

Wenn ein Hydrauliköl vorschnell altert

07.12.2012,

Luft, Wasser und Feststoffverschmutzungen können das beste Hydrauliköl in die Knie zwingen. Wer die Folgen der Ölverschmutzung unterschätzt, setzt die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit einer Hydraulik leichtfertig aufs Spiel. Ein anderes Gefahrenpotenzial, das Konstrukteure und Instandhalter ebenfalls kennen sollten, ist die zeit- und nutzungsabhängige Ölverschlechterung.

Jedes Hydrauliköl altert mit der Zeit. Werden die zulässigen chemischen und physikalischen Grenzen überschritten, ist das Öl nicht mehr funktionsfähig und muss ausgetauscht werden. Wichtige Alterungsbeschleuniger sind die Betriebstemperatur, katalytische Prozesse und Art und Menge der Fremdstoffe. Betroffen ist vor allem die Ölviskosität, eine wichtige Grundeigenschaft des Hydrauliköls. Die Ölalterung hat eine Reihe von nicht zu unterschätzenden Negativauswirkungen in einer Hydraulikanlage.

- Durch ein schlechteres Fließverhalten werden Reibstellen nicht mehr mit dem notwendigen Hydraulikölvolumen versorgt, es kommt zu verstärktem Verschleiß.
- Eine höhere Viskosität belastet die Antriebsaggregate des Hydrauliksystems. Dadurch verschlechtert sich nicht nur der Wirkungsgrad, es kann auch zu Aggregat-Frühausfällen kommen.
- Die Rückstände der Ölalterung können Ventile verkleben, es kommt zu Funktionsstörungen.
- Ölalterung kann die Schlamm- und Festschlamm-Bildung verschärfen, der Filterbedarf steigt.
- Durch die Versäuerung des Hydrauliköls steigt die Korrosionsgefahr für metallische Werkstoffe.
- Die Zunahme von sauren Ölbestandteilen verschlechtert auch die Dichtungsverträglichkeit.

Faustformel

Temperaturabhängige Ölalterung

Zur überschlägigen Einschätzung des Alterungsverhaltens eines Hydrauliköls kann nachfolgende Regel angesetzt werden:

Mineralöl: oberhalb 50 °C halbiert sich die Gebrauchsdauer eines Mineralölschmieröls pro 10 °C Temperaturanstieg

Synthetische Grundöle: pro 15°C Temperaturerhöhung Halbierung der Gebrauchsdauer.

Merke: Auch synthetische Schmierstoffe altern. Der Alterungsprozess schreitet aber, im Vergleich zu einem Mineralöl, langsamer voran.

Die temperaturabhängige Hydraulikölalterung wird in der Praxis viel zu wenig beachtet. Kaum ein Instandhalter kennt das tatsächliche Temperaturprofil seiner Hydraulikanlage. Besonders gefährlich wird es, wenn er Vorgaben bezüglich Ölpflege- oder Ölwechselmaßnahmen eines Herstellers umsetzt, ohne zu wissen, für welche Betriebsbedingungen die Vorgaben gemacht sind und wie der tatsächliche Zustand an der Maschine ist. Die Temperatur ist aber nicht der einzige Alterungsbeschleuniger. Der Veränderungsprozess wird durch Anwesenheit von Luft und Wasser zusätzlich „angeheizt“.

Die Hydraulikölalterung kann, selbst dann, wenn diese so weit fortgeschritten ist, dass das Öl schon einer anderen Viskositätsklasse zuzuordnen wäre, mit blosem Auge nicht erkannt werden. Auch eine farbliche Veränderung hat bezüglich der Ölviskosität keine Aussagekraft. Es reichen schon geringe Anteile von Abrieb oder Systemrückständen aus, um ein Hydrauliköl dunkler einzufärben.



Grundaufbau eines Hydrauliköls.

An der Stelle einige Orientierungswerte für die fluideigene Alterung eines Öles: Vorausgesetzt, dass bei einer Tanktemperatur von 50 °C die Lebensdauer des Hydrauliköls 100 % beträgt, ergeben sich bei höheren Temperaturen folgende reduzierte Werte für die Öl-Lebensdauer (Werte in Klammer): 60 °C (50 %), 70 °C (25 %), 80 °C (12,5 %).

Die Ölanalyse ist am besten geeignet, den tatsächlichen Hydraulikölzustand zu erkennen. Das Ergebnis muss aber anwendungsspezifisch ausgewertet werden. Die zulässige Viskositätsabweichung ist von vielen anlagen- und auslastungsspezifischen Bedingungen abhängig. Nur durch einen intensiven Wissens- und Informationsaustausch zwischen Hersteller und Betreiber lassen sich die zulässigen Ölveränderungen richtig festlegen. Oft hilft auch eine Schwachstellenanalyse oder die Auswertung der bisher aufgetretenen Schäden weiter.

Ganz allgemein wird eine Viskositätsabweichung von +/- 15 % vom Ausgangswert toleriert. Bezug ist aber nicht die ISO-Klasse, so zum Beispiel HLP 46. Jedes Öl, das in der Viskosität mit +/- 10 % diesem Wert entspricht, fällt darunter. Für die Alterungsbeurteilung ist die gemessene Anlieferungsviskosität entscheidend – eine Forderung, die heute Pflichtteil jeder Öl-Wareneingangsprüfung sein sollte. Der Wert ist vom Ölhersteller oder -lieferanten zu liefern. Für die anlagenspezifische zulässige Viskositätsveränderung gibt es, neben den schon erwähnten Angaben, weitere. So gilt:

- je höher die relative Gleitgeschwindigkeit, desto größer die zulässige Viskositätsänderung
- je höher die spezifische Belastung der Reibstelle, desto geringer die zulässige Viskositätsänderung
- je höher der Stop & Go-Anteil, desto geringer die zulässige Viskositätsänderung
- je niedriger die Außentemperatur, desto geringer die zulässige Viskositätsänderung
- je verschleißanfälliger das Maschinenelement, desto geringer die zulässige Viskositätsänderung
- je höher die Ausfallkosten sind, desto geringer die zulässige Viskositätsänderung.

Wie ein Wollknäuel

Wie gesagt, das sind nur die wichtigsten Betrachtungsgrößen für die Bestimmung einer zulässigen Hydrauliköl-Viskositätsveränderung. Nicht unerwähnt bleiben darf, dass auch innerhalb der Gewährleistungszeit ein besonderes Augenmerk auf die Viskositätsveränderung

zu legen ist, um nicht im Schadensfall den Gewährleistungsanspruch leichtfertig zu verlieren. Alle Schmieröle haben den Nachteil, dass die Temperatur starken Einfluss auf die Fließeigenschaft, also die Viskosität hat. Um den Temperatureinfluss in Grenzen zu halten, werden mineralölbasierten Ölen oft sogenannte Viskositäts-Index-Verbesserer zugegeben. Die temperaturabhängige Veränderung wird über den Viskositäts-Index (VI) beschrieben. Je höher dieser Wert ist, umso geringer die Temperaturabhängigkeit der Viskosität. Jedes Öl hat sein spezifisches Viskositäts-Temperatur-Verhalten. Der VI basiert auf der willkürlichen Festlegung. Der Wert VI = 0 steht für ein Öl mit besonders schlechtem VT-Verhalten, VI = 100 wurde einmal den paraffinbasierten Mineralölen zugeordnet. Synthetische Schmieröle erreichen einen VI von 200 und mehr.

Fachwort-Erklärung 1

Was Varnish bedeutet

Hydrauliköle haben nur ein begrenztes Aufnahmevermögen für Altersrückstände. Wird die ölspezifische Löslichkeitsgrenze überschritten, lagern sich die meist polaren Ölalterungsprodukte auf metallischen Oberflächen ab. Die Ablagerungen können gelartig bis lackartig sein. Moderne Öle können, da sie höher raffiniert werden, weniger Alterungsprodukte aufnehmen – sind also anfälliger, was Varnish betrifft. Einige typische Anzeichen von Varnish: Störungen bei Ventilen und Steuerelementen durch Verkleben; Verschlechterung des Wärmeübergangs; Störungen bei Dichtelementen, da sich in der Kontaktzone Schichten aufbauen; Verblockung von Filterelementen; farbige Rückstände auf Metallteilen.

Zur Verbesserung des Temperatur-Verhaltens werden Schmieröle sogenannte VI-Improver zugegeben, langkettige Molekülketten. Ein Additiv, das bildlich gesprochen wie ein Wollknäuel aufgebaut ist. Sinkt die Einsatztemperatur, ziehen sich diese zusammen und bei höherer Temperatur nimmt das Volumen zu. Die Volumenveränderung hat direkten Einfluss auf die Fließeigenschaften, der Viskosität eines Schmieröls also. Viskositäts-Index-Verbesserer können unter Belastung zerstört werden. Es stellt sich also das ursprüngliche Viskositäts-Temperatur-Verhalten wieder ein und das kann zu temperaturabhängigen Funktionsstörungen führen. Die Zerstörung des Additives ist irreversibel.

Die Viskositäts-Index-Verbesserer werden aber nicht nur durch hohe Scherkräfte an Reibstellen zerstört, sie können auch herausgefiltert werden. VI-Improver sind nicht chemisch gebunden. Bei einer Filterfeinheit unter 6 µm sollte Rücksprache mit dem Öllieferanten genommen werden. Das gilt auch für Nebenstromfilter.

Zur Bestimmung des Viskositäts-Temperatur-Verhaltens wird die Viskosität bei 40 °C und 100 °C gemessen. Nach DIN ISO 2909 kann aus der Viskosität der beiden Messpunkte der Viskositätsindex berechnet werden. Das Viskositäts-Temperatur-Verhalten lässt sich aber auch im doppelt logarithmischen Ubbelohde-Diagramm grafisch darstellen.

„Wer schreibt der bleibt“. Das gilt auch für das Viskositäts-Temperatur-Verhalten. Werden die Ergebnisse der Ölanalysen grafisch aufgetragen, so kann eine Abweichung des Viskositäts-Temperatur-Verhaltens frühzeitig erkannt werden. Was die Ursache dafür ist, muss dann analysiert werden. Neben den erwähnten Einflüssen kann es auch eine Vermischung mit einem Fremdlöl sein. Auch die Grenzwerte für das VT-Verhalten müssen anlagenspezifisch festgelegt werden. Allgemein wird ein Abfall des Viskositätsindex von - 20 % vom Ausgangswert noch toleriert.

Die Ölalterung ist eine irreversible Veränderung eines Hydrauliköls auf Grund chemischer

Reaktionen während der Öllagerung und der Betriebszeit. Das gilt auch für Hydrauliköle auf Syntheseölbasis. Durch die stabilere Molekularstruktur schreitet, im Vergleich zu einem Mineralöl, jedoch der Alterungsprozess wesentlich langsamer voran. In der Praxis wird immer wieder unangenehmer Gebrauchtöl-Geruch als Indiz für eine fortgeschrittene Ölalterung angesehen. Das kann stimmen, muss aber nicht. Ein Beispiel hierfür: Fast alle Öle beinhalten Schwefelverbindungen als Verschleißschutzadditiv. Wirken diese an einer Reibstelle, entstehen Zersetzungsprodukte, die einen Geruch ähnlich fauler Eier haben. Ein Geruch, der wahrlich nicht angenehm ist. Mit Ölalterung hat das primär also nichts zu tun, wohl aber mit Ölveränderung.

Die wichtigsten Additive und ihre Funktionen

Hochdruckadditiv (EP-Additiv)	Reibungsminderung bei hoher Belastung
Verschleißschutzadditiv (AW Additiv)	Vermeidung von adhäsivem Verschleiß bei Kontakt metallischer Oberflächen
Alterungsschutzadditive (auch Antioxidantien oder Oxidationsinhibitor genannt)	Verzögerung der Öloxidation und damit längere Ölstandszeiten
Viskositätsindex-Verbesserer	Reduzierung des Temperatureinflusses auf die Hydraulikölviskosität
Korrosionsschutz und Rostschutzadditive	Unterbindung elektrochemischer Angriffe auf Metallflächen und Rost
Antischaumwirkstoffe	Verhindern die Bildung von stabilem Ölschaum
Elastomeraufqueller	Verhindern das Schrumpfen von Elastomeren
Haftverbesserer	Erhöht die Haftung des Hydrauliköls auf Metall
Pourpointverbesserer	Verbesserung des Kälteverhaltens
Detergents	Sind waschaktive Substanzen, die die Ablagerung von Alterungsprodukten auf metallischen Komponenten verhindern
Dispersants	Die Aufgabe der Dispersanten ist es, feste und flüssige Verschmutzungen (z.B. Staub, Wasser, oder Oxidationsprodukte) zu umhüllen und fein verteilt im Hydrauliköl in Schwebe zu halten
Kupferdeaktivatoren	Sollen primär kupferhaltige Werkstoffe schützen. Sauer wirkende Schmierstoffbestandteile, aber auch schwefelbasierte Additive können Messing, Bronze und Kupfer angreifen

Bei Betriebstemperatur sind die Oxydationsprodukte im Hydrauliköl oft gelöst. Mit der zunehmenden Gebrauchsdauer oder bei einer Abkühlung, wie zum Beispiel während einer Betriebsunterbrechung, bilden sich lange unlösliche Molekülketten. Diese verfestigen sich mit der Zeit, es entstehen lackartige Schichten. Gerade bei Bauteilen mit geringen Spaltbreiten kann das zu Funktionsstörungen führen. Lagern sich in die Oxydationsablagerungen harte Partikel ein, entsteht eine abrasive Schicht. Die Folge ist verstärkter Verschleiß der betroffenen Teile.

Wie sich der Additivabbau erkennen lässt

Zur Beurteilung der Ölalterung werden in der Regel drei Messgrößen herangezogen: die Verseifungszahl (VZ) nach DIN 51 559, die Oxydation über Infrarotspektroskopie, die Neutralisationszahl (NZ) DIN 51558. Anmerkung: Die NZ hat bei hochadditivierten Produktformulierungen nur eine geringe Aussagekraft, da die sauren Bestandteile einer Additivierung während des Gebrauchs abgebaut und durch saure Alterungsprodukte ersetzt werden können. Zur Beurteilung des Alterungszustandes müssen Ausgangswerte bekannt sein. Basierend auf dieser produkt- und chargenabhängigen Angabe, können dann, unter Berücksichtigung des betriebsspezifischen Anforderungsprofils, die zulässigen Abweichungsgrenzen festgelegt werden. Sobald diese erreicht sind, ist ein Hydraulikölaustausch umgehend vorzunehmen.

Fachwort-Erklärung 2

Was Alterung, VZ und NZ bedeuten

Alterung ist die unerwünschte chemische Veränderung eines Hydrauliköls während der Lagerung oder des Gebrauches. Alterungsauslöser und -beschleuniger sind Sauerstoff, Wärme, Licht, aber auch katalytisch wirkende Ölverunreinigungen. Sichtbare Folgen einer Ölalterung sind eine Viskositätsveränderung, verstärkte Metallkorrosion, verstärkte Wechselwirkung mit polymeren Werkstoffen, hochmolekulare bis lackartige Ablagerungen an ölbenetzten Maschinenteilen und in eingebauten Filterelementen.

Die Verseifungszahl VZ ist ein Maß dafür, wie viel Milligramm Kalium-Hydroxid (KOH) notwendig sind, um die freien und gebundenen Säuren in einem Gramm Hydrauliköl zu neutralisieren und die vorhandenen Ester zu verseifen.

Und schließlich die Neutralisationszahl NZ: Gemessen wird, wie viel Milligramm Kalium-Hydroxid (KOH) notwendig sind, um die freien Säuren und Basen in einem 1 g Hydrauliköl zu neutralisieren. Die NZ wird häufig zur Beurteilung der Hydraulikölalterung herangezogen. Da die Frischöl-NZ sehr stark von der Additivierung bestimmt wird, nicht additivierte Öle sind chemisch neutral, kann es zu einer Fehlbeurteilung bei einer Gebrauchtölanalyse kommen.

Auch die maschinentechnischen Auswirkungen der Öloxydation dürfen nicht unterschätzt werden. Typische Alarmzeichen sind:

- Die Korrosion eisenhaltiger Komponenten im Hydrauliksystem nimmt zu.
- Bauteile aus Buntmetallen korrodieren, werden also von der Ölsäure an der Oberfläche angegriffen.
- Es kommt zur Saug- und Druckfilterverstopfung, weil die polymerisierten Oxydationsprodukte sehr klebrig sind und andere Verunreinigungen aus dem Öl binden.
- Wenn sich in die polymerisierten Oxydationsprodukte harte Partikel anlagern, kommt es zu verstärktem Verschleiß an tribologisch beanspruchten Komponenten, da die Schicht wie ein raues Schleifpapier wirkt.
- Es treten verstärkt Dichtungsschäden auf.

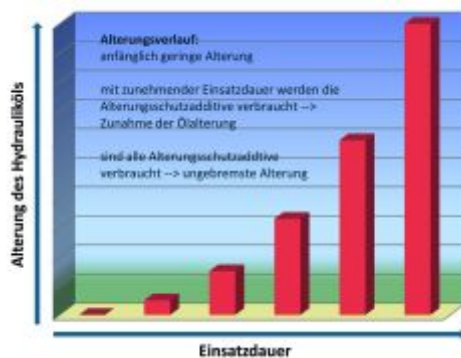
Nach der Hydrauliknorm DIN 51524 ist eine Zunahme der NZ um $\leq 2\text{mg KOH/g Öl}$ zulässig. Bezugspunkt ist, wie schon einmal gesagt, die NZ der Produktformulierung. Eine Angabe hierüber fehlt vor allem der Instandhaltung. Sowohl die NZ als auch die VZ eines Hydrauliköls ist produktspezifisch. Ein nicht additiveres Öl ist weitgehend chemisch neutral.

Als Orientierungsgröße für die zulässige Veränderung können nachfolgende Werte herangezogen werden: NZ maximal 3 mg KOH/g, VZ von maximal 5% vom Ausgangswert.

Mit der Additivierung eines Hydrauliköls möchte man bestimmte Schwachpunkte eines Grundöles, so zum Beispiel die Alterung, abmildern, aber auch positive Eigenschaften noch verstärken. Additive werden aber mit zunehmender Öleinsatzdauer verbraucht und stehen dann als Schutzschild nicht mehr zur Verfügung. Das Öl verliert seine Leistungsfähigkeit, es können Schäden auftreten. Jedes Hydrauliköl hat seine spezifische Additivierung. Additivart und -anteil der auf dem Markt angebotenen Hydraulikflüssigkeiten können also sehr unterschiedlich sein.

Prinzipiell lassen sich die einem Hydrauliköl beigemischten Additive in drei Klassen einteilen:

- Additive, die die Oberfläche schützen (zum Beispiel Hochdruckadditive, Verschleißschutzadditive, Korrosionsschutzadditive)
- Additive zur Ölverbesserung (beispielsweise Viskositäts-Verbesserer, Additive zur Verbesserung des Tieftemperaturverhaltens)
- Ölschützende Additive (zum Beispiel Alterungszusätze, Antischaumzusätze).



Einfluss der Einsatzdauer auf die Hydraulikölalterung.

Das Grundöl in Kombination mit den Additiven ergibt das Leistungsverhalten einer Hydraulikflüssigkeit. Verändert sich der Additivanteil, hat das zwangsläufig auch dementsprechende Auswirkungen. Additive werden in der Regel nicht einzeln, sondern als komplexe Package dem Basisöl zugemischt. Wenn das Hydrauliköl bei der Öllagerung oder beim Transport hohen Temperaturschwankungen ausgesetzt wird, kann sich die Funktionsfähigkeit der Additivkombination bereits verschlechtern.

Um die Folgen eines Additivabbaus beurteilen zu können, muss bekannt sein, welche Additive dem Öl zugegeben werden und in welchen Mengen. Schon bei einer Produktfestlegung ist darauf zu achten, dass Informationen darüber vorhanden sind. Für größere Hydraulikölmengen und für Hydrauliköle bei kritischen Anwendungen sollte eine Additivanalyse Bestandteil der Wareneingangsprüfung sein. Werden dann die Werte in eine Datenbank eingetragen, so lassen sich eventuelle Abweichungen verschiedener Lieferungen leicht feststellen. Die Werte der Wareneingangsprüfung sind auch Bezugsgröße für die Gebrauchtoilanalyse.

Ganz allgemein gilt die Regel, dass etwa 10 bis 20 % Additivabbau noch tolerierbar sind. Aber auch bei dieser Angabe gilt: ohne Gewähr. Wer wirklich sicher gehen möchte, muss anlagenspezifisch vorgehen und die Grenzwerte mit dem Maschinen- und Anlagenhersteller abstimmen.

Additivabbau zeigt sich in der Praxis, oft auch schleichend, durch eine Vielzahl von typischen Veränderungen:

- das Schaumverhalten nimmt zu
- bei Außenanwendungen treten Anlaufschwierigkeiten auf
- Öl beginnt atypisch zu riechen (Ursache hierfür kann auch eine Ölvermischung sein)
- zeitabhängige progressive Verschleißzunahme
- nach einer bestimmten Laufzeit treten verstärkt Dichtungsschäden auf
- verstärkte Verschleißzunahme bei thermisch höher belasteten Reibstellen
- demulgierende Öle emulgieren
- es kommt zu Funktionsstörungen durch Luftpolster
- verstärkt Korrosionserscheinungen an metallischen Bauelementen
- starke Zunahme der Ölalterung.

Resümee: Werden Hydrauliköle in Maschinen und Anlagen eingesetzt, altern diese. Eigentlich ein ganz natürlicher Prozess, der sich aber mit bestimmten Maßnahmen steuern lässt. Es gibt auch eine Reihe von Möglichkeiten, den aktuellen Alterungszustand eines Hydrauliköls zu erkennen. Es sind erste Anzeichen an einer Maschine, die aber leider viel zu häufig ignoriert werden. Die Ergebnisse einer Ölanalyse geben ein sehr präzises Bild. Die Messergebnisse müssen aber nicht nur richtig gelesen, sie müssen auch in Bezug auf die Maschinenfunktion verstanden werden.

Dreh- und Angelpunkt für die Ölalterungsüberwachung sind Sollwerte. Nur wer das notwendige maschinenspezifische Anforderungsprofil kennt, kann beurteilen, welche Auswirkungen eine Ölveränderung hat. Eine noch effektivere und offenere Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller und dem Betreiber ist die Voraussetzung dafür.

Autor: Helmut Winkler, Technik & Marketing München

Mehr zu diesen Themen: [Hydrauliköl](#),