



Ratgeber Öl

Proaktiv und ressourcenschonend Instandhalten
mithilfe effizienter Öl- und Fluidpflege



Inhalt

Einleitung	2	Säurezahl / Basenzahl – Testmethoden	35
1. Kapitel: Arten von Verunreinigungen; deren Quellen und Folgen		Elementanalyse	36
Best Practice für höhere Maschinenzuverlässigkeit	3	Membrane Patch Colorimetry (MPC-Test)	37
Feststoffpartikel im Öl	5	Weitere wichtige Analysen	38
Quellen; McPherson-Test; Schmierfilmdicke; direkte und indirekte Schäden		Infrarot-Spektroskopie, RULER, PQ-Index, Wasserabscheidevermögen, Luftabscheidevermögen und Schaumverhalten	
Wasser im Öl	8	Additive	40
Quellen; Lebensdauer-Test; die drei Zustände von Wasser im Öl (emulgiert; gelöst und frei); Sättigungsgrenzen; Wasserabscheidevermögen; direkte und indirekte Schäden		Eigenschaften, Leistungsspektrum und wichtige Laboranalysen	
Ölalterungs- / Oxidationsprodukte im Öl	12	4. Kapitel: Methoden für das Entfernen von Verunreinigungen	
Säuren im Öl	13	Haupt- und Nebenstromfilter – Saug-, Druck-, Rücklauf-, Bypass-, Nebenstromfilter	42
Luft im Öl	14	Haupt- und Nebenstromfiltration im Vergleich – Oberflächen- und Tiefenfilter	43
Luftabscheidevermögen Schaumneigung		Methoden zur Wasserabscheidung	45
Einflussfaktoren; Gas-Kavitation; Diesel-effekt		Zellulose, Koaleszierung, Zentrifuge, Desorption und Vakuumsysteme	
2. Kapitel: Ölproben richtig entnehmen		Methoden für Ölalterungsprodukte	47
Ölproben	16	Zellulose, Electrophysical Separation Process, Electrostatic Precipitation und Balanced Charge Agglomeration	
Probeentnahme	17	Methoden zur Säureneutralisation	49
Entnahmestellen; Anleitungen; Equipment		Ionenaustauscherharz, Aluminiumoxid, Bleicherde, Zellulose	
Probenbegleitschein	19	Filtereffizienz beurteilen	50
3. Kapitel: Ölproben analysieren und beurteilen		Multipass-Test für Hauptstromfilter; Beta-Wert; Abscheidegrad; Filtereffizienz; Absolute und nominale Filterfeinheit; Schmutzaufnahmekapazität; Problematik Multi-Pass-Test; Beispiel Tiefenfilter im Nebenstrom	
Ölanalysen	20	5. Kapitel: Besonderheiten bei speziellen Öltypen	54
Umfang; Optionen; Öl-Analyse-Programm; Einflussfaktoren auf die Frequenz; Trendverläufe		Schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten (HFA, HFC, HFD-Fluide); Biologisch abbaubare Öle; Isolieröle von Transformatoren; Turbinenöle; Kompressorenöle; Kühlschmierstoffe und Bearbeitungsöle; Härteöle, Wärmeträgeröle, Motoröle, Diesel und Kraftstoffe	
Partikelgehalt – Testmethoden	23	6. Kapitel: Umgang mit Ölen	63
Gravimetrisches Verfahren; Mikroskopische und automatische Partikelzählung		Tipps für Einkauf, Transport und Lagerung; Schlusswort "Verantwortungsvoller Umgang mit unserer Umwelt"	
Partikelgehalt – Klassifizierungssysteme	25	Glossar	65
Klassifizierung nach ISO 4406; SAE AS 4059 NAS 1638; Unterschiede			
Reinheitsklassen einstufen	28		
Abhängigkeit zwischen Reinheitsklassen und Lebensdauer von Systemkomponenten	29		
Viskosität – Testmethoden	30		
Kinematische und absolute Viskosität			
Viskositätsindex; Ursachen für Viskositätsänderungen; Grenzwerte			
Viskositätsgrade – Klassifizierungssysteme	32		
Wassergehalt – Testmethoden	33		
Visuelle Begutachtung; Karl-Fischer-Titration; Maßreinheit ppm			
Abhängigkeit zwischen Lebensdauer von Systemkomponenten und Wassergehalt	34		

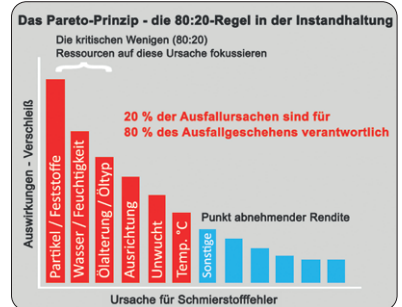
Einleitung

Effiziente Ölpflegemaßnahmen und Ölzustandsüberwachung sind einer der wichtigsten Strategien im Bereich proaktiver und prädiktiver Instandhaltung.

Die Umsetzung effektiver Maßnahmen eröffnet erhebliche ökonomische und ökologische Einsparpotentiale. Denn insbesondere die Reinheit der Ölfüllung hat immense Auswirkungen auf die Ölstandzeit, Maschinenzuverlässigkeit und Produktivität eines Werks.

70–80 % aller Ausfälle und Störungen einer Maschine sind auf Verunreinigungen im Öl zurückzuführen. (Quellen: Noria Corporation, Oelcheck, SKF)

Partikel und Wasser im Öl gefolgt von Ölalterungsprozessen sind die kritischen Faktoren, die die meisten und schwersten Schäden verursachen – an der Maschine und dem Schmierstoff selbst. Um eine längere Gebrauchsdauer von Öl und Komponenten sowie eine höhere Zuverlässigkeit der Maschinen zu erzielen, ist das Verbessern der Ölreinheit der entscheidende Hebel. Der Fokus sollte daher auf dem Minimieren des Eintrags von Verunreinigungen, dem Entfernen der Verunreinigungen aus dem Öl, dem Verlangsamen der Ölalterungsprozesse und der Ölzustandsüberwachung liegen. Effiziente Maßnahmen und die Auswahl des optimalen Öltyps sind dabei entscheidend.



Folgen ungenügender Öl- und Fluidpflege:

- verkürzte Ölstandzeit, häufige Ölwechsel
 - schnell veränderte Öleigenschaften, Funktionsbeeinträchtigung
 - schnell alterndes Öl und frühzeitiger Additivverlust/-verbrauch
- reduzierte Maschinenzuverlässigkeit, Produktivität und Prozessstabilität
 - erhöhter Verschleiß und regelmäßige, schwere Schäden
 - ungeplante Störungen und Ausfälle
- geschmälerter Deckungsbeitrag und Ertrag
 - erhöhte Öl- und Instandhaltungskosten
 - Produktions- und Betriebsunterbrechungen
- verschwendete Ressourcen und unnötige Belastung der Umwelt
 - erhöhter Frischöl-, Ersatzteil- und Betriebsmittel-Bedarf
 - benötigter Energiebedarf zur Herstellung von Frischöl, Ersatzteilen etc.
 - erhöhte CO₂-Emissionen,
 - ca. 4,8 kg CO₂ pro 1 Liter Öl (Herstellung/Entsorgung)

Jeder Maschinenbetreiber sollte die Schmierstoffpflege zu seiner persönlichen Angelegenheit konvertieren, da in 99 % der Fälle sie für Schäden zahlen – nicht der Maschinen-, Öl- oder Filterhersteller.

1

Arten von Verunreinigungen, deren Quellen und Folgen

Best Practice für höhere Maschinenzuverlässigkeit

1. Ziele definieren:

- Für jede – oder zumindest für die kritischsten Maschinen – sollte die spezifische Ölreinheit definiert und an der Maschine gut sichtbar angebracht werden.
 - Zweckmäßigkeit und Ziele an Mitarbeiter aus der Instandhaltung kommunizieren
 - ggf. Schulungen und Training

Tipps:

- Herstellerspezifikation sind nur Mindest-Anforderungen
- Forderungen der Hersteller der sensibelsten Komponenten sind entscheidend

2. Maßnahmen durchführen, um Ziele zu erreichen:

2.1 Eintritt von Verunreinigungen minimieren

- hochwertige Schmierstoffe auswählen und in sauberen, abgedichteten und anwendungsgerechten Fässern bzw. Tanks lagern. Weitere Tipps siehe S. 63 + 64
- Bei der Lagerung von Equipment wie Schläuchen, Pumpen und mobilen Filtern auf Sauberkeit und Ordnung achten.
- Ölvermischungen vermeiden
 - für jeden Öltyp eigenes Equipment verwenden (*Filter, Schläuche etc.*)
 - bei Umölung auf einen anderen Öltyp, das Ölsystem vollständig entleeren und spülen sowie den Tank sorgfältig reinigen.
- Bei jeder Montage, Reparatur und Wartung sorgfältig und sauber arbeiten
- Ölsystem vor Inbetriebnahme gründlich spülen
- regelmäßige Verunreinigungskontrolle mit adäquatem Equipment bei
 - Wareneingang, Lagerung, Befüllung/Nachfüllung und Betrieb
- Feinfiltration des Öls vor Befüllung in das Ölsystem und ggf. Lagertank
 - Frischöl entspricht meist nicht der definierten Ölreinheit. Zahlreiche Umfüllvorgänge zwischen Raffinerie und Maschine bergen ein hohes Risiko für den Eintrag von Verunreinigungen.
Empfehlung für den Filter:
 - Filterfeinheit von 3 µm absolut
 - Abscheidung von Partikeln, Wasser, Ölalterungsprodukten und Säuren
- potenzielle Verunreinigungsquellen eliminieren wie z. B. Leckagen, Undichtigkeiten, Anschlüsse und Tanklüftungen.

2.2 Verunreinigungen im Öl minimieren

- effizientes Ölpflugesystem implementieren
 - Systemfilter im Hauptstrom sind nicht ausreichend (siehe S. 43 + 44)

Tipps für die Auswahl von Filtersystemen:

- richtigen Installationsort und richtige Dimensionierung auswählen
- Filterfeinheit in Korrespondenz zu definierten Zielen auswählen
- Partikel, Wasser, Ölalterungsprodukte und Säuren entfernen
- Verhältnis zwischen Filterkosten und Schmutzaufnahmekapazität abwägen
 - Kosten für das Entfernen von 1 Gramm Schmutz ermitteln
- auf dauerhaft hohe Filtereffizienz achten (*manche Filter verlieren mit der Zeit ihre Effizienz und lassen Verunreinigungen wieder frei*)
- Differenzdruckmesser bzw. besser Drucksensoren für das Online-Monitoring des Filterzustands (*zustandsorientierte Filterwechsel, Alarm bei technischen Problemen*)
- Filterhersteller wählen, die Test-Filtration anbieten, um Filter-Performance zu belegen (*teils hohe Diskrepanz zwischen Angaben von Herstellern und Praxis*)

2.3 Öl- und Maschinenzustand regelmäßig überwachen

- Ölanalyse-Programm definieren, um zu prüfen, ob
 - die definierte Ölreinheit erzielt wird und
 - proaktive und prädiktive Maßnahmen effektiv sind
- Equipment für Verunreinigungskontrolle auswählen:
 - mobiles Equipment für vor-Ort-Analysen
 - externe Labore
 - Ölsensoren für Online-Monitoring – essenziell für
 - exakte Ursachenanalyse und als Frühwarnsystem (*planbare Wartung*)
 - kritische Maschinen (*Funktionsverlust u. Ausfall vermeiden*)
 - zustandsorientierte Ölwechsel (*Ressourcen schonen*)
- Vorteile und Einsparungen dokumentieren
 - regelmäßige Reports an Mitarbeiter der Instandhaltung, um den gemeinsamen Erfolg zu kommunizieren

Sobald sich ein **ökonomisch** oder **ökologisch** positiver Return on Investment ergibt, ist die Implementierung von Maßnahmen sinnvoll. Gegenüberzustellen sind die Implementierungs- und Betriebskosten mit den Einsparungen (Öl, Energie, CO₂ Emissionen, Wartung und Ersatzteile). Kosten für effiziente Filtersysteme betragen oft nur 10 % der Kosten, die Maschinenschäden und -ausfälle mit sich bringen.

1

Arten von Verunreinigungen, deren Quellen und Folgen

Feststoffpartikel im Öl

Partikel sind die **häufigste Ursache für Ausfälle und Störungen** in einem Ölsystem.

Eine Verunreinigung mit Partikeln lässt sich nicht vermeiden – nur begrenzen. Die Herkunft der Partikel ist kategorisiert in: eingebaute, eingetragene, von der Maschine selbst generierte und durch das Öl verursachte Partikel.

Quellen:

Herstellung, Montage, Wartung und Reparatur, Frischöl, Ölfässer/Lagertanks, Umgebung/Atmosphäre (Prozesspartikel und Staub durch Belüftung, defekte Dichtungen, Leckagen), Befüll- und Nachfüllvorgänge, Oberflächenabbau (Verschleiß, Korrosion etc.), Ölalterung sowie Verbrennungsprozesse (Motoren)

Feinstpartikel haben das Potential schwere Schäden zu verursachen, sogar an Schnellarbeitsstahl. Messungen wie z. B. der MacPherson-Test zeigen deutlich, dass insbesondere Partikel $< 5 \mu\text{m}$ eine sehr schädliche Wirkung auf Systemkomponenten haben. Fatalerweise ist die Konzentration gerade dieser Feinstpartikel im Öl besonders hoch. Ihr Anteil in durchschnittlich belasteten Ölsystemen (siehe Abb. 1):

- **ca. 75 % der Partikel sind zwischen 1– 5 μm**

Der MacPherson-Test:

Der Graph basiert auf einem Test an 10 Kugellagern. Der Schmierstoff wurde kontrolliert mit Abrieb aus einem Getriebe belastet. Filter mit verschiedenen Filterfeinheiten und deren Auswirkung auf die Lebensdauer der Kugellager wurden getestet (siehe Abb. 2).

Der MacPherson Test zeigt deutlich, dass das Minimieren der Partikel $\leq 10 \mu\text{m}$ die Lebensdauer verdoppelt und das Minimieren der Partikel $\leq 3 \mu\text{m}$ die Lebensdauer sogar um das 6-fache verlängert:

- **20 μm Filter = 2 Mio. Umdrehungen**
- **10 μm Filter = 4 Mio. Umdrehungen**
- **3 μm Filter = 12 Mio. Umdrehungen**

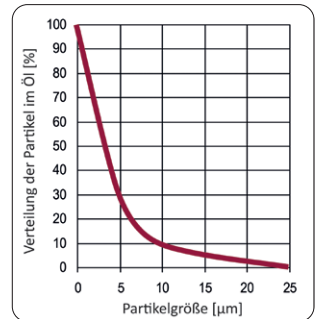


Abb. 1:

Größenverteilung der Partikel

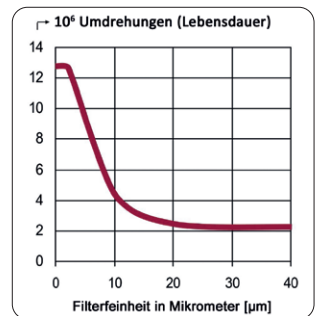


Abb. 2: MacPherson-Grafik

Je feiner filtriert wird, desto länger die Lebensdauer von Komponenten

Die Schmierfilmdicke:

Der Spaltmaß zwischen beweglichen Oberflächen in einem Ölsystem beträgt typischerweise weniger als 10 Mikrometer (μm) – eine Dicke die für das menschliche Auge **nicht** sichtbar ist. Aufgrund der engen Toleranzen verschleifen sensible Komponenten wie z. B. Pumpen, Ventile und Lager bereits durch kleinste Partikel.

Bei der hydrodynamischen Schmierung (z. B. Wälz- und Gleitlager), führt die durch die rollende Bewegung der Welle wirkende Kraft, sogar zu einer noch weiteren Verengung des Spaltmaßes. Bereits winzigste Staubpartikel und Partikel mit der Größe eines Bakteriums, die mit dem Schmierstoff zu den kritischen Maschinenteilen transportiert werden, bleiben in dem engen Spalt zwischen den beweglichen Teilen klemmen und führen zu Abrasion.

Bei der elastohydrodynamischen Schmierung (z. B. Kugellager) verringert sich die Schmierfilmdicke in der Belastungszone unter dem vorherrschenden Kontaktdruck von bis zu 70.000 bar sogar auf 0,5 bis 1 μm . Unter diesem Druck steigt die Viskosität so stark, dass der Schmierstoffzustand fast fest ist. Geraten Partikel in diesen engen Schmierpalt werden sie überrollt mit Ermüdungsverschleiß als Folge.

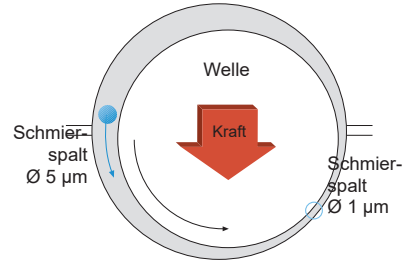


Abb. 3: Hydrodynamischer Schmierfilm

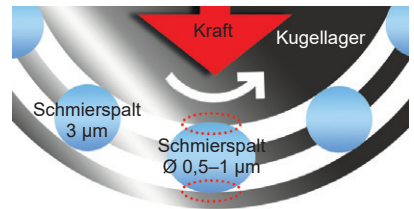
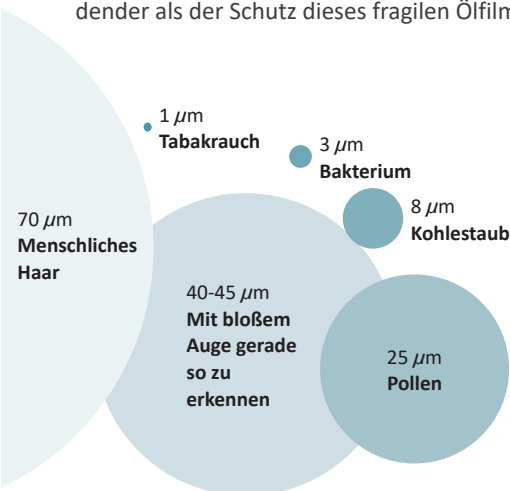


Abb. 4: Elastohydrodynamischer Schmierfilm

Insbesondere harte, abrasive Feststoffpartikel, die gleich groß oder etwas kleiner bzw. größer als der Schmierfilm sind, verursachen Verschleiß und können letztendlich Maschinenausfälle zur Folge haben. Deshalb ist für die Optimierung der Maschinenzuverlässigkeit und betrieblichen Effizienz nichts entscheidender als der Schutz dieses fragilen Ölfilms vor festen Feinstpartikeln < 5 μm .



Komponenten	Schmierfilmdicke [μm]
Gleit- und Wellenlager	0,5 - 100
Hydraulikzylinder	5 - 50
Motoren, Ring / Zylinder	0,3 - 7
Servo- und Proportionalventile	1 - 3
Pumpen	0,5 - 5
Rollen- und Kugellager	0,1 - 3
Getriebe	0,1 - 1
Dynamische Dichtungen	0,05 - 0,5

1 Mikrometer (μm) = 1/1000 mm

1

Arten von Verunreinigungen, deren Quellen und Folgen

Direkte Schäden – Verschleiß der Metalloberflächen:

Einflussfaktoren: Partikelhärte, -größe und -konzentration; Schmierfilmdicke

Abrieb (Abrasion durch Feststoffpartikel)

Partikel, die zwischen gleitende Oberflächen passen führen zu Abrasion, Riefen und Materialverlust. Partikel können auch in die weichere Metalloberfläche eingebettet werden und so an der gegenüberliegenden härteren Oberfläche schleifen und kratzen.

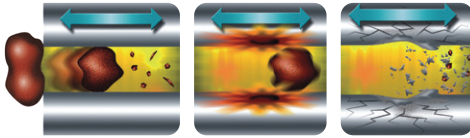


Abb. 5:
Lager einer Axialkolbenpumpe mit Riefen

Ermüdungverschleiß (Rollkontaktermüdung)

Partikel werden überrollt und bilden Zähne an der gegenüberliegenden Oberfläche. Die Erhebung kriecht die volle Last ab und wird in das Material gedrückt. Mikro-Pittings entstehen, die sich bei Belastung weiter ausdehnen und zu Materialabtrag, Splitterbruch und Oberflächenausbrüche führen.

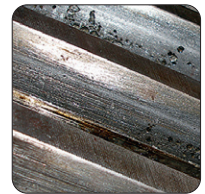
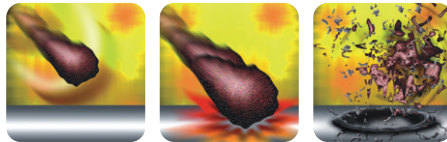


Abb. 6:
Getriebe mit Riefen
und Pitting-Bildung

Sandstrahleffekt (hoher Druck und Volumenstrom)

Feine Partikel treffen auf Oberflächen bzw. Steuerecken und brechen weitere Teile heraus.



Die Zirkulation von Partikeln im Ölsystem verursacht weitere Partikel, so dass sich eine Kettenreaktion des Verschleißes ergibt.

Indirekte Schäden – veränderte physikalische u. chemische Eigenschaften des Öls:

Additivabbau und Ölalterung

Je höher der Partikelgehalt, desto schneller werden Additive verbraucht. Zudem beschleunigen Metallpartikel (FE, CU, ZN, AL) Ölalterungsprozesse – die Reaktionen erfolgen noch schneller in Gegenwart von Wasser im Öl. Ö unlösliche und öllösliche Reaktionsprodukte entstehen (Sludge/Schlamm, Varnish) und die Viskosität steigt an. In Motorölen führen zusätzlich Rußpartikel zum Anstieg der Viskosität.

Wasser im Öl

Wasser ist die **zweithäufigste Ursache** für **Ausfälle** und **Störungen** in einem Ölsystem.

Quellen: Frischöl (Handling, Lagerung), Umgebung (Temperaturschwankungen, Kondenswasser, Dampf), Belüftung, Befüll- und Nachfüllvorgänge, Leckagen und Undichtigkeiten (Prozess-, Kühl-, Regen- und Meerwasser), Wartung und Reparatur, Reinigungsarbeiten, betriebs- und produktionsbedingt (z. B. Papier- und Stahlindustrie, Schifffahrt).

Oft wird Wasser nicht als primäre Ursache für Fehler eingestuft und bei Analysen vernachlässigt, obwohl bereits kleinste Wasseranteile das Potential haben schwere Schäden zu verursachen. Zahlreiche Untersuchungen veranschaulichen, dass bereits bei einem Wassergehalt leicht oberhalb der Sättigungsgrenze des Öls, die Lebensdauer von Komponenten drastisch sinkt. Der Wassergehalt sollte daher weit unterhalb der Sättigungsgrenze liegen und so niedrig wie möglich gehalten werden.

Test:

Der folgende Graph basiert auf einem Test an mehreren Kugellagern. Das Schmieröl ist ein Standard-Mineralöl Typ CLP mit einer Sättigungsgrenze zwischen 0,04 bis 0,08 % (400–800 ppm). Das Schmieröl der Kugellager wurde mit unterschiedlichen Mengen an Wasser kontaminiert. Anschließend wurde die Auswirkung auf die Lebensdauer der Kugellager getestet (siehe Abb. 7, Quelle: Noria Corporation, SKF):

Kugellager können bereits 75 % Ihrer Lebensdauer aufgrund von Wasser im Öl einbüßen noch bevor das Schmieröl beginnt milchig zu werden.

**) abhängig vom Öltyp*

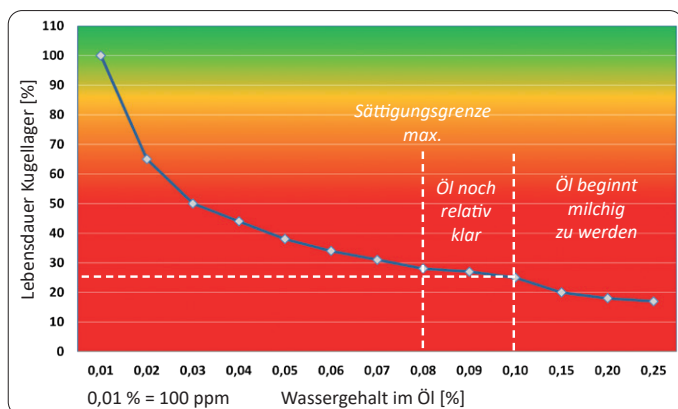


Abb. 8: Schmieröl mit unterschiedlichem Wassergehalt:
(li) 0,025 % (kaum sichtbar)
(re) 0,2 %

Abb. 7: Lebensdauer in Abhängigkeit vom Wassegehalt (Quelle: Noria Corp.)

1

Arten von Verunreinigungen, deren Quellen und Folgen

Die drei Zustände von Wasser im Öl – gelöst, emulgiert und frei:

Gelöstes Wasser <i>Vergleich Luftfeuchtigkeit</i>	Wasser-in-Öl-Emulsionen <i>Vergleich Nebel</i>	Freies Wasser <i>Vergleich Regen</i>
Problematisch	Am problematischsten Zirkuliert im System	Problematisch Sedimentiert am Tankboden
Wassermoleküle sind in die Molekülstruktur aufgenommen	Wassermoleküle liegen fein verteilt zwischen Ölmolekülen vor.	Wassermoleküle sind nicht in die Molekülstruktur aufgenommen
Das Öl ist klar und durchsichtig. Gelöstes Wasser ist nicht sichtbar.	Öl ist trüb und milchig.	Wassertropfen vorhanden, es entsteht eine Öl- und eine Wasser-Phase.
Entsteht durch ständigen Austausch mit der feuchten Umgebungsluft und liegt bis zur Sättigungsgrenze des Öls vor.	Entsteht wenn der Wassergehalt die Sättigungsgrenze überschreitet und das Öl ein schlechtes Wasserabscheide- bzw. Demulgiervermögen hat	Entsteht, wenn der Wassergehalt die Sättigungsgrenze überschreitet und das Öl ein gutes Wasserabscheide- bzw. Demulgiervermögen hat
Folgen: Bei Druck- und Temperaturschwankungen kann gelöstes Wasser freigesetzt werden und emulgiertes oder freies Wasser entsteht.	Folgen: Kavitation, Korrosion, Schaumbildung, Anstieg der Viskosität, frühzeitige Ölalterung und Additivverbrauch	Folgen: Korrosion und Ausbreitung von Mikroorganismen im Tank



Abb. 9:
Probe (li):
Hydrauliköl mit
gelöstem Wasser
Probe (re):
Emulsion



Abb. 10
Oben:
Wasser-in-Öl-Emulsion,
Mittig:
Öl-in Wasser-Emulsion,
Unten: freies Wasser



Abb. 11:
Oben:
Öl-Phase *
Unten:
freies Wasser

*) Öl-Phase oben = Öl hat niedrigere Dichte als Wasser (086–0,95 kg/l statt 1 kg/l)
Wasserphase oben = Öl hat höhere Dichte als Wasser (bestimmte synthetische Öle)

Wie viel Wasser und wie lange ein bestimmtes Öl in Lösung halten kann (Sättigungsgrenze), ist abhängig von Grundöl, Additiven, Temperatur, Druck, Turbulenzen sowie Verunreinigungen im Öl. Insbesondere synthetische Öle (PAG, Ester) und hochwertige Motoröle können größere Mengen an Wasser in Lösung halten.

Sättigungsgrenzen verschiedener Hydraulik- und Schmieröle in ppm bei 20 °C:

H
100–150
ppm

HLP
150–300
ppm

HEES
800–1.400
ppm

HFD-U
1.200–1.800
ppm

HFD-R
1.500–3.000
ppm

PAG
5.000–7.000
ppm

CL / TD
50–150
ppm

CLP
400–800
ppm

PAO
400–2.000
ppm

HD / Motoröl
800–2.000
ppm

Synth. Ester
1.000–2.000
ppm

PAG
10.000–20.000
ppm

Wasserabscheidevermögen:

Mit der Zeit verliert ein Öl die Fähigkeit Wasser abzuscheiden, das Wasserabscheidevermögen sinkt und das Öl neigt zur Emulsions-Bildung. Ursachen: polare Verunreinigungen und Schwebstoffe im Öl, Öloxidation und Additivverbrauch, Ölvermischungen. Wie schnell ein Öl Wasser abscheiden kann, ist abhängig von Grundöl, Additiven, Viskosität und Temperatur. Emulgiertes Wasser soll sich möglichst schnell vom Öl abscheiden, damit es nicht im Ölsystem zirkuliert. Ausnahme aufgrund Ihrer Anwendung: z. B. Motoröle und Hydrauliköle Typ HLP-D – sie sollen dispergierend bzw. emulgierend wirken.

Direkte Schäden – Verschleiß der Metalloberflächen:

Dampfblasenbildung und Kavitation

Bei steigender Temperatur steigt das Risiko der Dampfblasenbildung exponentiell. Schon durch Reibungswärme kann sich der Aggregatzustand von Wassermolekülen im Öl sehr schnell und plötzlich ändern. Da Dampf 1000-mal mehr Volumen beansprucht und die Transformation viel Energie freisetzt, wird das Öl verdrängt und es kann zum Abreißen des Schmierfilms kommen. In engen Kontakt- und Reibungszonen mit Druckschwankungen, implodieren die Blasen bei Druckanstieg. Geschieht dies in der Nähe von Oberflächen reißt der Schmierfilm ab, Metall trifft direkt auf Metall mit erosionsartigem Materialabtrag und Mikro-Pittings zur Folge.

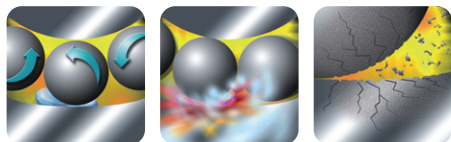


Abb. 12:
Pittingbildung an
einem Wälzlager

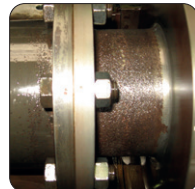


Abb. 13:
Korrosion an einem
Wellenflansch

Korrosion

Wasserstoff-Korrosion führt zu Schäden an Oberflächen in Form von Rost. Scharfe Kanten entstehen und harte, höchst abrasive Rostpartikel gelangen in den Ölkreislauf. Treffen Partikel auf korrodierte Flächen, werden zusätzlich Partikel freigesetzt. Wasser intensiviert zudem den Schweregrad der Säure-Korrosion.

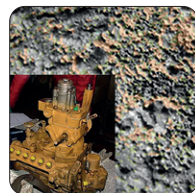
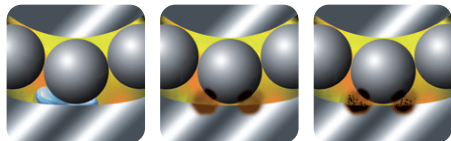


Abb. 14:
Kavitation in einer
Pumpe

Wasserstoffversprödung

Wasserstoffatome diffundieren in das Metallgitter. Rissbildung und Materialabtrag sind mögliche Folgen. Komponenten mit elasto-hydrodynamischer Schmierung sind besonders anfällig (hoher Druck).

1

Arten von Verunreinigungen, deren Quellen und Folgen

Indirekte Schäden – veränderte physikalische u. chemische Eigenschaften des Öls:

Ölalterung und Additivabbau

Bereits kleinste Wasseranteile im Öl beschleunigen rasant oxidative und hydrolytische Ölalterungsprozesse sowie den Verbrauch und Verlust von Additiven. Durch Auswaschen, Hydrolyse und den Anstieg der dielektrischen Leitfähigkeit werden Antioxidantien, Rost Inhibitoren, AW-Additive, Emulgatoren, Detergentien und Dispergatoren zerstört. Wasser führt zudem zur Bildung von Säuren (z. B. Carbon-, Schwefelsäure) und ist einer der Haupt-Beschleuniger für Ölalterungsprozesse.

Verschlechtertes Luftabscheidevermögen (LAV)

Liegt Wasser emulgiert im Öl vor, können Luftblasen schlechter aufsteigen und das Öl verlassen, so dass das Risiko der Schaumbildung steigt. Wasser verringert zudem die Oberflächenspannung des Öls. Es bilden sich vermehrt kleine Luftblasen, die langsamer aufsteigen und schwerer zerplatzen. Die Schmierwirkung wird dadurch beeinträchtigt und es kann zu Mangelschmierung kommen (siehe S. 14).

Viskosität und Schmierwirkung

Wasser besitzt nur eine Viskosität von ISO VG 1 und damit keine Tragfähigkeit, um Oberflächen zu trennen.

Wenn Wasser emulgiert im Öl vorliegt, sinkt die Widerstandsfähigkeit des Öls gegenüber Scherkräften und die Viskosität steigt (Nicht-Newtonsche Flüssigkeit entsteht). Bei Esterölen führt Wasser zu einem Absinken der Ölviskosität durch Hydrolyse: die Moleküle zerbrechen und die Schmierfilmdicke wird nicht mehr erreicht (siehe S. 55). Kommt es zu Kontakt zwischen Metalloberflächen entsteht Reibung, Verschleiß und Hitze. Hitze und Wasser wirken wiederum beschleunigend auf die Ölalterung und damit den Anstieg der Viskosität.

Wachstum von Bakterien

Wasser fördert die Ausbreitung von Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Hefen). Bei dieselbetriebenen Fahrzeugen mit langem Stillstand, Notstromaggregaten sowie Lagertanks ist das Risiko einer Kontamination besonders hoch. Bio-Schlamm und -Korrosion sind die Folge, die Schäden im Tank verursachen und im Motor Funktionsstörungen, da

Systemfilter und Treibstoffleitungen verstopfen.



Abb. 15: Bakterienwachstum im Tank



Abb. 16: Diesel mit Wasser und Bakterien

Ölalterungs- / Oxidationsprodukte im Öl

Jedes Öl altert bzw. oxidiert – nur variiert die Geschwindigkeit abhängig von Grundöl, Additivpaket sowie Belastung durch katalytisch wirkende **Faktoren**: hoher Sauerstoffgehalt im Öl (bereits Frischöl enthält 9 Vol.% Luft), hohe Betriebstemperaturen und hoher Druck sowie Verunreinigungen mit Wasser und Metallpartikeln aus dem Komponentenverschleiß (Cu, Fe, AL, ZN). Niedrigraffinierte Grundöle oxidieren generell schneller als hochraffinierte Mineralöle oder synthetische Fluide.

Die konsistentere Molekülstruktur, die geringe Anzahl ungesättigter Verbindungen und Verunreinigungen (Sauerstoff, Schwefel, Aromen) ermöglicht hochwertigeren Ölen eine längere Oxidationsstabilität. Dennoch führen auch hier katalytisch wirkende Faktoren zu einem frühzeitigem **Additivabbau** (Antioxidantien) und **Zerfall des Grundöls**. Die entstehenden Oxidationsprodukte sind pro-oxidativ und können das Öl noch weiter schädigen, wenn sie nicht entfernt werden. Sobald die Antioxidantien aufgebraucht sind, zerfallen synthetische Fluide extrem schnell.

In Abhängigkeit von der Löslichkeit im Grundöl, Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit, liegen die entstehenden Reaktionsprodukte gelöst oder ungelöst im Öl vor. Ungelöste Reaktionsprodukte agglomerieren und lagern sich im System ab – bevorzugt an Ventilen, Kühlern, Hauptstromfiltern, Lagern, Rohrleitungen und Tankwandungen, d. h. in Belastungszonen, engen Passagen und stehenden Bereichen. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit kommt es insbesondere bei Ölsystemen mit Start-Stopp-Betrieb, d. h. Temperaturen < 40 °C über mehrere Stunden, zum Ausfällen der gelösten Verbindungen und zur Bildung von Ablagerungen in Form von **Ölschlamm** und **Varnish**. Während Ölschlamm weich und abwischbar ist, sind unter Varnish harz- und lackähnliche Ablagerungen zu verstehen, die eine feste, klebrige Schicht auf Oberflächen bilden. Bleiben Partikel daran haften entsteht ein Schmirgeleffekt zwischen Oberflächen. Im Zuge der Ölalterung **steigt die Viskosität**, die Ölfarbe wird dunkler und **Säuren** entstehen.

Folgen der Ölalterung für Maschinenkomponenten und Öl:

- schlecht steuerbare Ventile ▶ Fehlfunktionen
- veränderte Schmierpaltgeometrie (z. B. Lager) ▶ Verschleiß
- Korrosion ▶ Verschleiß
- absinkende Kühlereffizienz ▶ erhöhter Energiebedarf
- verstopfte Hauptstromfilter ▶ häufige Filterwechsel
- zugesetzte Öl-Leitungen und Tanks ▶ Systemspülung
- poröse Dichtungen ▶ Eintritt von Verunreinigungen ▶ Verschleiß
- verkürzte Lebensdauer von Öl und Komponenten ▶ Ressourcenverschwendung

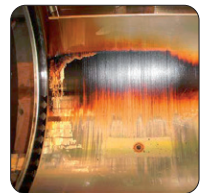


Abb. 17: Varnish an einem Gleitlager

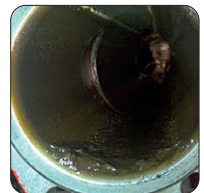


Abb. 18: Ölschlamm in einer Öl-Leitung

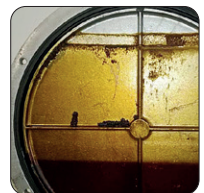


Abb. 19: Sichtglas mit Ablagerungen

1 Arten von Verunreinigungen, deren Quellen und Folgen

Säuren im Öl

Sowohl Mineralöle als auch synthetische Öle besitzen, bis auf wenige Ausnahmen, einen pH-Wert von 7 und sind damit neutral. Allerdings führen bereits einige Additive wie z. B. Verschleiß- und Korrosionsschutzadditive zu einer Veränderung des pH-Werts im Frischöl. Ist das Öl erst einmal im Einsatz, sinkt der pH-Wert kontinuierlich. Die Ursache hierfür ist vor allem die stetige Ölalterung. Denn je länger das Öl im Einsatz ist, je höher die Betriebstemperatur ist und je stärker das Öl verunreinigt ist, desto schneller findet eine Versäuerung durch Öloxidation statt. Wasser ist einer der Haupt-Beschleuniger für Ölalterungsprozesse und führt zur Bildung von z. B. Carbon- und Schwefelsäure. Säuren, egal welcher Herkunft, wirken noch korrosiver in der Anwesenheit von Wasser. Zusätzlich lassen Abbauprodukte von Additiven wie z. B. Metallsalze, die bei der Reaktion mit den Metalloberflächen entstehen, das Öl versäuern.

Besonderheit bei Estern:

Hohe Temperaturen ($> 80\text{ °C}$) über einen längeren Zeitraum, Temperaturspitzen und Wasser führen in diesen Fluiden zur Hydrolyse, bei der die Moleküle in ihre ursprünglichen Bestandteile, den Alkohol- und Säure-Anteil, aufgespalten werden (z. B. Phosphorsäureester (HFD-Fluid) in Steuerkreisläufen von Turbinen). Je stärker die Hydrolyse fortgeschritten ist, desto schneller erfolgt der weitere Zerfall des Esters, wodurch die Säurezahl und damit das Risiko negativer Folgen exponentiell ansteigen (siehe S. 55).

Besonderheit bei Motorölen:

Aggressive Säuren, die bei der Kraftstoff-Verbrennung entstehen, können durch Blow-by-Gase in das Motoröl gelangen und innerhalb kürzester Zeit zu einer starken Versäuerung führen. Um diesem Prozess entgegenzuwirken, besitzen diese Öle einen hohen Gehalt an basisch wirkenden Additiven.

Folgen der Versäuerung für Maschinenkomponenten und Öl:

- veränderte Viskosität (Verdickung) ► Verlust der Schmierwirkung, Energieverbrauch
- Korrosion ► erhöhter Verschleiß durch Rostpartikel und scharfkantige Flächen
- schnell alternde, poröse Gummi-Dichtungen ► Eintritt von Verunreinigungen
- erhöhter Verbrauch von Additiven ► häufige Ölwechsel oder Nachfüllungen
- beschleunigte Öloxidation und Ölalterung ► Ablagerungen und ggf. Systemspülung
- verkürzte Gebrauchsdauer von Öl und Komponenten ► Ressourcenverschwendung

Luft im Öl

In Mineralöl ist bereits ca. 9 Vol.-% gelöste Luft enthalten.

Zusätzlich ist es nicht vermeidbar, dass betriebs-, produktions- und konstruktionsbedingt von außen Luft in das Ölsystem gelangt. Die Tankgröße und das -Equipment sind dabei entscheidende Faktoren: je größer der Tank bzw. die Distanz zwischen Rücklauf- und Saugleitung, desto mehr Zeit hat das Öl für die Luftabscheidung. Zusätzliche Leitplatten im Tank verlängern die Distanz künstlich. Ein Diffusor bspw. minimiert Turbulenzen bei der Rückleitung des Öls in den Tank.

Luft liegt im Öl in gelöster oder ungelöster Form vor. Druck und Temperatur beeinflussen den Zustand. Bei Druckanstieg wird die Luft im Öl gelöst und bei Druckabfall wird sie wieder freigesetzt. Die Geschwindigkeit, mit der die Luftblasen freigesetzt werden, ist deutlich höher als die, mit der sie in Lösung gehen. Aus diesem Grund sind das Luftabscheidevermögen sowie das Schaumverhalten des Öls von entscheidender Bedeutung.

Gelöste Luft	Ungelöste Luft
vorerst unproblematisch	Problematisch
In die Molekülstruktur aufgenommen	Nicht in die Molekülstruktur aufgenommen
Keine "freie" Luft, d. h. keine Luftblasen	"Freie" Luft vorhanden, d. h. Luftblasen
Entsteht durch den Kontakt mit der Umgebungsluft; Gehalt hauptsächlich abhängig von Druck und Temperatur	Entsteht durch Eintrag von Luftblasen, z. B. Turbulenzen (eintauchende Maschinenteile, Rücklaufleitung in den Tank) und Ansaugen von Luft (Leckagen in der Saugleitung, defekte Dichtungen)
Durch Druck- und Temperaturschwankungen kann gelöste Luft freigesetzt werden. Ungelöste Luft bzw. Luftblasen entstehen	Öl wird kompressibel, Schmierwirkung und Kühlleistung werden beeinträchtigt (auch Mangel-schmierung möglich), beschleunigte Öloxidation, Gas-Kavitation, Deseleffekt, sinkende Förderleistung von Pumpen, Dichtungsverschleiß, Austritt von schäumendem Öl (Risiko von Ölverlust, Umweltverschmutzung) etc.

Luftabscheidevermögen (LAV):

Geschwindigkeit (Zeit in Minuten), mit der die Luftblasen unterhalb der Öloberfläche aufsteigen bzw. vom Öl abgeschieden werden. Je größer die Luftblasen, desto schneller steigen sie auf und desto besser ist das LAV. Eine 2 mm Luftblase steigt doppelt so schnell auf wie eine 1 mm Luftblase bei gleicher Viskosität.

Schaumneigung:

Luftblasen sind mit einer "Haut" aus Öl umschlossen. Zerplatzt die Ölhaut an der Öl-Luft-Grenzfläche nicht oder nur langsam kommt es zur Bildung von Schaum.

1 Arten von Verunreinigungen, deren Quellen und Folgen

Einflussfaktoren auf Luftabscheidevermögen und Schaumneigung:

- Viskosität – je höher die Viskosität, desto schlechter steigen Luftblasen auf
 - hochviskose Öle tendieren zu kleinen Luftblasen
 - niedrigviskose Öle tendieren zu großen Luftblasen
- Temperatur
- Partikel, Wasser sowie Ölalterung beeinflussen die Viskosität
- zu viele Schaum-Inhibitoren (Silikonöl) können zu sehr kleinen Luftblasen führen,
- Alles, was chemisch die Oberflächenspannung des Öls senkt
- Vermischungen inkompatibler Öltypen (Additive, Oberflächenspannung)
- mechanische Faktoren, die Luftblasen zerquetschen und im Öl fein verteilen
- Tankgröße und -design sowie Equipment (z. B. Leitplatten)

Die folgende Tabelle zeigt die Grenzwerte klassischer Anforderungsnormen. Diese Mindestanforderungen werden je nach Anwendung von Erstausrüstern (Original Equipment Manufacturers) in deren Hausnormen, Spezifikationen und Freigabebedingungen noch verschärft. Meist sind auch Grenzwerte für Gebrauchtöle festgelegt (z. B. für Kraftwerke durch den VGB).

Luftabscheidevermögen für Frischöle (in Minuten)						
ISO VG	32	46	68	100	150	> 320
Turbinenöl	5	5	6	-	-	-
Hydrauliköl HLP, HM	5	10	13	21	32	-

Gas-Kavitation:

Wenn Luftblasen von einem Bereich mit niedrigem Druck in einen Bereich mit hohem Druck gelangen, besteht das Risiko von Gas-Kavitation – sie ist die häufigste Art der Kavitation, da immer ein bisschen ungelöste Luft im Öl vorliegt. Gelangt beispielsweise die Luftblase von der Saug- auf die Druckseite einer Pumpe, implodiert der Hohlraum innerhalb der Luftblase. Während der Millisekunden der Implosion wird das Öl auf Jet-Geschwindigkeit beschleunigt. In der Nähe von Metalloberflächen führt dies zu Erosion, Mikro-Rissen und Materialabtrag (z. B. Hydrauliken, Pumpen, Gleitlager).

Dieseleffekt:

Luftblasen im Öl erhitzen sich unter starker Kompression bis zur Selbstentzündung. Je größer die Luftblase und je schneller die Geschwindigkeit des Druckanstiegs/der Kompression, desto heftiger der Dieseleffekt. Zwischen dem Sauerstoff aus den Luftblasen und den Kohlenwasserstoffen des Öls kommt es zu kleinen, explosionsartigen Reaktionen (ähnlich der Zündung im Dieselmotor). Aufgrund des geringen Sauerstoffgehalts in den Luftblasen, erfolgt die Verbrennung nur teilweise, wodurch Rußpartikel entstehen, die zu einer typischen schwarzen Verfärbung führen.

Ölproben

Bei Entnahme von Ölproben ist darauf zu achten die maximale, repräsentative Datendichte zu erhalten, Datenverzerrung zu vermeiden, in optimalen Intervallen zu Beprobieren und wenn möglich an mehrere Stellen im System.

Die primäre Entnahmestelle sollte so platziert sein, dass die Ölprobe aus der bzw. hinter der Zone entnommen wird, wo Verschleiß entstehen kann, und Turbulenzen herrschen (homogene Probe). Sie ist die kritischste und wichtigste Ölprobe und sollte von einem zertifizierten Labor untersucht werden.

Sekundäre Entnahmestellen sollten sich vor und hinter jeder ölgeschmierten Komponente befinden, um den Entstehungsort von akutem Verschleiß detektieren und die betroffene Komponente schnell auffindig machen zu können. Für die schnelle Analyse der Ölproben aus sekundären Entnahmestellen reichen hauseigene Testmethoden. Ist ein Nebenstromfilter mit Probeentnahmehahn installiert, gibt die Ölprobe Auskunft über die Gesamtreinheit des Ölsystems. Denn die Pumpe des Nebenstromfilters saugt bei empfohlener Installationsweise das Öl an einer tiefen Stelle des Tanks an. Werden hier hohe Ölreinheiten erzielt, ist das gesamte Ölsystem in einem exzellenten Zustand. Manche Hersteller bieten optional Ölsensoren für das Online-Monitoring des Ölzustands in Echtzeit.

Entscheidend für eine hohe Qualität der Ölprobe und Aussagekraft der Ölanalysen ist die sorgfältige, saubere und konsistente Durchführung der Entnahme, die im besten Fall durch stets die gleiche Person und in regelmäßigen Abständen durchgeführt wird. Auch die Sauberkeit des Equipments beeinflusst die Qualität der Ölprobe wie z. B. Probeflasche, Vakuumpumpe, Schläuche, Ventile, Anschlüsse und mobile Filter.

Tipps:

- sorgfältige, saubere und konsistente Prozedur bei der Beprobung
- auf die richtige Ölmenge achten
 - abhängig von dem Umfang des Öl-Analyse-Programms
- Entnahme des Öls stets am betriebswarmen System (Ausnahme: Maschine defekt)
 - wo mögliche Verunreinigungen homogen im Öl vermischt sind
- Häufigkeit der Ölprobe an Zielen ausrichten (Maschinenzuverlässigkeit)
 - um Trendverläufe des Öl- und Maschinenzustands zu ermitteln ist Regelmäßigkeit erforderlich – Einflussfaktoren:
 - Welche Zustände müssen häufig überwacht werden
 - Wie schnell entstehen Probleme und akuter Verschleiß
- mehrere Entnahmestellen
- Spülung des Equipments für hohe Reinheit und um Vermischungen zu vermeiden (andere Öltypen, alte Probenreste)
 - je korrekter die Analyse sein soll und je höher die gewünschte Ölreinheit ist, desto mehr Spülöl ist zu verwenden

2 Ölproben richtig entnehmen

Für die Probeentnahme können bei uns geeignete Probenflaschen angefordert werden.

Probeentnahme

Entnahmestelle für das Detektieren akuter Verschleißvorgänge:

Bsp. Umwälzschmiersystem

Für eine repräsentative Ölanalyse sollte sich die Entnahmestelle in der Rücklaufleitung zwischen Maschine und Systemtank befinden – vor dem Rücklauffilter (wenn vorhanden). Nur hier erhält man konzentrierte Daten über den Ölzustand nach vollständigem Durchlauf durch die Maschine und bevor das Öl in den Tank eingeleitet wird und sich mit der Ölfüllung vermischt. So ist das Detektieren von akuten Verschleißvorgängen möglich, um rechtzeitig Maßnahmen einzuleiten. Niemals in der Druckleitung.

Bsp. Ölsumpf mit Umwälzung

Entnahmestelle: hinter dem Ölsumpf und hinter der Pumpe, vor dem Hauptstromfilter

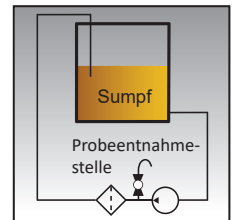
Bsp. Ölsumpf ohne Umwälzung (Ölbad, Sprüh-Schmierung)

Entnahmestelle: herstellereitig konstruierte Entnahmestelle (z. B. Mini-Mess-Anschluss). Optional: Entleerungsventil – Pilotschlauch notwendig, um in den näheren Bereich der Komponenten zu gelangen, wo der Verschleiß entsteht.

Entnahmestelle zur Ermittlung der Reinheit des gesamten Ölsystems:

Nebenstromfilter

Ist ein Nebenstromfilter mit Probeentnahmehahn zwischen Pumpe und Filter installiert, kann dieser verwendet werden. Werden hier hohe Ölreinheiten erzielt, ist das gesamte Ölsystem in einem exzellenten Zustand. Denn die Pumpe des Filters saugt das Öl an der tiefst möglichen Stelle aus dem Tank an (Sedimentbereich).



Anleitung für die Probeentnahme:

Wichtiges Zubehör zur Entnahme der Ölprobe

- partikelfreie Glas- oder Plastikflasche (250 ml für Standard-Analyse-Set)
 - optimal: Lagerung in einem sauberen ZIP-Beutel
- ggf. Vakuumpumpe (nur für drucklose Leitung), Peilstab, Schläuche etc.
- Spülöl zur Reinigung des Equipments
- Lappen und ggf. Reinigungsflüssigkeit äußerer Oberflächen
- Auffanggefäß mit einem Fassungsvermögen von ca. 2 Liter
- Etikett, Probenbegleitschein und Stift

1. Auffangbehälter unter der Entnahmestelle platzieren.
2. Äußere Oberfläche der Entnahmestelle mit sauberen Lappen und ggf. Reinigungsflüssigkeit säubern.
3. Anschluss der Entnahmestelle 4- bis 5-mal öffnen und schließen und geöffnet lassen.

Fortsetzung nächste Seite

WARNUNG

Öle und Fluide verursachen ggf. aggressive Dämpfe. Fluid in Leitungen sowie Oberflächen können heiß sein.

4. Ventil spülen, d. h. mind. 1 Liter Anlagenflüssigkeit in den Auffangbehälter ablassen.
5. Ggf. Vakuumpumpe und Schläuche spülen.
 - Spülmenge: 5- bis 10-faches Totvolumen (Schlauch, Vakuumpumpe)
5. Verschlusskappe der Probenflasche abschrauben, aber nicht von der Flasche abheben (Kontaminationsrisiko senken).
 - optimal: Kappe der Probenflasche in einem ZIP-Beutel abnehmen, ohne den ZIP-Beutel zu öffnen ► Kontaminationsgefahr durch Aufbewahrung in den Händen oder auf dem Boden vermeiden
6. Probenflasche dicht an den Ölstrahl halten und Verschlusskappe entfernen bzw. schnellstens an der Vakuumpumpe befestigen.
 - optimal: Probenflasche bleibt im ZIP-Beutel und dieser wird nur für den Flaschenhals geöffnet
7. Ca. 80 % der Probenflasche mit Öl befüllen.
 - Hinweis: Entnahmestelle nicht berühren oder bewegen.
8. Probenflasche umgehend mit der Verschlusskappe verschließen.
 - optimal: Flasche im ZIP-Beutel mit Kappe verschließen und ZIP-Beutel sorgfältig verschließen. Flasche erst in sauberer Umgebung aus dem ZIP-Beutel entnehmen.
9. Entnahmestelle schließen.
10. Etikett beschriften und auf die Probeentnahmeflasche kleben, Probenbegleitschein ausfüllen.
11. Probenflasche mit dem Begleitschein versenden.
12. Das Öl im Auffanggefäß entweder gemäß den Umweltrichtlinien entsorgen (Empfehlung) oder wieder in das System zurückfüllen (vor dem Filter).
13. Zubehör nach Verwendung mit Spülmittel für die Wiederverwendung säubern oder gemäß den Umweltrichtlinien entsorgen.

Entnahme aus dem Tank (nur wenn anders nicht möglich):

Eine Ölprobe aus dem Tank sollte so nahe wie möglich an der Rücklaufleitung oder aus der Tankmitte entnommen werden, wo Bewegung herrscht. Sie ist nicht repräsentativ für akute Verschleißvorgänge, da die Daten aus der Maschine stark verdünnt sind.

Anleitung für die Probeentnahme mittels Vakuumpumpe:

1. Schlauch und Vakuumpumpe mit Spülmittel spülen. Schlauch und Probenflasche an der Vakuum-Pumpe befestigen
 - optimal: Probenflasche in einem verschlossenen ZIP-Beutel öffnen. Beutel nur für Flaschenhals öffnen und Verschlusskappe im Beutel lassen.
2. Schlauch an einem 10 cm längeren Peilstab fixieren (für Distanz zum Tankboden). Aufwirbeln von Sedimenten und Berühren der Tankwandung vermeiden.
3. Mit einigen Pumpenstößen die Probenflasche zu 80 % füllen. Um den Ölfluss zu stoppen, Probenflasche von der Pumpe lösen. Probenflasche sofort verschließen.
4. Zubehör nach Verwendung mit Spülmittel für die Wiederverwendung säubern oder gemäß den Umweltrichtlinien entsorgen.

2 Ölproben richtig entnehmen

Probenbegleitschein

Nicht nur das Ziehen einer repräsentativen Ölprobe mit der richtigen Methode und dem richtigen Equipment ist entscheidend, sondern auch eine detaillierte Beschreibung der Ölprobe zur Identifikation und Bewertung der Ölprobe. Je mehr Informationen dem Labor zur Verfügung gestellt werden, desto präziser sind die Untersuchungsergebnisse.

Wichtige Angaben:

1. Informationen über die beprobte Maschine

- Maschinenart, Hersteller, Modell, Identifikations-Nummer, Komponente
- Tank- und Ölvolumen
- installierte Kühler oder Vorerwärmer
- Maschinenalter (z. B. Betriebsstunden)

2. Informationen über Öl und Probe

- Öltyp, Hersteller, Produktname, Viskositätsgrad und ggf. Produktdatenblatt
 - genaue Kenntnis über Ölformulierung und Additive wichtig – Angabe von z. B. Shell ISO VG 320 ist nicht ausreichend

Beispiel: Zink = Verschleißschutz-Additiv oder Abrieb

- Zeitpunkt des letzten Ölwechsels (z. B. Betriebsstunden)
- Nachfüllmengen zwischen Ölwechsel und Probeentnahme
- Datum und Entnahmestelle der Probeentnahme

2. Weitere wichtige Informationen

- Grund der Analyse z. B. untypische Schmierstoffveränderungen (z. B. Schaum- und Schlamm-Bildung), Schäden, kurze Filterstandzeiten, Vorbeugung und Monitoring
- Umölungen
- Revisionen und Servicearbeiten
- Betriebsbedingungen
 - Betriebs- / Umgebungstemperatur, Druck, Auslastung, Schmutzeintrags-Risiko

PROBENBEGLEITSCHIN	
MASCHINENDATEN	
Maschinenart	_____
Hersteller	_____
Einbaugebiet	_____
Betriebstemperatur	_____
Umgebungstemperatur	_____
Entnahmestelle (z. B. Ölwanne / Probeabzug, etc.)	_____
ÖLDATEN	
Ölart / -bezeichnung	_____
Viskosität	_____ <input type="radio"/> ISO VG <input type="radio"/> SAE
Öltemperatur	_____
Öltyp (z. B. mineralisch / synthetisch)	_____
Ölmenge im System	_____
Datum Probeentnahme	_____
Datum letzter Ölwechsel	_____
Laufzeit seit letztem Ölwechsel	_____
KONTAKTDATEN	
Firma	_____
Name	_____
Abteilung	_____
Strasse, PLZ, Ort	_____
Telefon	_____
E-Mail	_____

ETIKETT FÜR PROBEENTNAHMEFLASCHE	
Firma:	_____
Datum:	_____
Öltyp /-marke:	_____
Ölvolumen:	_____
Anwendung:	_____
Bemerkungen:	_____

Tip

Probenbegleitschein und Flaschenetikett maschinell ausfüllen, um die Lesbarkeit zu garantieren und das Fehlen von Informationen zu vermeiden. Zum Teil werden webbasierte Anwendungen zur Vorregistrierung der Ölprobe sowie entsprechende Etiketten zur Identifikation der Probeflaschen angeboten.

Ölanalysen

Ölanalysen geben Aufschluss über den Schmierstoff- und Maschinenzustand, Betriebsbedingungen und ob Maßnahmen erforderlich sind (Ölwechsel, Umölung, Reparatur, zusätzlichen Nebenstromfilter installieren). Ölanalysen sind für die Diagnostik der Restlebensdauer des Öls, von akuten Verschleißvorgängen und schleichenden Ölzustandsänderungen erforderlich sowie für die Ursachen- und Fehleranalyse:

- Verunreinigungen (Arten/Quellen/Höhe der Belastung)
- ineffizienter Schmierstoff oder Filter
- betriebs- oder konstruktionsbedingt

Trendanalysen der Ölzustandswerte sind empfehlenswert für die Einschätzung wie dringend die Gefahr ist, wie schnell sie sich entwickelt, wie viel Zeit für die Fehlersuche und -beseitigung bleibt und ob bereits getroffene Maßnahmen effizient sind. Probleme sind nur mit regelmäßigen Ölanalysen detektierbar. Für Fehleranalysen muss die Entwicklung der Ölzustandswerte in die Gesamtbetrachtung einbezogen werden, um ein exaktes Verständnis über den Maschinenzustand zu erlangen. Auch die Post-Mortem-Analyse der defekten Komponenten, des gebrauchten Öls und der gebrauchten Filter hilft dabei mehr über die Ursache(n) zu erfahren.

Regelmäßige Ölanalysen kosten meist nur einen Bruchteil eines Ölwechsels oder eines Maschinenstillstands. Denn die Kosten für Frischöl, Altölsorgung, Personal und Produktionsstillstand sowie ggf. Systemspülung – falls Ölwechsel oder Gegenmaßnahmen zu spät erfolgen – sind kostenintensiv. Insbesondere bei großen Ölvolumina, sensiblen und kritischen Maschinen sowie synthetischen Fluiden. Der Return on Investment ist positiv, sobald die Einsparungen bei Öl- und Instandhaltungskosten unter Berücksichtigung der ökologischen Vorteile (CO₂, Verbrauch (Öl, Ersatzteile, Energie)) die Implementierungskosten übersteigen.

Beispiel

10 Getriebe, gleicher Öltyp, gleiche Bedingungen (Betriebstemperaturen, Auslastung etc.). Ölanalysen bestätigen, dass nur in 4 von 10 Getrieben ein Ölwechsel wirklich notwendig ist. Bei 6 Getrieben hat das Öl noch eine Restlebensdauer von 80 % und die Ölwechsel können eingespart werden.

Analyse-Umfang:

Die kritischen Ursachen für Maschinenausfälle sollten von dem Analyse-Set abgedeckt werden. Erinnerung: in bis zu 80 % der Fälle sind Partikel, Wasser gefolgt von Oxidationsprozessen die Hauptverursacher für die schwerwiegendsten Verschleißvorgänge und Schäden. Die Analysen dieser Ursachen sind entscheidend für die Optimierung der Maschinenzuverlässigkeit. *Fortsetzung nächste Seite*

2 Ölproben richtig entnehmen

Darüber hinaus entscheiden Öltyp und Anwendung über den Umfang mit.

Ein Standard-Analyse-Paket für Hydraulik- und Schmieröle sollte folgende Analysen enthalten:

- Partikelzählung (ISO 4406)
- Wassergehaltsbestimmung nach Karl Fischer (coulometrisch)
- MPC-Test zur Bestimmung der Varnishneigung des Öls
- Verschleiß- und Elementanalyse
- Infrarot Spektroskopie
- Viskosität bei 40°C und 100 °C
- TAN

Motoröle bspw. sind zusätzlich hinsichtlich Rußgehaltes, Basenzahl, Viskositätsindex, Glykol, Oxidation, Sulfation und Nitration zu untersuchen – und Diesel wiederum zusätzlich hinsichtlich Bakterien und Pilze.

Wichtig

Eine Referenzprobe des Frischöls sollte gezogen und analysiert werden, um Additivpaket, Grundöl und Ölzustand exakt bewerten zu können.

Eine Frischölprobe ist grundsätzlich ratsam, da Frischöl oftmals nicht der Ölreinheit entspricht, die für sensible Maschinenkomponenten gefordert wird oder anwendungsspezifisch notwendig ist. Ölanalysen bei Wareneingang und vor dem Befüllen in die Maschine sind ratsam – ggf. auch während der Lagerzeit.

Optionen für die Analyse der Ölproben:

- Labor (inhouse oder extern (Postversand))
- tragbare Messgeräte (schnell wichtigste Daten messbar)
- dauerhaft installierte Ölsensoren (Echtzeitdaten der wichtigsten Werte)
 - kritische Maschinen mit kurzen Intervallen zwischen Ausfällen (Schutz vor Komplettausfall und Funktionsverlust)
 - für frühestmögliche Detektion von Verschleiß
 - je früher Fehler erkannt wird, desto eher kann Schaden entgegengewirkt werden und desto länger die Maschinenlebensdauer
 - für planbare, ressourcenschonendere und kostengünstigere Wartung

Das Öl-Analyse-Programm:

Ein gut durchdachtes und ausgeführtes Öl-Analyse-Programm ist essenziell für zustandsorientierte Ölwechsel, zur Beseitigung von Grundursachen (proaktiv) und als Frühwarnsystem bei Beginn von akutem Verschleiß (prädiktiv).

Tipps

- Richtige Maschine(n) auswählen z. B. kritischste für Produktion, fehleranfälligste
- Richtige Intervalle für Ölanalysen finden – Strategie entwickeln für zustandsorientierte Ölwechsel (Ressourcen- und Kostengründe)
 - Online-Messung und Echtzeitwerte im Minutentakt
 - Manuelle Ölanalysen pro Tag, Woche, Monat oder Jahr
- Richtiges Öllabor
 - Qualitativ hochwertige Analysen
 - Equipment, Durchführung und Diagnose
- Richtige Alarm- und Grenzwerte für Ölgesundheit definieren
 - geforderte Ölreinheiten für sensible Komponenten berücksichtigen

Einflussfaktoren auf die Frequenz der Ölanalysen:

- Wie schnell ändern sich physikalische und chemische Öleigenschaften und damit der Maschinenzustand
- Wie sind die Umgebungs- und Betriebsbedingungen
 - Eintrag von Verunreinigungen, Verschleißvorgänge, Druck, Temperatur etc.
- Wie alt ist das Öl und die Maschine
- Wie schwerwiegend sind die Kosten für Ausfall, Reparatur, Vertragsstrafen und Produktionseinbußen
- Wie hoch ist das Sicherheitsrisiko
- Wie wichtig sind zustandsorientierte Ölwechsel aus Ressourcen- und Kostengründen
- Wie weit sind Alarm- und Grenzwerte noch entfernt

Für einen übersichtlichen Trendverlauf sollten die Test-Ergebnisse der Analysen im zeitlichen Verlauf nebeneinander dargestellt werden (s. Abb. 20).

Öprobe Nr.	6	4	3	2	1
Probe entnommen am	14/03/2017	10/02/2017	16/01/2017	13/12/2016	11/11/2016
Probe analysiert am	21/03/2017	16/02/2017	20/01/2017	18/12/2016	17/11/2016
Probe diagnostiziert am	22/03/2017	17/02/2017	23/01/2017	20/12/2016	18/11/2016
Viskosität ASTM D1729					
Viskosität bei 40°C mm ² /s	44,9	48,3	46,6	47,1	46,6
Viskosität bei 100°C mm ² /s	6,4	6,1	6,6	6,9	6,7
Viskositätsindex	95	96	96	97	96
Wassergehalt ASTM D 6304					
Wassergehalt ppm	34	126	303	591	873
Elementanalyse ICP ASTM D5185					
Phosphor (P) ppm	207	208	212	219	259
Zinn (Zn) ppm	246	248	266	268	404
Calcium (Ca) ppm	28	30	31	37	48
Barium (Ba) ppm	0	0	0	0	0
Magnesium (Mg) ppm	0	0	0	0	0
Aluminium (Al) ppm	0	0	0	0	0
Eisen (Fe) ppm	<26	<26	<26	148	122
Chrom (Cr) ppm	0	0	0	4	2
Molybdän (Mo) ppm	0	0	0	0	0
Kupfer (Cu) ppm	1	0	21	87	23
Blei (Pb) ppm	0	0	0	0	0
Zinn (Sn) ppm	0	0	0	0	0
Silicium (Si) ppm	1	0	1	2	1
Natrium (Na) ppm	4	4	4	6	5
Bor (B) ppm	0	0	0	0	0
Vanadium (V) ppm	0	0	0	0	0
Schwefel (S) ppm	2396	2398	2401	2411	2626
Nickel (Ni) ppm	0	0	0	0	0
Silber (Ag) ppm	0	0	0	0	0
Yttrium (Y) ppm	0	0	0	0	0
Kalium (K) ppm	1	1	0	1	1
Partikelverteilung					
SAE AS4059 >4µm(c)	40601	121741	497936	2967668	794112
SAE AS4059 >6µm(c)	16393	41282	186668	988776	308847
SAE AS4059 >14µm(c)	1093	7001	26931	63919	32787
SAE AS4059 >23µm(c)	497	1766	6166	19323	10019
SAE AS4059 >38µm (c)	199	137	462	1868	1696
SAE AS4059 >70µm(c)	0	0	97	166	164
SAE AS4059	7	8	10	12	11
Particle Count ISO4406	10/10/11	17/16/13	19/18/16	20/20/16	20/19/16
Membrane Patch Colorimetry					
	9.6	9.6	12.1	21.6	16.3

Abb. 20: Trendverlauf

3 Ölproben analysieren und beurteilen

Partikelgehalt – Testmethoden

Da Feststoffpartikel die Hauptursache für Maschinenausfälle sind, ist die Sensibilisierung hinsichtlich der Überwachung der Partikelanzahl essenziell.

Testmethoden zur Bestimmung des Partikelgehalts sind z. B.:

Gravimetrisches Verfahren

Dieses Verfahren stellt die einfachste Methode zur quantitativen Bestimmung der Feststoffpartikel dar. Eine bestimmte Menge der Ölprobe wird über eine Testmembran gegeben (Filterfeinheit: typisch $0,8 \mu\text{m}$). Die Membran wird vor und nach der Präparation gewogen. Die Differenz der beiden Messergebnisse ist die Partikelmasse. Für eine allgemeine Sauberkeitsprüfung reicht diese Aussage oftmals aus. Allerdings gibt sie keine Auskunft über die Partikelverteilung nach Partikelgrößen.

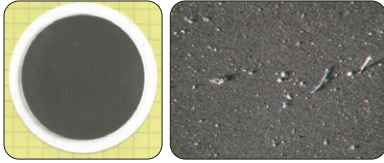


Abb. 21:

Foto (li): Filtermembran

Foto (re): Membranfilter-Segment mit einem repräsentativen Teil der Verunreinigungen von 30 g Öl bei ca. 80-facher Vergrößerung

Zur Bestimmung der Art der Verunreinigungen wird mittels Mikroskopie die Membran stark vergrößert.

Mikroskopische Partikelzählung

Bei diesem Verfahren wird das Öl mit einem Lösemittel verdünnt und über die Testmembran gegeben (Filterfeinheit: typisch $0,45 \mu\text{m}$). Da jedoch Lösemittel Einfluss auf Alterungsprodukte, Additive und Wasseranteile haben, sollte nach Möglichkeit unverdünnt gemessen werden. Die auf der Filtermembran verbliebenen Partikel werden manuell oder automatisch gezählt.

Manuell:

- Membran wird in einzelne quadratische Bereiche aufgeteilt
- Auszählung einzelner, repräsentativer Bereiche oder anhand von Vergleichsreferenzen
- Partikel > 5 und $> 15 \mu\text{m}$ werden gezählt

Automatisch:

- Membran wird gescannt
- Partikelerkennung und Auswertung durch Bilderkennungssoftware

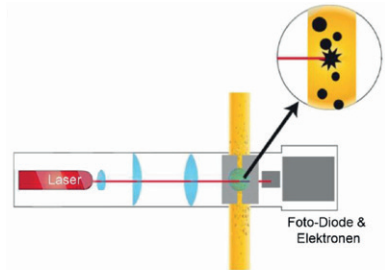
Mit dieser Methode können Aussagen über die Partikelverteilung (Größe und Anzahl) getroffen werden. Einflussfaktoren sind die Lösemittelwahl, Equipment und das auswertende Personal.



Automatische Partikelzählung (Labor oder online)

Bei diesem Verfahren werden die Partikel mittels Laser gezählt. Die Partikel rufen eine Abdunklung auf der Fotozelle hervor, wenn sie das Licht des Laserstrahls blockieren. Die Abdunklungen werden elektronisch ausgewertet.

Mit dieser Methode können Aussagen über die Partikelverteilung (Größe und Anzahl) getroffen werden. Automatische Partikelzähler messen Partikel > 4 , > 6 und $> 14 \mu\text{m}$ (moderne Partikelzähler ermitteln zusätzlich Werte zu anderen Partikelgrößen).



Einflussfaktoren auf die Messung

- Öltyp und -zustand
- Wassertropfen, Ölalterungsprodukte sowie verbrauchte Additive, die als Partikel gezählt werden
- Partikel-Lage, denn Partikel sind nicht immer rund und je nach Partikel-Lage wird die kleinere oder größere Fläche des Partikels vom Laser registriert
- Luftblasen (sind bei Probenaufbereitung vermeidbar)
- nicht gelöste Ölbestandteile wie z. B. Silikonöle (Schaum-Inhibitoren)

Problematisch für die Messung

- hoher Rußpartikel-Gehalt (z. B. bei Motoröl, Härteöl)
 - verursacht eine dunkle Ölfärbung
- Schlieren im Öl z. B. durch Wasser, ungelöste Fremdfüssigkeiten
 - verursachen Lichtbrechungen
- Härte der Partikel wird nicht erfasst
 - handelt es sich um harte, stark abrasive Partikel oder weiche Verunreinigungen infolge von Ölalterung und Additivabbau

Wichtig

Die Echtzeit-Partikelzählung mit einem Condition Monitoring System während des Betriebs ist gegenüber der Messung von Feststoffpartikeln im Labor exakter, da Fremdeinfluss durch Probenahme vermieden wird. Ölalterungsprodukte, die bei Betriebstemperatur in Lösung sind und die durch das Abkühlen der Ölprobe ausfallen, könnten die Messung zudem beeinflussen. Weitere Analysen, die Auskunft über die Oxidationsrate des Öls geben, sind daher immer empfehlenswert.

3 Ölproben analysieren und beurteilen

Partikelgehalt – Klassifizierungssysteme

Klassifizierung nach ISO 4406 (International Organization for Standardization):

Das Verfahren nach ISO 4406/1999 zur Codierung der Anzahl der Feststoffpartikel ist ein Klassifizierungssystem, bei dem aus dem ermittelten Partikelgehalt eine ISO-Klasse (Ölreinheitsklasse) abgeleitet wird.

Gemäß ISO 4407 sind die bei > 5 und $> 15 \mu\text{m}$ ermittelten Werte aus der manuellen Partikelzählung gleichzusetzen mit den bei > 6 und $> 14 \mu\text{m}$ ermittelten Werten aus der automatischen Partikelzählung, wenn der Partikelzähler gemäß ISO 11171 kalibriert ist.

Automatische Partikelzählung

Die Anzahl der Partikel $> 4 \mu\text{m}$, $> 6 \mu\text{m}$ und $> 14 \mu\text{m}$ pro 100 ml werden bestimmt. Den drei ermittelten Partikelanzahlen werden Codezahlen zugeordnet, welche die Ölreinheitsklasse ergeben.

Beispiel – ISO-Code 19/17/14

(typisch für Frischölqualität)

Partikelgrößenverteilung in 100 ml des untersuchten Öls:

- 250.000 bis 500.000 Partikel $> 4 \mu\text{m}$
- 64.000 bis 130.000 Partikel $> 6 \mu\text{m}$
- 8.000 bis 16.000 Partikel $> 14 \mu\text{m}$

Mikroskopische Partikelzählung

Es wird nur die Anzahl der Partikel $> 5 \mu\text{m}$ und $> 15 \mu\text{m}$ gezählt. Partikel $< 5 \mu\text{m}$ werden nicht berücksichtigt, da diese Partikelgröße mikroskopisch schlecht zählbar ist.

Beispiel – ISO-Code 17/14

(typisch für Frischölqualität)

Partikelgrößenverteilung in 100 ml des untersuchten Öls:

- 64.000 bis 130.000 Partikel $> 5 \mu\text{m}$
- 8.000 bis 16.000 Partikel $> 15 \mu\text{m}$

Anzahl der Partikel $>$ angegebene Größe		
mehr als	bis zu	ISO-Code
8.000.000	16.000.000	24
4.000.000	8.000.000	23
2.000.000	4.000.000	22
1.000.000	2.000.000	21
500.000	1.000.000	20
250.000	500.000	19
130.000	250.000	18
64.000	130.000	17
32.000	64.000	16
16.000	32.000	15
8.000	16.000	14
4.000	8.000	13
2.000	4.000	12
1.000	2.000	11
500	1.000	10
250	500	9
130	250	8
64	130	7
32	64	6
16	32	5
8	16	4
4	8	3

(Auszug aus der aktuell gültigen Norm ISO 4406)

Wichtig

Die ISO-Klassifizierung basiert auf Logarithmen, d. h. ein Anstieg der ISO-Klasse um einen Wert, bedeutet eine Verdopplung des Partikelgehalts.

Klassifizierung nach SAE AS 4059 *(Society of Automotive Engineers, Aerospace Standard):*

Bei diesem Klassifizierungssystem werden die Partikel in 6 Größenklassen (A bis F) eingeteilt. Je Größenklasse wird die Partikelanzahl in 100 ml bestimmt. Die so ermittelten Messwerte der einzelnen Größenklassen werden jeweils einer entsprechenden Ölreinheitsklasse (000 bis 12) zugeordnet.

	Maximale Partikelzahl je Größenklasse (Partikel/100 ml)					
Kalibrierung nach NAS 1638	> 1 µm	> 5 µm	> 15 µm	> 25 µm	> 50 µm	> 100 µm
Kalibrierung nach AS 4059	> 4 µm	> 6 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm
Größenklasse	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	6.520	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	512
12	3.200.000	1.250.000	222.000	39.200	6.780	1.024

(Auszug aus der aktuell gültigen Norm SAE AS 4059)

Beispiel - SAE AS 9A/8B/7C/6D/ 6E/7F (typisch für Frischölqualität):

Partikelgrößenverteilung in 100 ml des untersuchten Öls:

- 200.000 bis 400.000 Partikel > 4 µm = Reinheitsklasse 9A
- 38.900 bis 77.900 Partikel > 6 µm = Reinheitsklasse 8B
- 3.460 bis 6.920 Partikel >14 µm = Reinheitsklasse 7C
- 306 bis 612 Partikel > 21 µm = Reinheitsklasse 6D
- 53 bis 106 Partikel > 38 µm = Reinheitsklasse 6E
- 16 bis 32 Partikel > 70 µm = Reinheitsklasse 7F

Üblicherweise wird nur die Größenklasse 000 angegeben, da sie die kumulierte Partikelanzahl und damit schlechteste Ölreinheitsklasse wiedergibt (hier: 9A).

3 Ölproben analysieren und beurteilen

Klassifizierung nach NAS 1638 (National Aerospace Standard):

Bei diesem Klassifizierungssystem (Vorgänger der SAE AS 4059) werden die Partikel in 5 Größenbereiche eingeteilt. Je Größenbereich wird die Partikelanzahl in 100 ml bestimmt. Die so ermittelten Messwerte der einzelnen Größenbereiche werden jeweils einer entsprechenden Ölrreinheitsklasse (00 bis 12) zugeordnet.

Maximale Partikelzahl je Größenklasse in 100 ml											
Größenbereiche	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5–15 µm	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.000	32.000	64.000	128.000
15–25 µm	22	44	88	178	356	712	1.425	2.850	5.700	11.400	22.800
25–50 µm	4	8	16	32	63	126	253	506	1.012	2.025	4.050
50–100 µm	1	2	3	6	11	22	45	90	180	360	720
> 100 µm	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128

(Auszug aus der aktuell gültigen Norm NAS 1638)

Beispiel – NAS 6:

Partikelgrößenverteilung in 100 ml des untersuchten Öls:

- 8.000 bis 16.000 Partikel in der Größe von 5–15 µm = NAS 6
- 712 bis 1.425 Partikel in der Größe von 15–25 µm = NAS 5
- 63 bis 126 Partikel in der Größe von 25–50 µm = NAS 4
- 11 bis 22 Partikel in der Größe von 50–100 µm = NAS 4
- 1 bis 2 Partikel in der Größe > 100 µm = NAS 3

Üblicherweise wird nur der Größenbereich 5–15 µm angegeben, da er die höchste Anzahl der Partikel wiedergibt, die den meisten Schaden verursachen (hier: NAS 6).

Unterschiede zwischen ISO 4406, SAE AS 4059 und NAS 1638:

- Die NAS zählt differentielle Partikelbereiche von 5–15, 15–25, 25–50 und > 100 µm
 - ISO und SAE zählen die Partikel kumulativ
- Aufgrund der unterschiedlichen Zählweise sind NAS nicht mit der ISO- und SAE-Reinheitsklasse vergleichbar (nur mittels Korrelationstabellen)
- Klassifizierung gemäß ISO oder SAE ist zeitgemäßer, da insbesondere die Angabe der Anzahl der Partikel < 5 µm für die Bewertung des Öl- und Maschinenzustand und für die Optimierung der Maschinenzuverlässigkeit entscheidend ist.

Reinheitsklassen einstufen

Für jedes Ölsystem und für jede Systemkomponente wird herstellerseitig ein max. Verunreinigungsgrad bzw. eine Ölrreinheitsklasse spezifiziert. Die Einhaltung dieser Werte ist nicht nur für die Zuverlässigkeit der Maschine, sondern auch im Garantiefall entscheidend. Schon eine Reinheitsklasse von 18/15/12 (gemäß ISO 4406) – eine absolut nicht sichtbare Menge an Partikeln im Öl – ist für viele Anwendungen nicht geeignet. D. h. auch Frischöl mit einer typischen Reinheitsklasse von 19/17/14 ist ggf. nicht rein genug, so dass Komponenten nicht die zu erwartende Lebensdauer erreichen.

Wichtig

- ISO 18/15/12 \approx 1 ppm Schmutz im Öl (= 0,0001 Gew.-%) \approx 1 mg Schmutz pro Liter
- bis zu 500 ppm (0,05 Gew.-%) an ungelösten Stoffen sind in Frischöl zulässig (DIN 51 524, Teil 2) \approx bis zu 100 ml Schwebstoffe in einem 200-Liter-Ölfass

Die folgende Tabelle zeigt die empfohlene Ölrreinheitsklasse nach ISO 4406 für Hydraulik- und Schmierölsysteme sowie Getriebe. Je höher der Druck, desto höher die Sensibilität gegenüber Verunreinigungen.

ISO-Code 4406	Ölrreinheit	Geeignet für
ISO 14/12/10	sehr sauberes Öl	alle Ölsysteme
ISO 16/14/11	sauberes Öl	Servo- und Hochdruckhydrauliken, kritische Getriebe
ISO 17/15/12	leicht verschmutztes Öl	Hydraulik- und Schmierölsysteme, Standard-Getriebe
ISO 19/17/14	Frischöl	Nieder- und Mitteldrucksysteme, nicht kritische Getriebe
ISO 22/20/17	stark verschmutztes Öl	nicht geeignet für Ölsysteme und Getriebe

(Quelle: Noria Corporation)

Ölpumpe oder Schmutzpumpe?

Annahme: Hydrauliksystem mit Volumendurchfluss: 190 l/min, 8.760 Bh/Jahr (24/7)

- 25- μ m-Filter erreicht meist nur **ISO-Code 21/18/12**
 - **ca. 3.077 kg Schmutz passiert jährlich die Systempumpe**
= > 123 Zementbeutel a 25 kg
- 3- μ m-Filter kann ISO-Code 14/11/5 und 12/9/3 erreichen
 - bei **ISO-Code 14/11/5**
 - nur noch 0,8 % der Partikelmenge im Öl
 - **ca. 24,6 kg Schmutz passiert jährlich die Systempumpe**
= < 1 Zementbeutel a 25 kg
 - bei **ISO-Code 12/9/3**
 - nur noch 0,2 % der Partikelmenge im Öl
 - **ca. 6,1 kg Schmutz passiert jährlich die Systempumpe**
 \approx 1/4 Zementbeutel a 25 kg

3 Ölproben analysieren und beurteilen

Lebensdauer von Systemkomponenten verlängern

In Abhängigkeit von der Reinheitsklasse verändert sich die Lebensdauer der Komponenten von Hydraulik- und Schmiersystemen, Getrieben und Motoren deutlich. Je sauberer das Öl, desto länger die Lebensdauer (Quelle: Noria Corporation):

Höhere Ölreinheit = längere Lebensdauer für Komponenten																				
	21/19/16		20/18/15		19/17/14		18/16/13		17/15/12		16/14/11		15/13/10		14/12/9		13/11/8		12/10/7	
24/22/19	2	1,6	3	2	4	2,5	6	3	7	3,5	8	4	>10	5	>10	6	>10	7	>10	>10
	1,8	1,3	2,3	1,7	3	2	3,5	2,5	4,5	3	5,5	3,5	7	4	8	5	10	5,5	>10	8,5
23/21/18	1,5	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	5	3	7	3,5	9	4	>10	5	>10	7	>10	10
	1,5	1,3	1,8	1,4	2,2	1,6	3	2	3,5	2,5	4,5	3	5	3,5	7	4	9	5,5	10	8
22/20/17	1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	5	3	7	4	9	5	>10	7	>10	9
	1,2	1,05	1,5	1,3	1,8	1,4	2,3	1,7	3	2	3,5	2,5	5	3	6	4	8	5,5	10	7
21/19/16			1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	5	3	7	4	9	6	>10	8
			1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,5	2,2	1,7	3	2	3,5	2,5	5	3,5	7	4,5	9	6
20/18/15					1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	5	3	7	4,6	>10	6
					1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,5	2,3	1,7	3	2	3,5	2,5	5,5	3,7	8	5
19/17/14							1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5	6	3	8	5
							1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,5	2,3	1,7	3	2	4	2,5	6	3,5
18/16/13									1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	3,5	6	4
									1,2	1,1	1,5	1,3	1,8	1,5	2,3	1,8	3,7	3	4,5	3,5
17/15/12	Hydrauliken und Dieselmotoren				Kugellager						1,3	1,2	1,6	1,5	2	1,7	3	2	4	2,5
										1,2	1,1	1,5	1,4	1,8	1,5	2,3	1,8	3,7	3	4,5
16/14/11	Gleit- und Wellenlager				Getriebe u. ä.						1,3	1,3	1,6	1,6	2	1,8	3	2	3	2
										1,3	1,2	1,6	1,4	1,9	1,5	2,3	1,8	3,7	3	4,5
15/13/10													1,4	1,2	1,8	1,5	2,5	1,8	2	1,6
													1,2	1,1	1,6	1,3	2	1,6		

Quelle: Noria Corporation

Beispiel

Verbessert sich die Reinheitsklasse des Öls von ISO 20/18/15 auf 14/12/9, ist zu erwarten, dass sich die Lebensdauer von Getrieben verdoppelt (Faktor 2,5) – und sich die Lebensdauer von Hydrauliken vervierfacht (Faktor 5).

Annahme:

Ersatzteilkosten von 100.000 EUR würden bei Faktor 5 auf 20.000 EUR sinken.

Wichtig

Bei der Spezifizierung der adäquaten Ölreinheit sind der sogenannte Reliability Penalty und Contaminant Severity Factor zu berücksichtigen. Die Kalkulation erfolgt unter Beurteilung von bspw.:

- Sicherheitsrisiken durch Schäden
- Ausfallkosten und Produktionseinbußen (Ersatzteile, Personal, Vertragsstrafen)
- geforderte Ölreinheiten für sensible Komponenten (Pumpen, Ventile etc.)
- Betriebsdruck und Druckzyklen
- Oxidationsbeständigkeit des Schmierstoffs
- Härte der Partikel
- Eintrags-Risiko für Verunreinigungen

Viskosität – Testmethoden

Die Viskosität ist die wichtigste physikalische Eigenschaft eines Öls und beschreibt die Fließfähigkeit und Resistenz gegenüber Scherkräften – sprich die Fähigkeit einen stabilen Schmierfilm aufzubauen, Oberflächen zu trennen und Reibung zu vermeiden. Auch Hydrauliköle benötigen für die Kraftübertragung ein bestimmtes Fließverhalten. Je langkettiger und schwerer die Moleküle, desto höher ist die interne Reibung der Moleküle und desto zäher und dickflüssiger ist das Öl (hohe Viskosität).

Da die Viskosität stark temperaturabhängig ist, wird sie für Analysezwecke bei festen Temperaturen von 40 bzw. 100 °C gemessen.

- Hohe Temperaturen ► Öl ist dünnflüssiger (niedrigere Viskosität)
- Niedrige Temperaturen ► Öl ist dickflüssiger (höhere Viskosität)

Auch ein Betriebsdruck > 400 bar beeinflusst die Viskosität. Bei der elastohydrodynamischen Schmierung steigt die Viskosität infolge des extrem hohen Drucks in der Belastungszone zeitweise so stark, dass das Öl fest erscheint.

Kinematische Viskosität (ASTM D445):

Gemessen wird die Zeit, die ein Öl benötigt, um bei einer bestimmten Temperatur (40 und 100 °C) mittels Schwerkraft nur abhängig von der eigenen Dichte entlang einer definierten Strecke zu fließen. Je länger das Öl benötigt, desto höher die Viskosität. Die kinematische Viskosität beschreibt das Viskositäts-Dichte-Verhältnis und damit das Fließ- und Schervermögen eines Öls.

Maßeinheiten: cSt (Centistoke)

SI-Einheit: mm²/s

Formelzeichen: ν

Beispiel

- Wasser benötigt eine Minute = ISO VG 1
- Öl benötigt 10 Minuten = ISO VG 10

Absolute bzw. dynamische Viskosität (ASTM D2983):

Gemessen wird der Fließwiderstand innerhalb einer Flüssigkeit bei einer bestimmten Temperatur (40 und 100 °C). Bei dieser Testmethode wird das Öl in einem Glasgefäß von einer Spindel in Bewegung gebracht. Das Drehmoment, das auf die Spindel bei einer bestimmte Drehzahl wirkt, wird gemessen. Je höher die Drehkraft, desto höher die Viskosität. Die absolute Viskosität beschreibt die Fähigkeit Oberflächen auseinanderzuhalten.

Maßeinheiten: cP (Centi-Poise) oder mPa x s (Milli-Pascal-Sekunde)

SI-Einheit: kg/m*s

Formelzeichen: μ

Kinematische und absolute Viskosität stehen in Beziehung zueinander

Absolute Viskosität = Kinematische Viskosität x spezifische Dichte

3 Ölproben analysieren und beurteilen

Der Viskositätsindex VI (ASTM D2270):

Der Viskositätsindex beschreibt eine weitere wichtige physikalische Eigenschaft eines Öls, denn er beschreibt die Temperaturabhängigkeit der kinematischen Viskosität. Öle mit einem niedrigen VI zeigen eine stärkere temperaturabhängige Viskositätsänderung als Öle mit einem hohen VI.

- Öle mit einem VI > 120
 - Mineralöle der Gruppe III (hydrocracked) oder mit VI-Verbesserern im Additivpaket
 - synthetische Schmierstoffe
- Öle mit einem VI von < 120:
 - Mineralöle der Gruppe I und II (solvent refined, hydrotreated)

Zur Ermittlung werden die Werte der kinematischen Viskosität bei 40 und 100 °C benötigt. Je weiter die Werte auseinanderliegen, sprich je größer die Viskositätsänderung, desto niedriger ist der VI.

Schon eine Änderung der Viskosität von 5–10 % bei einer bestimmten Temperatur kann Fehlfunktionen und starken Verschleiß als Folge haben. Bei sensiblen Anwendungen unter rauen Bedingungen sind die Warnwerte noch niedriger. Eine Frischöl-Referenz-Probe ist zwingend erforderlich, um den Ausgangswert zu ermitteln.



Ursachen für Viskositätsänderungen:

- Betriebsdruck und -temperatur
- Öloxidation und Ölalterungsprodukte
- Verunreinigungen
 - Staub, Wasser, Ruß, Vermischung von Öltypen, Brennstoff-, Lösemittel- und Kühlmittel-Eintrag (Glykol)
- leichtflüchtige Öle



Abb. 22:
Foto (oben):
Frischöl
Foto (unten):
Viskositäts-
änderung infolge
von Ölalterung.
Quelle: Oelcheck
GmbH

Grenzwerte für Motoröl

Maximum-Viskositäts-Limit: Warnung bei +10 % / kritisch bei +20 %

Minimum-Viskositäts-Limit: Warnung bei -5 % / kritisch bei -10 %

ACHTUNG: Viskosität bei 100 °C entscheidend (Motor-Betriebstemperatur hoch)

Grenzwerte für Industrieöle (Hydrauliköle, Kompressorenöl, Getriebeöl, Turbinenöle)

Maximum-Viskositäts-Limit: Warnung bei +5 % / kritisch bei +10 %

Minimum-Viskositäts-Limit: Warnung bei -5 % / kritisch bei -10 %

Grenzwerte für Industrieöle unter rauen Betriebsbedingungen

Maximum-Viskositäts-Limit: Warnung bei +3 bis 4 % / kritisch bei +6 bis 7 %

Minimum-Viskositäts-Limit: Warnung bei -5 % / kritisch bei -10 %

Viskositätsgrade – Klassifizierungssysteme

Die Angabe der Viskosität erfolgt gemäß ISO 3448 in international anerkannten Viskositätsgraden (VG):

ISO VG Viskositätsgrad	Viskosität in cSt @ 40 °C		
	Mittelwert	Min.	Max.
10	10	9	11
15	15	13,5	16,5
22	22	19,8	24,2
32	32	28,8	35,2
46	46	41,4	50,6
68	68	61,2	74,8
100	100	90	110
150	150	135	165
220	220	198	242

ISO VG Viskositätsgrad	Viskosität in cSt @ 40 °C		
	Mittelwert	Min.	Max.
320	320	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748
1000	1000	900	1100
1500	1500	1350	1650
2200	2200	1980	2420
3200	3200	2880	3520
4600	4600	4140	5060
6800	6800	6120	7480

(Quelle: Noria Corporation)

Wichtig

- ISO VG 10 bedeutet:
 - der Mittelwert der Viskosität liegt bei 10 cSt bei 40 °C
 - die Mindest- und Maximal-Viskosität darf max. +/- 10 % betragen, d. h. 9–11 cSt bei 40 °C
- Jeder Viskositätsgrad bedeutet einen Anstieg der Viskosität um 50 % im Vergleich zum vorherigen Viskositätsgrad ► auf VG 10 folgt VG 15 ► auf VG 15 folgt VG 22
- ISO VG 100 = 10-fach höhere Viskosität im Vergleich zu VG 10
- ISO VG 1000 = 100-fach höhere Viskosität im Vergleich zu VG 10
- Für Motoröle wird die kinematische Viskosität in der SAE J-300 klassifiziert. Mono- und Multi-Grade Motoröle werden unterschieden:
 - Mono-Grade-Klassifizierung beschreibt die Viskosität bei Betriebstemperatur
 - Multi-Grade-Klassifizierung beschreibt zwei Viskositätsbereiche:
 - bei Betriebstemperatur und während der Winterzeit (z. B. SAE 5W30)
- Bei Getriebeölen im Automotive Sektor erfolgt die Klassifizierung gemäß SAE J-306.
- Das Klassifizierungssystem gemäß AGMA (*American Gear Manufacturing Assoziation*) ist zwar veraltet, wird aber immer noch häufig verwendet.
- Mittels Korrelationstabellen lassen sich ISO-, SAE- und AGMA-Klassifizierungen vergleichen.

3 Ölproben analysieren und beurteilen

Wassergehalt – Testmethoden

Wasser ist die zweithäufigste Ursache für Maschinenausfälle. Da bereits im Öl gelöstes Wasser schnell schädliche Auswirkungen haben kann, ist es wichtig die Sättigungsgrenze des Öls zu kennen (siehe S. 8 + 9) sowie den exakten Wassergehalt im Öl. Bei Risiko eines hohen Wassereintrags, müssen effiziente Systeme installiert sein, die den Wassergehalt permanent minimieren.

Visuelle Begutachtung:

Die Ölprobe sollte an der kühlpsten Zone im Ölsystem entnommen werden, da bei niedriger Öltemperatur gelöstes Wasser ausfällt und emulgiert oder frei vorliegt. Fallen bei der visuellen Begutachtung Trübung, Schlieren oder Öl-Wasser-Phasen auf, ist der Wasseranteil im Öl bereits sehr hoch (Laserpointer verwenden).



Abb. 23: Hydraulikölproben mit unterschiedlichem Wassergehalt
Von links: 0,01 % - 0,03 % - 0,06 % - 0,1 % - 0,2 % - 2 %



Abb. 24: Öl- und Wasser-Phase



Abb. 25: Inspektion mit Streifen-test

Testmethoden zur exakten Bestimmung des Wassergehalts sind z. B.:

Die Bestimmung des Wassergehalts nach der coulometrischen Karl-Fischer-Titration ist exakter, da der Wassergehalt < 1000 ppm gemessen wird. In den meisten Anwendungen sowie bei hydrolytisch instabilen Fluiden und Ölen mit einer Sättigungsgrenze < 1000 ppm ist daher die coulometrische Titration empfehlenswert.

Karl-Fischer-Titration (KF), coulometrisch

Iod wird elektrochemisch durch eine Generatorelektrode in einer iodidhaltigen Lösung erzeugt. Das entstehende Iod reagiert sofort nach der Karl-Fischer-Reaktion mit dem Wasser. Sobald kein Wasser mehr in der Titrationszelle vorhanden ist, existieren Iod und Iodid nebeneinander und bilden ein reversibles Redoxpaar. Auf diese Weise kann Strom gemessen werden, der das Ende der Titration detektiert. Die Coulometrie weist kleinste Wasseranteile im Öl nach (gelöstes Wasser).

Messbereich: 10 ppm bis 50.000 ppm (0,001–5 %)

Karl-Fischer-Titration (KF), volumetrisch

In Alkohol gelöstes Iod wird durch eine hochgenaue Kolbenbürette kontinuierlich der Probe zudosiert. Der einzige Unterschied zur Coulometrie ist die Art der Dosierung des Titrations-Reagenzes Iod. Sobald das Wasser vollständig abereagiert hat, bleibt Iod unverbraucht in der Lösung zurück und die Titration wird beendet. Der Wassergehalt lässt sich aus dem verbrauchten Volumen an Titrationslösung berechnen.

Messbereich: 1000 bis 1 Mio. ppm (0,1–100 %)

Die Maßeinheit ppm:

Die Maßeinheit ppm steht für den englischen Ausdruck "parts per million" und bedeutet zu Deutsch "Teile von einer Million" (millionstel Teil). Zur besseren Veranschaulichung, wird die Einheit ppm häufig in Prozent (Gew.-%) umgerechnet.

1.000.000 ppm = 100 %	1.000 ppm = 0,1 %
100.000 ppm = 10 %	100 ppm = 0,01 %
10.000 ppm = 1 %	10 ppm = 0,001 %

Lebensdauer von Systemkomponenten verlängern

Die folgende Tabelle beschreibt die zu erwartende Verlängerung der Lebensdauer für mechanische Systeme mit Fluiden auf Mineralölbasis, wenn der Wassergehalt gesenkt wird (Quelle: Noria Corporation).

Niedriger Wassergehalt = längere Lebensdauer für Komponenten									
Derzeitiger Wassergehalt, ppm	Faktor								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50.000	12.500	6.500	4.500	3.125	2.500	2.000	1.500	1.000	782
25.000	6.250	3.250	2.250	1.563	1.250	1.000	750	500	391
10.000	2.500	1.300	900	625	500	400	300	200	156
5.000	1.250	650	450	313	250	200	150	100	78
2.500	625	325	225	156	125	100	75	50	39
1.000	250	130	90	63	50	40	30	20	16
500	125	65	45	31	25	20	15	10	8
260	63	33	23	16	13	10	8	5	4
100	25	13	9	6	5	4	3	2	2

Quelle: Noria Corporation

Beispiel

Reduziert sich der Wassergehalt im Öl von 2.500 auf 156 ppm, ist zu erwarten, dass sich die Lebensdauer von Komponenten verfünffacht (Faktor 5).

Tipps für Best Practice:

1. Das Öl sollte so trocken wie möglich gehalten werden unter Abwägung ökonomischer und ökologischer Faktoren.
2. Der Wassergehalt sollte weit unterhalb der Sättigungsgrenze bei allen Betriebstemperaturen liegen.

Säurezahl (TAN) / Basenzahl (TBN) – Testmethoden

Frischöl ist mit einem pH-Wert von 7 neutral. Die Säurezahl steigt jedoch bereits während der Lagerzeit infolge von Oxidationsprozessen stetig an. Daher sollte das Frischöl vor der Befüllung in die Maschine hinsichtlich Säure- und Basenzahl untersucht werden, aber auch um Referenzwerte für die Bewertung von Trendverläufen heran ziehen zu können. Schmierstoffe, Hydraulik- und Motoröle, die zur schnellen Versäuerung neigen, sollten regelmäßig hinsichtlich ihres Säuregehalts und Additivpakets untersucht werden (Säuren verbrauchen Additive). Bei Motorölen ist es typisch zusätzlich die Basenzahl zu ermitteln, um die öleigene Alkalität (Neutralisationsvermögen) und somit den Zeitpunkt für Nachfüllungen oder Ölwechsel zu bestimmen.

Neutralisationstest zur Bestimmung der Säure- und Basenzahl:

Der Test erfolgt mittels Titration. Das Öl wird mit einem Lösemittel vermischt und in ein Reagenzglas gefüllt. Der Titrant wird über eine Burette dem Öl-Lösemittel-Gemisch hinzugegeben. Mittels Elektroden, mit denen die Leitfähigkeit des Öls getestet wird, oder mittels Farbänderung wird die Säure- bzw. Basenzahl bestimmt. Bei dunklem Öl ist die Messung mittels Elektroden zuverlässiger, da Farbänderungen schlecht sichtbar sind.

Zur Bestimmung der Säurezahl (TAN) wird als Titrant Kalium-Hydroxid (KOH) als Base verwendet (ASTM D664 und D974). Die TAN entspricht der erforderlichen Menge an Kalium-Hydroxid, die erforderlich ist, um die in 1 Gramm Öl enthaltenen freien Säuren zu neutralisieren bzw. zu binden.

Zur Bestimmung der Basenzahl (TBN) wird als Titrant Hydrochloridsäure (ASTM D4739) oder Perchlorsäure (ASTM D2896) hinzugegeben. Die TBN entspricht dem Neutralisationsvermögen der in 1 g Öl enthaltenen alkalisch wirkenden Additive.

Einheitliche Maßeinheit für Säure- und Basenzahl: mg KOH pro Gramm

Eine Säurezahl benötigt eine Basenzahl, um neutralisiert zu werden.

Das Öl bzw. Fluid ist umso stärker versäuert,

- je höher die Säurezahl (Neutralisationszahl) im Vergleich zum Frischöl ist.

Richtwerte

TAN in Frischöl: 0 bis 0,6

Warnung: TAN in Frischöl plus 0,2

Kritisch: TAN in Frischöl plus 1,0

Richtwerte Turbinenöle

TAN in Frischöl: 0 bis 0,1

Warnung: TAN in Frischöl plus 0,03

Kritisch: TAN in Frischöl plus 0,05

- je niedriger die Basenzahl im Vergleich zum Frischöl ist:

Richtwerte

Warnung: TBN in Frischöl minus 50 %

Kritisch: abhängig von Testmethode: bei ASTM D4739: TBN in Frischöl minus 80 %

bei ASTM D2896: TBN in Frischöl minus 65 %

Elementanalyse

Die Bestimmung der im Öl enthaltenen Elemente mittels Atom-Emissions-Spektroskopie (AES) zählt zu den wichtigsten Ölanalysen. Mit dieser Methode lassen sich bis zu 30 Metalle im Öl messen, die als Additive, Verschleißelemente und Verunreinigungen kategorisiert werden. **ACHTUNG:** Antioxidantien und Schaum-Inhibitoren sind z. B. keine metallorganischen Verbindungen – ihr Gehalt wird mittels weiterer Ölanalysen ermittelt. Um festzustellen, ob es sich um ein Additiv oder Verschleißelement handelt, ist die Kenntnis über die Formulierung des Öltyps unbedingt erforderlich. Zur Bewertung des Additivgehalts wird zudem eine Referenzanalyse des Frischöls benötigt.

Der Additivgehalt erlaubt Rückschlüsse auf die Restlebensdauer des Schmierstoffs. Durch Trendverläufe lässt sich feststellen, wie schnell welche Additive verbraucht werden.

Verschleißelemente dienen als Indikator für akute Verschleißvorgänge und helfen mögliche Maschinenkomponenten als Ursache zu erkennen und so die Fehlersuche zu beschleunigen.

Die Elemente unter der Kategorie Verunreinigungen geben Aufschluss über die mögliche Quelle der Verunreinigung (von außen eingetragen, in der Maschine generiert etc.) und unterstützen ebenfalls die Fehlersuche.

Maßeinheit: mg/kg oder ppm
(1.000 mg/kg = 1.000 ppm = 0,1 Gew.%)

Wertebereich: 0 bis 30.000 ppm

Hinweise

- vor allem öllösliche Partikel und Zusätze, die < 5 µm sind werden nachgewiesen
- ungelöste Verschleißpartikel bzw. Schwebstoffe > 5 µm werden nicht gezählt.
- die AES unterscheidet nicht zwischen aktiven und toten Additiven (bereits verbrauchte Additive können noch gelöst im Öl vorliegen).

Um Aussagen hinsichtlich Additive, Verschleißpartikel und Verunreinigungen zu präzisieren, müssen in die Diagnose die Ergebnisse weitere Ölanalysen einfließen (z. B. Partikelzählung, FT-Infrarot-Spektroskopie, PQ-Index).

	Element kann vorkommen als		
	Verschleiß	Verunreinigung	Additiv
Aluminium	•	•	
Barium		•	•
Blei	•		•
Bor		•	•
Chrom	•		
Eisen	•		
Kalium		•	
Kalzium		•	•
Kupfer	•		•
Magnesium		•	•
Molybdän	•		•
Natrium		•	•
Nickel	•		•
Phosphor			•
Silizium		•	•
Zink	•	•	•
Zinn	•		•
Silber	•		
Titan	•		
Vanadium	•		•
Wolfram	•		
Lithium		•	
Schwefel		•	•

Übersicht über die am häufigsten nachgewiesenen Elemente und deren mögliche Herkunft.

Quelle: Oelcheck GmbH

3 Ölproben analysieren und beurteilen

Membrane Patch Colorimetry (MPC)

Die Membrane Patch Colorimetry gibt Aufschluss über das Potential des Öls Ablagerungen in Form von Varnish zu bilden (Varnishneigung). Der MPC-Test ist anwendbar für alle Hydraulik- und Schmieröle – nicht nur für Turbinenöle.

Der MPC-Test (ASTM D7843):


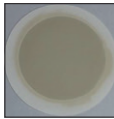
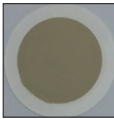
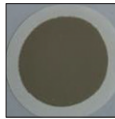
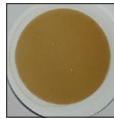

Für den Test werden 50 ml des zu untersuchenden Öls und 50 ml filtriertes Heptan vermischt und unter Vakuum über die Test-Membran (Filterfeinheit: 0,45 µm) gezogen. Nach der Trocknung der Membran erfolgt die colorimetrische Auswertung. Dabei werden die Rückstände auf der Membran mittels Spektroskopie analysiert. Die Rückstände absorbieren oder reflektieren das Licht ganz oder teilweise. Die Unterschiede zwischen dem gesendeten und reflektierten Licht sowie die Farbintensität bei den jeweiligen Spektralbereichen erlauben die Kalkulation eines MPC-Index.

Je höher der MPC-Index, desto dunkler ist die Farbe der Membran-Filter und desto größer ist das Potential des Öls Ablagerungen zu bilden. Ausgelöst durch die zunehmende Menge an ungelösten, weichen Verunreinigungen (Reaktionsprodukte der Öl-oxidation), die wegen ihrer starken Polarität leicht harzähnliche Ablagerungen (Varnish) an allen ölbenetzten Komponenten bilden – insbesondere in kühleren Bereichen im Ölsystem, in stehenden Bereichen oder engen Passagen wie z. B. Lager, Ventile, Kühler, Hauptstromfilter, Rohrleitungen und Tanks.

Maßeinheit: dimensionsloser Index | **Wertebereich:** 0–100

Hinweis

Ein hoher Partikelgehalt beeinflusst die Farbe der Testmembran und somit auch den MPC-Index.

0–10	11–25	26– 80			
Empfehlenswert	Überwachen	Kritisch			
Sehr wenige weiche Verunreinigungen im Öl	Grenzwert bald erreicht – bei Überschreiten beginnt die Bildung von Ablagerungen (Varnish)	Sehr viele weiche Verunreinigungen im Öl. Je höher der MPC-Wert, desto höher der Gehalt. Ablagerungen (Varnish) beginnen sich zu bilden und nehmen weiter zu bis sich im gesamten Ölsystem und an Komponenten Ablagerungen gebildet haben. Ölwechsel und Systemspülungen sind die Folge, wenn kein Nebenstromfilter installiert wird, der die weichen Verunreinigungen und Ablagerungen entfernt.			
					
MPC-Index 4	MPC-Index 19	MPC-Index 30	MPC-Index 40	MPC-Index 55	MPC-Index 60

Weitere wichtige Analysen

FT-Infrarot-Spektroskopie (DIN 51451–53, ASTM E2412):

Bei dieser Methode wird ein Infrarot-Spektrum der Ölprobe erstellt. Dabei wird ein breiter Infrarot-Wellenbereich an einer kleinen Ölmenge getestet. Die Molekülverbindungen im Öl absorbieren das Licht unterschiedlich stark, so dass eine Spektrallinie (Resonanzlinie) mit Peaks und Tälern entsteht. Jedes Öl besitzt seinen eigenen spektralen Fingerabdruck. Durch den Abgleich mit dem Spektrum des Frischöls (zwingend erforderlich) sind sofort Veränderungen des Grundöls, Additivabbau und Verunreinigungsarten detektierbar. Fallen ungewöhnliche Peaks in der Spektrallinie auf, sollten sie weiter untersucht werden.

Die Infrarot-Spektroskopie liefert viele Informationen über das Öl hinsichtlich:

- Oxidation
- Nitration
- Sulfation
- Additivverbrauch
- Phenolische Antioxidantien
- Additive, die nicht in das Original-Öl gehören (Ölvermischungen)
- Wasser
- Ruß
- Glykol
- Brennstoff-Verunreinigung
- FAME-Gehalt

RULER (Remaining Useful Life Evaluation Routine) bzw. RPVOT (ASTM D2272):

Das Öl wird einem Stresstest unterzogen, der die Oxidationsbeständigkeit des Öls prüft. Für die Berechnung der Restlebensdauer ist der Referenzwert der Frischölprobe zwingend erforderlich.

Für den Test wird ein Teil der Ölprobe in einen Druckbehälter aus Glas gefüllt. Anschließend werden Faktoren simuliert, die die Öloxidation fördern (metallischer Verschleiß, Sauerstoff, Druck, Hitze, Wasser, Turbulenzen).

Der Druck im Behälter dient der Bemessungsgrundlage. Solange die Antioxidantien im Öl nicht aufgebraucht sind verändert sich der Druck nicht. Das Grundöl ist vor Oxidationsprozessen geschützt. Sobald die Antioxidantien aufgebraucht sind, beginnt das Grundöl verstärkt mit dem Sauerstoff im Behälter zu reagieren. Der Druck im Behälter sinkt. Es wird die Zeit in Minuten gemessen, in der der Druck von 6 auf 1,7 bar fällt. Sehr oxidationsbeständige Frischöle besitzen einen RPVOT von 1.000–2.000 Minuten.

Maßeinheit: Zeit in Minuten

Richtwerte Standardöle

RPVOT des Frischöls = ca. 600 Minuten

Warnwert = Frischöl minus 40 bis 50 % entspricht 360 bis 300 Minuten

Kritischer Wert: Frischöl minus 60 bis 80 % entspricht 240 bis 120 Minuten

RUL (Remaining Useful Life) berechnen

RPVOT Frischöl = 600 Min.

RPVOT Öl nach 2 Jahren = 330 Min ► $RUL = 330/600 * 100 = 55 \%$ Restlebensdauer

3 Ölproben analysieren und beurteilen

PQ-Index (Particle-Quantifier-Index) (ASTM D8184):

Mit dem PQ-Index wird die Gesamtmenge an magnetisierbaren Eisen im Öl gemessen. Im Gegensatz zur Elementanalyse, bei der Eisenpartikel $> 5 \mu\text{m}$ nicht ermittelt werden können, werden mit dem PQ-Index alle abrasiven magnetischen Verschleißpartikel unabhängig ihrer Größe erfasst. Unmagnetisches Eisen wie Eisenoxid (Rost) und Eisensulfid (Additive) wird nicht gemessen.

Maßeinheit: dimensionslos, da Index | **Wertebereich:** 25–30.000

Durch gesamtheitliche Auswertung der Ergebnisse aus dem PQ-Index und der Elementanalyse (Gehalt von magnetischen und unmagnetischen Eisen $< 3 \mu\text{m}$ in mg/kg), ergeben sich aussagekräftige Informationen über akute Verschleißvorgänge:

- hoher PQ Index > 25 oder schnell steigender PQ-Index = akute Verschleißvorgänge, unabhängig vom Eisenwert in mg/kg (Elementanalyse)
- niedriger PQ-Index + hoher Eisenwert in mg/kg = korrosiver Verschleiß (Rost)

Wasserabscheidevermögen bzw. Demulgiervermögen (ASTM D1401):

Der Demulgier-Test gibt Aufschluss über die Fähigkeit des Öls Wasser aus Öl abzuscheiden. Für den Test werden 40 ml Wasser und 40 ml Öl zu einer homogenen Emulsion vermischt. Je schneller sich Wasser und Öl voneinander trennen, desto besser das Wasserabscheide- bzw. Demulgiervermögen.

Beispiele

- 40/40/0 (5) ► in 5 Minuten haben sich Öl- und Wasser-Phase getrennt
 - erster Wert = Volumen der Ölschicht in ml
 - zweiter Wert = Volumen der Wasserschicht in ml
 - dritter Wert = Volumen der Emulsionsschicht
 - vierter Wert in Klammern = Zeit in Minuten seit Beendigung des Rührers
- 0/23/57 (30) ► auch nach 30 Minuten immer noch Öl-Wasser-Emulsion

Luftabscheidevermögen LAV (DIN ISO 9120, ASTM D3427):

Mit dem Luftabscheidevermögen wird die Zeitspanne in Minuten gemessen, in der das Öl eine bestimmte Menge der im Öl ungelösten Luft abscheiden kann (Luftblasen). Das Luftabscheidevermögen des Gebrauchttöls im Vergleich zum Frischöl unterstützt Aussagen über eine Weiterverwendung des Öls.

Schaumverhalten (ASTM D892):

Mit diesem Prüfverfahren wird getestet, wie viele Minuten es dauert, bis die im Labor künstlich erzeugte Schaumschicht auf dem Öl zerfällt. Daraus lässt sich das Schaumverhalten des Öls im Einsatz abschätzen.

Additive

Additive sind chemische Zusätze, die bestehende Eigenschaften des Öls gezielt optimieren oder unterdrücken sowie neue Eigenschaften hinzuzufügen. Ein Additivpaket besteht aus verschiedenen, unterschiedlich wirkenden Zusätzen und wird spezifisch für die einzelnen Einsatzbereiche bzw. Technologien designt. Der Additivgehalt ist abhängig von der Anwendung und Ölformulierung.

- Turbinen- und Kompressorenöle sind niedrig additiviert: Gehalt 0,5–5 %
- Motoröle sind hoch additiviert: Gehalt 10–30 % (besonders Marine Motoröl)

Eigenschaften	Leistungsspektrum von Additiven
Oxidationsbeständigkeit	Antioxidantien hindern Oxidationsprozesse am Entstehen, und unterbrechen bzw. stoppen bereits ablaufende Prozesse mit den pro-oxidativen, reaktionsfreudigen Verbindungen und freien Radikalen der Ölmoleküle. Sie verbessern die Oxidationsbeständigkeit des Grundöls. Phenole, Amine und Metal Deactivators zählen zu Ihnen.
Verschleißschutz	Fettsäuren, Anti-Wear- (AW) und Extreme-Pressure-Additive (EP) bilden auf den Metalloberflächen eine schlüpfrige, mikroskopisch dünne Schutzschicht und verringern abrasiven und adhäsiven Verschleiß an Metalloberflächen. Wichtig, wenn der Schutz durch die Viskosität allein nicht ausreicht, um Reibung zu verhindern. EP-Additive wirken chemisch am aggressivsten auf Metalloberflächen, eignen sich aber bei extrem hohen Temperaturen und Drücken (z. B. Getriebe).
Korrosions- und Rostschutz	Rost-Inhibitoren und Korrosions-Inhibitoren erzeugen einen Schutzfilm auf metallischen Oberflächen, so dass Wasser und Säuren nicht mit den Oberflächen reagieren können und vor Rostbildung geschützt wird. Zu den Korrosions-Inhibitoren zählen auch Additive, die Säuren neutralisieren (z. B. Detergentien) oder Wasser- und Säureanteile ummanteln (z. B. Dispergatoren).
Schmutzlösevermögen	Detergentien lösen Ablagerungen und halten Oberflächen sauber. Zudem neutralisieren diese basisch wirkenden Additive und schützen so zusätzlich vor Säure-Korrosion.
Dispergiervermögen	Dispergatoren sind für Verbrennungsmotoren entwickelte Additive (Diesel-/Gasmotoren). Sie ummanteln (Ruß)partikel, um sie fein verteilt im Öl in Schwebe zu halten und die Agglomeration, Ausfällung und Ablagerung an Metalloberflächen zu verhindern. Dispergatoren binden auch Wasser und Säuren und schützen so vor Korrosion – jedoch werden dann diese Additive sehr schnell verbraucht und das Dispergiervermögen des Öls ist schneller erschöpft.
Viskositäts-Temperatur-Verhalten	Viskositätsindex-Verbesserer (VI-Improver) erhöhen den Viskositätsindex des Öls und sorgen für eine stabile Viskosität über einen breiten Temperaturbereich (besserer Schutz durch Viskosität bei hohen Temperaturen, gute Fluidität bei niedrigen Temperaturen). Primär kommen sie in Outdoor-Anwendungen zum Einsatz (z. B. in Mehrbereichs-Motorölen).
Schaumverhalten	Schaum-Inhibitoren (z. B. Methyl Silikon) sollen die Bildung von Schaum unterdrücken bzw. diesen schnell auflösen. Luftblasen sind mit einer Haut aus Öl umschlossen. Die Additive weichen die Haut auf und bringen sie zum Zerplatzen. Dazu muss die Oberflächenspannung zwischen Öl und Additiv groß genug sein. Insbesondere in hochviskosen Ölen spielen diese Additive eine wichtige Rolle, da Luftblasen hier generell kleiner sind und schwerer aufsteigen als in niedrigviskosen Ölen (siehe S. 14)
Kälteverhalten	Pourpoint-Depressants (Stockpunktniedriger) bewirken eine Verbesserung des Fließvermögens bei tieferen Temperaturen, indem die Kristallisation der im Mineralöl enthaltenen Paraffine verhindert wird.
Demulgierverhalten	Demulgatoren verbessern das Wasserabscheidungsvermögen und unterbinden die Emulsions-Bildung. Öl- und Wasserphasen sollen sich schnell voneinander trennen, damit freies Wasser entsteht (z. B. Turbinen- und Kompressorenöl). Emulgierend dagegen wirken z. B. Dispergatoren, die Wasser ummanteln, so dass es feinst verteilt im Öl verbleibt (z. B. bei Motoröl).

3 Ölproben analysieren und beurteilen

Aktive Additive liegen im Öl in gelöster Form vor, d. h. sie sind Teil der Molekularstruktur (Ausnahme: einige Schaum-Inhibitoren). Gebrauchte oder zerstörte Additive bzw. deren Reaktionsprodukte liegen größtenteils in ungelöster Form vor, als weiche oder feste Partikel, und führen zu Verschleiß und Ablagerungen. Ungelöste, tote Additive sollten mittels Feinfiltration aus dem Öl entfernt werden.

Die Kenntnis über die Art und Menge, der im Frischöl enthaltenen Additive ist wichtig, da sie als Referenzwerte für Laboranalysen dient.

Eine Nachadditivierung nach Verbrauch bestimmter Additive sollte nur in Kooperation mit dem Ölhersteller erfolgen, da sonst Gewährleistungsansprüche entfallen könnten.

Wichtige Laboranalysen für Additive:

Die Prüfung der Wirksamkeit von Additiven ist kaum und wenn, nur in aufwändigen Verfahren möglich. Durch die Gesamtbetrachtung der Ergebnisse verschiedener Prüfverfahren und Trendbeobachtungen lassen sich jedoch Rückschlüsse auf die Wirkungsweise und die Restlebensdauer der Additive des untersuchten Öls ziehen. Geeignete Prüfverfahren sind z. B. die IR-Spektroskopie, der RULER bzw. RPVOT-Test für Antioxidantien, die Bestimmung der Basenzahl (TBN) für alkalisch wirkende Additive, Elementanalyse für metallorganische Additive, die Säurezahl (TAN) als Indikator für Öloxidation (Zerfall von Grundöl und Additivverbrauch).

Hinweis zur Elementanalyse

Bei der Elementanalyse mittels Atom-Emissions-Spektroskopie (AES) ist zu beachten, dass die nachgewiesenen Elemente Additive, Verunreinigungen und/oder Verschleißpartikel sein könnten (siehe S. 36). Eine Referenzprobe des Frischöls bzw. die genaue Kenntnis über die Ölfomulierung ist zur Beurteilung erforderlich.

Elemente	Wirkung als Additivmetall	Alternativer Ursprung
Barium	EP-Additiv oder Detergent und Dispersant in Motorölen	Hochtemperaturfette, Montagepasten
Blei	Wird heute nicht mehr als Additiv verwendet!	Gleitlager, Buntmetall-Legierungen, Lötmetalle
Bor	Detergent und Dispersant in Motorölen, Emulsions- oder Kühlwasserzusatz	Legierungsbestandteil von Glykol
Kalium	Additiv für wässrige Fluide	Streusalz, Leitungswasser
Kalzium	Detergent (Dieselmotoröle, Hydrauliköle), thermische Stabilität	Kalkstaub, Kühl- und Leitungswasser
Magnesium	Thermische Stabilität (Hydraulik-, Motoröle), Alkalische Reserve bei Motorölen	Leitungswasser
Natrium	Korrosionsschutz-Inhibitor (z. B. wässrige Fluide)	Streusalz, salzhaltige Meeresluft, Leitungswasser
Phosphor	EP-Additiv (meist mit Zink oder Schwefel)	Abrieb von Oberflächen
Silizium	Anti-Schaum-Additiv (Silikonöl)	Staub, Gaskondensat (Gasmotoren), Silikondichtungen, Silikonfette oder Trennmittel
Zink	EP-Additiv, Antioxidant	Abrieb von Oberflächen, Farbenstrichen etc.

Elemente aus der Atom-Emissions-Spektroskopie, Quelle: Oelcheck GmbH

Haupt- und Nebenstromfilter

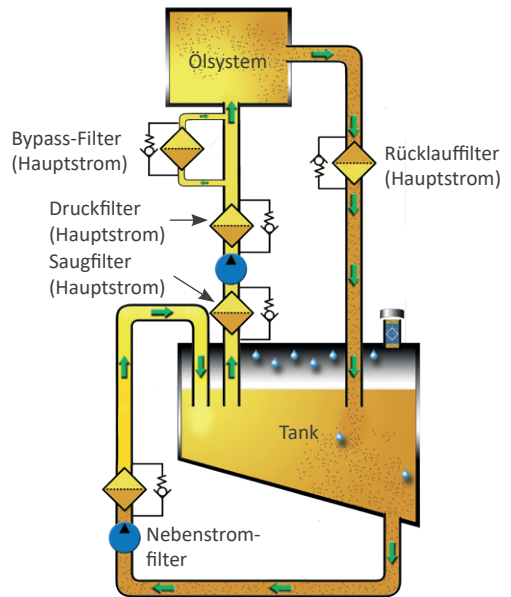
Der Saugfilter befindet sich im Hauptstrom vor der Systempumpe und dient dazu, die Pumpe vor Schäden durch Grobpartikel zu schützen (Sieb). Die Filterfeinheit liegt typischerweise bei $> 25 \mu\text{m}$. Er ist nicht geeignet für den Komponentenschutz. Des Weiteren entfernt er kein Wasser, um die Pumpe vor Kavitation zu schützen.

Der Druckfilter befindet sich im Hauptstrom hinter der Systempumpe und dient zum Schutz der Maschine und deren Komponenten vor Verschleiß durch Feststoffpartikel aus dem Öltank und der Pumpe. Die Filterfeinheit liegt typischerweise im Bereich von $10\text{--}15 \mu\text{m}$. Hoher Betriebsdruck, stark schwankende Druckstöße (Start-Stopp-Betrieb) und hohe Volumenströme führen zu einer extremen Belastung mit Materialermüdung und Zerstörung der Porenstruktur als Folge. Häufige Filterwechsel der sehr teuren Filterelemente sind daher üblich. Zudem steigen die Energiekosten, je feiner filtriert wird, da zusätzlicher Druck vor dem Filter aufgebaut werden muss.

Der Bypass-Filter arbeitet in einem Nebenkreislauf des Hauptstroms. Die Filterfeinheit ist hoch und liegt typischerweise im Bereich von $3 \mu\text{m}$. Allerdings wird bei diesem Filtermodell nur eine geringe Menge des Hauptvolumenstroms abgezweigt und filtriert.

Der Rücklauffilter bzw. Tank-Einbau-Filter befindet sich, wenn vorhanden, im Hauptstrom in der Rücklaufleitung vor oder integriert im Tank. Eine hohe Filterfeinheit ist möglich. Er hält Partikel zurück bevor sie den Öltank erreichen. Ggf. sind große Filter notwendig – insbesondere bei Hydrauliksystemen, da der Volumenstrom in der Rücklaufleitung bis zu 2- oder 3-mal größer sein kann als der Pumpenförderstrom (Druck induzierter Volumenstrom). Bei Filterelementen mit geringer Druckfestigkeit kommt es auch hier durch pulsierende Drücke zu Ermüdungsverschleiß und Zerstörung der Porenstruktur.

Der Nebenstromfilter arbeitet in einem separaten Kreislauf unabhängig vom Betrieb der Maschine (24/7-Filtration) und bei niedrigem Druck (max. 2 bar). Das eigene Pumpenaggregat saugt das verunreinigte Öl von der untersten Stelle aus dem Tank an. Die Rückleitung des Öls in den Tank erfolgt in der Nähe der Systempumpe. Der optimal anpassbare Volumenstrom ermöglicht den Einsatz von Tiefenfilterpatronen mit einer Filterfeinheit von $3 \mu\text{m}$ absolut und einer Rückhalterate bis $< 1 \mu\text{m}$. Tiefenfilterpatronen zeichnen sich durch ihre außerordentlich hohe Schmutzaufnahmekapazität und Filtereffizienz aus. Die Kosten für das Entfernen von 1 Gramm Schmutz aus dem Öl ist im Nebenstrom am geringsten. Für den Filterwechsel und die Wartung ist kein Abschalten der Maschine notwendig. Nebenstromfilter sind generell wartungsarm und robust. Sie schonen die teuren Hauptstromfilter, und verlängern deren Filterwechsel-Intervalle. Das nahezu drucklose System ermöglicht eine einfache Probenentnahme. Nebenstromfilter können mit Vorerwärmer, Kühler, Vorfilter und Ölsensoren für das Condition Monitoring ausgerüstet werden. **Nebenstromfilter sind bewährte Systeme, um exzellente Ölreinheiten zu erzielen und dauerhaft zu halten.**



Haupt- und Nebenstromfiltration im Vergleich

Hauptstromfilter	Nebenstromfilter
<p>Hohe Volumenströme und stark schwankende Druckstöße führen schnell zu Materialermüdung und Zerstörung der Porenstruktur. Dann passieren auch größere Partikel den Filter. Partikel können aber bei Aufprall auf das Filterelement auch in viele kleinere Partikel zerbersten. Druckschwankungen (z. B. Start- / Stopp-Betrieb) bewirken, dass bereits festgehaltene Partikel wieder freigesetzt und somit nicht dauerhaft gebunden werden. Die Kontaktzeit zwischen Fluid und Filtermaterial ist aufgrund des hohen Volumenstroms extrem gering.</p>	<p>Durch den separaten Kreislauf gibt es keine Probleme mit Druckschwankungen. Die eigene Pumpeneinheit ermöglicht die Anpassung des Volumenstroms und so den Einsatz von Tiefenfiltern. Tiefenfilter sind Volumenkörper, die eine lange Kontaktzeit zwischen Fluid und Filtermaterial gewährleistet. So können exzellente Reinheitsklassen erzielt und dauerhaft gehalten werden.</p>
<p>Die Systempumpe saugt das Öl nur von der Oberfläche des Tanks an, Verunreinigungen im Ölsumpf werden nicht erfasst.</p>	<p>Die Pumpe des Nebenstromfilters saugt das Öl vom tiefsten Punkt des Systemtanks an, so dass auch das stark verunreinigte Öl am Tankboden filtriert wird (Sedimentationen etc.). Die Rückleitung des sauberen Öls erfolgt in der Nähe der Hauptsystempumpe, so dass diese stets mit dem sauberen Öl versorgt wird.</p>
<p>Die Filtration ist abhängig vom Betrieb der Maschine. Für einen Filterwechsel ist es notwendig die Maschine abzuschalten.</p>	<p>Kontinuierliche Filtration unabhängig vom Betrieb der Maschine (24/7). Durch den unabhängigen Kreislauf ist es nicht notwendig für den Filterwechsel die Maschine abzuschalten.</p>
<p>Feinfiltration bei Druck-, Bypass- und Rücklauffiltern bis in den Bereich von 3 µm möglich (typisch 10–15 µm).</p> <p><u>Nachteil bei Druckfiltern:</u> Je feiner filtriert wird, desto höher die Energiekosten.</p> <p><u>Nachteil bei Rücklauffiltern:</u> Je feiner filtriert wird, desto größere Baugrößen sind notwendig.</p>	<p>Feinfiltration typischerweise 3 µm absolut und 1 µm nominal. Aber auch < 1 µm im Submikronbereich möglich. Durch die Feinfiltration im Nebenstrom werden die Hauptstromfilter entlastet. Ggf. kann dadurch die Filterfeinheit bei Druck- und Rücklauffiltern reduziert werden, wodurch nicht nur Energiekosten, sondern auch die Kosten für die teuren Filterelemente gesenkt werden würden (weniger Filterwechsel, geringere Filterfeinheit).</p>

Hauptstromfilter z. B. Oberflächenfilter aus Glasfaser	Nebenstromfilter z. B. Tiefenfilter aus Zellulose
<p>Oberflächenfilter besitzen aufgrund ihrer geringen Tiefe und des geringen Volumens eine sehr geringe reale Schmutzaufnahmekapazität, so dass häufige Filterwechsel notwendig sind. Die Kosten für das Entfernen von 1 Gramm Schmutz sind bei Druckfiltern am höchsten</p>	<p>Tiefenfilter sind robuste Volumenkörper, die aus mehreren Scheiben bestehen. Der Volumenkörper aus feinsten zahllos verästelten Fasern bietet eine konsistente Porenstruktur sowie eine äußere und zusätzliche innere Oberfläche – von 120 bis 150 m² pro Gramm. Die Schmutzaufnahmekapazität ist extrem hoch – je höher, desto länger sind die Filterstandzeiten.</p>
<p>Entfernt nur Feststoffpartikel</p>	<p>Entfernt Feststoffpartikel, Wasser, Oxidationsrückstände (Varnish, Ölschlamm) und Säuren aus dem Öl. Optional: kein Wasser z. B. bei HFC-Fluiden und wasserhaltigen Kühlschmierstoffen</p>

Varnish im Ölsystem durch Öloxydation, Partikel, Wasser, Ölschlamm, Säuren und sogar Mikroorganismen (Bakterien, Hefen und Pilze) erfordern nicht gezwungenermaßen einen Ölwechsel, da effiziente Nebenstromfilter das Öl reinigen und verjüngen können. Voraussetzung: Additivpaket und Oberflächenspannung sind intakt. Bei dauerhaft sauberem und trockenem Öl frei von Oxidationsrückständen kann die Lebensdauer um das bis zu 10-fache verlängert und damit der Ölverbrauch drastisch gesenkt werden.

Achtung: Bei der Bleed-and-Feed-Strategie verunreinigt das Frischöl binnen kurzer Zeit aufgrund von Ablagerungen und der Vermischung mit schmutzigen Restölbeständen. Zudem strapazieren Verunreinigungen, Oxidationsrückstände und Säuren ungehindert die Schmiereigenschaften des Öls und die Langzeitwirkung von Additiven. Die Standzeit des nachgefüllten Frischöls wird direkt wieder verkürzt.

Methoden zur Wasserabscheidung

Filtration mit Zellulose:

Zellulosefasern absorbieren **freies, emulgiertes und gelöstes Wasser** aus Mineralölen, Brennstoffen und synthetischen Fluiden – selbst, wenn nur wenige ppm Wasser im Öl vorliegen. Das Wasser wird in das freie Volumen der absorbierenden Phase (Zellulose) aufgenommen ohne, dass eine chemische Reaktion stattfindet. Tiefenfilter aus Zellulose besitzen ein hohes Wasseraufnahmevermögen und können bis zu einer Viskosität von ISO VG 460 und Betriebstemperaturen bis 130 °C eingesetzt werden.

Koaleszierung:

Die Koaleszierung eignet sich zur Abscheidung von **freiem Wasser** aus Brennstoffen sowie Mineralölen und synthetischen Fluiden. Es gibt zwei Typen von Koaleszern: mechanische und elektrostatische, die mit unterschiedlichen Verfahren Wasser aus dem Öl abscheiden.

Beispiel – Drahtgeflecht (mechanischer Koaleszer):

Das Öl strömt entlang des Drahtgewebes. Dabei werden Wassertröpfchen aufgrund der größeren Adhäsionskräfte stärker als das Öl an die Drahtfasern gezogen. Der Ölstrom schiebt die Wassertröpfchen entlang der Fasern bis sie an Schnittpunkten des Fasergeflechts zusammen mit anderen Tröpfchen zu großen Tropfen anwachsen. Schwerkraft und zunehmende Dichte sorgen schließlich für die Freisetzung und Abscheidung der Wassertropfen.

Für eine optimale Koalescerleistung sollten Feststoffpartikel und Oxidationsrückstände aus dem Öl bzw. Brennstoff entfernt werden. Sie verschlechtern das Wasserabscheidevermögen und verstopfen ggf. den Koalescer (Effizienzverlust). Die Koaleszierung ist geeignet für Öle mit einem guten Wasserabscheidevermögen (< 20 Minuten).

Zentrifuge bzw. Separatoren:

Zentrifugen separieren **freies Wasser** aus Brennstoffen, Mineralölen und synthetischen Fluiden. Der Wassergehalt kann nur selten unter 1.000 ppm reduziert werden, da Zentrifugen nur große Tropfen abscheiden, fein verteilte Wassertröpfchen bleiben im Öl zurück. Zentrifugen trennen Phasen unterschiedlicher Dichte – die Trenneigenschaft ist umso besser, je größer der Dichteunterschied ist. Da der Dichteunterschied zwischen Wasser und Öl nur gering ist, bedarf es einer präzisen Anpassung an die Parameter. Je stärker die Gegebenheiten in der Praxis von den konfigurierten Parametern abweichen (z. B. Viskosität), desto höher das Risiko, dass nicht nur Wasser, sondern auch Öl zentrifugiert wird und so der Ölverbrauch steigt. Aufwändige Rohrleitungen und Tanks für den separierten Ölschlamm (Sludge) sind erforderlich.

Neben Wasser entfernen Zentrifugen auch große und schwere Schwebstoffe, jedoch keine im Öl gelösten Oxidationsrückstände. Im Öl verbleibende polare Verunreinigungen können jedoch die Separation des Wassers stören. Zentrifugen eignen sich für Öle mit niedriger Viskosität, geringer Dichte und gutem Wasserabscheidevermögen.

Desorption:

Mit dem Desorptionsverfahren lässt sich **freies, emulgiertes und gelöstes Wasser** aus Mineralölen und synthetische Fluiden abscheiden. In der Desorber-Kammer trifft das warme, feuchte Öl auf einen Gegenstrom von kalter, trockener Luft. Das Öl erwärmt die kalte Luft, wodurch diese viel Feuchtigkeit aufnehmen kann (Systemdruck konstant niedrig < 2 bar). In einem anschließenden Prozess kühlt die warme, feuchte Luft ab und das Wasser kondensiert aus.

Die Öltrocknung erfolgt unabhängig von Viskosität und Luftgehalt im Öl. Sie hat keinen Einfluss auf Additive. Die Desorption ist ideal für alle Öle mit einer Viskosität bis ISO VG 1000 sowie einem schlechten Wasserabscheidevermögen (> 20 Minuten). Selbst Öle mit einem Wassergehalt von bis zu 70 % (700.000 ppm), die stabile Öl-Wasser-Emulsionen bilden lassen sich mittels Desorption trocknen.

Vakuumsysteme:

Vakuumsystemen entfernen **freies, emulgiertes und gelöstes Wasser** aus Mineralölen und synthetischen Fluiden. Die unterschiedlichen Siedepunkte von Öl und Wasser einerseits und die Druckabhängigkeit des Siedepunkts andererseits ermöglichen unter Vakuum eine einfache Trennung durch Destillation. Das Öl wird auf ca. 70 °C erwärmt in eine Vakuumkammer geleitet, die eine Vakuumpumpe kontinuierlich entgast. Der Unterdruck in der Vakuumkammer sorgt dafür, dass der Siedepunkt des Wassers sinkt – 45 °C bei 0,1 bar. Das Wasser verdampft und wird über die Vakuumpumpe abgesaugt. Aufgrund der erforderlichen Energiemengen* ist dieses Trennverfahren allerdings nur bei kleinen Ölvolumina wirtschaftlich.

Neben Wasser können Vakuumsysteme auch andere leichtflüchtige Verunreinigungen mit niedrigem Siedepunkt entfernen (z. B. Lösemittel, Entfetter, Brennstoff-Verunreinigungen, Sauerstoff). Jedoch stößt dieses Verfahren bei einem zu hohen Wasser- oder Luftgehalt an seine Grenzen.

Risiken bei der Vakuum-Trocknung:

- Additivverlust durch Additiv-Hydrolyse und Verdampfung (z. B. Antioxidantien)
- Verlust der Oxidationsstabilität
- Schaumbildung in der Vakuumkammer bei Öl mit hohem Luftgehalt
- Ölverlust durch Ölnebel, der mit Wasser austritt

Vakuumsysteme eignen sich für einen Viskositätsbereich zwischen ISO VG 10 bis ISO VG 320. Nicht geeignet für Öle mit Flammpunkt < 100 °C.

**) Verdampfungsenergie = Wärmemenge, die benötigt wird, um eine bestimmte Menge einer Flüssigkeit vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand zu bringen.*

Hinweis zu Desorption und Vakuumtrocknung

Bei diesen Verfahren wird nur H₂O entfernt. Ist das Öl mit Meerwasser kontaminiert, ist ein zusätzlicher Filter ratsam, der die im Öl zurückgebliebenen Salzkristalle entfernt (Filterfeinheit: 3 bis 5 µm). Optimal ist ein Filter, der nicht nur Feststoffpartikel, sondern auch Oxidationsrückstände entfernt.

Filtration mit Molekularsieb:

Molekularsiebe wirken stark hygroskopisch (Feuchte anziehend) und entfernen mittels Adsorption **freies, emulgiertes und gelöstes Wasser** aus Mineralölen und synthetischen Fluiden. Sie kommen in der Natur als Zeolithe vor, können aber auch synthetisch als Alumino-Silikate hergestellt werden. Durch die synthetische Herstellung können Kristallaufbauten mit unterschiedlich großen Hohlräumen designt werden, so dass es möglich ist Moleküle nach Größen zu trennen. Molekularsiebe mit einer Porengröße von 3 bis 4 Å (Ångström = zehnmillionster Teil eines Millimeters = 100 ppm) werden eingesetzt, um Wassermoleküle zu adsorbieren. Dabei wird das Wasser an der Oberfläche des Molekularsiefs angereichert. Die Wasseraufnahmekapazität eines Molekularsiefs beträgt ca. 20 % seines Eigengewichts.

Methoden für Ölalterungsprodukte

Filtration mit Zellulose:

Mit einer Kombination aus Adsorption und Absorption besitzen Zellulose-Fasern die Fähigkeit Ölalterungsprodukte aus dem Öl zurückzuhalten und dauerhaft zu binden. Zellulose besitzt die Fähigkeit nicht nur **ungelöste, sondern auch gelöste Ölalterungsprodukte** dauerhaft dem Ölsystem zu entziehen. Dabei wird auf jede zusätzliche Belastung des Öls, energetisch oder chemisch, verzichtet.

Electrophysical Separation Process (ESP):

Die ESP-Technologie entfernt **ungelöste und gelöste Ölalterungsprodukte** mit einem chemischen Filter nach dem Prinzip der Chemisorption und Adsorption. Chemisorption ist eine spezielle Form der Adsorption, bei der die Ölalterungsprodukte an das Adsorptionsmittel gebunden werden und dabei chemisch verändert werden. In Abhängigkeit von Öltyp und Additivpaket sowie den Gegebenheiten, die zu der Bildung der Ölalterungsprodukte führen, wird der chemische Filter konfiguriert. Dies hat allerdings den Nachteil, dass bei der kleinsten Änderung der Parameter der Filter neu angepasst werden muss.

Electrostatic Precipitation:

Alle ungelösten Schmutzteilchen unabhängig der Form, Materialart oder Größe sind entweder elektrisch positiv oder negativ geladen oder sind neutral (ladungsfrei) und können somit nach dem Prinzip der Elektrophorese und Dielektrophorese beeinflusst und mittels geeigneter Materialien und Bauformen der Abscheideelemente (Kollektoren) abgeschieden werden. Das Öl durchströmt mehrere Elektrodenpaare. Dazwischen sind die eigentlichen Schmutzsammler (Kollektoren) eingelegt, auf denen die Teilchen festgehalten werden.

Partikel mit einer positiven Ladung werden an den negativen Elektroden zurückgehalten, während negativ geladene Teilchen an der geerdeten Platte haften bleiben. Neutrale Partikel werden in dem Bereich mit der größten Feldstärke festgehalten (Falten in den Kollektorplatten).

Mit diesem Verfahren können sowohl **Feststoffpartikel als auch ungelöste weiche Verunreinigungen (Ölalterungsprodukte)** bis in den Bereich $< 0,01 \mu\text{m}$ entfernt werden.

Die Methode ist ungeeignet für Öle und Fluide mit

- einem hohen Wassergehalt ► Wasser zieht Oxidationsrückstände an und hält sie fest
- einer sehr hohen Viskosität
- bei einem zu hohen Gehalt an Metallpartikeln
- Dispergatoren und Detergentien im Additivpaket
- Grundölen auf Esterbasis und Poly Alpha Olefine (PAO)
- bei zu hohem Volumenstrom

Balanced Charge Agglomeration (BCA):

Bei der Balanced Charge Agglomeration werden die Verunreinigungen elektrisch stark aufgeladen, wodurch sich die negativ und positiv geladene Teilchen gegenseitig noch stärker anziehen. Sie wachsen zu größeren Partikeln (Agglomerationen) zusammen und werden so mechanisch filtrierbar.

Der Ölstrom wird aufgeteilt und parallel durch eine positiv polarisierte Elektrodenreihe und eine negativ polarisierte Elektrodenreihe geleitet. Auf diese Weise wird die positive bzw. negative Ladung, die bei allen Verunreinigungen von Natur aus gegeben ist, verstärkt. Bei der anschließenden Zusammenführung der beiden ionisierten Ölströme ziehen sich die positiv und negativ geladenen Teilchen gegenseitig so stark an, dass sie zu größeren Partikeln zusammenwachsen und Agglomerationen bilden, die anschließend mechanisch herausgefiltert werden können.

Mit diesem Verfahren können sowohl **Feststoffpartikel als auch ungelöste weiche Verunreinigungen (Ölalterungsprodukte)** $< 0,1 \mu\text{m}$ entfernt werden. Die Technologie ist bei Ölen mit einem hohen Wassergehalt ungeeignet. Auch Öle mit einer geringen Leitfähigkeit sind problematisch, da sie elektrische Ladung transportieren können, die bei Entladung zu Funken führt.

Methoden zur Säureneutralisation

Hinweis

Das Neutralisationsvermögen gegenüber organischen Säuren ist abhängig von deren Struktur und Aufbau.

Filtration mit Ionenaustauscherharz:

Ionenaustauscher sind Materialien, mit denen gelöste Ionen durch andere Ionen gleicher Ladung ersetzt werden können, es findet ein Ionenaustausch statt. Ionenaustauscher zur Neutralisation von Säuren sind basisch wirkende Austauscher, die Aminogruppen enthalten, an die die Anionen der freien Säuren angelagert und reversibel gebunden werden. Die Basizität der Austauscher reicht von schwach- bis mittelbasisch. Als Reaktionsprodukt entsteht Wasser, wodurch die Kombination mit einem Filter zur Wasserabscheidung erforderlich ist.

Filtration mit Aluminiumoxid:

Aktiviertes Aluminiumoxid ist ein Adsorptionsmittel, welches in Verbindung mit Säuren als Base reagiert und somit ideal zur Neutralisation von anorganischen und organischen Säuren eingesetzt werden kann. Nachteilig ist jedoch, dass bei der Reaktion von Säuren und Aluminiumoxid Aluminiumsalze und Wasser entstehen. Beide Reaktionsprodukte beschleunigen wiederum die Ölalterung und müssen z. B. mittels Filtration entfernt werden.

Filtration mit Bleicherde:

Bleicherde (auch Fuller-Erde genannt) ist ein thermisch aktiviertes Aluminiumsilikat, das als Adsorptionsmittel zu verschiedenen Zwecken eingesetzt werden kann unter anderem zur Säureneutralisation in Ölen und Fluiden. Säuren – anorganische und organische – adsorbieren an der aktiven Oberfläche der Bleicherde. Durch die gleichzeitige Adsorption von Ölalterungsprodukten wird das Öl gebleicht und die Ablagerung sowie die weitere Entstehung organischer Säuren vermieden. Allerdings werden auch Additive adsorbiert, wodurch bei hochadditivierten Ölen eine Nachadditivierung bei Einsatz von Bleicherde unvermeidlich ist. Ideal geeignet ist das Verfahren für z. B. Isolieröle, die aus einem sehr guten Grundöl hergestellt werden und kaum Additive enthalten.

Filtration mit Zellulose:

Zellulosefasern besitzen die Eigenschaft Wasser zu absorbieren und Ölalterungsprodukte zu entfernen. Anorganische Säuren (Salpetersäure, schwefelige Säure etc.), die im Wasser gelöst sind, werden mit dem Wasser von der Zellulose absorbiert. Die Bildung von organischen Säuren wird durch die Reduzierung der Ölalterungsprodukte (Vorstufe) minimiert. Hochwertige Zellulose-Filter sind säureresistent – die Fasern zerfallen nicht bei Kontakt.

Filtereffizienz bzw. Abscheidegrad beurteilen

Multipass-Test (ISO 16889):

Zum Testen und Vergleichen verschiedener Hauptstromfilter für Hydrauliköle wurde ein standardisiertes Prüfverfahren entwickelt. Der Multipass-Test ist ein Prüfverfahren mit Mehrfachdurchgang (Kurzzeit-Test), dessen Resultate Hinweise auf den Abscheidegrad bzw. die Filtereffizienz eines Hauptstromfilters, dessen mögliche Schmutzaufnahmekapazität und die zu erwartenden Druckverluste geben.

Beta-Wert, Abscheidegrad und Filtereffizienz:

Der Beta-Wert beschreibt das Verhältnis der Partikel ab einer bestimmten Größe im Fluid vor und nach dem Filter. Der Beta-Wert wird in β_x angegeben, wobei das "x" für die betrachtete Partikelgröße steht.

Formel zur Berechnung des Beta-Werts:

$$\beta_x = \frac{\text{Anzahl der Partikel ab der Größe } x \text{ vor dem Filter}}{\text{Anzahl der Partikel ab der Größe } x \text{ nach dem Filter}}$$

Formel zur Berechnung des Abscheidegrades bzw. der Filtereffizienz in Prozent (%):

$$E = \frac{(\text{Partikel ab der Größe } x \text{ vor dem Filter} - \text{Partikel ab der Größe } x \text{ nach dem Filter})}{\text{Partikel ab der Größe } x \text{ vor dem Filter}} \times 100$$

Beispiel

Anzahl der Partikel > 3 μm vor dem Filter:	5.000.000 Partikel
Anzahl der Partikel > 3 μm nach dem Filter:	50.000 Partikel
$5.000.000 / 50.000 = 99$, d. h. Beta-Wert β_3 :	99

$\beta_3 = 99$ bedeutet in diesem Beispiel, dass 50.000 von 5.000.000 Partikeln > 3 μm den Filter passieren, der Abscheidegrad bzw. die Filtereffizienz beträgt 99 %, 1 % der Partikel > 3 μm werden nicht zurückgehalten.

Es wird der kumulative Abscheidegrad bestimmt, da er angibt, wie viele der abgeschiedenen Partikel > einer bestimmten Partikelgröße x sind.

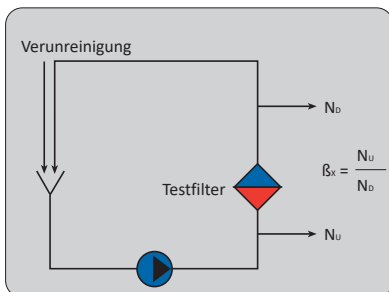


Abb. 26:
Multipass-Test (Prüfverfahren
mit Mehrfachdurchgang)
Quelle: ISO-Norm

Absolute und nominale Filterfeinheit auf Basis des Multipass-Tests:

Die Begriffe absolute und nominale Filterfeinheit stammen aus den MIL-Spezifikationen der US-Army und sind in keiner deutschen Norm definiert. Bestandteil der Spezifikationen ist der Glasperlentest, in dessen Zusammenhang die absolute Filterfeinheit definiert wird. Demnach besitzt ein Absolutfilter eine Filtereffizienz von 100 %, d. h. dass z. B. bei einem 15- μm -Absolutfilter keine Glasperle von 15 μm Durchmesser den Filter passiert. Der Begriff "absolute Filterfeinheit" ist daher ausschließlich in Verbindung mit diesem Test zu verwenden. Dennoch wird er teilweise als Kenngröße angewandt.

In der Praxis spricht man heute von einem Absolutfilter, wenn dieser eine Filtereffizienz von über 99,9 % aufweist (Beta-Wert = min. 1000). D. h. wird die Filterfeinheit einer bestimmten Partikelgröße als absolut angegeben, werden Partikel dieser Größe zu 99,9 % herausgefiltert werden.

Für den Nominalfilter ist kein Effizienzwert definiert. Er scheidet mindestens einen bestimmten Prozentsatz von Feststoffpartikeln größer als die angegebene Partikelgröße ab. Der Prozentsatz ist im Einzelnen bei den Filterherstellern zu erfragen.

Schmutzaufnahmekapazität:

Hiermit ist die Menge an Verunreinigungen gemeint, die von einem Filterelement aufgenommen wird, bis es den Sättigungsdruck erreicht hat. Gemessen wird sie in Gewicht oder Volumen. Die Menge an Verunreinigungen, die ein Filter aufnehmen kann, ist von entscheidender Bedeutung für die Filter-Betriebskosten.

Bei einem Kostenvergleich verschiedener Filterelemente sollte daher auch das Verhältnis zwischen Kosten und Schmutzaufnahmekapazität betrachtet werden, d. h. wie viel kostet das Entfernen von 1 kg Schmutz.

Problematik des Multi-Pass-Tests

1. Der Test ist für Hauptfilter entwickelt – nicht für Nebenstromfilter

Schon der Vergleich verschiedener Nebenstromfilter ist schwierig, da sie in ihrer Wirkungs- und Funktionsweise stark differieren.

Beispiel – Tiefenfilter von Nebenstromfiltern

Tiefenfilter sind Volumenkörper mit extrem hoher Schmutzaufnahmekapazität und Filterfeinheit (3 μm absolut, < 1 μm nominal) – Vgl. Abb. 26 und 27. Das Öl benötigt Zeit, um das Filtermaterial zu durchwandern. Ein Volumenstrom von 200 l/Min, wie ihn der Multi-Pass-Test vorgibt und typisch für Hauptstromfilter ist, ist für Tiefenfilter nicht anwendbar. Vergleichstest siehe S. 53

Abb. 27:
CJC® Tiefen-
filter aus
Zellulose
Zustand: neu

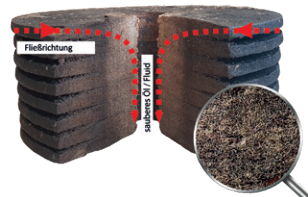


Abb. 28:
CJC® Tiefen-
filter aus
Zellulose
Zustand:
gesättigt

2. Der Multipass-Test ist nicht realitätskonform:

- Öl kann mit Luft beaufschlagt sein – Luftblasen beeinflussen die Filtereffizienz und die automatische Partikelzählung.
- Schwingungen und Druckschwankungen durch Start-Stopp-Betrieb werden nicht berücksichtigt.
- Viskositätsänderungen werden nicht berücksichtigt.
- Der Schmutzeintrag ist nie konstant.
- Beta-Wert variiert bei verschiedenen Reinheitsklassen, d. h. ein guter Abscheidegrad ist bei hoher Partikelanzahl leicht zu erreichen – aber schwer zu halten bei niedriger Partikelanzahl im Öl.
- Teststaub entspricht hinsichtlich Partikelkonzentration und Partikelgrößenverteilung nicht den realen Bedingungen in Betriebsflüssigkeiten (Vgl. Abb. 28 und 29).
- Die alleinige Betrachtung der Partikel ist nicht ausreichend, denn Oxidationsprodukte (Varnish, Säuren) sowie Wasser führen ebenfalls zu Verschleiß.

**Medium Test Dust
ISO 12103-A3
für Multipass-Test
ISO 16889**

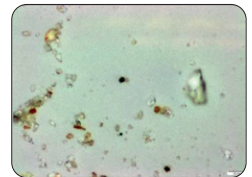


Abb. 29:
Merkmal:
Viele, große Partikel bis 80 µm und ein sehr niedriger Anteil von Partikeln im Bereich von 0 bis 5 µm.

Abrasive Partikel in der Praxis

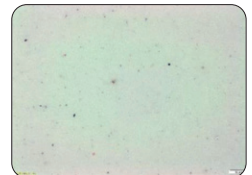
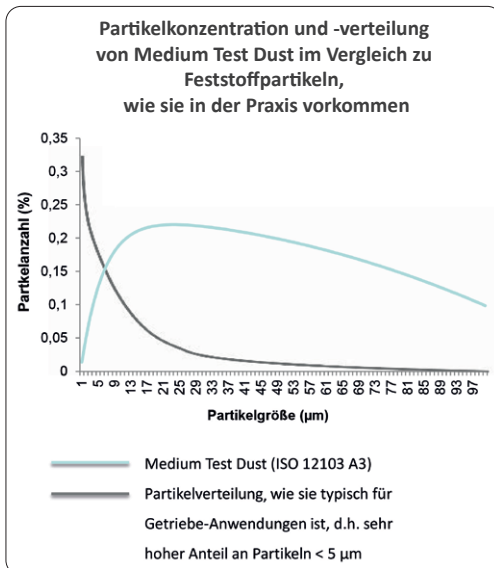


Abb. 30:
Merkmal:
Viele, kleine Partikel < 5 µm gleichmäßig verteilt



In den meisten Anwendungen sind Partikel < 10 µm problematisch. Die Konzentration dieser Feinstpartikel ist im Öl besonders hoch:

75 % der Partikel sind zwischen 1–5 µm

15 % der Partikel sind zwischen 5–10 µm

10 % der Partikel sind > 10 µm

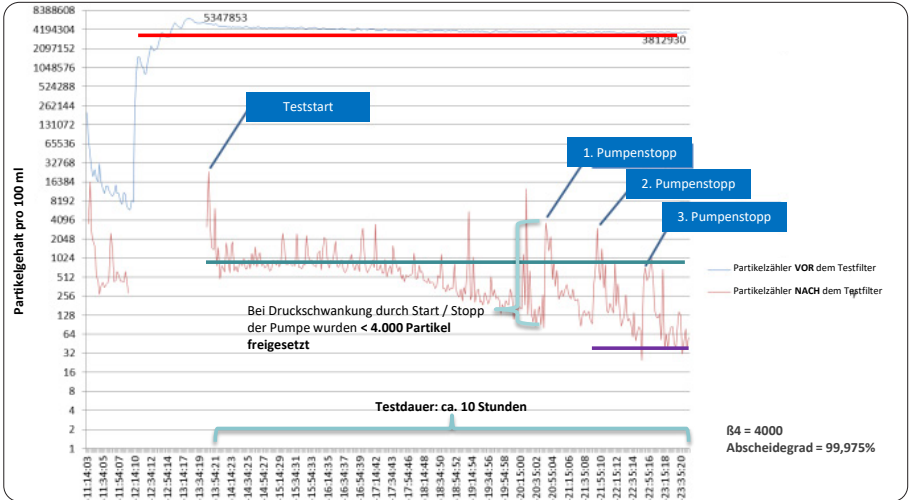
4

Filtrationsarten zur Entfernung der Verunreinigungen

Beispiel

Durchführung eines Tests zur Untersuchung der Filtereffizienz eines CJC® Fein- und Tiefenfilters in Anlehnung an den Multipass-Tests gemäß ISO 16889

Testbedingung Feststoffkonzentration: 2 g/h MTD (= 16,6 mg/l)
 Pumpenleistung: 120 l/h
 Filterfeinheit: 3 µm absolut, Rückhalterate 1 µm



Testergebnis

VOR dem CJC® Testfilter

= Ø 4.000.000 Partikel > 4 µm in 100 ml Testfluid
 = Reinheitsklasse 22 (gemäß ISO 4406)

NACH dem CJC® Testfilter

Ø 1.000 Partikel > 4 µm in 100 ml Testfluid
 = Reinheitsklasse 10 (gemäß ISO 4406)

Beta-Wert (Abscheidegrad) = Ø 4.000
Filtereffizienz = Ø 99,975 %

Bestes Ergebnis

32 bis 65 Partikel > 4 µm in 100 ml Testfluid
 = Reinheitsklasse 6 (gemäß ISO 4406)

Beta-Wert (Abscheidegrad) = 61.538 bis 125.000
Filtereffizienz = 99,998 bis 99,999 %

Besonderheiten bei speziellen Öltypen

Schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten:

Zur Reduzierung des Brandrisikos sind diese Spezialfluide für bestimmte Anwendungen wie z. B. in Steuerkreisläufen von Turbinen, Schmiedepressen und Druckgießmaschinen gesetzlich vorgeschrieben. Die Selbstentzündungstemperatur liegt deutlich höher als bei Betriebsflüssigkeiten auf Mineralölbasis, so dass diese Spezialfluide bei Kontakt mit den stark erhitzten Anlagenkomponenten im Falle von Leckagen oder Leitungsbrüchen nicht sofort in Brand geraten.

Klassifizierung von schwerentflammbaren Hydraulikflüssigkeiten:

Sie werden in zwei Kategorien eingeteilt: wasserhaltige und wasserfreie Fluide

Gruppe	Wasseranteil	Beschreibung	Anwendung
HFA HFA-E	80–90 %	Öl-in-Wasser-Emulsion	Untertage-Bergbau, Druckwasseranlagen
HFA-S	90–95 %	Synthetische Lösung	Untertage-Bergbau, Druckwasseranlagen
HFB	ca. 40 %	Wasser-in-Öl-Emulsion	In Deutschland aufgrund des hohen Mineralölanteils nicht zugelassen
HFC HFC	40–50 %	Polymerlösung (Wasser/ Ethylenglykol)	Untertage-Bergbau, Stahlindustrie, Druckgießmaschinen, Schmiedepressen
HFC-E	ca. 20 %	Polymerlösung (Wasser/ Ethylenglykol)	Untertage-Bergbau, Stahlindustrie
HFD HFD-R	0 %	Phosphorsäureester	Steuerflüssigkeiten von Turbinen, Flugzeuggetriebe
HFD-S	0 %	Wasserfreie chlorierte Kohlenwasserstoffe	
HFD-T	0 %	Mischung aus HFD-R und HFD-S	
HFD-U	0 %	Carbonsäureester	bei sehr hohem Betriebsdruck z. B. Tunnelbohrmaschinen (umweltschonend)

HFA-Fluide

Durch den sehr hohen Wasseranteil ist das Entflammbarkeitsrisiko sehr gering und die Wärmeableitung exzellent, jedoch ist das Risiko von Bakterienwachstum und Pilzbefall hoch (PH-Wert wichtig). Für Korrosions- und Verschleißschutz sind Additive notwendig. Die niedrige Viskosität kann zu Leckverlusten führen. Aufgrund der Verdunstung durch die hohen Betriebstemperaturen, muss der Wasseranteil permanent überwacht werden.

HFC-Fluide (Wasserglykol)

Hoher Flammpunkt, niedriger Pour Point, exzellente Wärmeableitung sowie gute Schmierwirkung und hydraulische Eigenschaften zeichnen HFC-Fluide aus. Das Additivpaket sorgt für Korrosions- und Verschleißschutz, oxidative und thermische Stabilität

5 Besonderheiten bei speziellen Öltypen

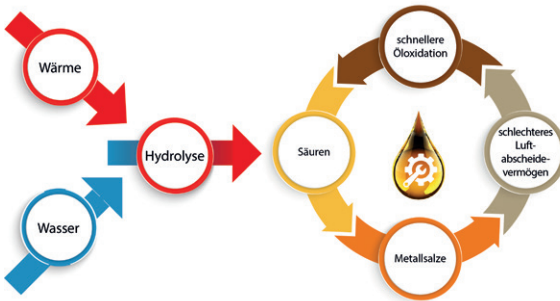
und enthält Schaum-Inhibitoren sowie antimikrobiell wirkende Additive. Hohe Betriebstemperaturen führen zur Verdunstung der Wasseranteile. Daher sollte der Wasseranteil permanent überwacht werden.

Infolge oxidativer Alterungsprozesse kommt es zur Polymerisation des Glykols. Hitze sowie metallische Verschleißpartikel (AL, CU, ZN, FE) beschleunigen diese Prozesse noch zusätzlich. Die Reaktionsprodukte agglomerieren temperaturabhängig und blockieren Ventile, setzen Wärmetauscher zu, verstopfen Hauptstromfilter und lassen den Säuregehalt steigen. Probleme beim Anfahren der Maschine sind typisch. Mit einem effizienten Nebenstromfilter, der Partikel und Alterungsprodukte entfernt (nicht das Wasser), lassen sich Schaltungenauigkeiten, Fehlfunktionen und Ausfälle minimieren.

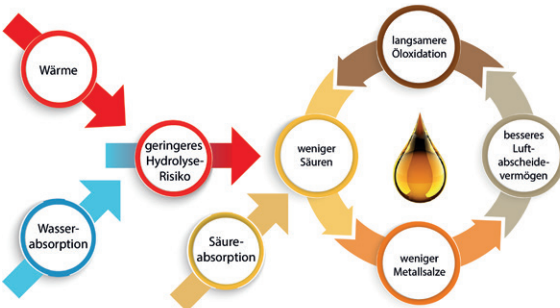
HFD-Fluide (z. B. Ester-Gemische)

HFD-Fluide gehören zu den wasserfreien Fluiden und sind zu 100 % synthetisch. Sie besitzen die besten hydraulischen Eigenschaften. Bereits das Grundöl ohne Additive bietet eine sehr gute Viskositäts- und Oxidationsstabilität.

Fluide auf Esterbasis sind jedoch hydrolytisch und thermisch instabil. Hohe Betriebstemperaturen, Temperaturspitzen und Wasseranteile führen zur Hydrolyse, die die Ester-Moleküle in ihren ursprünglichen Alkohol- und Säure-Bestandteil aufspalten. Der Säuregehalt im Fluid steigt. Je weiter fortgeschritten die Hydrolyse, desto schneller erfolgt der weitere Zerfall des Esters.



Mit einem effizienten Nebenstromfilter, der Wasser und Säuren entfernt lässt sich der Zerfall der Ester-Moleküle infolge der Hydrolyse deutlich verlangsamen (Standzeitverlängerung) und den negativen Konsequenzen vorbeugen (Korrosion, Verschlammung, verminderte Schmierfähigkeit, verminderter elektrischer Widerstand etc.).



Biologisch abbaubare Öle:

Öle gelten als biologisch abbaubar (gemäß CEC-L-33-A-93), wenn innerhalb von 21 Tagen bei einer Temperatur von 25 °C nur noch max. 20 % des Öls im Wasser vorhanden ist und durch natürliche Mikroorganismen abgebaut werden konnte. Zudem sollten diese Öle eine möglichst geringe Toxizität aufweisen. Ausschließlich pflanzliche Öle und natürliche bzw. synthetische Schmierstoffe auf Esterbasis bestehen diese Tests und gelten als biologisch abbaubar. Poly Alpha Glykole und Polyalphaolefine (PAG, PAO) weisen unter den gleichen Bedingungen noch 70–95 % Ölanteile im Wasser auf.

	Biologische Abbaubarkeit	Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen	Toxizität	Hydrolytische Stabilität	Hygro-skopisch	Oxidations-stabilität
Pflanzliche Öle	Exzellent	Ja	Nein	Sehr gering	Nein	sehr gering
Ester	Sehr gut	Ja	Gering	Sehr gering	Ja	Variiert
PAG-Ester-Mix	Sehr gut	Nur Ester-Anteil	Gering	Gering	Ja	Variiert
PAG	Gering	Nein	Gering	Gut	Ja	Gut
PAO	Gering	Nein	Hoch	Exzellent	Nein	Gut

Biologisch abbaubar bedeutet aber gleichzeitig, dass Bio-Öle aus Ester, Ester-Gemische sowie pflanzliche Öle bei Verunreinigung mit Wasser sehr schnell infolge von Hydrolyse zerfallen und Ihre Schmierwirkung verlieren. Ester und deren Gemische besitzen zudem ein schlechtes Wasserabscheidevermögen und bilden Emulsionen (siehe S. 9). Besteht umgebungs- und produktionsbedingt das Risiko von Wassereintrag (z. B. Schifffahrt, Mining, Papier- und Stahlindustrie) müssen effiziente Systeme zur Wasserreduktion installiert werden, um den Zerfall durch Hydrolyse zu verlangsamen und die Gebrauchsdauer zu verlängern – diese Spezialöle sind bis zu 14-mal teurer als Mineralöle. Pflanzliche Öle kommen bei Outdoor-Installationen zum Einsatz, bei denen Leckagen zu Umwelt-, Grundwasser- oder Lebensmittel-Verunreinigungen führen würden. Biologisch abbaubare Öle sind in der Forst- und Agrarwirtschaft, in Naturschutzgebieten, Häfen und Küstennähe gesetzlich vorgeschrieben.

Isolieröle von Transformatoren:

Ein hoher Feuchtigkeits- und Schwebstoffgehalt im Isolieröl birgt ein hohes Risiko für die Betriebssicherheit, da Wassermoleküle sich an Schwebstoffe und ungelöste Oxidationsprodukte aufgrund der polaren Anziehungskräfte binden, wirken sie im Isolieröl als Leitfähigkeitsbrücken. Als Folge sinkt die Durchschlagsfestigkeit und das Risiko von Teilentladungen/Kurzschlüssen steigt – egal, welcher Öltyp verwendet wird. Für eine höchstmögliche Betriebssicherheit sollten daher sowohl Wasser als auch Partikel und Oxidationsrückstände aus dem Isolieröl entfernt werden.

In der Zellulose-Isolierung der Wicklungen ist das meiste Wasser gebunden – 130-mal mehr als im Isolieröl. Denn die Zellulose-Isolierung zerfällt im Laufe der Zeit durch Depolymerisation, wobei Wasser entsteht. Aufgrund der sehr geringen Diffusions-

5 Besonderheiten bei speziellen Öltypen

geschwindigkeit des Wassers aus der Zellulose-Isolierung findet ein Konzentrationsausgleich mit dem Isolieröl nur sehr schleppend statt. Ein Ölwechsel würde nur einen Bruchteil des Wassers in einem Transformator entfernen. Eine langanhaltende Trocknung der Zellulose-Isolierung ist daher nur durch kontinuierliches Entfernen von Wasser aus dem Isolieröl erzielbar – da es Zeit benötigt.

Die Alterungsprozesse innerhalb des Transformators werden üblicherweise durch eine Gas-in-Öl-Analyse (DGA) überwacht. Eine akurate Trendbeobachtung ist mit der DGA nur möglich, wenn das Trocknungsverfahren die Gaszusammensetzung nicht beeinflusst.

Risiko der Vakuumtrocknung für Transformatoren

Die alternde Zellulose wird stark beansprucht, denn durch die Vakuumtrocknung wird die Kompression der Zellulose-Isolierung reduziert, so dass die Wicklungen bei dem weiteren Betrieb Schaden nehmen kann. Die Transformatoren-Trocknung sollte so schonend wie möglich erfolgen und bestenfalls während des Betriebs des Transformators, um Ausfallzeiten zu vermeiden.

Turbinenöl:

Das Schmierölsystem ist eines der kritischsten Systeme einer Turbine – Fehler führen hier mit zu den schwerwiegendsten Schäden und Ausfällen. Hohe Betriebstemperaturen und Geschwindigkeiten sind die hauptsächlichen Stressfaktoren für das Turbinenöl von Gas- und Dampfturbinen. Zusätzlich besteht bei Dampfturbinen das erhöhte Risiko einer Verunreinigung mit Wasser. Die Oxidationsrate, Säurezahl (TAN) und ggf. der Wassergehalt müssen daher regelmäßig überwacht werden, um das Erreichen von Grenzwerten rechtzeitig zu erkennen, entgegenwirken zu können und Ablagerungen und Systemspülungen zu vermeiden (hoher Aufwand aufgrund großer Ölfüllungen).

Der Additivgehalt in Turbinenölen beträgt zwar nur 0,5–5 %, aber das Additivpaket ist hochwertig. Turbinenöle sollten eine hohe Oxidationsstabilität, einen hohen Viskositätsindex und Verschleißschutz sowie ein gutes Schmutzlösevermögen aufweisen. Bei Dampfturbinen ist auf Korrosionsschutz und ein hervorragendes Wasserabscheidevermögen zu achten.

Die meisten Turbinenöle sind miteinander nicht kompatibel und weisen bei Vermischung ein schlechtes Wasser- und Luftabscheidevermögen sowie Schaumverhalten auf. Vor einem Ölwechsel sollten daher unbedingt vorab Tests im Öllabor erfolgen und ggf. muss eine Systemspülung vorgenommen werden.



Abb. 31:
Ölprobe vorher (li)
und nach Installation
eines kontinuierlichen
Fein- und Tiefenfilters
(re)



Abb. 32:
Varnish-Ablage-
rungen an Ventilen
führen zu Fehlfunk-
tionen

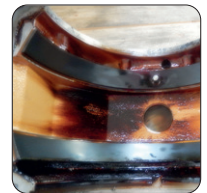


Abb. 33:
Varnish-Ablagerun-
gen in Lagerschalen
verändern den
Schmierspalt und er-
höhen den Verschleiß

Kompressorenöl:

Das Schmieröl von Kompressoren ist extremen Bedingungen ausgesetzt, wie sie kaum in anderen Anwendungen herrschen. Durch die Kompression von Gasen entsteht Hitze und Wärmeenergie, die das Gas in die Molekülstruktur des Schmieröls pressen kann.

Folgen:

- Öltemperatur steigt bis zur Karbonisierung des Öls (Cracking)
- Verdampfungsrisiko
- Oxidation wird beschleunigt durch
 - Kondenswasser im Öl
 - Metallpartikel im Öl
 - Sauerstoff bei Luftkompressoren ► Katalysator für Oxidation

Aus diesem Grund sollte Kompressorenöl eine hohe thermische, oxidative und hydrolytische Stabilität, Korrosionsschutz sowie ein gutes Wasserabscheide- und Schmutzlösevermögen (Varnish) bieten. Zum Einsatz kommen fast nur synthetische Fluide wie Poly Alpha Glykole (PAG), Ester und ggf. Polyalphaolefine (PAO).



Abb. 34:
Ölprobe vorher (li)
und nach Installation
eines kontinuierlichen
Fein- und Tiefenfilters
(re)

Kühlschmierstoffe und Bearbeitungöle:

In Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren kühlt und schmiert der Kühlschmierstoff (KSS) während des Spanverfahrens Werkzeuge und -stücke. KSS sind kategorisiert in wasserhaltige und ölhaltige Fluide. Während des Spanverfahrens (Fräsen, Schleifen, Honen etc.) gelangen große Mengen metallischer Partikel (Späne, Feinstabrieb) in den KSS-Kreislauf. Auch klebrige Ablagerung, Metallsalze, die Vermischung mit anderen Öltypen, Fette und Wasser — sogar mikrobieller Befall — sind typische Verunreinigungen.

Der fertigungsbedingt sehr hohe Verbrauch an Kühlschmierstoffen macht die Aufbereitung und Rückgewinnung des KSS ökonomisch und ökologisch zwingend erforderlich. Die Schließung des Stoffkreislaufes erfolgt normalerweise am Entstehungsort im Werk. Für die Stoffrückgewinnung gibt es verschiedene Lösungsansätze wie z. B. Bandfilter mit verschiedenen Filterfeinheiten zur Trennung und Rückgewinnung der metallischen Späne und Abriebpartikel oder Brikettierpressen, die die im KSS befindlichen Stoffe zu hochwertigen Briketts verarbeiten. Wasserhaltige Kühlschmierstoffe bzw. Bearbeitungöle können z. B. mittels Fein- und Tiefenfiltration vollständig zurückgewonnen und wieder eingesetzt werden.

Folgen durch verunreinigten Kühlschmierstoff:

- erhöhter Verschleiß und Wartungsaufwand (Führungsschienen, Werkzeuge)
- Überschreiten von Toleranzen ► beeinflusst Produktqualität
- sinkende Biostabilität (Bakterien, Pilze, Hefen) ► gesundheitsschädlich



Abb. 35:
Vorher-Nachher-
Proben im Zuge der
Ölrückgewinnung
mittels Fein- und
Tiefenfiltration
oben:
wasserhaltiger KSS
unten:
Bearbeitungsöl

5 Besonderheiten bei speziellen Öltypen

Härte- bzw. Abschrecköle:

Abschrecköle von Härteölsystemen sind thermisch und oxidativ extrem stark belastet. Durch den direkten Kontakt mit den bis zu 900 °C heißen Härtegütern müssen sich Härteöle durch eine sehr gute Temperaturleitfähigkeit (Viskosität entscheidend) und Oxidationsbeständigkeit sowie einen hohen Flammpunkt auszeichnen. Sie müssen die Fähigkeit besitzen die heißen Härtegüter abzukühlen und abzuschrecken, um die gewünschte Härte und Festigkeit des Werkstoffs zu erzielen. Grundöl, Additivpaket und die Ölreinheit beeinflussen das Härteergebnis.

Die extremen Temperaturspitzen während des Abschreckvorgangs führen zum Cracken der Ölmoleküle und zur Asphaltbildung – die freien Radikale der zerrissenen Ölmoleküle verbinden sich willkürlich zu langkettigen Kohlenwasserstoffmolekülen. Oxidations- und Additivabbau-Prozesse führen zur Bildung von Säuren und schlammigen Rückständen.

Zusätzlich wird das Härteöl während des Härtevorgangs mit Ruß, Zunder, Metallpartikeln und Rückständen von Abdeckpasten verunreinigt. Aber auch Staub aus der Umgebung (Undichtigkeiten, Wartung, Nachfüllvorgänge, offenes Härtebad) gelangt in das Abschrecköl.

Ein Eintrag von Wasser ist unter allen Umständen zu vermeiden. Aqua-Alarm-Systeme sorgen für erhöhten Schutz. Gefahrenquellen sind Kondenswasser, Leckagen (Kühler, Rohrleitungen, Sprinkleranlagen) und falsche Lagerung des Härteöls.

Folgen durch verunreinigtes und schnell alterndes Härteöl

- veränderte Abschreckkurve, Abkühlzeit und Werkstoffgüte
- Ablagerungen und Schlammbildung auf Härtegütern, Kühlern, Umwälzanlagen und Aqua-Alarm-Systemen – Folgen:
 - Effizienzverlust des Kühlers
 - Unregelmäßigkeiten beim Härtevorgang
 - stark belastete Waschbäder
 - nachträgliche Strahl- und Schleifarbeiten
 - höhere Ausschussmengen
 - aufwändige Reinigung der Ölbecken
- veränderte Viskosität und damit Temperaturleitfähigkeit
- Anstieg der Spritzgefahr
- veränderter Flammpunkt, Anstieg des Brand- / Explosionsrisikos

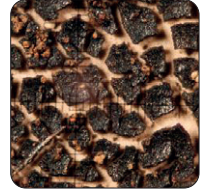


Abb.36 + 37:
Härteölproben:
Vergrößerung von
Test-Membranen – die
Asphaltbildung ist
deutlich erkennbar

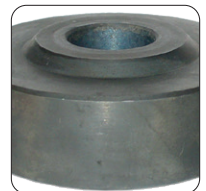


Abb. 38 + 39:
Oben: Härtegut abge-
schreckt in schmut-
zigem, unfiltriertem
Härteöl
Unten: Härtegut
abgeschreckt in
sauberem, filtriertem
Härteöl

Wärmeträger- bzw. Thermalöle:

Wärmeträgeröle sind Spezialöle, die bei Betriebstemperaturen von 140–310 °C Wasser und Dampf als wärmeleitendes Medium ersetzen. Sie müssen eine hohe thermische Stabilität und Oxidationsbeständigkeit sowie eine hervorragende Temperaturleitfähigkeit besitzen. Typische Einsatzgebiete sind in der Lebensmittel-, Elektro-, Papier- und Stahlindustrie, in der chemischen Industrie, bei der Gummi- und Kunststoffverarbeitung und in der Schifffahrt.

Aufgrund der dauerhaft hohen Betriebstemperaturen unterliegen Wärmeträgeröle jedoch einem permanenten thermischen und oxidativen Zerfall – je länger das Öl im Einsatz ist und je höher die Betriebstemperaturen, desto schneller laufen die Ölzerfallsprozesse ab (Cracking, Verkokung, Oxidation). Es entstehen schlamm- und harzähnliche Ablagerungen, die sich verstärkt im Inneren der Leitungen und an den Wärmetauschern absetzen.

Folgen durch verunreinigtes und schnell alterndes Wärmeträgeröl

- sinkende Effizienz ► erhöhter Energie- / Wärmebedarf
 - verringerter freier Strömungsquerschnitt
 - verschlechterter Wärmeübergang
 - Temperaturschwankungen
 - längere Reaktionszeiten auf Steuersignale
- permanente Kontrolle und Anpassung von Prozessparametern
- längere Aufheizphase nach Stillstand ► verzögerter Produktionsbeginn
- schnell steigende Conradson- und Säurezahl ► häufige Ölwechsel
- aufwändige Spülung und Reinigung von Leitungen und Wärmetauschern
- erhöhter Verschleiß an Pumpen

Die stetig steigende thermische Belastung auf das Wärmeträgeröl beschleunigt die Zerfallsprozesse kontinuierlich weiter, wodurch weitere Ablagerungen entstehen – ein Teufelskreislauf entsteht, der nur durch einen effizienten Thermalöl-Filter unterbrochen werden kann.

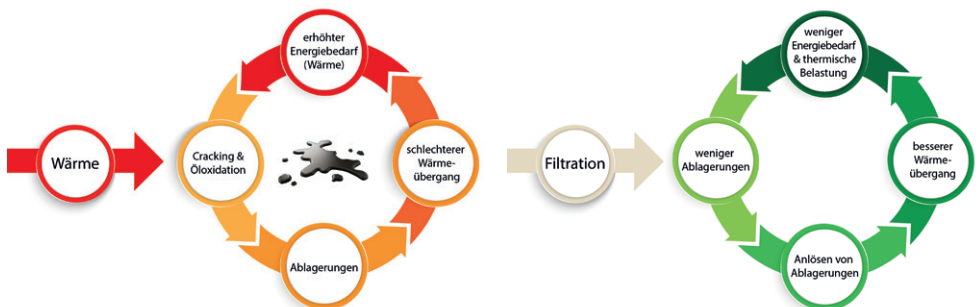


Abb. 40
Ablagerungen im Leitungssystem



Abb. 41:
Gesättigter Thermalöl-Filter, der Verunreinigungen aus dem Öl entfernt bevor sie sich ablagern. Zusätzlich sorgt er für eine langanhaltend stabile Conradson-, Säure- und Oxidationszahl und verlängert so die Ölstandzeit.

5 Besonderheiten bei speziellen Öltypen

Motoröle:

Motorschmieröl in Gas- und Dieselmotoren ist permanent extremen Belastungen ausgesetzt. Oxidative Alterungsprozesse, thermische Belastung und der Direktkontakt mit schadstoffreichen Blow-by-Gasen beanspruchen Motorschmieröle massiv und führen schnell zur Versäuerung und Viskositätsveränderung. Aber auch Ruß, Metallpartikel, Staub und Feuchtigkeit gelangen in das Öl, teils abhängig von Betriebsbedingungen, Beanspruchung und Motorzustand. Die ablaufenden Reaktionsprozesse beschleunigen sich untereinander und führen zum frühzeitigen Zerfall des Grundöls und einem erhöhten Additivverbrauch – sogar bei oxidationsbeständigeren Syntheseölen.

Folgen durch verunreinigtes und schnell alterndes Motoröl

- kurze Nachfüll- und Ölwechsel-Intervalle
- schlechte Langzeitwirkung der Additive
- schneller Verlust des Dispergiervermögens
 - Agglomeration, Ausfällung und Ablagerung von Ruß
- Korrosion, Rost, Verschleiß und schlammartige Ablagerungen
 - verstopfte enge Passagen
 - beeinträchtigte Komponentenbewegung
 - höheres Risiko von Glykol-Eintrag (Verdickung des Öls)
- hoher Verbrauch der Ölfilter in der Hauptleitung
- verschlechtertes Luftabscheidungsvermögen (Schaum-Risiko)

Das Additivpaket von Motorölen umfasst ca. 10–30 % der Ölformulierung mit Detergentien und Dispergatoren als Hauptbestandteil, um Rußablagerungen und Säuren (Blow-by-Gase, Öloxidation) entgegenzuwirken. Antioxidantien, Schaum-Inhibitoren und Anti-Wear-Additive komplettieren das Additivpaket.

Mehrbereichs-Motoröle enthalten als weitere Hauptkomponente Viskositäts-Index-Verbesserer (VI-Verbesserer). Diese Additive gewährleisten eine gute Fluidität bei niedrigen Temperaturen (durch niedrigere Viskosität) und einen klein wenig besseren Verschleißschutz bei höheren Temperaturen (durch höhere Viskosität). Mehrbereichs-Motoröle werden deshalb gegenüber Einbereichs-Motorölen bevorzugt eingesetzt.

Beispiel

Mehrbereichs-Motoröl SAE 10W30 = Grundöl SAE 10 + VI-Verbesserer

- bei niedrigen Temperaturen (Winter) gute Fluidität von SAE 10
 - Viskosität @ 0 °C: SAE 10 = 450 cSt | SAE 30 = 2.500 cSt
- bei höheren Temperaturen höhere Viskosität als SAE 30
 - Viskosität @ 100 °C: SAE 10 und SAE 30 = 12 cSt
 - Viskosität @ 110 °C: SAE 10W30 = 10 cSt | SAE 30 = 5 cSt

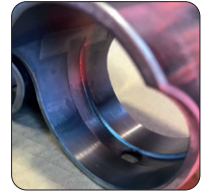


Abb. 42:
Abrasier Verschleiß



Abb. 43:
Ruß und schlammartige Ablagerungen im Motorinnenraum



Abb. 44:
verstopfter Ölfilter (Hauptleitung)

Nachfüllung und Ölwechsel

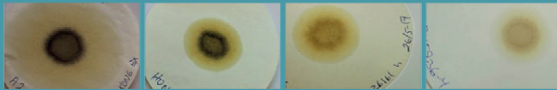
Die Additivierung des Motoröls muss regelmäßig und detailliert kontrolliert werden, um den zuverlässigen Betrieb des Motors zu gewährleisten. Bei Erreichen eines kritischen Zustands wird das Öl teilweise ersetzt oder komplett gewechselt.

Hinweis

Öl-Nachfüllungen reduzieren nicht die Belastung für das Motoröl. Zum einen verunreinigt das Frischöl binnen kurzer Zeit aufgrund von Ablagerungen und der Vermischung mit schmutzigen Restölbeständen. Zum anderen strapazieren Verunreinigungen, oxidative Prozesse und Säuren ungehindert die Schmiereigenschaften des Motoröls und die Langzeitwirkung von Additiven, wodurch das neu eingefüllte Frischöl nur über einen kurzen Zeitraum die Standzeit der Ölfüllung streckt.

Tip

Kontinuierliches Entfernen von Säuren, Oxidationsrückständen, Wasser und Partikeln aus dem Motoröl verlängert die Nachfüll- und Wechselintervalle.



Tüpfel-Tests: Entwicklung der Schmierölrinheit bei kontinuierlicher Pflege im Nebenstrom

Diesel und Kraftstoffe:

Bei Kraftstoffen, die lange gelagert werden oder bei Nichtbetrieb im Motor verweilen, verschlechtert sich kontinuierlich die Kraftstoffqualität. Verunreinigungen wie Partikel und Wasser gelangen z. B. über Leckagen, Undichtigkeiten, Kondensation und Belüftung von außen in Tank und Treibstoffsystem. Die Verunreinigungen beschleunigen Oxidationsprozesse und Additivabbau. Auch der Kraftstoff selbst entspricht oft nicht der gewünschten Reinheit, da etliche Schmutzeintrags-Risiken während Transport und Transfer bestehen.

Folgen bei Einsatz von verunreinigtem Kraftstoff

- Dieselpest, Mikroorganismen, Bio-Schlamm und -Korrosion
- Korrosion, Rost und Wasserstoffversprödung
 - abrasiver Verschleiß
 - beeinträchtigte Komponentenbewegung
 - blockierte Düsen und Leitungen
- Verschleiß und Kavitation an Einspritzdüsen, Nadelventilen, im Verbrennungsraum und in der Kraftstoffpumpe
 - ineffektive Verbrennung (Sprühbild-Problem)
 - ggf. Verunreinigung des Motoröls mit Kraftstoff
- häufiger Filterwechsel bei dem Kraftstoff-Filter (Hauptleitung)



Abb. 45: Kavitation und Korrosion an einer Einspritzdüse

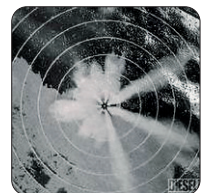


Abb. 46: Verändertes Sprühbild durch Verschleiß

5 Umgang mit Ölen und Ressourcen

Tipps für Einkauf, Transport und Lagerung

Einkauf:

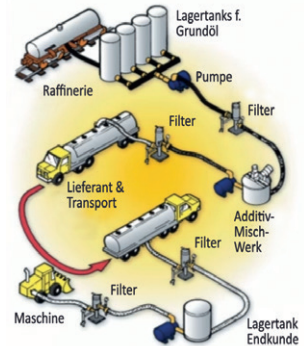
Wird Öl für den Einsatz in Systemen mit sensiblen Komponenten gekauft, kann der Lieferant vertraglich an die spezifizierte Qualität und Ölreinheit gebunden werden. Analyse-Zertifikate belegen die Einhaltung der Anforderungen einer produzierten Charge, aus der zu diesem Zweck eine repräsentative Ölproben entnommen und analysiert wurde. Die Aufbewahrungspflicht für diese Analyseergebnisse beträgt 5 Jahre.

Umfang des Analysezertifikats

- visuelle Überprüfung
- Viskosität bei 40°C
- Dichte
- Säure- bzw. Basenzahl
- Angaben zum Wasserabscheidungsvermögen
- Angaben zum Luftabscheidungsvermögen
- gravimetrische Bestimmung Gesamtverschmutzung
- ggf. Schaumverhalten bei 50 °C

Meist verlangen Lieferanten einen Aufschlag für die Garantie einer sehr hohen Ölreinheit. Eine eigene Filtrationslösung ist oftmals kostengünstiger.

Eine Wareneingangskontrolle des Frischöls sollte stets vorgenommen werden, um zu prüfen, ob die zertifizierte Ölreinheit tatsächlich noch gegeben ist. Denn der Weg von der Raffinerie bzw. dem Additiv-Misch-Werk bis zum Endkunden birgt ein hohes Potential für den Eintrag von Verunreinigungen und ist abhängig von zahlreichen Parametern wie z. B. Zustand und Reinheit von Transportbehältern/-tanks, geschultem Personal, Anzahl der Zwischenhändler, Einsatz von mobilen Filtern vor jeder Umfüllung.



Transport:

Für den Transport eignen sich epoxidgestrichene Fässer oder Kanister. Das Ölgefäß muss höchste Qualität aufweisen und den handelsüblichen Anforderungen entsprechen.

Auf unversehrte, gut abgedichtete und gereinigte Fässer und Tanks sollte unbedingt Wert gelegt werden. Oftmals sind Fässer durch Mehrfachverwendung noch überraschend schmutzig.

Die Kennzeichnung des Ölgefäßes muss mindestens Angaben zum Inhalt (Öltyp, Menge), Lieferanten, Kunden und der laufenden Chargennummer umfassen.

Lagerung:

Während der Lagerung unterliegen Öle, Fluide und Kraftstoffe Alterungs- und Oxidationsprozessen, die sogar schneller ablaufen können als in der Maschine. Insbesondere, wenn Partikel und Feuchtigkeit, die Treiber dieser Prozesse sind, über schlecht abgedichtete Verschlüsse bei Ölgefässern oder die Tankbelüftung bei Lagertanks in das Öl gelangen (Tankatmung). Bei der Lagerung von Tanks und Fässern im Außenbereich

besteht schon allein durch Temperaturschwankungen ein erhöhtes Wasser-Eintrags-Risiko. D. h. noch während der Lagerung kann es zur Versäuerung, zum Additivverlust (insbesondere bei kalten Temperaturen), zur Sediments- und Schlamm-Bildung sowie zur Verbreitung von gesundheitsschädlichen Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Hefen) kommen. Ist dieser Zustand erreicht müssen Tank und ggf. Rohrleitungen aufwändig gereinigt werden.

Insbesondere bei langer Lagerdauer in Tanks – wie z. B. für Notstromaggregate oder im Bergbau typisch – ist eine kontinuierliche Pflege des gelagerten Öls oder Kraftstoffs mit begleitenden Ölanalysen sehr zu empfehlen, um die Motoren bzw. Maschinen im Bedarfsfall sofort mit der spezifizierten Qualität und Ölreinheit zu versorgen und die Entsorgung der gelagerten Ölmengen zu vermeiden.

Tipps für Ölfässer (Stahl oder Polyethylen)

- Ölfässer liegend lagern mit dem Verschluss auf 3 oder 9 Uhr, so dass das Öl von Innen den Verschluss abdichtet
- mit Fass-Innenhüllen den Kontakt zwischen Öl und Fass-Wand vermeiden, um unerwünschte chemische Reaktionen (Inkompatibilität) zu unterbinden
- bei Lagerung im Außenbereich Schutzabdeckungen verwenden
- bei Lagerung im Innenbereich einen sauberen, ordentlichen, gut beschrifteten Lagerraum führen, der Sicherheitsansprüchen entspricht
- Krane o. ä. Vorrichtungen für längere Transportwege einsetzen (200 kg/Fass)
- First-in-First-out-Prinzip
- bei Entnahme von Teilmengen
 - Ent- und Belüfter mit Trocknungsmittel einsetzen (Adsorber)
 - mobilen Ölfilter einsetzen (immer nur für einen Öltyp verwenden)

Tipps für Lagertanks

- Filtersystem, das Partikel, Wasser, Oxidationsrückstände und Säuren entfernt
- Tankbelüftungs-Filter
- regelmäßige Ölanalysen

Verantwortungsvoller Umgang mit unserer Umwelt

Gezielte und effiziente Öl- und Fluidpflegemaßnahmen liefern einen wertvollen Beitrag zur Schonung von Umwelt und Ressourcen. Ein entscheidender Hebel ist dabei die Sicherstellung einer dauerhaft hohen Ölreinheit, mit dem die Lebensdauer von Schmierstoff und Komponenten um das bis zu 10-fache verlängert werden kann. Der folglich sinkende Öl- und Ersatzteilverbrauch hilft CO₂-Emissionen, Energie und Ressourcen einzusparen, z. B.:

- ca. 4,8 kg CO₂ pro 1 Liter eingespartem Öl (Herstellung/Entsorgung)

Optimal ist der Einsatz von Filtermaterialien, die den Forderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes entsprechen und kostenoptimal exzellente Ölreinheiten erzielen wie z. B. Naturfasern aus nachhaltigen Quellen (Zellulose).



Glossar

Abscheidegrad	Ausgehend vom Beta-Wert wird der Abscheidegrad bzw. die Filtereffizienz in Prozent berechnet.
Absorption	Prozess der Aufnahme oder des „Lösens“ eines Atoms, Moleküls oder eines Ions in einer anderen Phase.
Additive:	Öllösliche Zusätze, die Schmierstoffe zugegeben werden, um bestimmte Eigenschaften zu unterdrücken, hinzuzufügen oder zu verbessern wie Oxidationsstabilität, Verschleißschutz etc.
Adsorption	Anreicherung von Stoffen aus Gasen oder Flüssigkeiten an der Oberfläche eines Festkörpers.
Basenzahl	Die Basenzahl (TBN) gibt die alkalische Reserve eines Öls zur Neutralisation von Säuren an.
Beta-Wert	Dimensionslose Kennzahl, die das Verhältnis der Partikel ab einer bestimmten Größe im Fluid vor und nach dem Filter repräsentiert.
C	Umlauföle (DIN 51517 Teil 1)
CL	Öle der Klasse C + Korrosionsschutzadditive (DIN 51517 Teil 2)
CLP	Öle der Klasse CL + Hochdruckadditive (DIN 51517 Teil 3)
Detergentien	Additive, die die Fähigkeit haben, Rückstände zu lösen und Ablagerungen zu reduzieren.
Dieseleffekt	Mögliche Folge bei viel Luft im Öl; durch die unvollständige Verbrennung des Sauerstoffs in den Luftblasen entstehen Rußpartikel.
Dispergatoren	Additive, die von den Detergentien abgelöste Verunreinigungen in Schwebe halten, damit sie filtrierbar werden.
Emulsion	Fein verteiltes Gemisch zweier nicht mischbarer Flüssigkeiten wie z. B. Öl und Wasser (man unterscheidet Öl-in-Wasser-Emulsion oder Wasser-in-Öl-Emulsion).
Ester	Ester bestehen aus einem Säure- und einem Alkohol- bzw. Phenol-Teil. Die Säuren können organischen oder anorganischen Ursprungs sein. Die große Gruppe der Ester- und Ester-Gemische bietet sehr individuelle Eigenschaftsprofile. Viele sind biologisch abbaubar.
Gelöst	Stoff, der in die Molekularstruktur aufgenommen ist.

Grundöl	Grundgerüst einer Ölformulierung (Mineralöl, synthetisches Fluid oder Pflanzenöl). Eigenschaften eines Öls sind von der Auswahl des Grundöls abhängig wie z. B. Additivlöslichkeit, Oxidationsbeständigkeit und Viskositätsindex.
HL	Hydrauliköle mit Alterungsschutz- und Korrosionsschutzadditiven
HLP	Hydrauliköl mit Alterungsschutz- und Korrosionsschutzadditiven sowie Zusätzen zur Reibungs- und Verschleißminderung
HLPD	Hydrauliköle mit detergierenden Eigenschaften
HVLP	HLP-Hydrauliköle mit hohem Viskositätsindex (min. 140)
HEES:	Bio-Hydrauliköle mit ökologischem Additivpaket. Gelten als biologisch abbaubar.
Mikrometer (veraltet Mikron)	Symbol: μm ; im technischen Sprachgebrauch auch kurz μ ("mü") 1 Mikrometer = 0,001 mm
Mineralöl	Alle aus Erdöl gewonnen flüssigen Destillations- und Raffinationsprodukte; überwiegend Gemische von gesättigten und ungesättigten Kohlenwasserstoffen.
PAO	Poly Alpha Olefine sind synthetische Grundöle mit parafinischer Grundstruktur.
PAG	Polymerisierte Ethylen- bzw Propylenoxideinheiten oder Kombinationen daraus. Der Anteil an Ethylenoxid entscheidet über die Löslichkeit in Wasser. Gehört zu den biologisch abbaubaren Ölen.
ppm	Engl. parts per million; 1 ppm = 0,0001 %
Ungelöst	Stoff, der nicht in die Molekularstruktur aufgenommen ist und in Suspension bzw. als Schwebstoff vorliegt.
Säurezahl	Anhand der Änderung der Säure- bzw. Neutralisationszahl (TAN) während der Nutzungsdauer eines Öls können Schwankungen in der Additivierung oder auch oxidative Alterung erkannt werden.
Viskosität	Maß für die Zähigkeit einer Flüssigkeit. Höhere Viskosität bedeutet geringere Fließfähigkeit und höhere Zähflüssigkeit, niedrige Viskosität höhere Fließfähigkeit und geringere Zähflüssigkeit.



Das Synonym für Ölpflege

Proaktiv Instandhalten



Beratung

Wir bieten Ihnen Fluidpflege-systeme, die optimal angepasst sind an Ihre Maschine.



Bewertung

Anhand Ihrer spezifischen Daten erkennen Sie, dass sich die Investition mehr als lohnt.



Service

Sie erwartet ein persönlicher, regionaler Ansprechpartner, der Sie auch vor Ort besucht.



Herausforderungen

Wir prüfen auch anspruchsvolle Fälle auf Filtrierbarkeit und bieten kostenoptimale Lösungen.

Kontaktieren Sie uns! Einfach schreiben oder anrufen:

+49 (0)40 855 04 79 - 0

filtration@cj.de

Karberg & Hennemann GmbH & Co. KG
Marlowring 5
22525 Hamburg
Deutschland

www.cj.de

