintervalle und wachsendem Kostendruck) genügt diese Vorgehensweise oftmals nicht mehr. An großen Systemen in der Hydraulikindustrie werden Inbetriebnahmespülungen durchgeführt, um das Verschmutzungsniveau schnell auf ein akzeptables Niveau zu bringen.

Bei kleinen Hydrosystemen, die in hohen Stückzahlen produziert werden (z. B. Automobilindustrie, Hydraulikindustrie) ist dies nicht immer möglich. Aus diesem Grund beginnt das Contamination Management bei der Fertigung der einzelnen Bauteile und umfasst die komplette Prozesskette bis hin zum Fertigteil. Optimaler Weise werden auch die Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen in diesen Prozess integriert, um die Bauteile so zu konstruieren, dass man sie einfach und effektiv waschen kann. Bei hohem Anteil an Zulieferkomponenten ist es sinnvoll auch die Zulieferanten in das Contamination Management mit einzubeziehen.

Durch Einführen des Contamination Managements mit dem Ziel, die Partikelkonzentration in allen Bereichen, angefangen in der Produktion bis hin zum Betrieb des kompletten Systems zu minimieren, werden Störungen von Systemen durch partikuläre Verschmutzung vermieden und dadurch Kosten eingespart. Dies kann durch eine Verringerung von Kosten bei Bearbeitungswerkzeugen, einer besseren Auslastung von Funktionsprüfständen und einem optimierten Einsatz von Waschmaschinen erfolgen.

Hieraus ergeben sich die folgenden Aufgaben des Contamination Managements:

- Entwickeln von Systemen, die dahingehend optimiert sind, dass sie einfach zu reinigen sind
- Optimierung und Überwachung von Wasch- und Spülprozessen
- Schulung und Sensibilisierung von Mitarbeitern
- Auffinden und beseitigen von Verschmutzungsquellen
- Ausarbeitung von Analysenanweisungen
- Erstellen von Sauberkeitsspezifikationen für Einzelteile und Systeme

Um den Erfolg des Contamination Managements aufzeigen zu können, wird eine Gesamtkostenbetrachtung durchgeführt.

Bei den Kostenbetrachtungen werden die folgenden Faktoren einbezogen:

- Garantie- und Kulanzkosten
- Energiekosten
- Nacharbeitkosten
- Kosten von Werkzeugen bei Bearbeitungsmaschinen
- Betriebskosten von Waschmaschinen und Prüfständen
- Arbeitszeitkosten...

In den nachfolgenden Kapiteln finden Sie die Grundlagen und Anwendungen des Contamination Managements näher erläutert.

Begriffsdefinitionen:

Contamination Management	Sauberkeitsmanagement – Überwachung/Optimierung der Sauberkeit von Bauteilen und Flüssigkeiten im Materialfluss und der Montage von Systemen.
Fluidsystem	Hydraulische Systeme, auch mit Flüssigkeit befüllte Systeme in der Automobilindustrie (z. B. Motoren, Getriebe, Servolenkung, ABS,...).
Grundverschmutzung	Menge an Verschmutzung, wie sie nach der Montage vorliegt.
Einlaufverschmutzung	Partikuläre Verschmutzung, die durch Einlaufverhalten gebildet wird.
Initialschäden	Oberflächenschäden, die während der Funktionsprüfung/ Inbetriebnahme oder dem Montieren der Systeme gebildet werden.
Contamination Monitoring	Untersuchungen von Prozessen hinsichtlich deren Schmutzeintrags.
Online-Messverfahren	Messverfahren, bei dem die zu analysierende Probe direkt aus dem System einem Messgerät zugeführt wird, z. B. automatischer Partikelzähler an einer Hydraulikanlage.
Offline-Messverfahren	Messverfahren, bei dem eine Probe aus einem System entnommen und an einem anderen Ort vermessen wird, z. B. Ölprobe aus einem System ziehen und in einem Labor analysieren.

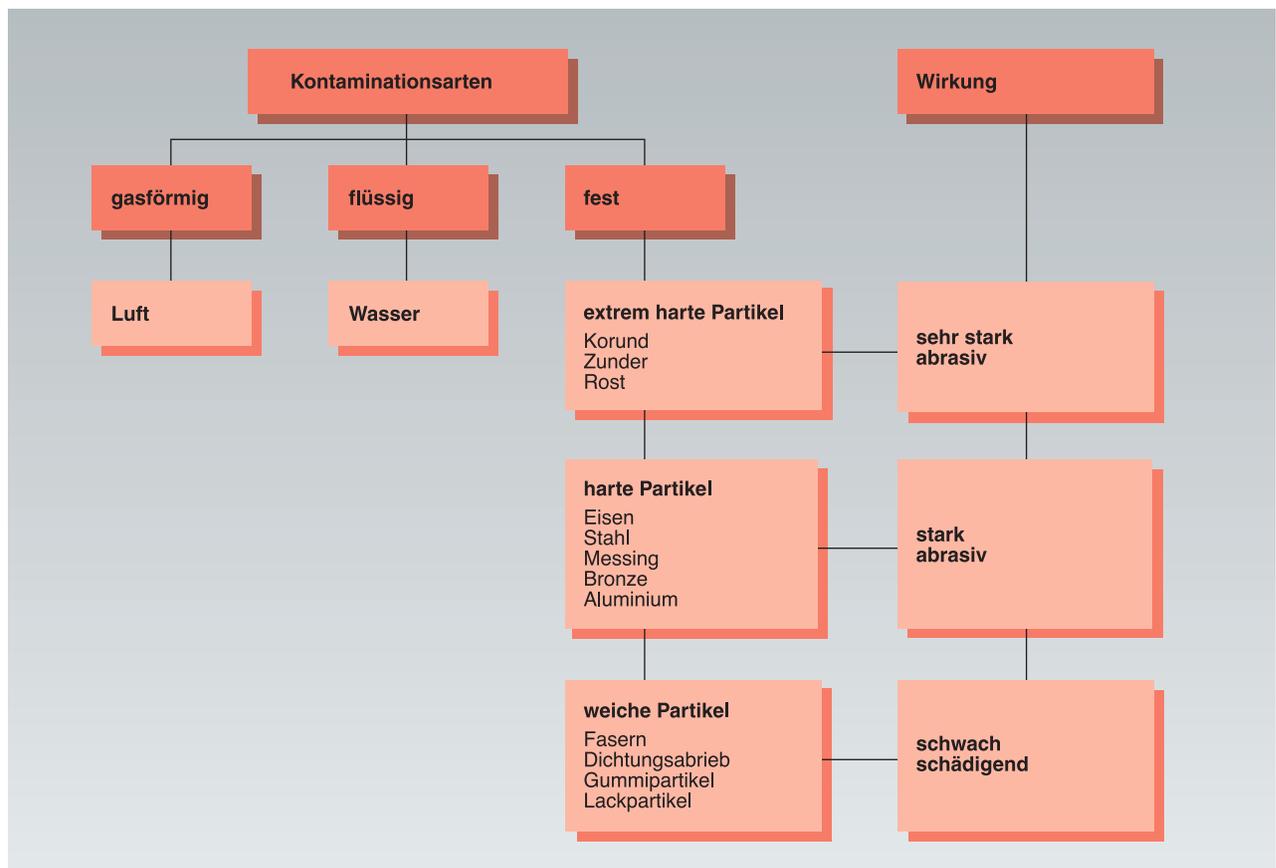
2 Grundlagen des Contamination Managements

2.1 Definition der Verschmutzungsarten

In Fluidsystemen treten die verschiedensten Arten an Verschmutzungen auf. Es handelt sich hierbei um Gase (z. B. Luft), Flüssigkeiten (z. B. Wasser) und feste Verunreinigungen.

In der nachfolgenden Darstellung finden Sie die Verschmutzungsarten in einer Übersicht dargestellt:

Abb. 1 Kontaminationsarten



Wie aus Abb. 1 zu ersehen ist, unterteilen wir die festen Kontaminationsarten in drei weitere Gruppen, den extrem harten, den harten und den weichen Partikeln. Extrem harte und harte Partikel können in Fluidsystemen erhebliche Schäden anrichten, wenn sie nicht schnellstmöglich entfernt werden. Durch präventive Maßnahmen kann das Eindringen von Verschmutzung in Systeme reduziert werden.

Oftmals werden harte Partikel in Spezifikationen gesondert ausgewiesen. Es werden für die längsten Dimensionen, die ein solcher harter Partikel aufweisen darf, entsprechende Maximalwerte definiert:

z. B. Größter abrasiver Partikel maximal 200 µm oder 200 x 90 µm oder keine Partikel > 200 µm.

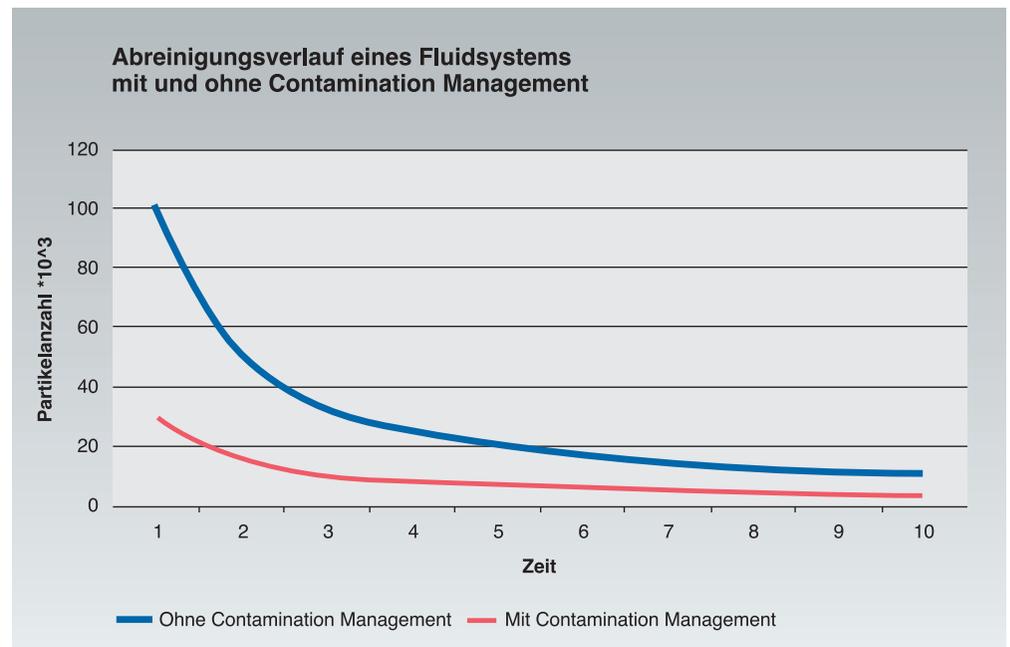
Neben der Härte der Fremdpartikel spielt deren Anzahl und Größenverteilung auch eine große Rolle in der Fehlerhäufigkeit der Systeme.

Bei Neusystemen sieht die Partikelgrößenverteilung anders aus als bei Systemen, die schon einige Betriebsstunden gelaufen sind.

In Neusystemen findet man eine Häufung an grober Verschmutzung bis zu mehreren Millimetern lang, die dann im Laufe der Betriebszeit immer weiter zerkleinert oder von einer Filtration eliminiert wird. Nach einigen Betriebsstunden sind die meisten Partikel so klein, dass sie mit dem bloßen Auge nicht mehr sichtbar sind.

Bei der Erstinbetriebnahme von Fluidsystemen kommt es zu zusätzlicher partikulärer Verschmutzung durch den Abriebverschleiß, bei dem Rauhsitzen durch Einlaufen abgetragen werden. Das Contamination Management kann diesen Eintrag von Verschmutzung nicht vermeiden, ist jedoch die Grundverschmutzung geringer, so läuft das System auch verschleißärmer an.

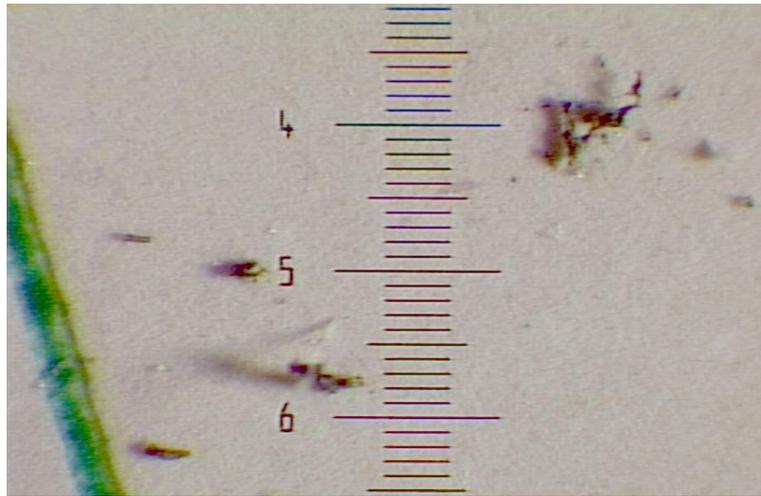
Abb. 2



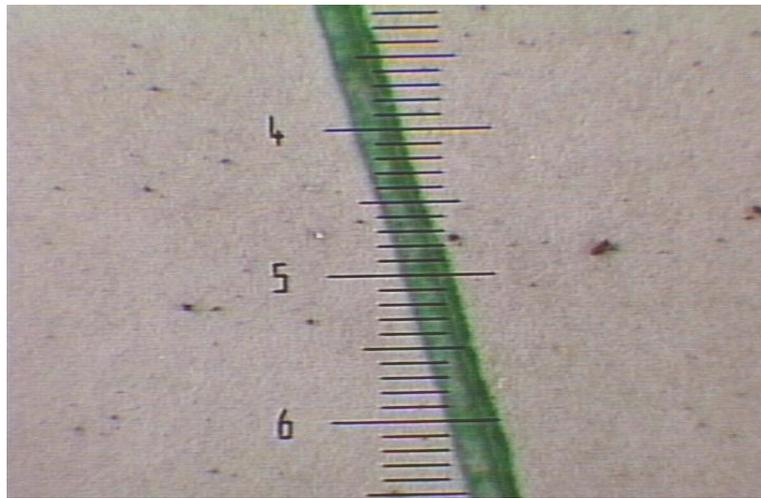
In obigem Diagramm ist zu sehen, dass das Verschmutzungsniveau ohne Contamination Management über die gesamte Inbetriebnahme des Systems höher ist als mit Contamination Management und somit auch mehr Initialschäden an den Oberflächen entstehen können.

Die nachfolgenden Mikroskop-
aufnahmen zeigen typische
Partikelproben, wie sie in
Fluidsystemen zu finden sind.

Abb. 3



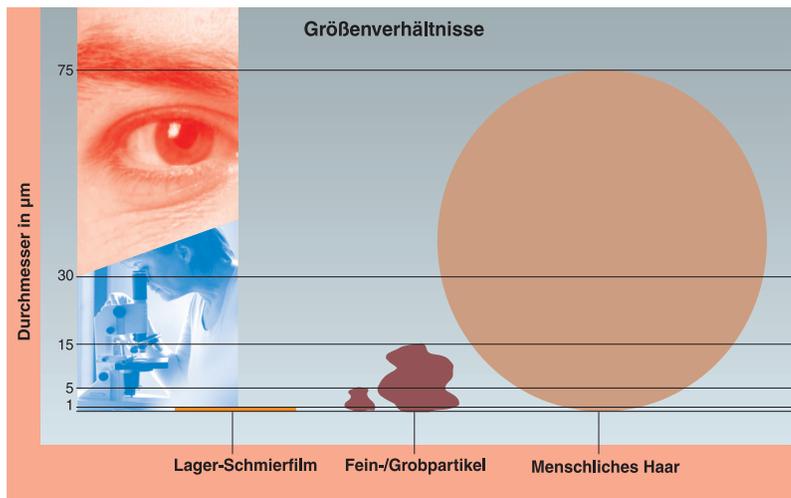
Probe mit Grobpartikel



Probe mit Feinpartikel

Die Grenze des Sehvermögens
des durchschnittlichen, gesunden
menschlichen Auges liegt bei ca.
40 μm . Partikelanalysen werden
mit dem Mikroskop oder in
Fluidsystemen mit Partikelzählern
durchgeführt, die nach dem
Lichtblockadeverfahren
(siehe Kap. 2.3.5) funktionieren.

Abb. 4



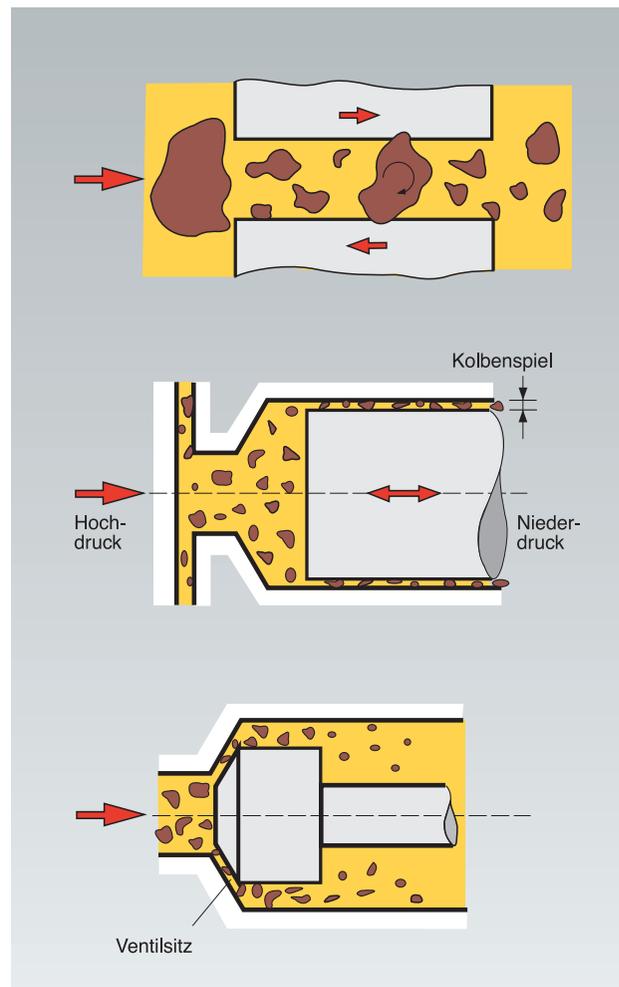
2.2 Folgen partikulärer Verschmutzung in Fluidsystemen

Partikuläre Verschmutzung, die in Fluidsystemen zirkuliert, verursacht Oberflächenschäden durch die allgemein bekannten Verschleißmechanismen (Abrasion, Erosion, Oberflächenermüdung).

Durch diesen Verschleiß werden immer mehr Partikel gebildet und der Verschleiß nimmt zu, wenn nicht die „Kettenreaktion des Verschleißes“ durch geeignete Maßnahmen (Reduktion der Verschmutzung) eingedämmt wird. Es vergrößern sich Spalte, die Leckölströme werden größer und der Wirkungsgrad (z. B. von Pumpen) nimmt ab. Steuerkanten werden abgeschliffen, wodurch die Regelgenauigkeiten entstehen. Teilweise kommt es auch zur Blockierung von Steuerkanälen oder Düsenbohrungen.

Während des normalen Betriebes von hydraulischen Systemen sollen entsprechend ausgelegte Filtersysteme die Kettenreaktion des Verschleißes unterbrechen. Dies ist jedoch für den Anwender eine trügerische Sicherheit, da schon bei der Montage der Komponenten, über die Montage des gesamten Systems bis hin zur Installation, sehr stark schädigende Verschmutzung eingetragen wird. Diese zusätzlich eingetragene Verschmutzung kann zu Vorschädigungen bis hin zu Frühausfall von Systemkomponenten führen.

Abb. 5
Beispiele für Verschleiß an
beweglichen Oberflächen



Im Allgemeinen sind die Systemfiltrationskonzepte nicht darauf ausgelegt, große Schmutzmassen zu beherrschen, wie sie bei der:

- Bearbeitung von Bauteilen
- Montage von Systemen
- Befüllung von Systemen
- Erstinbetriebnahme
- Reparatur von Systemen

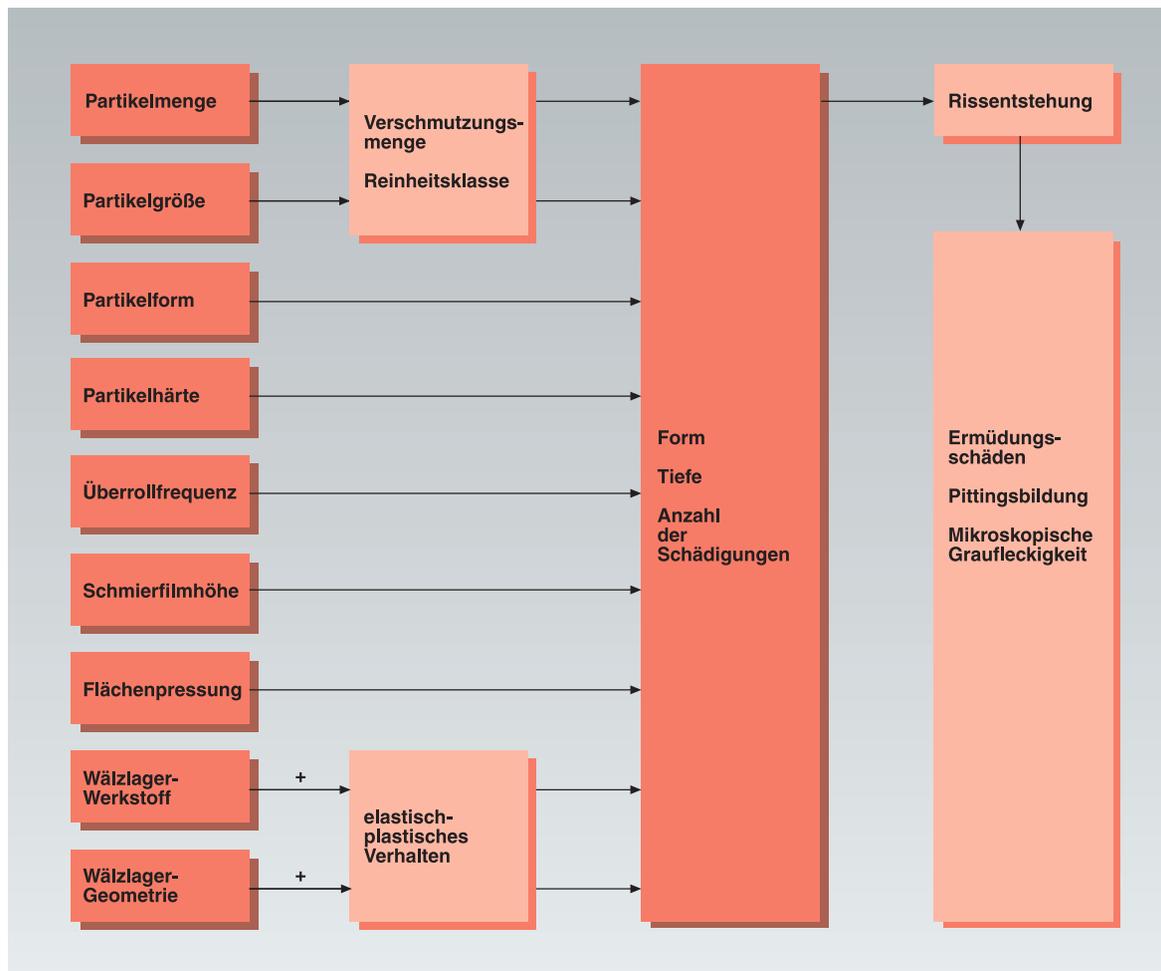
entstehen.

Eine Studie der Universität Hannover beschreibt die Einflussgrößen auf die Ermüdungslebensdauer von Wälzlagern wie folgt:

„Die Partikelmenge und die Partikelgröße beschreiben die Verschmutzungsmenge im Schmierstoff. In Verbindung mit der Partikelhärte und der Partikelgeometrie ergeben sich die Form und Tiefe der Schädigung der Laufbahnen, wobei die Tiefe noch von dem elastisch-plastischen Verhalten des Werkstoffs beeinflusst wird. Die Anzahl der Schädigungen wird von der Menge der Partikel im Schmierpalt und der Überrollfrequenz bestimmt. Ausgehend von einer Schädigung entstehen bei weiteren Überrollungen Risse, die als Ermüdungsschäden (Pittings oder Grübchen) zum Wälzlagerschaden (Lagerausfall) führen.“

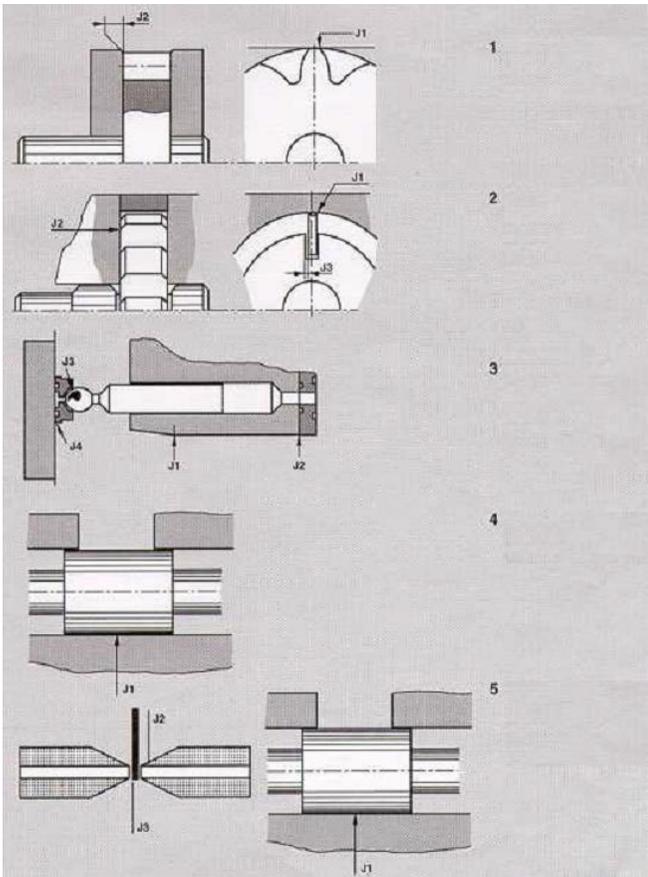
Die Praxis hat gezeigt, dass Kugellager mit Punktberührung meist unempfindlicher gegen partikuläre Verschmutzung sind als Wälzlager mit Linienberührung. Gleitlager mit größeren Schmierpalt sind am unempfindlichsten gegenüber partikulärer Verschmutzung.

Abb. 6
Einflussgrößen auf die Wälzlagerlebensdauer (1)



Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die gängigsten Spaltgrößen:

Abb. 7



Teil	Typisches kritisches Spiel [µm]
Zahnradpumpe (J1, J2)	0,5 – 5
Flügelzellenpumpe (J1)	0,5 – 5
Kolbenpumpe (J2)	0,5 – 1
Regelventil (J1)	5 - 25
Servoventil (J1)	5 – 8

Umfangreiche Untersuchungen von Partikelverteilungen auf Bauteilen und in hydraulischen Systemen haben gezeigt, dass zu Beginn der Lebensdauer eines Systems, d. h. beim Zusammenbau und bei der Inbetriebnahme, die Partikel größer sind als während des Betriebes.

Diese großen Partikel – teilweise bis zu mehreren Millimetern – können zu spontanen Ausfällen führen:

- Das Blockieren eines Ventils
- Gravierende Vorschädigungen von Pumpen
- Zerstörung von Dichtungen mit anschließender Leckage

Diese Quote kann durch ein „aktives Contamination Management“ gesenkt und dadurch die entsprechenden Kosten minimiert werden:

- Kosten durch Produktionsstillstände
- Kosten durch Verzögerungen bei der Inbetriebnahme von Systemen
- Kosten durch verlängerte Prüfzeiten, da ein Spülzyklus notwendig ist, um die eingebaute Verschmutzung zu entfernen
- Gewährleistungskosten
- Nachbearbeitungskosten

Abb. 8
Zerstörte Laufbahn eines
Kugellagers durch partikuläre
Verschmutzung.



Abb. 9
Einbettung eines Spanes in die
Oberfläche eines Gleitlagers.



Das Contamination Management greift hier wie folgt ein:

Bei Neusystemen werden die Einzelkomponenten vor dem Zusammenbau auf ein einheitliches Reinheitsniveau gebracht, ebenso wird die Befüllflüssigkeit und die Flüssigkeit während des Betriebes des Systems auf einem definierten Niveau gehalten (siehe Contamination Monitoring Kap. 5 ff).

2.3 Klassifizierung partikulärer Verschmutzung in Flüssigkeiten

Ziel der nachfolgend beschriebenen Vorgehensweisen ist es, eine reproduzierbare Klassifizierung partikulärer Verschmutzung in Flüssigkeiten zu ermöglichen.

Derzeit sind 4 Verfahren zur Klassifizierung partikulärer Verschmutzung in Flüssigkeiten bekannt:

Norm	ISO 4405	ISO 4406:1999	NAS 1638	SAE AS 4059
Einsatzbereich	Stark verschmutzte Medien z. B. Waschmedien, Bearbeitungsflüssigkeiten	Hydraulikflüssigkeiten Schmieröle	Hydraulikflüssigkeiten Schmieröle	Hydraulikflüssigkeiten Schmieröle
Parameter	[mg/Liter Flüssigkeit]	Anzahl Partikel > 4 µm (c) > 6 µm (c) > 14 µm (c)	Anzahl Partikel 5 – 15 µm 15 – 25 µm 25 – 50 µm 50 – 100 µm > 100 µm	Anzahl Partikel > 4 µm (c) > 6 µm (c) > 14 µm (c) > 21 µm (c) > 38 µm (c) > 70 µm (c)
Analysemethoden	Bei dieser Labormethode wird 1 Liter der zu analysierenden Flüssigkeit über eine vorbereitete Membrane filtriert und diese ausgewogen	1. Manuelle Auswertung: Die zu analysierende Flüssigkeit wird über eine Membrane filtriert und die entsprechende Reinheitsklasse abgeschätzt oder manuell mit Hilfe eines Mikroskops ausgezählt. 2. Automatische Partikelzählung: Die zu analysierende Flüssigkeit wird über einen geeigneten Partikelzähler geleitet, der die Partikelfractionen auszählt.		
Bemerkung	Zeitlich aufwendige Methode	1. Manuelle Auswertung: Zeitlich sehr aufwendig, nicht sehr genau. 2. Automatische Partikelzählung: Ergebnis innerhalb kürzester Zeit verfügbar.		

Nachfolgend sind die einzelnen Normen genauer beschrieben.

2.3.1 ISO 4405 – „Hydraulische Druckflüssigkeit – Flüssigkeitskontamination – Ermittlung der partiku- lären Verschmutzung mittels gravimetrischer Analysemethoden“

Dieser internationale Standard beschreibt die gravimetrische Methode zur Ermittlung der partikulären Verschmutzung von hydraulischen Flüssigkeiten.

Grundprinzip:

Es wird ein bekanntes Volumen an Flüssigkeit mit Hilfe von Vakuum über eine oder zwei Filterscheiben filtriert und die Gewichtsänderung der Filterscheiben (vor und nach der Filtration) gemessen. Die zweite Membrane wird zur Bewertung der Genauigkeit herangezogen.

Zur Ermittlung der gravimetrischen Verschmutzung der Flüssigkeit muss eine repräsentative Probe aus dem System gezogen werden. Die ISO 4405 beschreibt die Reinigungsprozedur für die zu verwendenden Apparate. Ebenso wird das Vorbereitungsverfahren für die Analysenmembranen beschrieben:

Die Membrane wird vor der Verwendung mittels Isopropanol gespült, im Trockenofen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und in definiert trockener Umgebung abgekühlt. Das Abkühlen in definiert trockener Umgebung ist wichtig, da ansonsten die Membrane Feuchtigkeit aus der Umgebung annimmt und somit das Endergebnis verfälscht wird.

Abb. 10



Danach wird die Membrane gewogen und dieser Wert wird als $m(T)$ notiert.

Nun wird die Membrane in dem Membranhalter fixiert und die zu untersuchende Flüssigkeit filtriert. Um die komplette Verschmutzung auf die Membrane zu spülen, wird anschließend mit gefiltertem Lösungsmittel die Membrane abgespült. Bei der Analyse von ölhaltigen Flüssigkeiten ist es wichtig, dass das verbleibende Öl vollständig von der Membrane gespült wird.

Nach diesem Vorgang wird die Membrane wieder getrocknet, abgekühlt und gewogen (wie oben beschrieben). Der Messwert wird nun als $m(E)$ notiert.

Die gravimetrische Verschmutzung errechnet sich wie folgt:

$$M (G) = m(E) - m(T)$$

2.3.2 ISO 4406:1999

Bei der ISO 4406 werden die Partikelanzahlen kumulativ, d. h. > 4 µm (c), > 6 µm (c) und > 14 µm (c) ermittelt (manuell durch Filtration der Flüssigkeit durch eine Analysenmembrane oder automatisch mit Partikelzählern) und Kennzahlen zugeordnet.

Das Ziel dieser Zuordnung von Partikelanzahlen zu Kennzahlen ist die Vereinfachung der Beurteilung von Flüssigkeitsreinheiten.

Im Jahr 1999 wurde die „alte“ ISO 4406 überarbeitet und die Größenbereiche der auszuwertenden Partikelgrößen neu definiert. Des Weiteren wurde das Auszählverfahren und die Kalibrierung geändert.

Wichtig für den Anwender in der Praxis ist folgendes:

Auch wenn sich die Größenbereiche der auszuwertenden Partikel geändert haben, wird der Reinheitscode sich nur in Einzelfällen ändern. Beim Erstellen der „neuen“ ISO 4406 wurde darauf geachtet, dass nicht alle bestehenden Reinheitsvorschriften für Systeme geändert werden müssen (Lit. © HYDAC, „Filter-Fluidtechnik, neuer Teststaub, neue Kalibrierung, neue Filtertestmethoden – Auswirkungen in der Praxis“).

1.300 – 2.500 Partikel > 4 µm (c)
160 – 320 Partikel > 6 µm (c)
10 – 20 Partikel > 14 µm (c)

Kurzübersicht über die Änderungen:

	„alte“ ISO 4406:1987	„neue“ ISO 4406:1999	
Größenbereiche	> 5 µm, > 15 µm	> 4 µm (c) > 6 µm (c) > 14 µm (c)	
Ermittelte Dimension	längste Ausdehnung des Partikels	Durchmesser des flächendeckenden Kreises ISO 11171:1999	
Teststäube	ACFTD-Staub	1-10 µm Ultrafinefraktion	ISO 12103-1A1
		SAE Fine, AC-Fine	ISO 12103-1A2
		SAE 5-80 µm ISO MTD Kalibrierstaub für Partikelzähler	ISO 12103-1A3
		SAE Corse Grobfraktion	ISO 12103-1A4
Vergleichbare Größenbereiche	Alte ACFTD-Kalibrierung	Vergleichbare ACFTD	Neue Nist-Kalibrierung
		< 1 µm 4,3 µm 15,5 µm	4 µm (c) 6 µm (c) 14 µm (c)

Zuordnung der Partikelanzahlen zu den Reinheitsklassen:

Anzahl Partikel pro ml		Reinheits- klasse
Mehr als	Bis	
2.500.000		> 28
1.300.000	2.500.000	28
640.000	1.300.000	27
320.000	640.000	26
160.000	320.000	25
80.000	160.000	24
40.000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8

Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse unter der Reinheitsklasse 8 hängt von der Konzentration der Partikel in der ausgewerteten

Probe ab. Ist die Anzahl der in der Probe ausgezählten Partikel kleiner als 20, muss das Ergebnis mit ≥ gekennzeichnet werden.

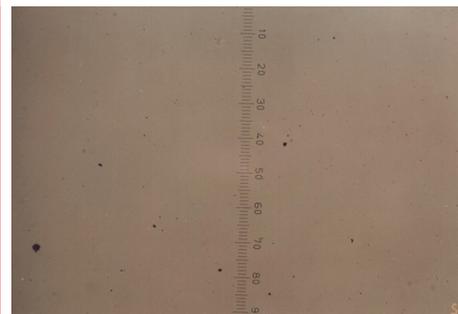
Zu beachten ist, dass sich bei Erhöhung der Kennzahl um 1 die Partikelanzahl verdoppelt.

Beispiel:
ISO Klasse 18 / 15 / 11 besagt:

1.300 – 2.500 Partikel > 4 µm (c)
160 – 320 Partikel > 6 µm (c)
10 – 20 Partikel > 14 µm (c)

befinden sich in einem ml der analysierten Probe.

Abb. 11
Mikroskopische Betrachtung einer Ölprobe (100 ml)
Vergrößerung 100-fach
(ISO 18 / 15 / 11)



2.3.3 NAS 1638

Wie die ISO 4406 beschreibt die NAS 1638 Partikelkonzentrationen in Flüssigkeiten. Die Analysenverfahren können analog zur ISO 4406:1987 verwendet werden.

Im Gegensatz zur ISO 4406 werden bei der NAS 1638 bestimmte Partikelbereiche ausgezählt und diesen Kennzahlen zugeordnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Reinheitsklassen in Abhängigkeit von der ermittelten Partikelkonzentration dargestellt.

Reinheitsklasse	Partikelgröße [µm]				
	5-15	15-25	25-50	50-100	>100
	Partikelanzahl in 100 ml Probe				
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1.000	178	32	6	1
3	2.000	356	63	11	2
4	4.000	712	126	22	4
5	8.000	1.425	253	45	8
6	16.000	1.850	506	90	16
7	32.000	5.700	1.012	180	32
8	64.000	11.600	2.025	360	64
9	128.000	22.800	4.050	720	128
10	256.000	45.600	8.100	1.440	256
11	512.000	91.200	16.200	2.880	512
12	1.024.000	182.400	32.400	5.760	1.024

Bei der Erhöhung der Klasse um 1 wird die Partikelanzahl im Mittel verdoppelt.

Die Partikelanzahlen der Klasse 10 finden Sie im Fettdruck in der obigen Tabelle.

Abb. 12
Mikroskopische Betrachtung einer Ölprobe (100 ml)
Vergrößerung 100-fach
(NAS 10)



2.3.4 SAE AS 4059

Wie die ISO 4406 und die NAS 1638 beschreibt die SAE AS 4059 Partikelkonzentrationen in Flüssigkeiten. Die Analysenverfahren können analog zur ISO 4406:1999 und NAS 1638 verwendet werden.

Die SAE-Reinheitsklassen basieren auf der Partikelgröße, Anzahl und Partikelgrößenverteilung. Da die ermittelte Partikelgröße von dem Messverfahren und der Kalibrierung abhängt, werden die Partikelgrößen mit Buchstaben (A – F) gekennzeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Reinheitsklassen in Abhängigkeit von der ermittelten Partikelkonzentration dargestellt.

Die Reinheitsklassen nach SAE können wie folgt dargestellt werden:

1. Absolute Partikelanzahl größer einer definierten Partikelgröße

Beispiel:

Reinheitsklasse nach AS 4059:6

Die maximal zulässige Partikelanzahl in den einzelnen Größenbereichen ist in der Tabelle in Fettdruck dargestellt.

Reinheitsklasse nach AS 4059:6 B

Die Partikel der Größe B dürfen die maximale Anzahl wie in Klasse 6 beschrieben nicht überschreiten

6 B = max. 19.500 Partikel der Größe 5 µm oder 6 µm (c)

Maximale Partikelkonzentration [Partikel/100 ml]

Größe ISO 4402 Kalibrierung oder opt. Zählung*	> 1 µm	> 5 µm	> 15 µm	> 25 µm	> 50 µm	> 100 µm
Größe ISO 11171, Kalibrierung oder Elektronenmikroskop**	> 4 µm (c)	> 6 µm (c)	> 14 µm (c)	> 21 µm (c)	> 38 µm (c)	> 70 µm (c)
Größenkodierung	A	B	C	D	E	F
000	195	76	14	3	1	0
00	390	152	27	5	1	0
0	780	304	54	10	2	0
1	1.560	609	109	20	4	1
2	3.120	1.220	217	39	7	1
3	6.250	2.430	432	76	13	2
4	12.500	4.860	864	152	26	4
5	25.000	9.730	1.730	306	53	8
6	50.000	19.500	3.460	612	106	16
7	100.000	38.900	6.920	1.220	212	32
8	200.000	77.900	13.900	2.450	424	64
9	400.000	156.000	27.700	4.900	848	128
10	800.000	311.000	55.400	9.800	1.700	256
11	1.600.000	623.000	111.000	19.600	3.390	1.020
12	3.200.000	1.250.000	222.000	39.200	6.780	

** Partikelgrößen ermittelt nach dem Durchmesser des projizierten flächengleichen Kreises.

* Partikelgrößen nach der längsten Ausdehnung gemessen.

2. Festlegung einer Reinheitsklasse für jede Partikelgröße

Beispiel:

Reinheitsklasse nach AS 4059:
7 B / 6 C / 5 D

Größe B (5 µm oder 6 µm (c)):
38.900 Partikel / 100 ml
Größe C (15 µm oder 14 µm (c)):
3.460 Partikel / 100 ml
Größe D (25 µm oder 21 µm (c)):
306 Partikel / 100 ml

3. Angabe der höchsten gemessenen Reinheitsklasse

Beispiel:

Reinheitsklasse nach
AS 4059:6 B – F

Die Angabe 6 B – F erfordert eine Partikelzählung in den Größenbereichen B – F. In allen diesen Bereichen darf die jeweilige Partikelkonzentration der Reinheitsklasse 6 nicht überschritten werden.

2.3.5 Vorgehensweise bei der Auswertung der Flüssigkeitsproben nach ISO 4406:1999, NAS 1638 und SAE AS 4059

Es wird eine repräsentative Probe aus der zu untersuchenden Flüssigkeit genommen und diese wie folgt untersucht.

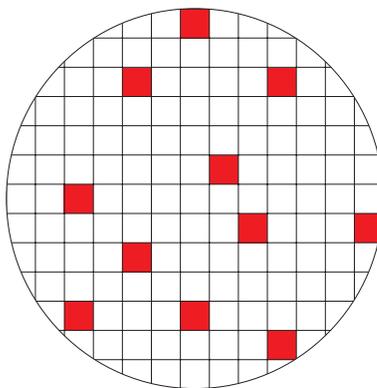
1. Manuelle Vorgehensweise nach ISO 4407 (Hydraulic fluid power – Fluid contamination – Determination of particulate contamination by the counting method using a microscope).

In der ISO 4407 ist das mikroskopische Auszählverfahren für Membranen beschrieben. Hierfür werden 100 ml der zu analysierenden Probe über eine Analysenmembrane mit einer mittleren Porengröße $< 1 \mu\text{m}$ und Feldermarkierungen filtriert. Des Weiteren ist die Reinigungsprozedur und die maximale Partikelanzahl der Blindprobe beschrieben.

Nach dem Trocknen der Analysenmembrane werden je nach Größe der auszählenden Partikel 10, 20 oder 50 Felder ausgezählt, die Werte addiert und auf den Membrandurchmesser hochgerechnet.

Da bei Anwendung der ISO 4407 die längste Dimension des Partikels ausgezählt, bei der „neuen“ ISO 4406:1999 aber der Durchmesser des flächengleichen Kreises ausgewertet wird, erfolgt die manuelle Auszählung der Partikel in den „alten“ Stufen $> 5 \mu\text{m}$ und $> 15 \mu\text{m}$. Wie oben beschrieben entsprechen die erhaltenen Kennzahlen dieser Auszählung den Kennzahlen der „neuen“ Auswertung.

Abb. 13



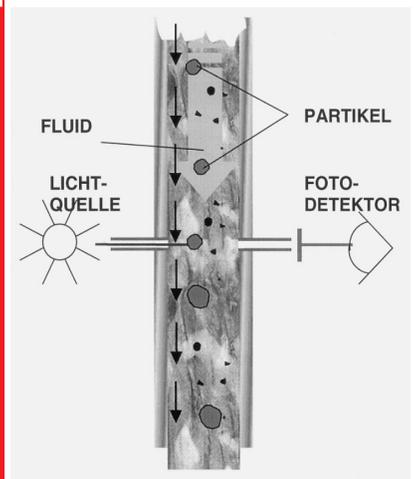
Diese Auszählmethode ist nur bei sehr sauberen Proben anwendbar. Im Allgemeinen werden die Reinheitsklassen anhand von Referenzfotografien abgeschätzt oder die Proben automatisch ausgezählt.

2. Automatische Partikelzählung.

Die Funktionsweise der gängigen Partikelzähler, die nach dem Lichtblockadeverfahren funktionieren ist nachfolgend beschrieben.

In der nachfolgenden Skizze ist das Messprinzip des Lichtblockadeverfahrens vereinfacht dargestellt. Die Lichtquelle schickt das Licht (meist monochromatisches Licht) auf einen optischen Sensor, der ein bestimmtes elektrisches Signal aussendet. Gerät ein Partikel (schwarz) zwischen die Lichtquelle und den Fotodetektor, so entsteht ein Schatten auf der Fotodiode. Durch diesen Schatten ändert sich das von dem Sensor ausgesandte elektrische Signal. Aus dieser Änderung kann man die Größe des Schattens, den dieser Partikel wirft, ermitteln und so die Partikelgröße bestimmen.

Abb. 14



Mittels dieses Verfahrens ist es möglich die Reinheitsklassen nach der ISO 4406:1987, ISO 4406:1999, NAS 1638 und SAE AS 4059 sehr gut zu bestimmen.

Die Störfaktoren dieses Messprinzips sind Fremdfüssigkeiten und Gasbläschen, welche zu einer Lichtbrechung führen und somit auch als Partikel gezählt werden.

Der Partikelzähler sollte nach ISO 11943 (für ISO 4406:1999) kalibriert sein.

In Anwendung kommt die automatische Partikelzählung als:

Online-Verfahren, bei dem die Probe direkt aus dem System gezogen und in den Partikelzähler geleitet wird oder der Sensor direkt in der Anlage integriert ist.

Abb. 15



Onlinepartikelzähler
der FCU 2000er Serie

Oder als Offline-Verfahren, bei dem die Probe in einen Probenbehälter gefüllt und aus diesem die Flüssigkeit über einen Partikelzähler geschickt wird.

Abb. 16



Laborpartikelzähler mit
Bottlesampling-Unit

BSU8000 mit FCU 8000

3 Bestimmung der Restschmutzmenge auf Bauteilen

Die Ermittlung von Restschmutz-
mengen auf Bauteilen erfolgt nach
quantitativen und qualitativen
Gesichtspunkten.

Quantitativ: • mg/Bauteil
• mg/Oberflächeneinheit (ölbenetzter
Oberfläche)
• mg/kg Bauteilgewicht
Anzahl Partikel >
x µm/Bauteil
• Anzahl Partikel >
x µm/Oberflächeneinheit (ölbenetzter
Oberfläche)

Qualitativ: Länge des größten
Partikels
(Unterteilung hart/
weich)

Bauteile mit einfach zugänglichen
Oberflächen, sind Bauteile, bei
denen meist nur die äußere
Oberfläche für die Restschmutz-
bestimmung interessant ist. Es gibt
auch Ausnahmen, die in diese
Kategorie gehören, z. B. Getriebe-
gehäuse, Pumpengehäuse. Bei
diesen Bauteilen ist die innere
Fläche interessant. Da diese im
Allgemeinen leicht zugänglich
sind, gehören diese Bauteile in
Gruppe 1.

Bauteile, bei denen die Innenflächen
untersucht werden oder
vormontierte Baugruppen gehören
in die Gruppe 2, die
Analyseverfahren hierzu finden Sie
in Kapitel 4.

Es sind zwei Methoden bekannt,
nach denen die Restschmutz-
bestimmung von Bauteilen der
Gruppe 1 erfolgen kann:

3.1 Ultraschallverfahren

Bei dem Ultraschallverfahren
werden die zu untersuchenden
Bauteile in ein Ultraschallbad
gelegt und eine definierte Zeit bei
definierter Schalldichte und
Badtemperatur beschallt. Die
partikuläre Verschmutzung wird
durch die Energiezufuhr gelöst und
anschließend durch Spülen mit
einer geeigneten Flüssigkeit vom
Bauteil abgespült.

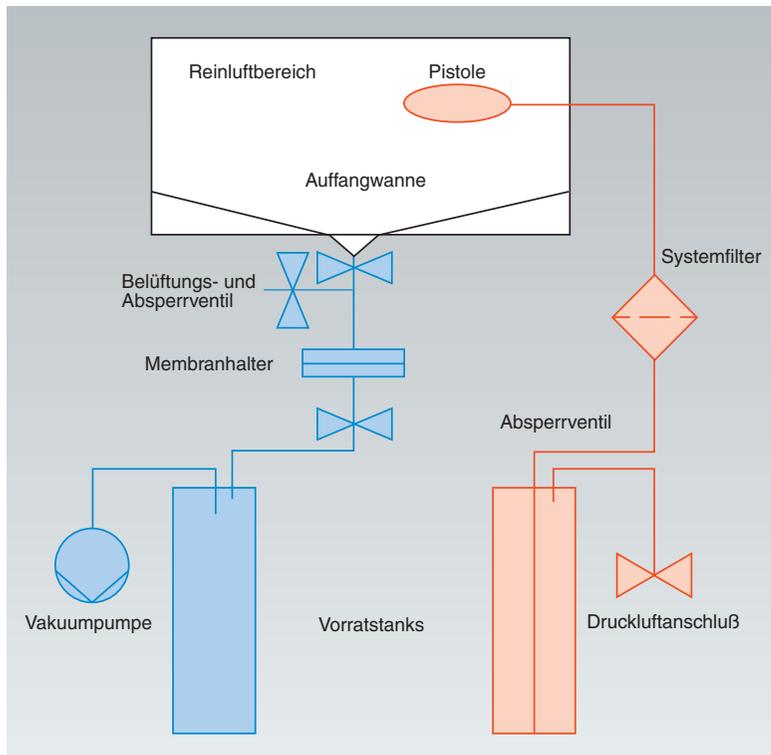
Die so erhaltene Dispersion von
Partikeln in der Spülflüssigkeit
wird nach den festgelegten
Auswerteverfahren analysiert
(siehe Kap. 3.4).

Zu beachten ist, dass die Energie-
dichte des Ultraschalls ebenso wie
die Dauer der Beschallung des
Prüflings beim Ergebnis mit
anzugeben ist. Das Ultraschall-
verfahren eignet sich besonders für
Kleinteile und Bauteile, bei denen
alle Oberflächen untersucht
werden sollen. Gussteile und
Elastomere sollten nach
Möglichkeit nicht mit Ultraschall
behandelt werden, da hier die
Gefahr besteht, dass der im Guss
eingelagerte Kohlenstoff gelöst
wird und die Analyse verfälscht.
Diese Effekte sind vor einer
Ultraschallanalyse zu prüfen.

3.2 Spülverfahren

Bauteile mit einfach zugänglichen Oberflächen oder Bauteile, bei denen nur Teilflächen untersucht werden sollen, werden nach dem Spülverfahren untersucht. Hierbei wird die zu analysierende Oberfläche in einer definiert sauberen Umgebung mit einer Analysenflüssigkeit abgespült, die ebenfalls definiert sauber ist. Vor der Analyse wird eine „Blindprobe“ angefertigt, bei der alle Flächen der Umgebung, z. B. der Auffangwanne abgespült werden und dieser „Blindwert“ als Grundverschmutzung der Analysenapparatur erfasst wird. Die Spülflüssigkeit wird dann nach den festgelegten Auswertungsverfahren analysiert.

Abb. 17



Die in ROT gekennzeichneten Bereiche sind die Spülbereiche, die in BLAU gekennzeichneten Bereiche werden als Analysenbereich bezeichnet. In der Realität sind die beiden Kreise über geeignete Ventile so geschaltet, dass zwischen den beiden Vorrattanks umgeschaltet werden kann. Die Skizze zeigt den vereinfachten Schaltplan.

Die Analysenflüssigkeit wird mit ca. 4-6 bar Druck beaufschlagt und damit über den Systemfilter und die Sprühpistole in den Analysenraum gefördert. Der Systemfilter sorgt dafür, dass die Analysenflüssigkeit mit einer definierten Sauberkeit auf die zu prüfende Fläche gesprüht wird. Die mit den Partikeln belastete Flüssigkeit sammelt sich in der Auffangwanne und wird mit Hilfe von Vakuum über die Analysenmembrane filtriert. Die so erhaltene Membrane wird nach den nachfolgend beschriebenen Analysemethoden ausgewertet.

3.3 Schüttelverfahren

Dieses Verfahren wird sehr selten angewandt, da es manuell sehr schwer reproduzierbar ist. Bei der Anwendung von automatischen Schüttelautomaten, z. B. wie sie in chemischen Laboratorien verwendet werden, ist die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gegeben. Die untersuchten Bauteile sind verschleißbare Teile, deren Innenflächen analysiert werden sollen (z. B. Röhre, Tanks). Wichtig ist es, dass die Partikel aus dem Inneren des Bauteiles nach dem Schütteln ausgespült werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Vergleich der verschiedenen Analyseverfahren zur Analyse von einzelnen Bauteilen oder Baugruppen:

	Spülmethode	Ultraschall
Durchführung	Bauteile werden in definiert sauberer Umgebung mit der Analysenflüssigkeit abgespült.	Bauteile werden in einem Ultraschallbad beschallt und anschließend mit der Analysenflüssigkeit abgespült.
Anwendung	Bauteile, bei denen Teilflächen analysiert werden und Bauteile, bei denen Ultraschall die Oberflächen beschädigen kann. Einfach aufgebaute Bauteile mit leicht zugänglichen Oberflächen	Kleinbauteile und Bauteile, bei denen alle Flächen analysiert werden sollen (Bauteilgröße hängt vom Ultraschallbad ab).
+	Schnelle Analyse	Reproduzierbarkeit
-	Reproduzierbarkeit Normung in Vorbereitung	Analyse dauert lange Energie wirkt auf die Oberfläche ein Oberfläche muss abgespült werden Keine gültige Normung

3.4 Auswerteverfahren

Die Auswertung der mit Partikeln belasteten Spülflüssigkeiten kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Bei stark verschmutzten Bauteilen bietet sich die sogenannte „gravimetrische Analyse“ an, bei sehr sauberen Bauteilen eine Partikelzählung in verschiedenen Größenberichten.

Die nachfolgende Tabelle beschreibt die einzelnen Auswerteverfahren:

	Manuelle Verfahren		Automatische Verfahren	
	Gravimetrie [mg/m ²]	Auszählung der Partikel auf der Analysenmembrane [Anz. P. > x µm/m ²]*	Auszählung der Partikel auf der Analysenmembrane [Anz. P. > x µm/m ²]*	Auszählung der Partikel in der Flüssigkeit [Anz. P. > x µm/m ²]*
Durchführung	Die mit Partikeln beladene Flüssigkeit wird über eine vorbereitete Analysenmembrane filtriert.			Die mit Partikeln beladene Flüssigkeit wird mit Hilfe eines automatischen Partikelzählers ausgezählt.
	Die Analysenmembrane wird vor und nach der Analyse ausgewogen und aus der Differenz der Messwerte die Gravimetrie berechnet.	Die Partikelanzahl in den einzelnen Größenbereichen wird abgeschätzt oder ausgezählt. < 100 µm abgeschätzt > 100 µm ausgezählt	Die Analysenmembrane wird unter ein Mikroskop gelegt und mit Hilfe einer Software ausgewertet. Diese Software erfasst die Hell-Dunkel-Kontraste auf der Membrane und interpretiert diese als Partikel.	
Anwendung	Proben mit hoher Verschmutzung > 10 mg	Proben mit hohem Anteil an Grobverschmutzung. Wird oft mit gravimetrischer Auswertung verknüpft.	Proben mit geringem Verschmutzungsanteil < 5 mg.	Bevorzugt bei sehr sauberen Teilen. Bei hohem Schmutzgehalt muss die Probe verdünnt werden, um auszählbar zu sein.
Norm	ISO 4405	ISO 4407		ISO 11500
Vorteile der Verfahren	Materialarten können zusätzlich analysiert werden. Schneller Überblick über die größten Partikel Luft- und Fremdflüssigkeit stören nicht (so lange keine Ablagerungen auf der Membrane erfolgen).			Schnelle Analyse, Einbindung in Prozesskette als Online-Verfahren möglich, Nachweis kleiner Partikelmengen möglich, Messbereich wählbar (2-400 µm). Genaues Messverfahren.
	Für große Partikel-mengen anwendbar			
Nachteile der Verfahren	Dauert lange (mind. 1 h)	Dauert lange Partikelanzahl < 100 µm wird abgeschätzt	Je nach Genauigkeit der Analyse dauert dieses Verfahren sehr lange. Helle Partikel werden nicht interpretiert. Hell-Dunkel-Kontrast wird meist manuell angewählt. Durchmesser des flächengleichen Kreises wird gemessen (=> Ergebnis ist nicht identisch mit Augenschein).	Probenaufbereitung ist erforderlich (ggf. muss die Probe verdünnt werden). In der Regel ist dies ein statistisches Verfahren mit hinreichender Genauigkeit.
	Laborverfahren	Laborverfahren		
Einsatzbereich	Laborverfahren Wird als Kontrolle von indirekten Messverfahren verwendet (z. B. Offline-Prozesskontrolle an Prüfständen).		Laborverfahren	Online-Prozesskontrolle in der Fertigung und Montage. Auch im Labor anwendbar.

* Alternativ auch Anzahl Partikel / kg Bauteilgewicht. (Anz. P = Anzahl Partikel)

Die nachfolgende Tabelle beschreibt die Einsatzbereiche der Analysen- und Auswerteverfahren:

Auswertung Analysemethode		Gravimetrie		Partikelzählung		
		Spülen	Ultraschall	Spülen	Ultraschall	Funktionsprüfung*
Einfache Bauteile	z. B. Einfach zu erreichende Oberflächen Zahnräder	E	E	E	E	NE
Bauteile	z. B. Innenliegende Oberflächen Rohre, Tanks	E	NE	E	NE	BE**
Komplizierte Bauteile	z. B. Bauteile mit div. Bohrungen oder Kanälen Steuerplatten	BE**	NE	BE**	NE	E
Einfache Systeme	z. B. Oberfläche ist zu untersuchen Tauchsensoren	E	E	E	E	NE
Systeme	z. B. Innenliegende Oberflächen Rail d. Common Rail Systems	BE**	NE	BE**	NE	E
Komplizierte Systeme	z. B. Ventile, Pumpen	BE**	NE	BE**	NE	E

E = einsetzbar

BE = bedingt einsetzbar

NE = nicht einsetzbar

* = Kapitel 4 "Analyse der Reinheit von Komplettsystemen auf dem Spülprüfstand".

** = Es muss sichergestellt sein, dass die abgelösten Partikel vom bzw. aus dem Bauteil gespült werden können.

4 Analyse der Reinheit von Bauteilen und Komplettsystemen auf dem Spülprüfstand

Die Reinheit von Bauteilen und Systemen, die einen Spül- oder Prüfstand durchlaufen, kann unter bestimmten Umständen anhand der Reinheit der Prüfflüssigkeit ermittelt werden. Zur Validierung dieser indirekten Analysemethoden werden meist im Vorfeld manuelle Untersuchungen durchgeführt.

So werden z. B. Schläuche manuell gespült und die Ergebnisse nach den in Kapitel 3 vorgestellten Methoden ausgewertet. Parallel dazu werden die Reinheiten der Prüfflüssigkeit auf dem Prüfstand im Rücklauf, also nach der Komponente bestimmt.

Wird hier eine Korrelation zwischen dem manuellen und dem automatischen (indirekten) Wert festgestellt, kann zukünftig die Analyse des indirekten Wertes als Qualitätsmaßstab gewählt werden.

Der Spülstand zur Analyse des Restschmutzanteils von Systemen muss die folgenden Merkmale aufweisen:

1. Die Spülung muss mit möglichst turbulenter Strömung erfolgen.
2. Das verwendete Fluid muss eine dispergierende Wirkung aufweisen.
3. Alle Kanäle und Flächen müssen überströmt werden.
4. Durch Pulsierung bei der Spülung wird der Wirkungsgrad der Spülung verbessert.

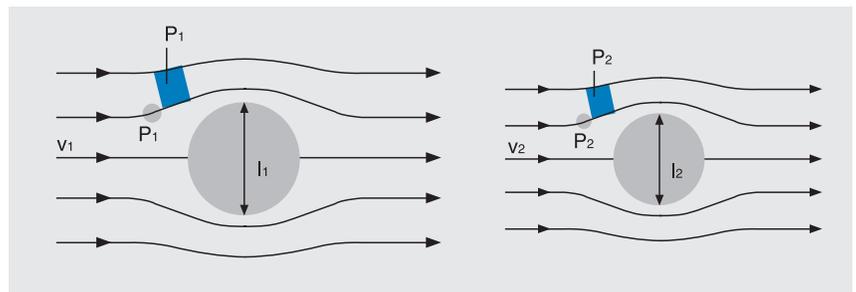
4.1 Turbulente Strömung

Die Reynoldszahl

Die Reynoldszahl beschreibt als dimensionslose Kennzahl den Strömungszustand von Flüssigkeiten. Nachfolgend ist in kurzen Worten der Aufbau der Reynoldszahl am Beispiel der Rohrströmung erklärt.

Bei der Berechnung der Reynoldszahl werden die Gewichtskräfte vernachlässigt. Es greifen in der Regel nur Druckkräfte, Reibungskräfte F_R und Trägheitskräfte F_T an Fluidelementen und umströmten Körpern an. Diese müssen in allen Punkten der Strömung im Gleichgewicht sein. Ist das Verhältnis von Reibungs- und Trägheitskraft in ähnlichen Punkten P_1 und P_2 gleich, dann liegen auch ähnliche Strömungen vor.

Abb. 18
Ähnliche Strömungen um verschiedene Zylinder



Unter Berücksichtigung der o.g. Eigenschaften ergibt sich die Gleichung für die Reynoldszahl wie folgt:

$$Re = \frac{\text{mittlere Geschwindigkeit} \cdot \text{innerer Rohrdurchmesser}}{\text{kinematische Viskosität}}$$

$$Re = 21220 \cdot \frac{Q}{d_i \cdot \nu} \quad \text{gilt für Rohrleitungen und Schläuche}$$

mit: Q = Volumenstrom (l/min),
 ν = kinematische Viskosität (mm²/s)
und
 d = Rohrinne Durchmesser (mm)

Die sogenannte kritische Reynoldszahl Re_{krit} hängt ab von der kinematischen Viskosität ν , dem Volumenstrom Q des Fluids und der Geometrie der Flussführung. Ist die Reynoldszahl eines Stroms kleiner als Re_{krit} , fließt er **laminar**. Bei Werten oberhalb von Re_{krit} liegt **turbulente** Strömung vor. Nachfolgend ist die kritische Reynoldszahl für Öl angegeben

$$Re_{krit} \text{ Öl} = 1900 - 3000$$

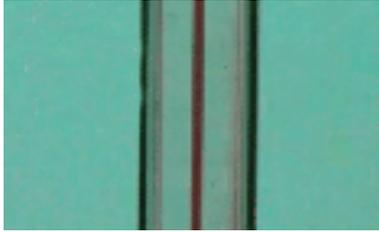
(Quelle: Kahrs, M.: Der Druckverlust in Rohrleitungen ölhdraulischer Antriebe; VDI Forschungsheft 537, Düsseldorf 1970)

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Unterschied zwischen laminarer und turbulenter Strömung auf.

Abb. 19

Laminare Strömung

Alle Teilchen bewegen sich ohne zu vermischen.



Die Bahn eines Teilchens wird durch den Stromfaden beschrieben.

Parabelförmige Geschwindigkeitsverteilung (gilt für Rohre).

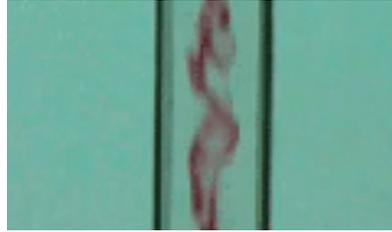


Reynoldszahl kleiner als Re_{krit}

Quelle:
Universität Würzburg
Vorlesung Strömungstechnik

Turbulente Strömung

Alle Teilchen werden kontinuierlich durcheinander gemischt.



Die Bahn eines Teilchens kann nicht vorhergesagt werden.

Relativ gleichmäßige zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsverteilung (abgeflachte Parabelform).



Reynoldszahl größer als Re_{krit}

In der obigen Zeichnung ist die parabelförmige, **laminare Strömung** in einem Rohr dargestellt. Hieraus geht hervor, dass die Fließgeschwindigkeit bei laminarer Strömung in der Rohrmitte (Spitze der Parabel) größer ist als an der Rohrwand.

Bei der **turbulenten Strömung** verbreitert sich diese Parabel (bei Mittelwertbetrachtungen), da bei turbulenter Strömung noch Querströmungen wirken. Diese bewirken, dass sich die Strömungsgeschwindigkeit in Rohrwandnähe erhöht. Dieser Effekt wird beim Spülen von Systemen ausgenutzt, da diese Erhöhung der Fließgeschwindigkeit dazu führt, dass Partikel, die sich an der Rohrwand angelagert haben, losgerissen und mit fortgespült werden.

4.2 Dispergierende Wirkung

Das verwendete Spülöl muss eine dispergierende Wirkung haben, damit die Partikel abgelöst und transportiert werden können. Spezielle dünnflüssige Spülöle auf Mineralölbasis können erheblich zur Verbesserung der Spülwirkung beitragen. Sie verringern die Haftkräfte zwischen den Schmutzteilchen und der Leitungswand. Durch eine gute Oberflächenbenetzung kriechen sie zwischen Schmutzteilchen und Wandung und führen damit zur Ablösung. Bei Versuchen hat sich herausgestellt, dass durch Wechsel der Spülflüssigkeit von Betriebsmedium auf ein Spülöl, sich eine Verbesserung der Komponenten/Systemreinheit um den Faktor 4 ergeben kann. Derartige Spülöle müssen auf das anschließend eingesetzte Betriebsmedium abgestimmt sein, nicht aufeinander abgestimmte Flüssigkeiten können im späteren Betrieb zu

- starkem Aufschäumen
 - Filterverblockung
 - Verschlammung des Systems
- führen.

4.3 Durchströmung aller Kanäle und Flächen

Natürlich muss bei der Erstellung des Prüfplanes darauf geachtet werden, dass alle Flächen und Kanäle des Systems beim Spülen benetzt werden.

4.4 Pulsierende Strömung beim Spülen

Pulsierende Strömung bzw. die Umkehr der Strömungsrichtung führt ebenso zu einer besseren Ablösung der anhaftenden Teilchen. Dabei wird der Haupteffekt durch wechselnde Kräfte an den abzulösenden Teilchen hervorgerufen. Den gleichen Effekt erzielt man durch Ultraschall oder andere Geräte zur Erzeugung von Vibrationen.

Abb. 20



Die Spülung von Rohrleitungen/ Schläuche und Hydrauliksysteme kann mit einem HYDAC-Spülaggregat erfolgen.

Die ermittelten Parameter sind:

- Druckprüfung
- Spülung
- Dokumentation des Spülerfolgs

4.5 Durchführung einer Reinheitsuntersuchung auf einem Spülstand

Bei kompletten Systemen oder Teilsystemen, die eine Funktionsprüfung durchlaufen, ist es möglich, die Reinheit dieser Systeme auf einem Spül- bzw. einem Funktionsprüfstand (= Spülstand) zu ermitteln.

Zur Anwendung kommt dieses Verfahren bei Pumpen, Zylindern, Getriebe, Steuereinheiten, Servolenkungen, Ventilblöcken u.s.w.

Nachdem sichergestellt ist, dass der Spülstand die vorgenannten Eigenschaften besitzt, wird die Analyse wie folgt vonstatten gehen.

Der Spülstand wird vor der Analyse auf eine definierte sehr hohe Reinheit abgereinigt, dass die Grundverschmutzung des Prüf-systems keinen Einfluss auf das Messergebnis hat. Dann wird diese Grundreinheit ermittelt und notiert.

4.5.1 Ermittlung der Gesamtverschmutzung eines Systems

Als Probenentnahmestelle für einen automatischen Partikelzähler wird eine Stelle vor oder nach dem Prüfling definiert, die direkt angeströmt wird. Soll das Ergebnis der Analyse zusätzlich noch gravimetrisch ermittelt werden, wird:

die komplette Prüflüssigkeit aufgefangen und über eine Analysenmembrane filtriert

oder ein Inlinemembranhalter mit der entsprechenden Analysenmembrane in die Rücklaufleitung integriert.

Nun wird der Prüfling anhand des vorher aufgestellten Prüfplanes geprüft und die Reinheitsklassen parallel mitgeschrieben.

Praxisbeispiel 1:

Die nachfolgende Darstellung zeigt den Analysenverlauf an einem Pumpenprüfstand.

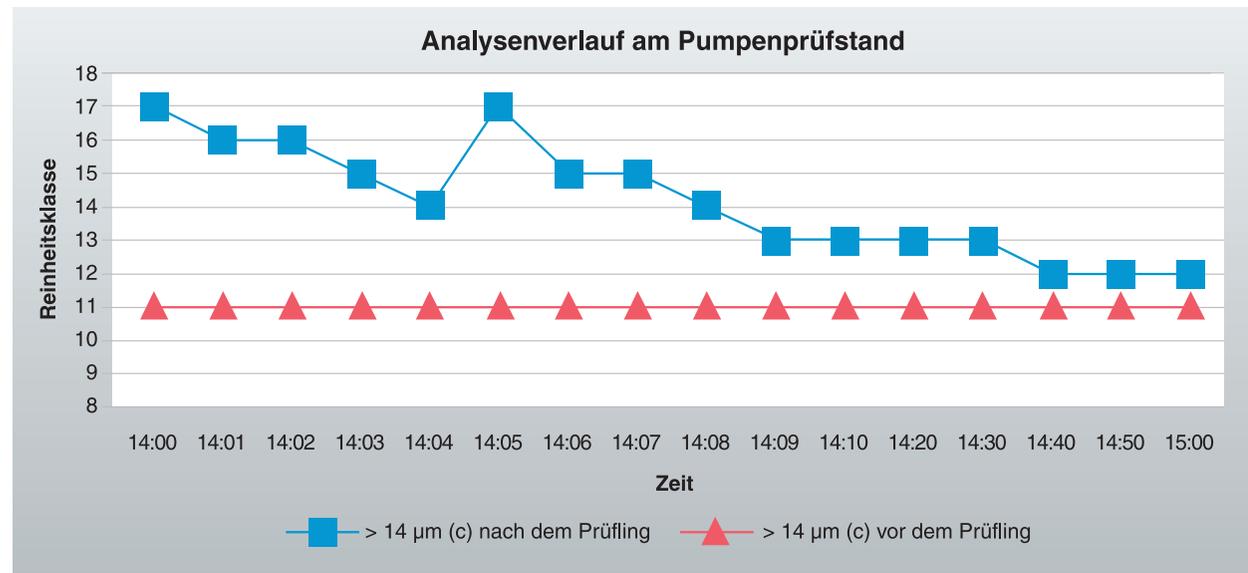
Abb. 21

Nach 5 Minuten der Prüfung wurde die Drehzahl der Pumpe auf die Maximaldrehzahl erhöht. Durch diesen Vorgang wurde partikuläre Verschmutzung freigesetzt. Anschließend wird das System immer sauberer. Da auch nach 1 Stunde Prüfzeit (Standard sind 10-15 Minuten) noch partikuläre Verschmutzung freigesetzt wird, erreicht die Reinheitsklasse der Flüssigkeit im Rücklauf (blau = nach dem Prüfling) nie die gleiche Reinheit wie vor dem Prüfling.

Dieses Verfahren eignet sich dazu, in Serienprüfungen die Reinheit der ausgelieferten Ware schnell und einfach zu überprüfen, zu dokumentieren und die Spülprozedur bei erreichtem Zielwert zu beenden. Es ist durch eine Einbindung des Messkreises in das Prozessleitsystem der Fertigung auch möglich, etwaige Abweichungen schnell zu erfassen und die geeigneten Maßnahmen zu ergreifen. Das Ziel einer kontinuierlichen Reinheitsüberwachung ist die Überwachung der Prozesssicherheit bezüglich der Systemreinheit bei Auslieferung.

Mit einer solchen Vorgabe kann bei einer erhöhten Verschmutzung des Systems schnell eingegriffen werden. Werden diese Messungen nur einmal täglich vorgenommen, besteht die Möglichkeit, dass eine ganze Tagesproduktion betroffen ist und diese Tagesproduktion nachgearbeitet werden muss. Hieraus entstehen unnötige Kosten, die durch die Installation eines kontinuierlichen Messverfahrens vermieden werden können.

Zur Referenzmessung wird nach Möglichkeit das System nach dem Prüflauf zerlegt und die einzelnen Bauteile mit Hilfe des Spülverfahrens analysiert.



Zum Beispiel:

Auslieferungszustand: 17 / 15 / 12 nach ISO 4406:1999

1. Warnpunkt: 18 / 16 / 13 bei 3 aufeinanderfolgenden Messungen
2. Stoppsignal: Bei Überschreiten der 18 / 16 / 13 Grenzzahl bei 2 aufeinanderfolgenden Messungen.

5 Contamination Monitoring

Die Zuverlässigkeit von hydraulischen Systemen kann durch partikuläre Verschmutzung, die sich während der Einlaufphase im System befindet, stark beeinflusst werden. Die Gefahr für Ausfälle während den ersten Betriebsminuten oder -stunden ist besonders groß, da die bei der Montage verbauten Fremdpartikel noch sehr groß sind und somit plötzliche Ausfälle verursachen können. Bei dem weiteren Betrieb des Systems werden diese großen Partikel in kleinere Partikel zermahlen, wobei bei diesem Zerkleinerungsprozess Oberflächenschäden an den Systemkomponenten auftreten können. Die Folge hiervon sind Leckagen, Wirkungsgradverluste oder eine Verkürzung der Lebensdauer der Komponenten.

Vielerorts wird ein Feinfilter zur schnellen Abreinigung der Systemflüssigkeit während der Inbetriebnahme verwendet. Im Automobilbereich ist dies bei Systemen, die sich im Fahrzeug befinden, meist nicht möglich (Ausnahmen hiervon sind: Getriebe und Motoren).

Das Contamination Monitoring setzt im Bereich der Fertigung und Montage dieser Systeme an. Durch Umsetzung des Contamination Managements ist es möglich, einen Großteil der zurzeit noch verbauten partikulären Verschmutzung aus den Systemen fernzuhalten. Das Ergebnis sind Kosteneinsparungen durch weniger Kennlinienabweichungen auf Prüfständen, die durch plötzliches Verklemmen von Partikeln in sensiblen Komponenten der Systeme hervorgerufen werden und geringere Garantie- und Kulanzkosten. Mehr hierzu im Kapitel 9.

Nachfolgend sind die Zielsetzung, Planung und Durchführung eines Prozessaudits beschrieben.

Im Rahmen eines Contamination Monitorings werden alle als relevant erachteten Fertigungs- bzw. Montageprozesse auf deren Reinheitszustand untersucht. Die Analysemethoden wurden in Kapitel 4 beschrieben. Besonders wichtig für einen reibungslosen Ablauf dieses Contamination Monitorings ist eine gute Vorbereitung und Information aller Beteiligten.

5.1 Planung

Zunächst wird das Ziel des Contamination Monitorings festgelegt, z. B.:

- Feststellung des Ist-Zustands
- Überprüfung der Chargenschwankungen
- Überprüfung von Waschprozessen
- Abgleich SOLL-IST-Zustand
- Festlegung der Probenentnahmestellen

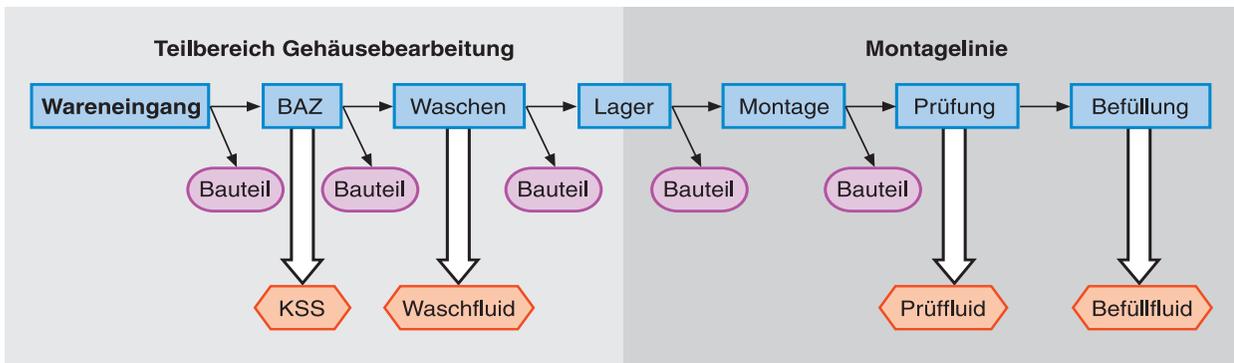
Während der Planungsphase werden anhand eines Fertigungsplanes die Probenentnahmestellen für Bauteile und Flüssigproben festgelegt. Des Weiteren werden die Mitarbeiter, die in das Contamination Monitoring involviert sind, mit den Zielen und der Vorgehensweise vertraut gemacht.

WICHTIG:

Die Fertigung muss genauso weiterlaufen wie bisher. Es dürfen keine zusätzlichen Reinigungsstufen oder ähnliches eingebaut werden. Das Contamination Monitoring dient NICHT der Kontrolle der Qualität der Mitarbeiter, sondern der Ursachenbestimmung der Verschmutzungsquellen!

In der nachfolgenden Darstellung ist ein Ausschnitt einer Fertigungsstraße dargestellt:

Abb. 22



BAZ = Bearbeitungszentrum

In obiger Darstellung sind die Fertigungsprozesse und die entsprechenden Probenentnahmestellen gekennzeichnet. In der Realität wird dies bezüglich der Probenentnahmestellen der Flüssigproben ausführlicher geschehen. Es wird beschrieben, an welcher Stelle, z. B. Nr. des Minimesanschlusses, die Flüssigprobe entnommen wurde.

5.2 Durchführung

Die Flüssig- sowie die Bauteilproben werden repräsentativ entnommen und so gelagert, dass keine zusätzliche Verschmutzung in die Proben gelangen kann. Bei Flüssigkeitsproben werden spezielle Probengläser verwendet und die Bauteile werden entsprechend in definiert saubere Verpackungen gepackt.

Die Analyse erfolgt gemäß Vorschrift nach den Methoden wie in Kapitel 3 und 4 beschrieben. Des Weiteren erfolgt eine genaue Dokumentation der Erkenntnisse.

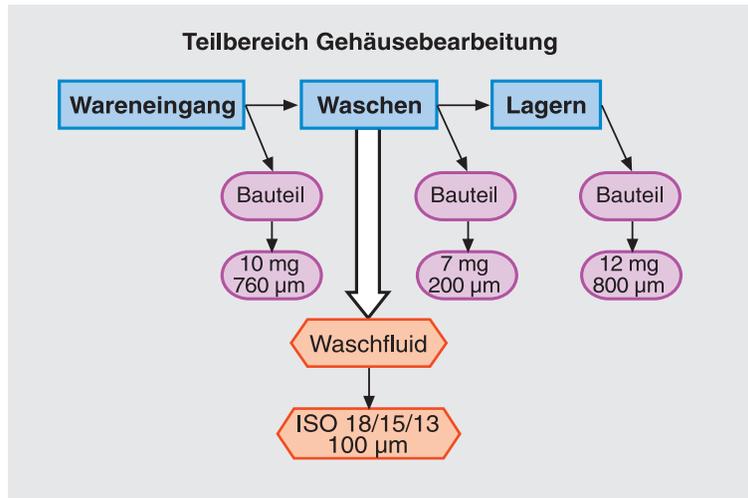
5.3 Begehung der Fertigungs- bzw. Montagelinie

Einige Kontaminationsquellen sind für das geschulte Auge durch die Begehung der Fertigungs- bzw. Montagelinie sichtbar. Daher wird eine solche Begehung während des Audits durchgeführt. Die gefundenen Erkenntnisse werden dann mit den vorhandenen Ergebnissen verglichen und daraus die entsprechenden Schlüsse gezogen.

5.4 Ergebnisse

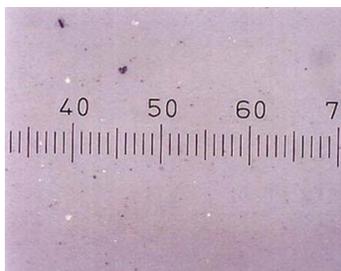
Die Ergebnisse dieses Contamination Monitorings beschreiben den Zustand zum Zeitpunkt der Probenentnahme. Nachfolgend ist ein mögliches Ergebnis kurz beschrieben:

Abb. 23



Das Chart zeigt einen Ausschnitt einer Gehäusefertigung. Die Bauteilproben wurden vor und nach einer Waschanlage entnommen. Das Ergebnis zeigt, dass diese Waschanlage gute Arbeit verrichtet und an dieser Stelle gut platziert ist. Die anschließende Lagerung erfolgt nicht sachgerecht, da sich hier der Anteil der partikulären Verschmutzung fast verdoppelt.

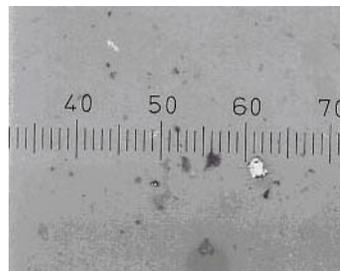
Abb. 24



Mikroskopaufnahme
Analysenmembrane

Partikuläre Verschmutzung eines Bauteils VOR der Lagerung.

Abb. 25



Mikroskopaufnahme
Analysenmembrane

Partikuläre Verschmutzung eines Bauteils NACH einer Lagerdauer von 2 Wochen.

6 Erstellen einer Reinheitsspezifikation

Durch die Anwendung einer Reinheitsspezifikation für die Bauteile, sowie das System kann sichergestellt werden, dass die Auslieferqualität konstant ist.

Die folgenden Punkte sollten bei der Erstellung einer Reinheitsspezifikation beachtet werden:

Stand der Technik

Benchmarking – was tun andere?

Frühere Erfahrungen – soweit vorhanden – mit einfließen lassen

Das Contamination Management als „offizielles Projekt“ definieren und verfolgen

Alle Hierarchieebenen mit einbeziehen

Genauere Dokumentation der Entwicklung der Spezifikation

Klare Definitionen treffen

Als nächstes ist zu klären, welches die empfindlichsten Komponenten des Systems sind. Oftmals ist es nicht notwendig im kompletten System die gleiche Reinheitsstufe beim Zusammenbau zu erreichen.

Ist eine geeignete Filtration VOR den empfindlichen Komponenten zu finden, kann man vor dieser Filtration einen Bereich der wenig schmutzempfindlichen Komponenten und nach dem Filter einen Bereich der stark schmutzempfindlichen Komponenten definieren.

Man sollte die einzelnen Bauteile bzw. Systembereiche in Empfindlichkeitsbereiche einteilen.

Kategorie	Bezeichnung	Beschreibung
A	Wenig Partikelempfindlich	Meist Niederdrucksysteme mit großen Spalttoleranzen.
B	Partikelempfindlich	Niederdrucksysteme mit kleinen Spalttoleranzen.
C	Stark partikelempfindlich	Hochdrucksysteme mit kleinen Spalttoleranzen und hohen Anforderungen an Sicherheitsrelevante Systeme.

Für jede dieser Reinheitskategorien wird ein Maximalwert der partikulären Verschmutzung festgelegt.

Nachfolgend ist diese Einteilung anhand eines PKW-Motors dargestellt:

Kategorie	Motorbereich
A	Luft Kühlwasserkreislauf
B	Niederdruckölkreislauf
C	Dieseldirekteinspritzung Hochdruckölkreislauf

Des Weiteren werden die Flüssigkeitsreinheiten der einzelnen System- bzw. Prozessfluide definiert.

6.1 Aufbau einer Reinheitsvorschrift

In der Reinheitsspezifikation für die Bauteile werden die folgenden Parameter festgelegt:

1. Ziel der Reinheitsspezifikation
2. Gültigkeitsbereich (Systembezeichnung)
3. Prüfumfang und -zyklen
4. Probenentnahme
5. Analysenverfahren
6. Auswerteverfahren
7. Genauigkeiten
8. Zu verwendende Analysenflüssigkeiten
9. Dokumentation
10. Grenzwerte

Da diese Spezifikationen für jedes System individuell gestaltet werden können, gehen wir hier auf einige Punkte ein, die beachtet werden sollten.

Arbeitsanweisungen, welche die Probenentnahme, Analysen- und Auswerteverfahren betreffen, sollten sehr detailliert beschrieben werden, um eine gleichbleibende Probenentnahme gewährleisten zu können. Des weiteren hängt das Analyseergebnis insbesondere bei der Bauteilanalyse stark von der verwendeten Analysenflüssigkeit und dem Analysenverfahren ab. Die Dokumentation sollte in Form eines Formblattes erfolgen, so dass man alle Ergebnisse schnell griffbereit hat. Nachfolgend sehen Sie einen Vorschlag für ein solches Ergebnisblatt:

Contamination Management			
System	Servolenkung	Analysendatum	31.01.2001
Bauteilanalyse			
Bauteil Teilenummer Losgröße	Zahnstange Xx12345 1	Probenentnahmestelle Probennehmer Datum d. Probenentnahme	Nach Waschen 1 Willi Muster 30.01.2001
Analysenverfahren Analysenflüssigkeit	Ultraschall KALT-02	Chargenbezeichnung Volumen Analysenflüssigkeit	01-2001 1500 ml 7 µm
Blindwert	0,2 mg	Feinheit d. Membrane	7 µm
Auswerteverfahren			
Inline-Partikelzählung	Automatische Partikelzählung d. Analysenflüssigkeit	Automatische Partikelzählung d. Membrane	Manuelle Partikelzählung
			X
Gravimetrie	X		
Ergebnis			
Gravimetrie größter abrasiver Partikel	8 350	mg/Bauteil µm	
	Anzahl Partikel/Bauteil		
	> 50 µm	> 100 µm	> 200 µm
IST-Wert	100	10	3
Grenzwert			0
Systemflüssigkeit			
System Probenentnahmestelle Probennehmer Datum d. Probenentnahme	Waschen 1 Spülbad Willi Muster 30.01.2001		
Messverfahren			
Inline-Partikelzählung	Automatische Partikelzählung d. Analysenflüssigkeit	Automatische Partikelzählung d. Membrane	Manuelle Partikelzählung
			X
Ergebnis:			
ISO 4406 Größter abrasiver Partikel	22/20/18 300 µm	NAS 1638	
Unterschrift:		Datum	

Beispiel einer Reinheitsspezifikation:

1. Ziel der Reinheitsspezifikation

Das Ziel bei der Umsetzung dieser Reinheitsspezifikation ist eine konstante Reinheit des Systems X zu erreichen.

2. Gültigkeitsbereich

(Systembezeichnung)

Diese Spezifikation gilt für das System X mit seinen Baureihen A, B, und C. Es umfasst alle Zuliefer- und Eigenfertigungsteile. Ferner werden hier die Systemflüssigkeiten des Systems X bezüglich deren Reinheit definiert.

3. Prüfumfang und -zyklen

Es werden monatlich 5 Proben jedes Teiles untersucht. Ist nach 6 Monaten ein konstanter Wert der Reinheit der zugelieferten Teile zu ersehen, kann der Probenzyklus auf 2- bzw. 3-monatliche Probenentnahme erweitert werden.

Die Analyse der kompletten Systeme vor der Auslieferung erfolgt mindestens einmal wöchentlich. Optimalerweise sollte eine permanente Prüfung der Flüssigkeitssauberkeit erfolgen.

4. Probenentnahme

Die Probenentnahme der Bauteile erfolgt in der Warenannahme. Die Bauteilproben werden repräsentativ entnommen und zum Transport in das Labor staubdicht verpackt.

Die Flüssigkeitsproben werden an den dafür vorgesehen und im Prüfplan genannten Probenentnahmestellen gezogen oder das Messgerät direkt angeschlossen.

5. Analysenverfahren

Zur Bauteilanalyse ist das Spülverfahren zu verwenden. Hierbei werden die Oberflächen der Bauteile wie im Prüfplan beschrieben in definiert sauberer Umgebung mit der Prüfflüssigkeit (XY), welche die Reinheit xx hat, mit z bar Druck und x ml abgespült. Die abgespülte partikuläre Verschmutzung wird auf einer Analysenmembrane gesammelt und gravimetrisch ausgewertet.

Die Flüssigproben werden repräsentativ aus den Systemen an den vorgeschriebenen Probenentnahmestellen gezogen. Es ist die Prüfdauer, das Prüfprogramm, die Drücke, bzw. Drehzahlen, also alle Prüfparameter anzugeben.

Bei statischen Prüfungen, wie z. B. Druckprüfung bei Rohrleitungen und Schläuchen, ist zu beachten, dass ein Spüleffekt vorhanden sein muss, um die Reinheit dieser Komponenten zu ermitteln, d. h. an die statische Druckprüfung muss sich ein dynamischer Spülprozess anschließend, um die tatsächliche Partikelmenge, die aus dem Bauteil ausgespült wird, zu erfassen.

6. Auswerteverfahren

Bei den Bauteilanalysen wird die Analysenmembrane vor der Analyse bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, in definiert trockener Umgebung abgekühlt und ausgewogen. Nach der Filtration wird der gleiche Vorgang wiederholt. Die Gewichts Differenz ergibt die „gravimetrische Verschmutzung“ des Bauteils. Danach werden die Analysenmembranen optisch durch das Mikroskop begutachtet und die längsten Partikel vermessen.

Die Auswertung der Flüssigproben erfolgt gemäß ISO 4405, ISO 4407, ISO 4406:1999 oder NAS 1638.

7. Genauigkeiten

Um eine ausreichend genaue Messung bei den Bauteilproben vornehmen zu können, muss die Analysenapparatur vor der Analyse auf einen Restschmutzgehalt von 0,2 mg gebracht werden. Dies wird durch Anfertigung einer Blindprobe – d. h. Spülen der Apparatur ohne Prüfling – ermittelt.

Wenn das Ergebnis der Analyse den Wert 0,5 mg unterschreitet, ist die Losgröße zu vergrößern und somit ein Mittelwert der Ergebnisse zu bilden.

8. Zu verwendende Analysenflüssigkeiten

Bei den Bauteilanalysen sollte die folgende Analysenflüssigkeit verwendet werden:

ABC-XX, mit der Reinheitsklasse 14 / 12 / 9 und keinem Partikel > 40 µm

9. Dokumentation

Die Dokumentation der Ergebnisse muss in einem Ergebnisblatt lt. Muster erfolgen.

10. Grenzwerte

Die Bauteile werden in 3 Reinheitsklassen eingeteilt:

Kategorie	Bezeichnung	Beschreibung
A	Wenig Partikelempfindlich	Meist Niederdrucksysteme mit großen Spalttoleranzen.
B	Partikelempfindlich	Niederdrucksysteme mit kleinen Spalttoleranzen.
C	Stark partikelempfindlich	Hochdrucksysteme mit kleinen Spalttoleranzen und hohen Anforderungen.

Für jede dieser Reinheitsklassen gelten die nachfolgenden Reinheitsvorgaben (willkürliches Beispiel).

Kategorie	Gravimetrie	Partikelgrößen
A	20 mg / Bauteil	Max. 4 Partikel > 500 µm Max. Größe: 400 µm Keine Faserbündel
B	10 mg / Bauteil	Max. 4 Partikel > 400 µm Max. Größe: 800 µm Fasern bis 4 mm
C	5 mg / Bauteil	Max. 4 Partikel > 200 µm Max. Größe: 1.000 µm Fasern bis 2 mm

Nachfolgend finden Sie die Bauteile eines Getriebes in die einzelnen Kategorien eingeteilt:

Gruppe A: Ölwanne

Gruppe B: Zwischengehäuse,
Getriebegehäuse,
Abtriebsflansch

Gruppe C: Ventilplatte,
Ventilgehäuse,
Zentrierplatte

Flüssigkeitsproben:

Das Getriebeöl darf am Ende des Prüflaufes die Reinheit von 17 / 15 / 13 (c) nach ISO 4406:1999 nicht überschreiten. Der Betrieb des Systems erfolgt mit der Reinheit 18 / 16 / 14 (c) nach ISO 4406:1999

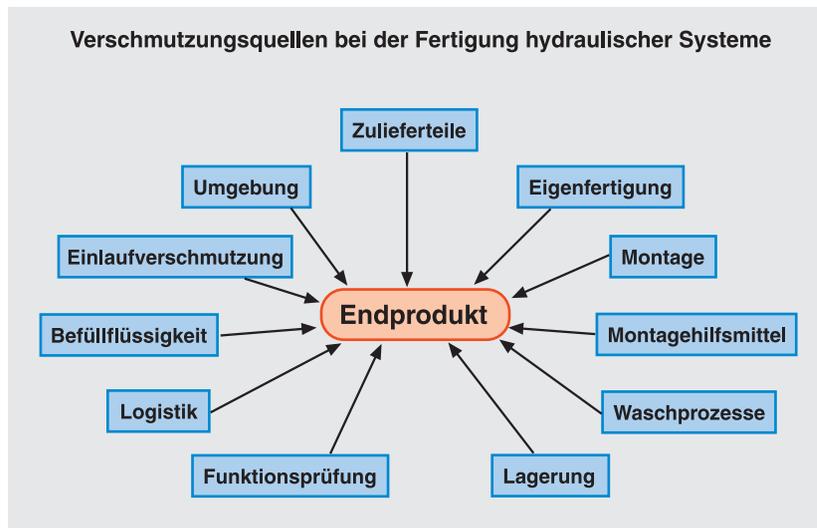
11. Vorgehensweise bei Nichteinhaltung der Spezifikation

Bei Nichteinhaltung der Spezifikation werden die Zulieferer der Zulieferfirma überstellt. Würden durch diese Vorgehensweise Produktionsverzögerungen entstehen, werden die Bauteile in unserem Hause für den Zulieferer kostenpflichtig gereinigt und analysiert.

7 Verschmutzungsquellen bei der Fertigung oder Montage von hydraulischen Systemen

Partikuläre Verschmutzung kann über verschiedene Wege in ein Fluidsystem gelangen. In der nachfolgenden Darstellung sind die Hauptschmutzeinbringer dargestellt:

Abb. 26



Einige dieser Verschmutzungsquellen sind sehr einfach und kostengünstig zu beseitigen.

Im **Contamination Management** gilt das Motto:

Was ich in ein System nicht einbringe, muß ich auch nicht herausholen!

7.1 Vermeidung von Schmutzeintrag bei der Fertigung und Montage von hydraulischen Systemen

Bei verschiedenen Prozessschritten in der Fertigung und Montage von hydraulischen Systemen oder deren Komponenten kann der Schmutzeintrag kostengünstig vermieden werden:

Lagerung und Logistik

Beim Lagern und Transportieren der Komponenten und Systeme muss darauf geachtet werden, dass diese verschlossen oder gut verpackt sind. Auch die Transport- und Lagerverpackungen müssen dem Reinheitszustand der einzelnen Komponenten entsprechen.

Montage der Systeme oder Teilsysteme

Die Montage dieser Systeme muss entsprechend den Systemanforderungen erfolgen. Dies bedeutet, dass ggf. der Montagebereich und der Bereich der mechanischen Fertigung räumlich getrennt werden müssen, um ein Verschleppen der Verschmutzung zu vermeiden. Die Montageplätze müssen immer definiert sauber gehalten werden

und die Mitarbeiter in diesen Bereichen ggf. spezielle, fusselfreie Kleidung tragen. Montagehilfsmittel müssen entsprechend gereinigt werden, um auch hier einen Schmutzeintrag zu vermeiden.

Sensibilisierung der Mitarbeiter

Zum Erreichen des Zieles „Definierte Sauberkeit der Komponenten bzw. Systeme“ ist es sehr wichtig die betroffenen Mitarbeiter aller Hierarchieebenen in diesen Prozess mit zu integrieren. Im Ideenreichtum und der Erfahrung der Mitarbeitern – insbesondere der Mitarbeiter am Montageband und in der Fertigung – liegen oftmals viele Einsparungspotentiale verborgen. Erfahrungen haben gezeigt, wenn sich die Mitarbeiter mit der Aufgabenstellung identifizieren, ist die Umsetzung leichter und schneller zu bewerkstelligen.

Umgebung – Reinheit der Luft

In einigen Fällen wird es notwendig sein, einen Reinraumbereich zur Entmontage von sehr schmutzsensiblen Systemen, z. B. Kraftstoffsysteme, Bremsen, Stoßdämpfer, zu errichten. Es ist im Einzelfall zu prüfen, in wieweit dies nötig ist. In vielen Fällen genügt es, die anderen hier beschriebenen Maßnahmen durchzuführen.

7.2

Entfernung von partikulärer Verschmutzung aus hydraulischen Systemen (Praxiserfahrungen) und von Bauteilen

In der Regel erfolgt die Entfernung partikulärer Verschmutzung aus einem hydraulischen System durch Filtration. Je nach Schmutzanfall gibt es verschiedene Filtertypen, die einsetzbar sind.

Bei sehr großen Schmutzmengen (z. B. Waschmaschinen, Bearbeitungsmaschinen) kommen Bandfilteranlagen, oder Beutelfilter zum Einsatz. Diese Filter haben die Aufgabe die Masse der Verschmutzung (oft in kg) aus dem System zu entfernen. Weiterhin werden diese Filtertypen auch als Vorfiltration verwendet.

Diese Grobfilter erfüllen ihre Aufgabe „viel Schmutz aus dem System zu entfernen“ meist sehr gut. Soll allerdings eine immer gleichbleibende definierte hohe Sauberkeit der Systemflüssigkeit sichergestellt werden, muss zusätzlich noch eine Feinfiltration folgen.

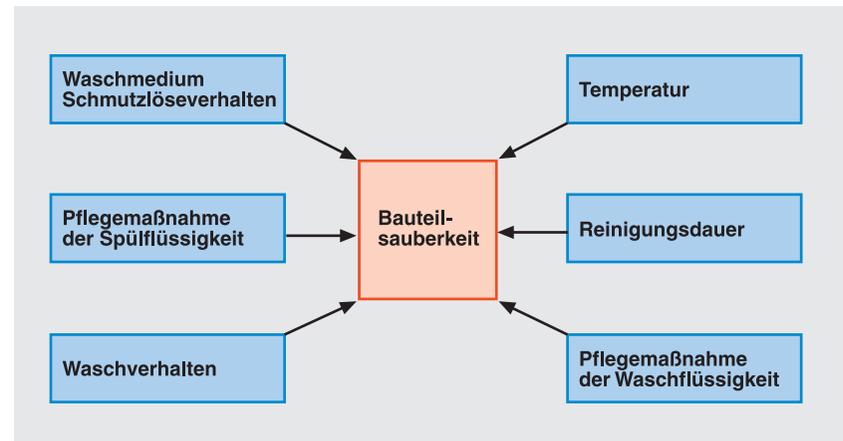
Während die Feinfiltration die Qualität sicherstellt, hat die Grobfiltration die Aufgabe die Quantität der Verschmutzung zu beherrschen.

7.2.1

Reinigungsanlage

Einzelne Bauteile werden in Reinigungsanlagen von anhaftenden Verschmutzungen (Partikel, Reste von Bearbeitungs- oder Konservierungsflüssigkeiten, u.s.w.) befreit. Die Reinigung kann durch verschiedene mechanische Verfahren (z. B. Spritzen, Fluten, Ultraschall) unter Einsatz verschiedenen Reinigungsflüssigkeiten (wässrig oder mit Hilfe von organischen Lösemitteln) erfolgen. Einen entscheidenden Einfluss auf die Reinigungswirkung haben zusätzlich noch die Temperatur und die Dauer der Reinigung. Diese Faktoren müssen optimal aufeinander abgestimmt sein, um einen guten Reinigungseffekt in wirtschaftlicher Zeit zu erzielen.

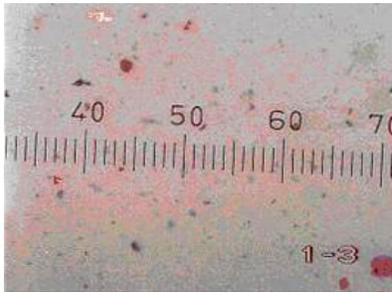
Abb. 27



Verschiedene Untersuchungen von Waschprozessen haben gezeigt, dass einige dieser meist kostenintensiven Prozesse nicht diesen Namen verdienen. Es gibt Stimmen, die einige Waschprozesse als „Partikelverteilungsprozesse“ bezeichnen. Diese „Eigenschaft“ wurde bei Untersuchungen von Bauteilen, die jeweils vor und nach einem Waschprozess entnommen wurden, gefunden.

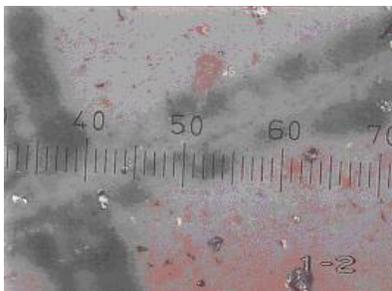
Beispiel: Rohrleitungsspülen nach Biegen

Abb. 28
Mikroskopaufnahme
Analysenmembrane



Rohr wurde gesägt und gewaschen

Abb. 29
Mikroskopaufnahme
Analysenmembrane



Nach dem Sägen und Waschen wird das Rohr gebogen und gespült.

In einem solchen Fall hat man 2 Möglichkeiten zu reagieren:

1. Den Waschprozess abschalten, wenn die Reinheit der Bauteile nach dem Waschen schlechter ist als vor dem Waschen.

Vorteil:
kurzfristige Kosteneinsparung

Die meist sinnvollere Alternative:

2. Optimierung des Prozesses
Bei der Optimierung der Waschprozesse achtet man besonders auf die folgenden Punkte:

Reinheit der Wasch-, Spül- und Konservierungsflüssigkeit

Mechanische Gesichtspunkte (z. B. verstopfte Waschdüsen)

Eignung des Waschprozesses für die zu waschenden Teile

Filtration der Wasch- und Spülflüssigkeit

Beim Kauf von Waschanlagen kann dem Hersteller auch eine Vorgabe der zu erzielenden Bauteilsauberkeit und der maximalen Schmutzbelastung der Waschflüssigkeit in mg/l oder einer Reinheitsklasse gemacht werden.

In der Vergangenheit wurden die Waschanlagen in Fein – bzw. Feinstwaschen unterteilt. Dies war eine sehr ungenaue Definition der zu erbringenden Reinigungsleistung. Heutzutage wird vielfach die zulässige Restschmutzmenge der gereinigten Bauteile definiert.

Die Angabe dieser Restschmutzmengen wird in mg/Bauteil, mg/kg Bauteil, mg/Oberflächeneinheiten oder Partikelkonzentrationen in verschiedenen Größenbereichen angegeben. Des Weiteren werden maximale Größen an Partikeln definiert, die sich auf dem gewaschenen Bauteil befinden dürfen, z. B. max. 3 Partikel > 200 µm, kein Partikel > 400 µm.

Um solche Werte erreichen zu können, müssen die o. g. Parameter der Reinigungsanlage aufeinander abgestimmt sein. Als zusätzliche Faktoren müssen noch Punkte wie Umwelt – und Arbeitsschutz, örtliche Gegebenheiten wie Platz und Energieangebot, und die zu erzielende Durchsatzmenge betrachtet werden.

Einen entscheidenden Einfluss auf die Reinigungsleistung der Waschmaschine hat die Sauberkeit der eingesetzten Wasch- bzw. Spülflüssigkeiten.

Wir beschäftigen uns hier allerdings lediglich mit dem Punkt der Pflegemaßnahmen der Wasch- und der Spülflüssigkeiten.

Als Standardpflegemaßnahmen finden die folgenden Verfahren Anwendung:

Reinigungsverfahren	Feste Verunreinigung	Flüssige, nicht gelöste Verunreinigung (Emulsion)	Flüssige, gelöste Verunreinigung
Filtration			
Bandfilter	X		
Beutel-/Rückspülfilter	X		
Feinstfilter (Kerzen/Scheiben)	X		
Ultrafiltration	X	X	
Destillation	X	X (bei hohen Siedepunktunterschieden)	X
Seperator	X	X (Dichteunterschied)	
Ölabscheider		X	
Koaleser		X	

Bei der Auswahl der o. g. Flüssigkeitspflegemaßnahmen ist auch die Art und Zusammensetzung des Reinigungsmediums mit zu betrachten. Bei der Anwendung der Ultrafiltration ist zu beachten, dass eine Abtrennung der Reinigungssubstanzen im Einzelfall nicht zu vermeiden ist. Des weiteren kann eine Ultrafiltration nur bei vorgereinigten Waschmedien zum Einsatz kommen, da bei Belastung der Trennmembranen mit partikulärer Verschmutzung die Membrane ihre Leistungsfähigkeit verliert.

Filtration als Flüssigkeitspflege zum Abtrennen von partikulärer Verschmutzung

Standardausrüstung zur Flüssigkeitspflege bei Waschanlagen sind heute Beutel- und Rückspülfilter in verschiedenen Feinheitsstufen. Diese Filter eignen sich zwar, große Mengen an Verschmutzung aus einem System zu entfernen, sind jedoch für das Einhalten definierter Reinheitsklassen meist ungeeignet. Durch ihren Aufbau bilden sie keinen großen Widerstand, d. h. der über den Filter aufgebaute Gegendruck ist sehr gering und liegt meist unter 1 bar. Aus diesem Grund wird dieser Filtertyp oft im Hauptstrom bei der Zuführung der Reinigungsflüssigkeit in den Wasch- bzw. Spülraum eingesetzt. Zur Kontrolle der Funktionsfähigkeit sind die Filtergehäuse mit Manometern ausgestattet.

Bei Beutelfiltern besteht die Gefahr, dass z. B. durch Überlastung der Beutel zerstört wird und große Mengen an Verschmutzung freigesetzt werden.

Daher ist es zu empfehlen, zusätzlich Mindestwechselintervalle zu definieren und regelmäßig neben den Standardparametern wie pH-Wert oder Keimzahl auch die Sauberkeit der Waschflüssigkeit zu überprüfen.

Verstärkt werden die Restschmutzwerte der gereinigten Bauteile definiert und als Abnahmekriterium für die Reinigungsanlage festgelegt. Hierbei kommt es dann darauf an, dass diese Werte konstant eingehalten werden. In einem solchen Fall ist es unabdingbar, dass die Qualität der Reinigungsflüssigkeit auf einem hohen und konstanten Level gehalten wird.

Dies kann durch den gezielten Einsatz von Feinfilter mit absoluter und konstanter Abscheiderate erreicht werden. Es kommen hier meist Kerzenfilter oder Scheibenfilter zum Einsatz. Der Vorteil dieser Filtertypen zu Standardhydraulikfilterelementen ist die hohe Schmutzaufnahmekapazität, die diese Filtertypen durch ihre Tiefenwirkung erzielen.

Durch die hohe Abscheiderate an Verschmutzung, die diese Filtertypen aufweisen, entfernen sie sehr viel Verschmutzung aus der Waschflüssigkeit, was zur Folge haben kann, dass diese Filter sehr schnell erschöpft sind und verblocken.

Durch eine Kombination von Filtern, um die Masse der Verschmutzung aus dem System zu entfernen, und den absoluten Feinfiltern kann eine ausreichende Standzeit in Kombination mit einer sehr guten Reinheit der Waschflüssigkeit erreicht werden.

Nachfolgend ist ein Beispiel aus der Praxis beschrieben.

Bei einem namhaften Automobilzulieferer sollten Nockenwellen auf eine definierte Reinheit von 9 mg/Teil gereinigt werden. Die Ausgangssituation stellte sich wie folgt dar:

Technische Daten der vorhandenen Waschmaschine:

Tankvolumen:	80 l
Pumpenleistung:	250 l/Min (Kreispumpe)
Waschmittel:	Ardox 6478 – chemetall
Konzentration:	2,3 – 3 %
Badtemperatur:	ca. 50 °C
Filtration:	Rückspülfilter nach Pumpe, 50 µm Feinheit

Prozessdaten:

Badwechsel:	1 mal pro Woche
Durchsatz:	3.000 – 4.000 Teile/Tag
Waschzyklus:	15 s/Teil

Herausforderung:

- Verschlammung des Tanks
- Qualität nach 2-3 Tagen nicht mehr ausreichend
- Schmutzgehalt der Bauteile schwankt vor der Anlage: 30-50 mg
- Kosten der Reinigung pro Teil nicht höher als 0,008 €
- Kosten der Reinigung dürfen nicht steigen, Qualität muss sich trotzdem verbessern

Zielsetzung der Optimierung der Reinigungsanlage:

Erreichen des Restschmutzwertes von max. 9 mg/Nockenwelle

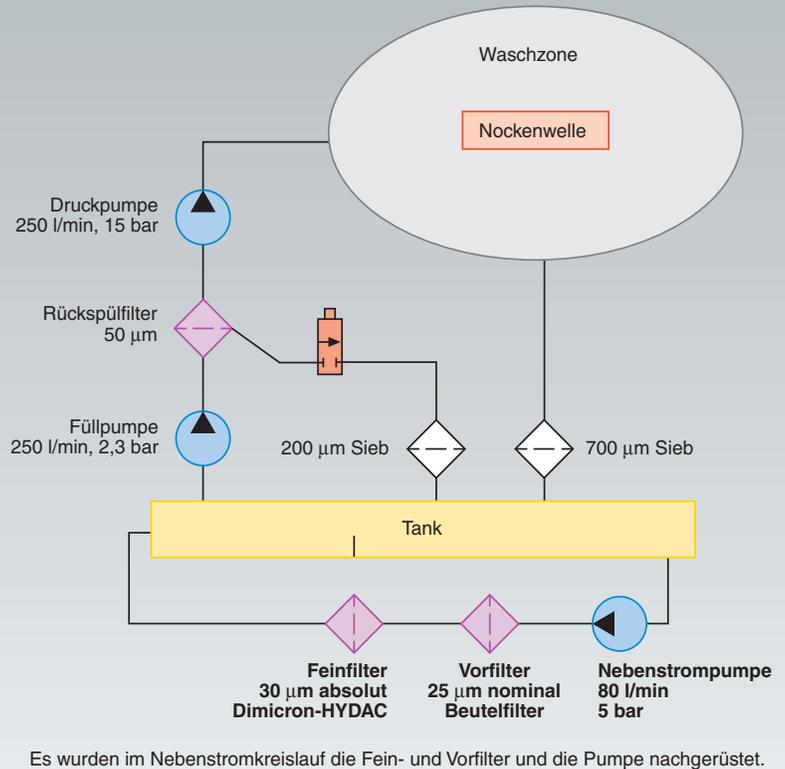
Reinheit der Waschflüssigkeit auf < 30 mg/Liter

Standzeit der Waschflüssigkeit verlängern, d. h. Wechselkosten sparen

Verschlämung des Tanks vermeiden, d. h. Reinigungszeit einsparen

Es sollte prozesssicher eine wartungsarme Reinigungsanlage erhalten werden, die die Nockenwellen auf einen Restschmutzgehalt von 9 mg/Teil abreinigt und dies bei geringen Kosten.

Optimierung einer Nockenwellenreinigungsanlage zum Erreichen definierter Restschmutzvorgaben



Ergebnis der Optimierung

Die Standzeit der Reinigungsflüssigkeit wurde von 1 Woche auf 8 Wochen verlängert. Es kam zu keiner Verschlämung des Tankes mehr. Der Wechsel der Badflüssigkeit wurde aufgrund eines erhöhten Chlorid-Gehaltes nicht aufgrund Verschmutzung durchgeführt.

Die Restschmutzwerte von max. 9 mg/Nockenwelle und max. 30 mg/Liter Badflüssigkeit (bei Verwendung einer 5 µm-Membrane zur Analyse) wurden erreicht und werden konstant auf diesem Level gehalten.

Die Standzeit der preisgünstigen Beutelfilter beträgt 2 Wochen. Die Standzeit der Absolutfilter Dimicron® der Firma HYDAC beträgt 8 Wochen.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

	Investition €	Laufende Kosten €	Einsparung €/Jahr
Nebenstromfiltration	5.000 ,--		
Filtrationskosten		7.500 ,--	
Standzeitverlängerung des Bades			10.000,--
Geringere Nacharbeitskosten			Kosten können nicht beziffert werden.
Ausfallzeit der Waschmaschine d. Reinigung			Kosten können nicht beziffert werden.

Durch die Optimierung der Flüssigkeitspflegemaßnahme dieser Waschanlage wurde eine prozesssichere Qualitätsverbesserung ohne Mehrkosten erreicht, d. h. die Waschkosten bleiben bei 0,008 €/Nockenwelle, wie dies zu Beginn dieses Projektes gefordert wurde.

Dieses Beispiel macht klar, dass im Vorfeld einer solchen Optimierung oder auch bei Neuanlagen sehr genau die Gegebenheiten, wie Sauberkeit der Bauteile VOR der Anlage, Durchsatz, technische Details, Ziele sehr genau bekannt und definiert sein müssen, um einen Erfolg sicherzustellen.

7.2.2 Funktionsprüfung

Durch die Befüllung des Systems oder bei der Funktionsprüfung kommen die meisten Systeme erstmals mit der Betriebsflüssigkeit in Berührung. In diesem Prozess hat man eine große Chance die Endreinheit des Komplettsystems entscheidend zu beeinflussen. Durch eine geeignete Filtration der Befüll- und der Prüfflüssigkeiten kann eine schnelle Verbesserung der Systemreinheit bei der Auslieferung oder Inbetriebnahme der Systeme erreicht werden.

Ebenso wie durch eine Waschmaschine, kann auch die Reinheit der Endprodukte über die Funktionsprüfung gesteuert werden.

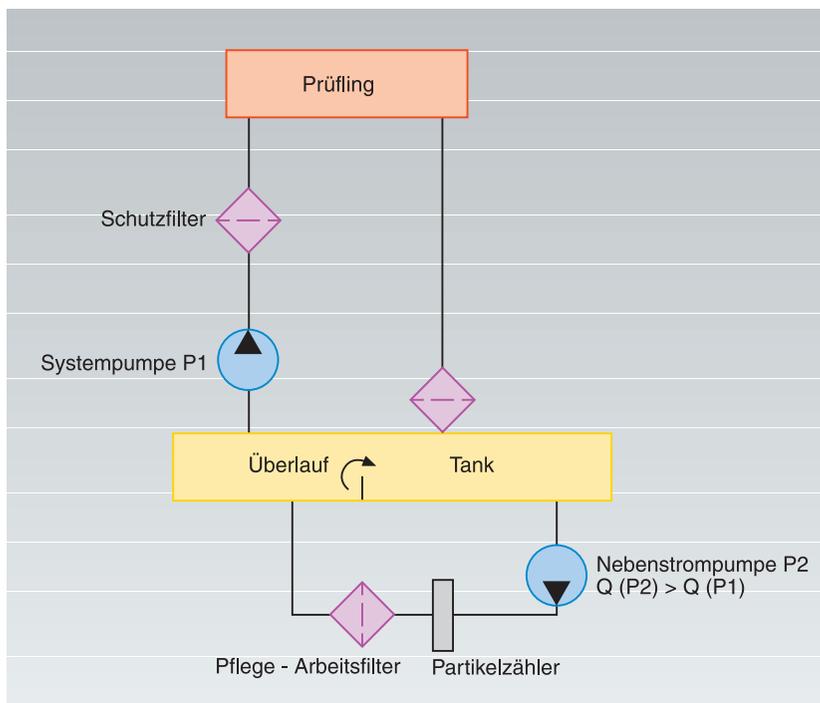
In einigen Firmen gilt das Credo:

„Der Prüfstand ist unsere letzte Waschmaschine.“

Diese Aussage mag sicherlich stimmen, erweist sich in der Praxis aber als ein teures Verfahren. Bei der Durchführung von Prozesssicherungsmaßnahmen zur Auslieferung von definiert sauberen Systemen ist dies jedoch der erste Ansatzpunkt.

Die nachfolgende Skizze zeigt den prinzipiellen Grundaufbau der meisten Prüfstände.

Abb. 31



Auf einem Funktionsprüfstand erfolgt neben der Funktionsprüfung auch das Einlaufen der Teile und Systeme. Als Nebeneffekt tritt oft noch ein Spüleffekt des zu prüfenden Systems auf. Dieser Spüleffekt kann durch eine gezielte Flüssigkeitspflegemaßnahme und Reinheitsüberwachung genutzt werden, um sicherzustellen, dass die Systeme bei der Auslieferung einen definierten und immer konstanten Reinheitszustand haben.

Die Reinheitsüberwachung gibt eine Aussage über die Prozessstabilität der vorgelagerten Fertigungs- und Reinigungsschritte. Oft wird durch eine kontinuierliche Überwachung der Reinheit der Prüfflüssigkeit die Sauberkeit der ausgelieferten Komplettsysteme dokumentiert. Dieser Weg wird in der Mobilhydraulik, bei Turbinen oder Papiermaschinen bei der Auslieferung, bzw. bei der Inbetriebnahme praktiziert, um dem Endkunden zu zeigen, dass sein System mit der festgelegten Sauberkeit ausgeliefert wurde.

1. Beispiel:

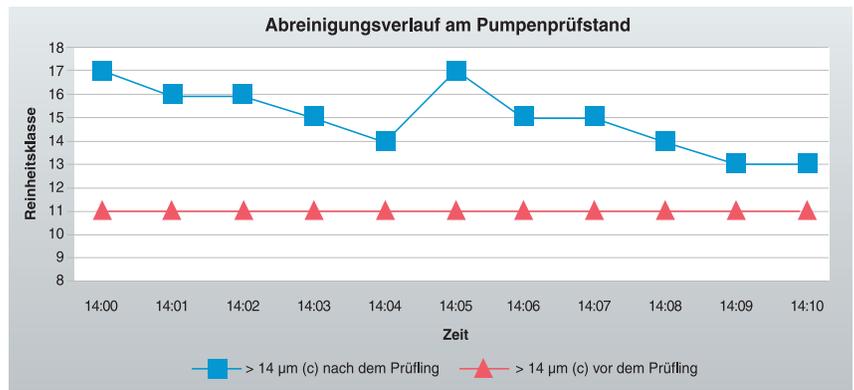
Die nachfolgende Untersuchung zeigt einen Abreinigungsverlauf einer Pumpe bei der Inbetriebnahme*:

Die Reinheit der Prüflüssigkeit vor dem Prüfling wird auf einer Reinheitsklasse von 16 / 14 / 11 (c) durch geeignete Maßnahmen gehalten. Nach 5 Minuten Prüfung wird das Fördervolumen der Pumpe kurzfristig auf den Maximalwert erhöht. Nach 10 Minuten ist der Prüflauf abgeschlossen.

In diesem Fall betrug der Schmutzgehalt des Prüflings nach Abschluss des Prüflaufes 1 mg pro kg Bauteilgewicht.

* Kapitel 4 "Analyse der Reinheit von Komplettsystemen auf dem Spülprüfstand"

Abb. 32



Wie aus der obigen Darstellung zu sehen ist, sinkt die Partikelkonzentration in den ersten 4 Minuten des Prüflaufes kontinuierlich ab. Als nach 5 Minuten die Pumpe auf Vollast gefahren wird, steigt die Partikelkonzentration sprunghaft an. Die nächsten 5 Minuten werden wiederum zum Abreinigen des Systems verwendet.

Siehe auch Kap. 4.5 „Durchführung einer Reinheitsuntersuchung auf einem Spülstand“ zu finden ist. Der dort beschriebene Spül-Prüfstand diente als Versuchsobjekt, um die optimale Spülzeit bei der Funktionsprüfung der Pumpen zu ermitteln.

Abb. 33

Beispiel: Ventilprüfstand mit einer 5 µm-Filtration

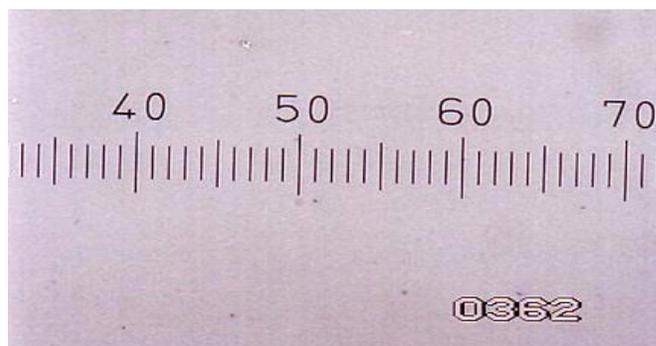


Hier stellt sich nun die Frage: "Wie sauber sind die Ventile, die diesen Prüfstand verlassen?"

Durch eine gelegentliche Zerlegung der Ventile in definiert sauberer Umgebung und Schmutzbewertung der Einzelteile kann die Spülprozedur überwacht werden.

Abb. 34

Die erreichte Reinheitsklasse der Prüflüssigkeit: NAS 3



7.3 Lagerung, Logistik und Umgebung

Leider ist heutzutage eine unsachgemäße Lagerung von Bauteilen an der Tagesordnung. Dichtungen, die sauber und in Tüten verpackt an die Montagelinie geliefert werden, werden ausgepackt und meist in schmutzige Behälter umgefüllt, da sich hierdurch der Montageaufwand verringert. Diese Gesichtspunkte werden meist vernachlässigt und ein sehr großes Einsparungspotential, das durch eine verbesserte Verpackung und Lagerung einfach zu nutzen ist, übersehen.

7.4 Zulieferteile und Eigenfertigungsteile

Durch geeignete Reinheitsspezifikationen für interne, wie auch externe Zulieferteile, kann schon im Vorfeld der Partikeleintrag in Systeme minimiert werden.

8 Inbetriebnahmespülung

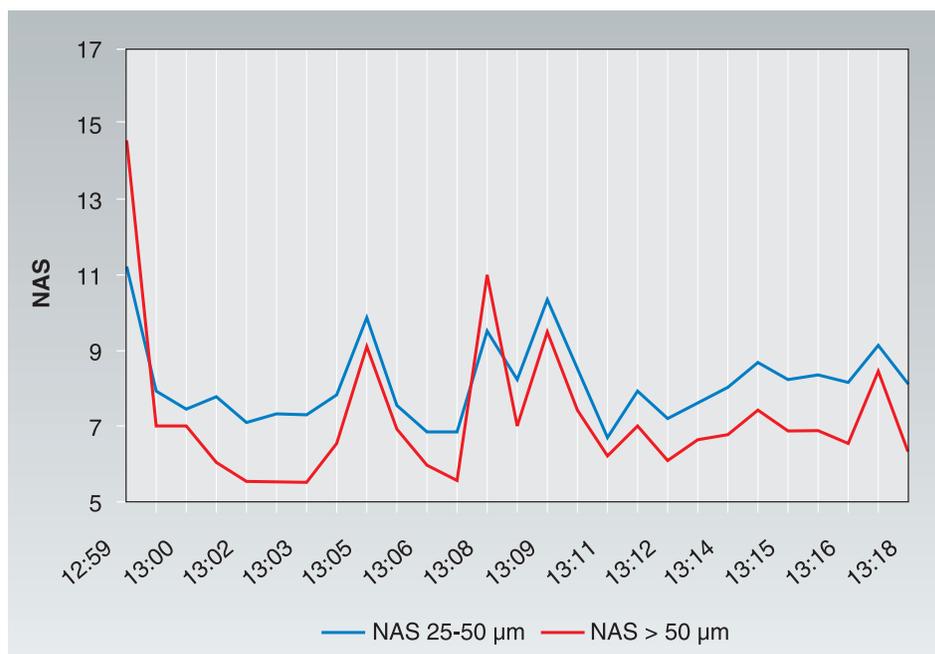
Dieses Verfahren wird meist bei großen Systemen gewählt, um die Inbetriebnahme verschleißarm steuern zu können.

Die Filtration des Spülstandes muss so ausgelegt sein, dass bei der weiteren Analyse die aus dem zu untersuchenden System herausgespülte Verschmutzung entfernt und die weitere Messung nicht verfälscht wird. Alternativ kann auch während der gesamten Messung die Reinheit vor dem Prüfling mit gemessen und geschrieben werden.

Im nachfolgenden Beispiel wurde die Probenentnahmestelle direkt nach der Hauptpumpe definiert und ein Online-Partikelzähler angeschlossen.

Untersuchung des Hydrauliksystems eines Mobilkrans

Abb. 35



Nach 6, 8 und 10 Minuten wurde jeweils der Ausleger ausgefahren. Es ist hier klar zu sehen, dass bei jedem Zuschalten eines neuen Bereiches sedimentierte Verschmutzung herausgespült wurde.

Wenn dieser Verlauf für ein System bekannt ist, kann die Sauberkeitsprüfung am Ende der Funktionsprüfung durchgeführt werden und somit die Reinheit des Systems nach der Inbetriebnahme beschreiben.

Auf diese Art und Weise kann eine schnelle und sichere Prozesskontrolle bei der Serienprüfung/ Inbetriebnahme von Systemen erfolgen. Der zeitliche Abreinigungsverlauf gibt Hinweise zum Schmutzeintrag bei der Montage.

9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Kernpunkte des Contamination Managements sind Kosten- und Erfolgskontrolle. Bei dieser Kostenkontrolle werden folgende Kosten mit einbezogen:

Garantie- und Kulanzkosten

Energiekosten (z. B. Abkühlen und Wiederaufheizen von Waschmaschinen bei Flüssigkeitswechsel)

Prüfstandskosten (Zeit des Prüflings)

Kosten von Werkzeugen bei Bearbeitungsmaschinen (erhöhter Verschleiß durch hohe Partikelkonzentration)

Fluidkosten (Waschmaschinen, Prüfstände, Bearbeitungsmaschinen)

Arbeitszeitkosten (Nacharbeit, Reinigung von Waschmaschinen, Bearbeitungsmaschinen...)

Filterkosten

Die nachfolgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beschreibt anhand eines Beispiels den Erfolg eines Contamination Managements.

In dem vorliegenden Fall – einer Fertigungslinie in der Automobilindustrie – werden pro Tag 3.000 Systeme gefertigt. Es wird 260 Tage pro Jahr produziert. Bei einem Contamination Monitoring wurde festgestellt, dass die Sauberkeit der Flüssigkeit des Funktionsprüfstandes, Lagerbedingungen bei der Zwischenlagerung und ein Bearbeitungsprozess optimiert werden müssen. Die Kosten für diese Optimierung lagen bei:

Als weiterer Schritt wurde eine Reinheitsvorschrift an die Zulieferer weitergegeben, die eingewiesen und periodisch überwacht werden.

Die Effekte dieser Optimierungen waren:

Geringere Abnutzung der Werkzeuge beim Bearbeiten der Oberflächen.

Längere Standzeiten der Bearbeitungsflüssigkeit.

Erhöhte Effektivität der anschließenden Waschprozesse, da weniger Verschmutzung eingetragen wurde durch optimierte Lagerung und Bearbeitung.

Verlängerte Wechselintervalle der Wasch- und Spülflüssigkeiten, dadurch Einsparung von „Samstagsschichten“.

Weniger Ausfälle an den Prüfständen, d. h. bei Kennlinienabweichungen wird dieses System bis zu 3 mal geprüft. Diese „Nullrunden“ wurden um 90 % vermindert und somit die Produktivität gesteigert.

Verminderung der Garantie- und Kulanzkosten um 50 %, da die Hauptursache für Ausfälle die partikuläre Verschmutzung darstellte, die zu Undichtigkeiten und ungenaue Regelung des Systems führten.

Verkürzung der Prüfstandszeit.

Leider wurden uns die Einzeldaten dieser Einsparungen nicht zur Veröffentlichung freigegeben. Anhand einer kundeninternen Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde eine Einsparung pro System von 0,60 € erzielt.

Wird dies auf die Jahresproduktion von 780.000 Systemen umgelegt, so entsteht eine Einsparung von:

468.000,-- €

Es wurden bei dieser Wirtschaftlichkeitsberechnung auch die Kosten für das Contamination Management (Seminare, Beratungskosten, Analysenkosten) mit als Ausgaben einberechnet.

	Einmalige Investition [€]	Laufende Kosten / Jahr [€]
Funktionsprüfstände (5 Stk.)	6.500,-- * 5 = 32.500,--	7.500,-- * 5 = 35.000,--
Lagerbedingungen Abdeckungen für die Paletten Waschmaschine für die Reinigung der Paletten	2.500,-- 50.000,--	25.000,--
Bearbeitungsprozess Manpower/Reinigung Filtration	750,-- * 7 = 5.250,-- 1.250,-- * 7 = 8.750,--	2.000,-- * 7 = 14.000,--
Beratungskosten	10.000,--	1.750,--
Summe:	109.000,--	75.750,--

10 Contamination Management in der Praxis

In den vorangegangenen Kapiteln wurde darauf eingegangen, welche Auswirkungen partikuläre Verschmutzung auf die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit hydraulischer Systeme hat, wie man Sauberkeiten in Flüssigkeiten, bzw. auf Bauteilen spezifiziert und wie ein Contamination Monitoring durchgeführt wird.

Aus der Anwendung des Contamination Managements ergeben sich folgende Aufgaben für die Vertragspartner:

Zulieferer:

Sicherstellen des definierten Auslieferungszustandes der Produkte.

Verpackung der zu liefernden Produkte so wählen, dass keine zusätzliche Verschmutzung während des Transportes und der Lagerung auf die Produkte gelangen kann.

Systemhersteller:

Umsichtiges Transportieren, Lagern und Entpacken der Produkte.

Produkte nach dem Entpacken, bzw. dem Entfernen von Verschlüssen sauber halten.

Montieren der Komponenten in einer geeigneten Umgebung.

Anhand eines Beispiels wird nachfolgend beschrieben, wie diese Einzelteile in einem Contamination Management verknüpft werden können.

Beschreibung der Gegebenheiten:

Das System X wird seit Jahren erfolgreich produziert und vermarktet. Während der letzten Jahre wurde das System X weiterentwickelt und eine neue Generation, das System Y geschaffen. Y hat bessere Leistungsdaten, ist etwas kleiner gebaut als X und arbeitet bei höheren Systemdrücken als X. Hieraus ergibt sich, dass System Y etwas empfindlicher gegen partikuläre Verschmutzung geworden ist.

Dies äußert sich dadurch, dass es bei der Funktionsprüfung zu erhöhten Kennlinienabweichungen kommt. Wird Y ein zweites oder drittes Mal über den Prüfstand geschickt, tritt diese Abweichung nicht mehr auf.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Störungen durch grobe partikuläre Verschmutzung entstehen.

Ziel des Contamination Managements ist es nun, den Sauberkeitsgrad so zu verbessern, dass diese Störungen auf dem Prüfstand nicht mehr auftreten und die entstehenden Garantie- und Kulanzkosten gesenkt werden.

1. Schritt: Analyse der Prüfflüssigkeit

Die Reinheit der Prüfflüssigkeit wird ermittelt. Die Untersuchungen zeigen, dass die Reinheit der Prüfflüssigkeit vor dem Prüfling eine Reinheitsklasse von 22 / 20 / 18 nach ISO 4406 beträgt, der größte metallische Partikel bei 400 µm und die größte Faser bei 3.000 µm liegt.

2. Schritt: Optimierung des Funktionsprüfstandes

Durch zusätzliche Integration einer Feinfiltration im Nebenstrom, die eine konstante Reinheit der Prüfflüssigkeit von 15 / 13 / 10 hält, können 95 % der Kennlinienabweichungen vermieden werden.

Diese Feuerwehraction hat zur Folge, dass auch die Garantie- und Kulanzansprüche sinken.

3. Schritt: Filterkosten an den Prüfständen senken

Durch ein anschließendes Contamination Monitoring kann z.B. herausgefunden werden, dass in den Fertigungsprozessen und durch Zulieferteile ein hoher Anteil an partikulärer Verschmutzung in das System eingetragen wird. Diese partikuläre Verschmutzung muss am Funktionsprüfstand, der hier die Funktion der letzten Waschmaschine mit erfüllt, aus dem System entfernt werden. Dies generiert vermeidbare Kosten.

Es wird ein Konzept ausgearbeitet, wonach Waschprozesse, Bearbeitungsprozesse und die Zwischenlagerung optimiert werden. Es wird eine Reinheitsspezifikation mit Prüfplan für die Systemflüssigkeiten und die Bauteile erstellt. Diese Spezifikation wird an die externen sowie die internen Zulieferanten weitergegeben und die Komponenten mit einer fest definierten und konstanten Sauberkeit angeliefert.

4. Einbindung der Partikelmess-technik in die Qualitätssicherung

Zur regelmäßigen Qualitätskontrolle der Auslieferqualität der Systeme Y wird ein Partikelsensor in den Funktionsprüfstand integriert. Es wird ein Grenzwert für die maximale Verschmutzung der Prüfflüssigkeit im Rücklauf definiert. Bei Überschreitung dieses Wertes kann sehr schnell eingegriffen und sichergestellt werden, dass keine verschmutzten Systeme das Werk verlassen.

Die Zulieferqualität wird stichprobenartig überprüft und ggf. die zugelieferten Bauteile an den Lieferanten zurückgeschickt oder im Werk für den Zulieferer kostenpflichtig gewaschen.

5. Schritt: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zu Beginn des Contamination Managements wurden die durch die erhöhten Störungen an den Prüfständen erzeugten Kosten und die Garantie- und Kulanzkosten erfasst.

Diese Kosten werden nach den Optimierungsschritten wieder erfasst und gegenübergestellt.

Die durch die Optimierung erzielten Einsparungen sind in Kapitel „Wirtschaftlichkeitsbetrachtung“ kurz dargestellt.

Die Kostenersparnis im vorliegenden Fall lag bei ca. 468.000,- €/Jahr. Die Dauer dieses Optimierungsprozesses betrug ca. 2 Jahre.

6. Dokumentation und Neuprojekte

Die durch das Contamination Management erhaltenen Erkenntnisse werden in einer Datenbank gesammelt und bei der Entwicklung von neuen Systemen verwendet.

Bei Neusystemen wird es zum Standard, dass neben den Bemaßungen, Oberflächengüten und Toleranzen auch eine maximale Restschmutzmenge definiert wird. Diese Restschmutzmenge orientiert sich zunächst an der Spezifikation, die für das System Y gilt.

Mit der Erfahrung der Prototypen wird die Spezifikation angepasst. Die Sauberkeit und Kosten der Reinigung werden hauptsächlich von der Konstruktion von Neusystemen bestimmt.

Literaturnachweis

- (1) H. Werries, „Einfluss von Fremdpartikeln in Wälzlagern und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung“, Universität Hannover 1992
- (2) R.W. Park, Moog Australia Pty Ltd. , „Contamination Control – a hydraulic OEM Perspective“, Monash University- Australia, 1997
- (3) Fluid Power University of Bath, GB “Total Cleanliness Control in Hydraulic Systems”
- (4) ISO 4405:1991 Hydraulik fluid power – Fluid contamination – Determination of particulate contamination by the gravimetric method
- (5) ISO 4406:1999 Hydraulik fluid power – fluids – Code for defining the level of contamination of solid particles
- (6) ISO 4406:1987 Hydraulik fluid power – Fluids – Methods for coding level of contamination by solid particles
- (7) CETOP – RP 94 H – Bestimmung von Feststoff-Teilchen in Hydraulikflüssigkeiten mit Hilfe eines automatischen Teilchenzählgerätes, das nach dem Lichtunterbrechungsprinzip arbeitet.
- (8) ISO 4407:1991 Hydraulic fluid power – Fluid contamination – Determination of particulate contamination by the counting method using a microscope
- (9) ISO 11171:1999 Hydraulic fluid power – Calibration of liquid automatic particle counters
- (10) ISO 4402:1991 Hydraulic fluid power – Calibration of automatic-count instruments for particles suspended in liquids – Method using classified AC Fine Test Dust contaminant.
- (11) NAS 1638: Cleanliness requirements of parts used in hydraulic systems
- (12) Acdelco – Steering- USA, “Remanufacturing Process – Cleanliness”, www.acdelco.com, 2001
- (13) Hydac, Filter-Fluidtechnik, Neuer Teststaub, neue Kalibrierung, neue Filtertestmethoden – Auswirkungen in der Praxis“, 1999

(14) Universität Würzburg
Vorlesung Strömungstechnik

(15) Nancy Carosso, NASA – USA ,
Contamination Engineering Design,
www.de.ksc.nasa.gov/dedev/labs/cml_lab/CONTMON_DESIGN.html
#1.1

Autoren

HYDAC Filtertechnik,
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Busch

Dipl.-Ing. Elke Fischer
eficon, Bensheim