

Reinheitsklassen von Schmierölen

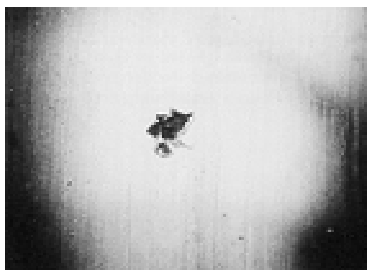
Was ist mit Reinheitsklasse gemeint?

Bei der Schadensanalyse an Hydraulik- und Schmieranlagen wird meistens eine Beschädigung der eingesetzten Komponenten, verursacht durch harte und in hoher Konzentration auftretende Feststoffpartikel im Betriebsmedium, als Ursache diagnostiziert.

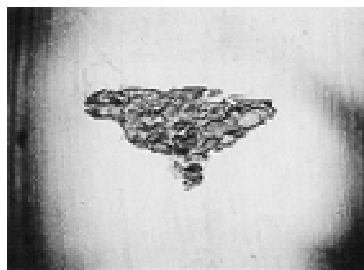
Die allgemeine Beurteilung der Gesamtanlage in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit, geringe Wartungskosten und hohe Maschinenverfügbarkeit wird durch den Einsatz hochwertiger Komponenten, wie z. B. Ventile, Regelpumpen, Schmier- und Hydraulikmedien, beeinflusst.

Werden diese, meist teureren, Komponenten durch die Feststoffverschmutzung in den Hydraulik- und Schmiermedien beschädigt, treten Anlagenstörungen bis hin zum unverhofften, plötzlichen, nicht vorhersehbaren Anlagenstillstand auf.

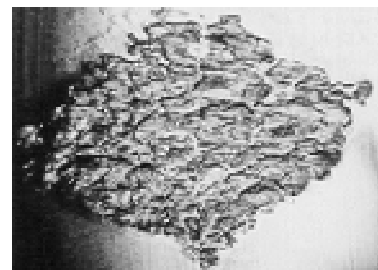
Typischer Wälzlagerschaden durch zu hohe Verschmutzung des Öles:



**zur Zeit der
Erkennung**



**nach weiteren
ca. 1000 Stunden**

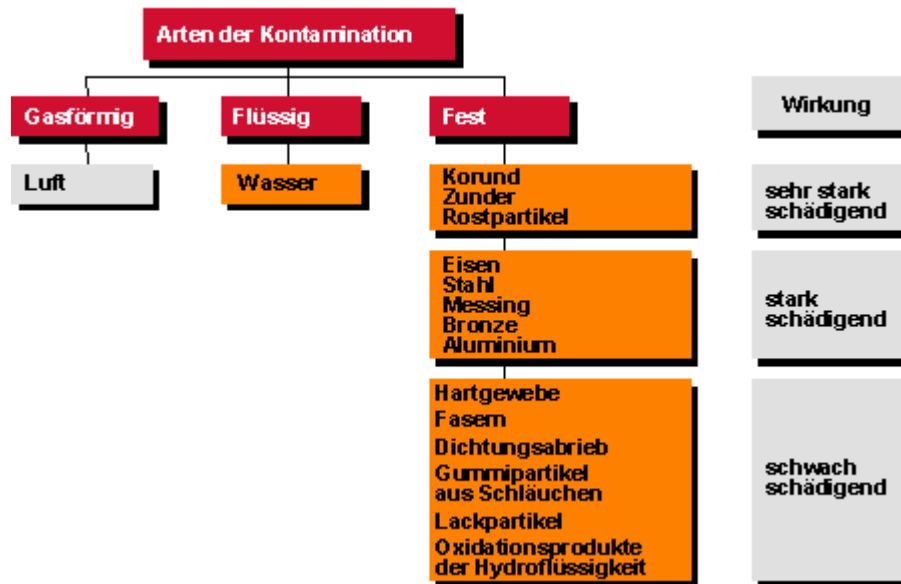


**nach weiteren
ca. 1200 Stunden**

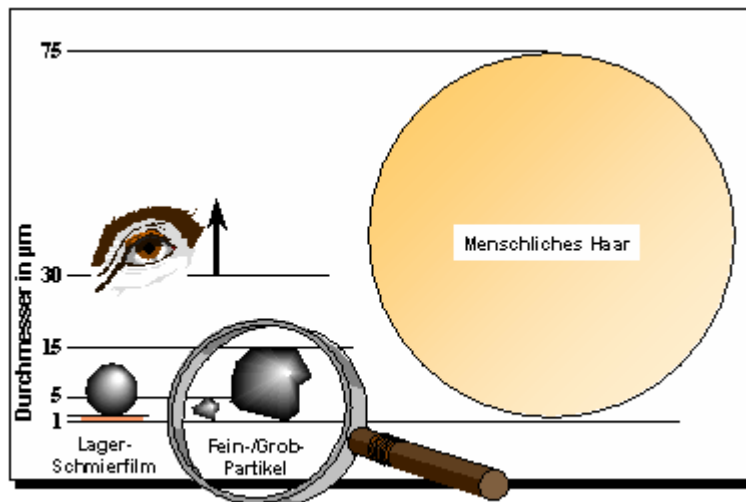
Die Intensität der Komponentenbeschädigung durch die Feststoffverschmutzung im Schmier- und Hydrauliköl ist abhängig von

- Material der Verschmutzung (je härter die Partikel sind, desto größer ist die Komponentenbeschädigung)
- Betriebsüberdruck (je höher der Betriebsüberdruck, desto stärker werden die Feststoffpartikel in den Schmierpalt gedrückt)

Art und Wirkung der Verschmutzung im Öl:



Größenverhältnisse der Partikel:



Der Ausfall von Hydraulik- und Schmierkomponenten ist meistens auf folgende Ursachen zurück zu führen:

- Grobe Partikel ($> 15 \mu\text{m}$): Plötzlicher Komponentenausfall
- Feinverschmutzung ($5-15 \mu\text{m}$): Komponentenverschleiß, Leckagen, Ventilverblockungen
- Feinstverschmutzung ($< 2-5 \mu\text{m}$): Schlammansammlung im Öl, Schnellere Ölalterung
- Wasser in Öl: Korrosion, Verschleiß, schnellere Ölalterung

Durch den Einsatz von hochwertigen Filtern mit Elementen, die

- im Multipass-Test nach ISO 16889 ermittelte Partikelabscheidung über einen breiten Partikelgrößenbereich ausweisen
- eine hohe Schmutzaufnahme haben
- eine geringe Druckdifferenz am Filterelement und Gehäuse
- eine hohe Kollaps-Berstdruck-Festigkeit
- eine hohe dynamische Druck- und Volumenstrom-Pulsationsfertigkeit garantieren

wird die Konzentration der Feststoffverschmutzung in Schmier- und Hydraulikmedien merklich reduziert, mit dem Ziel einen vorzeitigen Komponentenausfall zu verhindern. Eine geringe Feststoffkonzentration in den einzelnen Partikelgrößen bei den Schmier- und Hydraulikmedien ist die Voraussetzung, dass die Gesamtanlage wirtschaftlich und zuverlässig betrieben werden kann.

Die im Hydrauliksystem vorhandenen Feststoffe können durch

- Wiegen des im Betriebsmedium vorhandenen Schmutzes
- Zählen der im Betriebsmedium vorhandenen Partikel
- optische Auswertung des auf einer Filtrationsscheibe abgelagerten Schmutzes

ermittelt werden.

Messverfahren für Feststoffverschmutzung

Wiegen der Schmutzmenge: Bei der gravimetrischen Analyse wird der Schmutz gewogen und in mg/l angegeben. Dieses Messverfahren wird heute nur noch bei extrem hohen Flüssigkeitsverschmutzungen angewandt. Bei dieser Analysemethode wird das zu analysierende Betriebsmedium über eine Filtermembrane mit einer Porengröße von $0,8 \mu\text{m}$ geleitet. Das Gewicht der auf der Membrane abgelagerten Schmutzmenge wird mit Feinmesswaagen ermittelt.

Zählen der Feststoffpartikel: Bei der für die Beurteilung der Feststoffverschmutzung des Betriebsmediums wichtigeren Zählung der im Öl vorhandenen Schmutzpartikel stehen zwei Messverfahren zur Verfügung:

- Mikroskopische Analyse
- Elektronische Analyse

Bei der **mikroskopischen Analyse** wird ebenfalls der im Betriebsmedium vorhandene Schmutz mittels einer Filterscheibe mit einer Porengröße von $0,8\ \mu\text{m}$ ausgefiltert. Der auf der Filterscheibe abgelagerte Schmutz wird nun mikroskopisch untersucht. Dabei werden die Anzahl, die Größe und der Werkstoff der auf der Filterscheibe vorhandenen Schmutzpartikel bestimmt. Da diese Analyseverfahren sehr aufwendig ist und ein sehr großes Fachwissen des Analysepersonals erfordert, wird dieses Verfahren heute nur noch zur Bestimmung des Partikelwerkstoffs verwendet. Häufig wird dann über Vergleichsmonitore der Verschmutzungsgrad der Flüssigkeit bestimmt.

Bei der **elektronischen Analyse** werden nur Größe und Anzahl der im Betriebsmedium enthaltenen Feststoffe bestimmt. Der Werkstoff, aus dem die Partikel sind, kann nicht ermittelt werden. Diese Analyseverfahren ist sehr einfach durchzuführen und das Ergebnis liegt sofort nach Abschluss der Untersuchung vor.

Außerdem kann diese Analyseverfahren im On-Line-Verfahren, also direkt an der zu untersuchenden Anlage und Off-Line-Verfahren im Fachlabor angewandt werden. Herzstück dieser Analysegeräte stellt der Partikelsensor dar. Eine Laserdioden sendet ein monochromatisches Licht (nur eine Wellenlänge) aus, das in einer Photodiode wieder aufgefangen wird und von dieser in elektrische Energie umgewandelt wird. Gelangt nun ein Feststoffpartikel in diese „Lichtschanke“, wird an der Photodiode eine, der Oberfläche des Partikels entsprechende, geringere Lichtmenge aufgefangen und ein Abfall der in der Diode erzeugten elektrische Spannung ist die Folge. Die Messgrenzen der elektronischen Messgeräte sind:

- Zu hohe Verschmutzung: Wird eine Partikelanzahl von ca. 1,3 Mio überschritten, ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß sich mehrere Partikel in der Lichtschanke befinden und somit als ein großer Partikel gemessen werden.
- Mehrere Partikel: werden als ein Partikel gemessen. Dies wird meist verursacht durch statische elektrische Anziehungskräfte oder durch Additive im Öl. Bei Labormessung wird dies durch Schütteln der Ölprobe und anschließender Weiterbehandlung durch Ultraschall verhindert.
- Freies Wasser und Luftblasen: verfälschen das Meßergebnis. Da diese Verunreinigungen meist als große Partikel dargestellt werden, sind diese bei der On-Line-Messung leicht zu annullieren. Wegen des hohen Wassergehaltes bei HFA, HFB, HFC und wäßrigen Kühlemulsionen ist eine Partikelanalyse mit elektronischen Partikelzählern grundsätzlich nicht möglich.
- Dunkle Druckflüssigkeit: Der Lichtstrahl kann die Flüssigkeitssäule in der Meßstrecke nicht durchdringen und somit keine Partikel erkennen.

Klassifizierung der Feststoffverschmutzung

Die Klassifizierung der Feststoffverschmutzung in Schmier- und Hydraulikflüssigkeiten erfolgt durch die Reinheitsklasse nach ISO 4406/1999. Bei diesem Verfahren werden zur Definition der Ölrinheitsklasse die Feststoffpartikel gezählt, die in 100 ml Flüssigkeit vorhanden sind. Zur Bildung der Ölrinheitsklasse werden die gezählten Partikel nach Größe und Anzahl geordnet und in die von der Klasse vorgegebenen Partikelbereiche eingeteilt.

Reinheitsklasse nach ISO 4406/1999

Bei dieser international gültigen Reinheitsklasse, die 1999 neu überarbeitet wurde, werden die im System gezählten Partikel nur in zwei bzw. drei Größenbereiche eingeteilt:

Bei Partikelzählung mit dem elektronischen Partikelzähler

- Größer 4 µm
- Größer 6 µm
- Größer 14 µm

Bei der Partikelanzählung mit dem Mikroskop werden die Partikel in die Größe

- Größer 5 µ
- Größer 15 µm

Bei der Klassifizierung nach ISO 4406/1999 werden die gezählten Partikel den Partikelgrößenbereichen zugeordnet. Der ISO-Code gibt die max. Partikelanzahl an. Dieser Code wird für jeden Partikelgrößenbereich neu bestimmt. Die mit elektronischen Partikelzählern ermittelte Reinheitsklasse des Öles wird somit durch eine dreiteilige Zahlenkombination angegeben, z. B. 21/18/15.

> 4 µm			> 6 µm			> 14 µm		
ISO Code	Partikelanzahl/ 100 ml		ISO Code	Partikelanzahl/ 100 ml		ISO Code	Partikelanzahl/ 100 ml	
(nach ISO 4406)	von	bis	(nach ISO 4406)	von	bis	(nach ISO 4406)	von	bis
10	500	1000	10	500	1000	10	500	1000
11	1000	2000	11	1000	2000	11	1000	2000
12	2000	4000	12	2000	4000	12	2000	4000
13	4000	8000	13	4000	8000	13	4000	8000
14	8000	16000	14	8000	16000	14	8000	16000
15	16000	32000	15	16000	32000	15	16000	32000
16	32000	64000	16	32000	64000	16	32000	64000
17	64000	130000	17	64000	130000	17	64000	130000
18	130000	260000	18	130000	260000	18	130000	260000
19	260000	500000	19	260000	500000	19	260000	500000
20	500000	1000000	20	500000	1000000	20	500000	1000000
21	1000000	2000000	21	1000000	2000000	21	1000000	2000000
22	2000000	4000000	22	2000000	4000000	22	2000000	4000000
23	4000000	8000000	23	4000000	8000000	23	4000000	8000000

Im Zuge der Einführung der neuen ISO-Normen und Testverfahren ist die bisherige NAS-Klassifizierung überholt. Sie wird ersetzt durch die SAE AS 4059: 2001. Anders als in den NAS 1638 wird kein Partikelgrößenspektrum (z. B. 2-5 µm, usw.) abgefragt, sondern wie in ISO 4406 die Schnellwerte (<4, <6, <14, <21, <38, <70µm).

Die neue SAE AS 4059: 2001 hat somit exakt den gleichen Aussagegehalt wie ISO 4406 und gibt zusätzliche Information über die Verteilung bei größeren Partikeln.

Arbeitsweise mit der ISO 4406/99:

Verschmutzungsklassen nach ISO 4406/99

Ermittelt mit...

...elektronischem Partikelzähler

21 / 18 / 15

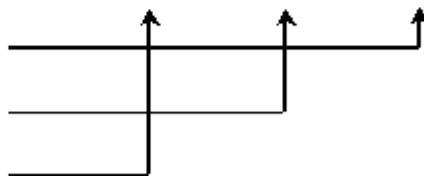
>4 µm >6 µm >14 µm

...mikroskopischer Auszählung

- / 18 / 15

>5 µm >15 µm

ISO-Code (nach ISO 4406)	Partikelanzahl / 100ml	
	von	bis
0	0,5	1
1	1	2
2	2	4
3	4	8
4	8	16
5	16	32
6	32	64
7	64	130
8	130	250
9	250	500
10	500	1000
11	1000	2000
12	2000	4000
13	4000	8000
14	8000	16000
15	16000	32000
16	32000	64000
17	64000	130000
18	130000	260000
19	260000	500000
20	500000	1000000
21	1000000	2000000
22	2000000	4000000
23	4000000	8000000
24	8000000	16000000
25	16000000	32000000
26	32000000	64000000
27	64000000	130000000
28	130000000	260000000



Bewertung der Feststoffverschmutzung

Grundlage bei der Bewertung der ermittelten Feststoffverschmutzung in Hydraulik- oder Schmierölen sind jahrelange Untersuchungen der Schadensbilder von ausgefallenen Komponenten bzw. Oberflächenstrukturen von Komponenten mit einer langen Laufleistung im Rahmen von Revisionsarbeiten. Dabei muss zusätzlich beachtet werden, dass hohe Betriebsüberdrücke, Systeme mit hohem Volumenstrom und/oder Druckpulsation die Komponenten zusätzlich belasten. Eine Reduktion der Ölreinheitsklasse um mindestens eine Klasse ist zu empfehlen. Ebenfalls sollte bei der Bewertung der ermittelten bzw. für einen störungsfreien Betrieb notwendigen Reinheitsklasse die Aufgabe der Maschine mit in die Überlegungen einbezogen werden. Handelt es sich um eine Maschine, die eine Schlüsselposition im Fertigungsablauf einnimmt, sollte die Reinheitsklasse ebenfalls um mindestens eine Klasse reduziert werden. Von den meisten Komponentenherstellern sind Mindestanforderungen an die Feststoffverschmutzung im Hydraulik- und Schmieröl definiert.

Schmierstoff-Reinheitsklasse in Schmiersystemen bei Getrieben:

Ölprobe entnommen aus:	Geforderte Öleinheitsklasse
Öl, das dem Getriebe an beliebiger Stelle hinzugefügt wurde	16/14/11
Öl vom Getriebe, nach dem Prüfstandslauf beim Getriebehersteller	17/15/12
Öl vom Getriebe nach 24 bis 72 Stunden Betrieb nach der Inbetriebnahme der Windenergieanlage (nur bei Getrieben mit Druckumlaufschmierung)	17/15/12
Öl vom Getriebe, entnommen gemäß Bedienungs- und Wartungsanweisung (nur bei Getrieben mit Druckumlaufschmierung)	18/16/13

Reinheitsklassenanforderungen von typischen Hydraulikkomponenten

Die in Schmier- und Hydrauliksystemen eingesetzten Filter haben die Aufgabe, die vorgegebene Feststoffverschmutzung einzuhalten. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, müssen diese Filter möglichst nahe an der Schmutzeintragsstelle angebracht werden die notwendige Filterfeinheit aufweisen im größten Volumenstrom eingebaut werden, damit eine hohe Tankumwälzung erreicht wird. Wenn möglich sollte die Systemfiltration durch eine wirksame Tankumwälzung (Nebenstromfiltration) unterstützt werden. Damit Beschädigungen am Filterelement vermieden werden, und ein wirtschaftlicher, kostenoptimierter Elementwechsel möglich ist, sollte der Filter mit einer aktiven Verschmutzungsanzeige, die bei Nichtbeachten die Anlage still setzt, versehen werden.

Öleinheitsklassen von Neuöl:

Hydraulik- komponente	Anforderungen an die Verfügbarkeit der Hydraulikanlage								
	normal			hoch			verstärkt		
Betriebsdruck	>160	150-100	<100	>150	160-100	<100	>160	150-100	<100
Servventil	14/12/9	15/13/10	16/14/11	13/11/8	14/12/9	15/13/10	12/10/7	13/11/8	14/12/9
Prop.-Ventil	15/13/10	13/14/11	17/15/12	14/12/9	15/13/10	16/14/11	13/11/8	14/12/9	15/13/10
Regelpumpe									
Cartridge-Ventil	16/14/11	17/15/12	16/13	15/13/10	16/14/11	17/15/12	14/12/9	15/13/10	16/14/11
Kolbenpumpe									
Flügel- und Zahnradpumpe	17/14/11	16/13	17/14	16/14/11	17/15/12	16/13	15/13/10	16/14/11	17/15/12
Druck-, Strom-, Regel- und Wegeventil									

Logr. Auslass-Ø	< 50	50-100	>150	<50	50-100	>150	>50	50-100	>150
Kugellager	15/12/9	15/13/10	17/14/11	14/11/8	15/12/9	16/13/10	13/10/7	14/11/8	15/12/9
Rollenlager	15/13/10	17/14/11	18/15/12	15/12/9	16/13/10	17/14/11	14/11/8	15/12/9	16/13/10
Gleitlager	17/14/11	13/15/12	16/13	16/13/10	17/14/11	18/15/12	15/12/9	16/13/10	17/14/11
Getriebe stationär	16/13/10	17/14/11	18/15/12	15/12/9	16/13/10	17/14/11	14/11/8	15/12/9	16/13/10
Getriebe mobil	17/14/11	13/15/12	16/13	16/13/10	17/14/11	18/15/12	15/12/9	16/13/10	17/14/11

Mindestanforderungen an die Feststoffverschmutzung in Hydraulikanlagen:

Systemart und Anwendungsbereich	Empfohlener Reinheitscode
Gegen Feinstverunreinigung empfindliche Systeme mit Servohydraulik	15/13/10
Industriehydraulik - Proportionaltechnik - Hochdrucksysteme	17/15/12
Industrie- und Mobilhydraulik - elektromagnetische Steuerventiltechnik - Mitteldruck- und Niederdrucksysteme	19/17/14
Schmieröltechnik	16/14/12
Sonderfluidanwendungen	Erhöhung der Systemreinheit um ca. 1-2 Klassen

Zusammenfassung der von den Komponentenherstellern empfohlenen Reinheitsklasse und der notwendigen Filterfeinheit:

Typische Anwendungsbereiche	Filterfeinheit Beta-x > 200	Empfohlene Ölreinheitsklassen									Schmutzmassegehalt						
		alte Reinheitsklasse			neue Reinheitsklasse						ISO/MTD	Partikel aus Stahl					
- Stationärhydraulik - Arbeitshydraulik	- Fahrtrieb - geschlossener Kreislauf	x =	NAS 1638	ISO 4406/91			ISO 4406/99			SAE AS 4059/0			mg/l	mg/l			
			3	2	5	15	4	6	14	4	5	14	4	5	14	0,05	0,2
hochwertige Steuerungen mit Servoventil-Zylindern		3	4	-	13	10	16	13	10	6A	4B	4C			0,1	0,35	
Steuerungen mit Servo- und Proportional-Steuerelementen		5	5	-	14	11	17	14	11	7A	5B	5C			0,15	0,5	
			6	-	15	12	18	15	12	8A	6B	6C			0,2	1	
Allgemeiner Maschinenbau und Arbeitshydraulik mit elektr. betätigten Ventilen	Aktives Fahrwerk Hydrostatischer Kreislauf (T = 90-115°) Hydrostatischer Kreislauf (bis Tmax = 90°)	10 15	7	-	16	13	19	16	13	9A	7B	7C			0,5	2	
Allgemeiner Maschinenbau und Arbeitshydraulik mit elektr. betätigten Ventilen und hohen Tankumwälzungen	Passives Fahrwerk, Automatikgetriebe (CVT) Lenkung, Bremssysteme	20	9	-	18	15	21	18	15	11A	9B	9C			3	10	
			10	-	19	16	22	19	16	12A	10B	10C			5	18	
			11	-	20	17	23	20	17	>12A	11B	11C			10	34	
			12	-	21	18	24	21	18	>12A	12B	12C			20	68	

Diese Empfehlungen sollen dazu führen, dass die vom Betreiber geforderte Komponentenlebensdauer und somit die Einsatzdauer der gesamten Anlage erfüllt werden kann. Die Aufgabe der im System eingesetzten Hydraulikfilter und deren richtige Platzierung im System ist es, diese Reinheitsklassenforderungen über den gesamten Betriebszeitraum der Anlage umzusetzen und einzuhalten. Vor allem bei Neuölen, die in Fässern, Tankwagen oder Minicontainern angeliefert werden, ist mit einer unzulässig hohen Feststoffverschmutzung zu rechnen.

Anlieferungszustand Neuöle

Systemart	Anforderung	Anlieferungszustand 200 l Fass Neuöl	Reduktion der Anlagenverfügbarkeit bei ungefilterter Neubefüllung
Allgemeiner Maschinenbau und Arbeitshydraulik mit elektr. betätigten Ventilen	19/17/14	23/21/18	4 mal
		21/19/16 (Anforderung in DIN 51524)	2 mal
einfache Steuerungen mit Servo- und Proportionalsteuerelementen	15/13/10	23/21/18	7 mal
		21/19/16 (Anforderung in DIN 51524)	5 mal

Zum Vergleich: typische Verschmutzung von Frischöl

Transportbehälter	Ermittelte Reinheitsklasse	Zusammensetzung Schmutzpartikel
200 l Fass	19/17/16 – 23/21/18	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwiegend Metallabrieb • Kunststoffpartikel • Dichtungen
200-1000 l Kunststoffbehälter	Durchschnittlich 20/18/16	<ul style="list-style-type: none"> • Kunststoff • Fasern • Metall • Späne bis 3 mm
Tankwagen	Durchschnittlich 20/18/16	<ul style="list-style-type: none"> • Transp. Partikel
Abfüllstation Raffinerie	Keine Messung	

Befüllen von Anlagen mit Neuöl

Wie bereits erwähnt, weisen die Ölgebinde mit Neuöl, mit dem die Anlage nach der Montage des Gesamtgerätes befüllt werden soll, sehr große Unterschiede bei den Feststoffpartikeln bzw. den Ölreinheitsklassen auf. Wird z. B. eine Anlage, die mit einer Ölreinheit von 19/17/14 betrieben werden soll, mit Neuöl aus Fassware mit einer Ölreinheit von 23/21/18 befüllt, ist mit einer Reduktion der Maschinen- und Komponentenverfügbarkeit um den Faktor 4 zu rechnen. Eine gravierende Komponentenbeschädigung erfolgt meist bereits in der Inbetriebnahmephase und Komponententausch während der Gewährleistungszeit ist meist die Folge. Außerdem wird das Image des Maschinen- und Anlagenherstellers negativ beeinflusst.

Zur Begrenzung dieser Inbetriebnahmeschwierigkeiten wird der Einsatz von Befüllfilterstationen dringend empfohlen. Diese Aggregate müssen mit Filterelementen ausgerüstet sein, die mindestens die gleiche Filterfeinheit aufweisen wie die in der Gesamtanlage vorgesehenen Filter (bzw. Ölreinheitsklasse). Außerdem müssen die Filterelemente eine hohe Schmutzaufnahme aufweisen, da mit einem hohen Schmutzanfall zu rechnen ist (ca. 10-20 mg/l).

Während des Befüllen des Hydraulik- bzw. Schmieröltanks über die Filterstation und einem möglichst drucklosen Betrieb der Gesamtanlage während der Inbetriebnahmephase muß der Tankinhalt ständig weiter über die Befüllstation im Nebenstrom gefiltert werden.

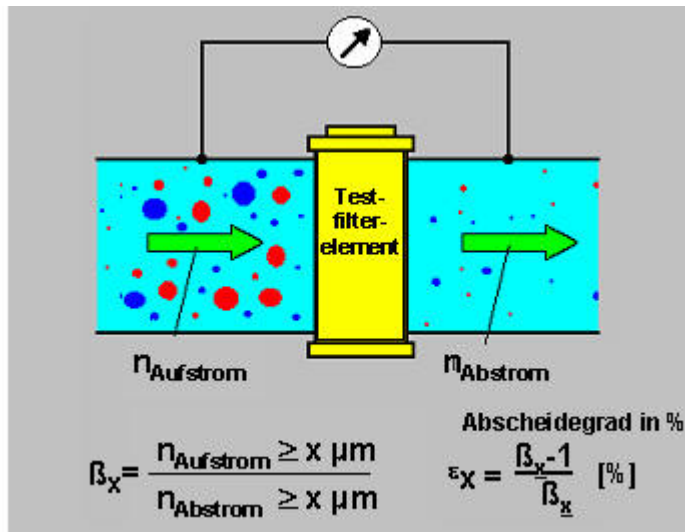
Nachfüllen von Neuöl während des Betriebes der Anlage: Ist die Anlage im Betrieb, haben die eingesetzten Systemfilter die notwendige Ölreinheitsklasse realisiert und stabilisiert. Die im System vorhandene Ölreinheitsklasse berechnet sich nach der Formel

Verringert sich die im Tank befindliche Ölmenge, z. B. durch Leckageverlust, muss Neuöl nachgefüllt werden (gleiche Ölsorte vom gleichen Ölhersteller ist zwingend zu empfehlen). Dieses Neuöl muss ebenfalls gefiltert eingefüllt werden. Bereits geringe Mengen verschmutztes Neuöl (unter 10 % des Tankinhaltes) bewirken eine Erhöhung der Ölreinheitsklasse um mindestens zwei Klassen und die Gefahr einer Komponentenbeschädigung ist groß. Außerdem weisen die im System eingesetzten Systemfilter eine kürzere Elementstandzeit auf.

Filtersysteme zur Reduktion der Feststoffverschmutzung: Hydraulik- und Schmierfilter haben die Aufgabe, die Festverschmutzung in den Systemen zu reduzieren. Damit diese Aufgabe wirksam erfüllt werden kann, müssen die Elemente die nachstehenden Qualitätsmerkmale erfüllen.

- Hohe β_x -Werte
- Hohe β_x -Wert-Stabilität
- Hohe Schmutzaufnahmekapazität
- Niedrige Langzeit-Druckverlustkurve
- Hohe Kollaps-/Berstdruckfestigkeit
- Hohe Durchflussermüdigkeitsfestigkeit
- Gute Medienverträglichkeit

Der für die Leistungsbeurteilung von Elementen wichtigste Test ist der Multipass-Test nach ISO 16889. Dabei werden die Partikelabscheidung, die Schmutzaufnahme und der Druckverlust am Element ermittelt.



Literatur:

Martin Reik, Fa. Hydac, VSI-Rundschau 1/2005

Schmierstoffe im Betrieb, Springer-Verlag, Berlin, 2002

Schwerentflammbare Hydraulikmedien vom Typ HFA, Tribologie und Schmierungstechnik, 3/2005