

FACHARTIKEL

# Ablagerungen in Schmier- und Hydraulikölsystemen: Frühzeitig erkennen und Störungen vermeiden

**Rüdiger Krethe, OilDoc GmbH**

Das Thema Ablagerungen in ölgefüllten Systemen ist genauso alt wie die Anwendung von Schmierölen selbst. Werden Maschinen nach längerer Laufzeit geöffnet, sind beispielsweise bräunliche Verfärbungen an bestimmten Bauteilen durchaus normal. In einfachen ölführenden Systemen von Anlagen mit niedriger Auslastung mögen Ablagerungen bis zu einem gewissen Maß kein kritisches Problem darstellen.

Lizenziert für Gast am 07.11.2023 um 11:11 Uhr

Spätestens dann, wenn empfindliche Ventile, Schmierverteiler oder andere ablagerungssensitive Maschinenelemente in wertintensiven Produktionsanlagen mit hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit und Lebensdauer zum Einsatz kommen, können Ablagerungen Systemausfälle mit extrem hohen Folgekosten verursachen.

In jüngerer Vergangenheit sind ablagerungsbedingte Störungen in Systemen angesichts der hohen Folgekosten zunehmend in den Fokus von Anlagenbetreibern gerückt. Der Grund dafür liegt auf der Hand: Moderne Hydraulik- und Schmierölsysteme

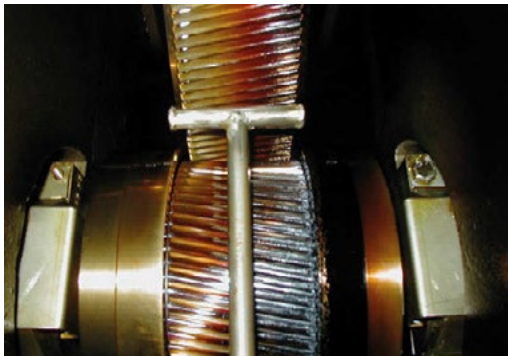
- › versorgen immer leistungsfähigere und hochproduktive Maschinen mit immer effizienteren, gleichzeitig empfindlicheren Komponenten,
- › werden bei höheren Temperaturen an einzelnen Komponenten oder gar der ganzen Ölfüllung betrieben,
- › laufen im Vergleich zu alten Anlagen mit geringerer Ölfüllmenge bei gleichzeitig möglichst langen Ölwechselintervallen.

## Rüdiger Krethe

Rüdiger Krethe ist Geschäftsführer der OilDoc GmbH, der Akademie für Weiterbildung rund um Schmierstoffanwendung, Ölanalysen und proaktive Instandhaltung. Nach seinem Studium des Maschinenbaus und der Tribotechnik war er im Produktmanagement für Industrieöle einer Mineralölgesellschaft tätig. Anschließend leitete er 15 Jahre das Diagnose-Team von OELCHECK. Seit mehr als 30 Jahren gibt Rüdiger Krethe als IHK-zertifizierter Trainer in Seminaren sein Know-how zu Tribologie, Schmierstoffen und Ölanalysen erfolgreich weiter. Außerdem ist er seit der ersten Ausgabe aktives Mitglied des Redaktionsteams der Schmierstoff+Schmierung.



Diese veränderten Bedingungen können nicht ohne Folgen für die eingesetzten Schmierstoffe bleiben, Wartungs- und Servicekonzepte eingeschlossen.



**Abb. 1:** Ablagerungen im Getriebe eines Turbo-kompressors (OELCHECK GmbH)

### Große Ereignisse werfen ihre Schatten voraus

In einigen Fällen treten im Vorfeld ablagerungsbedingter Komponentenausfälle bestimmte Symptome auf, wie z. B.:

- › wiederholt blockierende Ölfilter im Normalbetrieb,
- › blockierte Filter beim Wiederanfahren der abgekühlten Anlage,
- › zyklisch schwankende Temperaturen in Gleitlagern trotz stationären Betriebs,
- › zunächst vereinzelt auftretende Ventilprobleme, mit anschließender Zunahme der Häufigkeit,
- › plötzlich auftretende, starke Dunkelfärbung oder Trübung des Öls,
- › sichtbare Ablagerungsbildung am Tankboden, an Tankwandungen, in Rücklaufleitungen, Schmierverteiltern und Ölstandsanzeigern.

Um wirksame Maßnahmen zu ergreifen, ist es einerseits wichtig, die entsprechenden Veränderungen im Schmieröl frühzeitig zu erkennen, andererseits die Ursachen für die Ablagerungsbildung zu ergründen.

Erfreulicherweise wurden in den letzten Jahren sowohl effektive Methoden zur frühzeitigen Erkennung einer erhöhten Ablagerungsneigung von

Schmierölen als auch Maßnahmen zu deren Bekämpfung und nicht zuletzt Strategien zu deren Vermeidung entwickelt.

### Ablagerungen: Ursachen und Folgen

So verschieden Aussehen, Geruch, Struktur oder der Ort des Auftretens von Ablagerungen sind, so verschieden sind die möglichen Ursachen. Genormte Kriterien oder einen Standard zur Kategorisierung von Ablagerungen gibt es nicht, so auch nicht zu deren Ursachen. Ohne Kenntnis der Ablagerungsursachen ist es jedoch unmöglich, zuverlässig Abhilfe zu schaffen.

Tabelle 1 liefert einen praktikablen Ansatz für häufig auftretende Arten von Ablagerungen und deren mögliche Ursachen [1].

Partikel, insbesondere mit steigender Härte, können Verschleißvorgänge erheblich beschleunigen und die Lebensdauer geschmierter Komponenten drastisch reduzieren.

Wasser, Frostschutzmittel oder andere nicht mit dem Schmieröl mischbare Flüssigkeiten rufen neben der sichtbaren Trübung oft eine Schlamm- und Schmutzbildung hervor. So kann beispielsweise ein Eintrag von Glykol in klassische Schmieröle bei erhöhten Betriebstemperaturen bis zur völligen Polymerisation des Öls führen.

Der Schwerpunkt dieses Artikels liegt auf alterungsbedingten Ablagerungen, den Mechanismen und Hintergründen zu deren Entstehung und Detektion.

Schmieröle, Hydraulikflüssigkeiten und andere Funktionsflüssigkeiten oxidieren während ihres Einsatzes. Dieser normale, unvermeidbare Alterungsvorgang, hauptsächlich durch höhere Betriebstemperaturen angetriebene Prozess produziert langkettige und saure Verbindungen. Anfangs verlangsamen die heutigen Ölen fast ausnahmslos zugegebenen Antioxidantien den Prozess effektiv, mit zunehmendem Abbau dieser Additive beschleunigt sich dieser deutlich.

Ursache	Beispiele	Aussehen, Auftreten
Flüssige Verunreinigungen	Wasser, Reiniger, Chemikalien Nicht kompatible Schmieröle	Emulsion, Trübung, Schlamm, Phasenbildung
Feste Verunreinigungen	Extern: Staub, Sand, Zement Intern: Verschleißpartikel	Abgesetzte oder fein dispergierte Partikel
Oxidation & Additiv-Abbau	Reaktion mit Luftsauerstoff in Verbindung mit erhöhten Temperaturen, mechanisch und thermisch initiiertes Additiv-Verbrauch	Dunkelfärbung (hell- bis dunkelbraun) Lackbildung an Oberflächen Schlamm- und Schmutzbildung, dispergiert/abgesetzt
Thermische Zersetzung	Zersetzung des Öls durch sehr hohe Temperaturen, auch elektrostatische Entladungen, oft lokal begrenzt (Hotspots)	Grau- oder Schwarzfärbung des Öls Rußbildung, Crackprodukte Verkockungen an Bauteilen
Sonstige	Additiv-Unverträglichkeiten bei Vermischung im Einsatz, Lagerung oder Transport Produktionsfehler (selten)	Leichte Trübung („Schleier“) oder Schlieren, Schlamm- und Schmutzbildung, dispergiert/abgesetzt

**Tab. 1:** Mögliche Ursachen für Ablagerungen (FLUITEC / Wooton Consulting / OilDoc GmbH)

Fachartikel | Ablagerungen in Schmier- und Hydraulikölsystemen

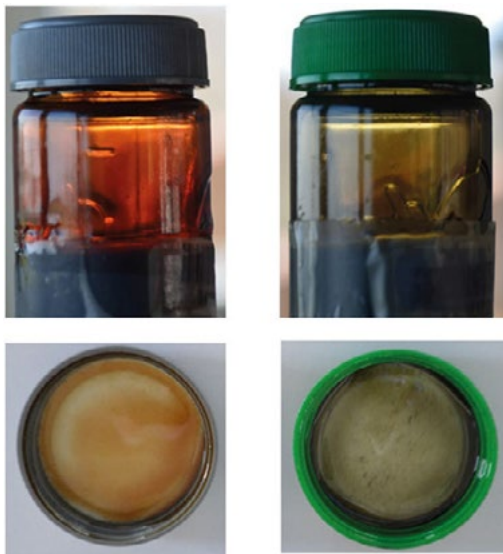


**Abb. 2:**  
 Polymerisierte  
 Ablagerungen  
 durch Ver-  
 mischung (OilDoc  
 GmbH)

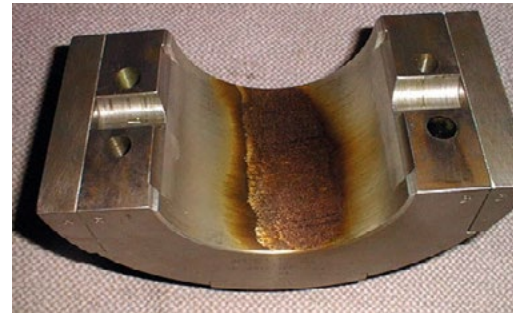
Zunächst ändert sich offensichtlich die Farbe des Öls zu dunkleren Brauntönen. Im fortgeschrittenen Stadium steigen möglicherweise die Viskosität und die Säurezahl. Übersteigt die Konzentration der hochmolekularen, polaren Alterungsprodukte die Sättigungsgrenze, nimmt die Neigung zur Ablagerungsbildung rapide zu.

Schwarzfärbung durch den Eintrag von Verbrennungsruß normal ist).

Alle genannten Prozesse, Oxidation, Additiv-Abbau und thermische Zersetzung, tragen zur Bildung lackartiger Schichten auf diversen Bauteilen bei (Abb. 4). Zunehmend wird auch im deutschsprachigen Raum die englische Bezeichnung – Varnish – benutzt.



**Abb. 3:** Dunkelbraunes Öl (oxidiert) und schwarzes Öl (thermisch zersetzt)



**Abb. 4:** Lackartige Ablagerungen (Varnish) auf einer Gleitlagerschale (OELCHECK GmbH)

### Ablagerungen ganzheitlich betrachten

Um die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Ablagerungsbildung und die Strategien zur Varnish-Vermeidung besser zu verstehen und effektiv anzuwenden, sollten nicht nur die „Hauptakteure“ der Ablagerungsbildung betrachtet werden, sondern auch deren Wechselwirkungen. Bewährt hat sich dazu das „Dreieck der Ablagerungsbildung“ (Abb. 5).

Die drei an der Entstehung von Ablagerungen beteiligten „Hauptakteure“ sind:

- › die Maschine bzw. das System,
- › das Schmier- oder Hydrauliköl,
- › der Betrieb.

Die Maschine gibt die Anforderungen vor, das Öl muss diesen bestmöglich folgen. Diese werden üblicherweise sowohl in neutralen Anforderungsnormen als auch in Spezifikationen oder Freigaben der Maschinen- bzw. Anlagen-Hersteller geregelt. In Bezug auf die Varnish-Vermeidung sollte der Schwerpunkt hier klar auf den

Thermische Zersetzung, im Englischen auch Cracken genannt, benötigt deutlich höhere Temperaturen als die Oxidation. Oft sind Überhitzungen des Öls an lokalen Hotspots, die adiabatische Verdichtung von Luftblasen in dynamisch arbeitenden Ölströmen („Dieseleffekt“), Stromdurchgang oder elektrostatische Entladungen die Ursache. Die thermische Zersetzung färbt ein Schmieröl im Gegensatz zur Öloxidation oft grau oder schwarz. In den allermeisten Fällen ist eine derartige Verfärbung ein Zeichen anomaler Ölbeanspruchung, deren Ursachen gefunden und beseitigt werden müssen (Öle aus Verbrennungsmotoren sind eine der wenigen Ausnahmen, deren



Vorgaben der Maschinen-/Anlagen-Hersteller liegen.

Diese Spezifikationen zielen auf die generelle Eignung des Schmierstoffs ab. Insbesondere für neue Maschinen, die häufig höhere Anforderungen an die oxidativ-thermische Stabilität stellen, werden einzelne Kennwerte verschärft.



**Abb. 5:** Das Ablagerungsdreieck (OilDoc GmbH)

In den letzten Jahren wurden zunehmend „Low-Varnish-Öle“ auf der Basis moderner, wasserstoffbehandelter Öle (hydro-treated bzw. hydro-cracked) entwickelt, die mit einer sehr effektiven, relativ niedrig dosierten Additivierung hervorragende Praxisergebnisse zeigen. Selbst ein synthetisches Grundöl allein „macht noch keinen guten Schmierstoff“. Die Additivierung muss sowohl auf die Anwendung (Maschine, Einsatzbedingungen) als auch auf das verwendete Grundöl abgestimmt sein. Auch die Neigung des Öls während des Einsatzes Ablagerungen zu bilden, hängt im entscheidenden Maße davon ab.

Die erreichbare Lebensdauer des Öls, insbesondere bei sehr langen Öleinsatz-Zeiten, wie sie für XXL-Systeme erwartet werden, lässt sich nur begrenzt in relativ kurz bemessenen Freigabeteests simulieren. Das betrifft auch die Prüfung der Ablagerungsneigung. Verschärfend kommt hier der dritte Akteur ins Spiel: die Betriebsbedingungen.

War es beispielsweise früher die Regel, eine Dampf- oder Gasturbine nur einmal pro Jahr zu einer kurzen Wartung abzustellen, ist dies heute angesichts des sehr dynamischen Markts der erneuerbaren Energien nicht mehr so. Sonne, Wind und Wasser lassen sich nur begrenzt vorhersagen und noch weniger steuern. Deshalb wird die Energieerzeugung mittels konventioneller Technik entsprechend zurückgefahren, wenn gerade viel Energie aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung steht. Mit jedem Ab-

schalten und dem damit verbundenen Absinken von Öltemperatur und Volumenstrom verändert sich auch die Sättigungskonzentration in Bezug auf Alterungsprodukte („Varnish“) und Verunreinigungen wie beispielsweise Wasser. Jeder dieser Stops verstärkt die Ablagerungsbildung. Die Störung tritt zunächst häufig beim Wiedereinfahren der Anlage auf, beispielsweise blockierte Filter, Servoventile oder Schmierverteiler. Später häufen sich diese in der Regel.

Deshalb ist die regelmäßige Ölüberwachung wichtiger denn je. Zur effektiven Früherkennung einer erhöhten Ablagerungsneigung müssen spezielle, neu entwickelte Prüfmethoden integriert und der eine oder andere der bereits etablierten Tests mit neuen Bewertungskriterien versehen werden.

Gleichzeitig wurden spezielle Verfahren zur Öl- und Systempflege entwickelt, die alterungsbedingte, weich-pastöse Partikel aus dem Öl und dem System entfernen. Die klassische Hauptstromfiltration kann das schon allein wegen des relativ hohen Volumensstroms nicht. Beispielsweise finden folgende Methoden Anwendung oder auch Kombinationen davon:

- › Varnish-Entfernung aus dem Öl
  - elektro-statische Ölreinigung
  - Tiefenfiltration
  - Varnish Removal mittels Harztechnologie
- › Systemreinigung
  - diverse Spül- und Reinigungsprozeduren beim Ölwechsel
  - Hydroblasting

Ein Teil dieser Verfahren werden in anderen Artikeln dieser oder früherer Ausgaben behandelt. Daher wird an dieser Stelle auf Details verzichtet.

### Die professionelle Ölüberwachung

Zur Überwachung klassischer Ölumlaufl-Schmiersysteme haben sich regelmäßig durchgeführte Ölanalysen bewährt. Der klassische Untersuchungsumfang beurteilt den generellen Ölzustand hinreichend, jedoch nicht die Ablagerungsneigung. Tabelle 2 gibt einige Erläuterungen dazu.

Deshalb wurden spezielle Prüfmethoden entwickelt, um den Ölzustand, insbesondere die Oxidation, den Additivabbau und die Ablagerungsneigung zu beurteilen, z. B.:

- › Oxidationsindex: Auf industrielle Anwendungen verfeinerte FT-IR-Methode, die eine bessere Früherkennung und Trendbewertung der Oxidation erlaubt
- › RULER und FT-IR: Prüfung der noch wirksamen Antioxidantien im Vergleich zum Frischöl zur besseren Beurteilung der Restlaufzeit
- › MPC-Test: Ablagerungsneigung auf Labor-Testmembran und deren chromatographische Auswertung

## Fachartikel | Ablagerungen in Schmier- und Hydraulikölsystemen

Prüfmethode	Aussage	Früherkennung Ablagerungen	Erläuterung
Elementanalyse (ICP oder Rotrode)	Erkennung Verschleiß/Korrosion, Verunreinigung, Additiv-Elemente	☹️	Elementgehalte liefern wenig Informationen zu Ölalterung und Lackbildung (Varnish), erlauben jedoch Rückschlüsse zur Verunreinigung mit anderen Ölen, Fetten oder Chemikalien
Kinematisch Viskosität @40°C 1100°C	Viskositätsveränderung zeigt exzessive Öloxidation, thermische Zersetzung oder Vermischung	☹️	Ein Anstieg der Viskosität ist ein Zeichen starker Öloxidation. In Systemen mit großen Ölvolumen ist oft kein Anstieg zu beobachten. Beim Einsatz moderner, gesättigter Grundöle noch weniger.
FT-IR	Messung von Oxidation, Nitration & Sulfation und Additiv-Abbau	☺️	Ein signifikanter Additiv-Abbau ist oft ein erstes Zeichen starker Ölalterung. Eine FT-IR-Analyse ist sehr hilfreich, um diesen frühzeitig zu erkennen.
PQ-Index	Screening für ferromagnetische Partikel >5µm	☹️	Der PQ-Index zeigt einen erhöhten Anteil ferromagnetischer Partikel an, liefert jedoch keine Informationen zur Varnish-Bildung.
Säurezahl NZ / AN	Veränderung des Säuregehalts → Oxidation, Additiv-Abbau	☹️	Der Additivabbau führt oft zu einem Absinken der Säurezahl und ist oft ein erstes Anzeichen beginnender Varnish-Bildung.
Wassergehalt Karl-Fischer / FT-IR	Hoher Wassergehalt → Beschleunigt Ölalterung, Korrosion und Komponentenverschleiß	☹️	Der Wassergehalt liefert keine Informationen zur Varnish-Bildung, führt jedoch oft zum beschleunigten Additivabbau und Schlamm-Bildung.
Partikelzählung / Reinheitsklasse	Messung fester Verunreinigungen → Beschleunigt Komponenten-Verschleiß, nur bedingt Ölalterung	☺️	Der Anstieg der Partikelzahlen in den Größenklassen >4µm und nachfolgend >6µm der Reinheitsklasse nach ISO 4406, z. B. 22/20/12, ist oft ein Anzeichen eines leicht erhöhten Wassergehalts oder einer Varnish-Bildung.

**Tab. 2:** Konventionelle Prüfmethode und Ablagerungsneigung

In einer Fortsetzung dieses Artikels werden die Methoden und deren Anwendung inkl. Praxisbeispielen demonstriert. Die sehr guten Erfahrungen aus dem Bereich der Energieerzeugung berücksichtigend finden diese Methoden auch für sensitive Hydraulik- und Schmieranwendungen anderer Bereiche zunehmend Anwendung.

### Zusammenfassung

Die bestmögliche Strategie zur Varnish-Vermeidung und -Bekämpfung setzt voraus:

- › das richtige Öl,
- › die optimale Öl- und Systemüberwachung,
- › die darauf abgestimmte Öl- und System-Pflege.

Nicht jede Ablagerung ist der klassischen Ölalterung zuzurechnen. Erst die Ermittlung der Ablagerungsursache ermöglicht zuverlässige Abhilfemaßnahmen.

Welches Öl, welche Ölüberwachung und welches Reinigungsverfahren am besten geeignet sind, hängt von vielen Faktoren und der Wartungsstrategie des

Unternehmens ab. Für alle Bereiche sind erfahrene Spezialisten verfügbar, die mit Rat und Tat zur Verfügung stehen. Noch besser ist es, wenn derjenige nicht nur Erfahrungen aus einem dieser Bereiche hat und gute Referenzen mitbringt. Es lohnt sich, diese Hilfe in Anspruch zu nehmen.

### Literaturquellen

- [1] Wooton, Dave; Livingstone, Greg: Lubricant deposit characterization, OilDoc Conference and Exhibition, January 22–24, 2013, Rosenheim
- [2] Krethe, Rüdiger: Oil condition monitoring of modern lubricants – A paradigm shift in oil analysis. 19<sup>th</sup> International Colloquium Tribology, January 21–23, 2014, Ostfildern
- [3] Krethe, Rüdiger: Handbuch Ölanalysen, expert verlag, 2020. ISBN 978-3-8169-3499-8 ✘

Eingangsabbildung: © Doni – stock.adobe.com