

FACHARTIKEL

Mobilhydraulik: Bio-Öl oder Mineralöl - das ist hier die Frage

Rüdiger Krethe, OilDoc GmbH



Schmierstoffe auf der Basis von Mineralölen und ähnlichen (artverwandten) Kohlenwasserstoffen dominieren nach wie vor den Schmierstoff-Einsatz.

Bio-Schmierstoffe werden hauptsächlich dann eingesetzt, wenn

- › der Schmierstoff-Einsatz in ökologisch sensiblen Bereichen erfolgt.
- › es sich um eine Verlustschmierung handelt und der verbrauchte Schmierstoff in die Umwelt gelangt.
- › eine erhöhte Gefahr von Leckagen und Ölverlusten besteht.
- › gesetzliche Auflagen den Einsatz von Bio-Schmierstoffen erforderlich machen.

Von Laien wird das Wort „Bio“ in Bezug auf Schmierstoffe oft auf eine gute bzw. schnelle biologische Abbaubarkeit reduziert. Nationale und internationale Eco-Label-Systeme, beispielsweise das EU-Eco-Label /1/ oder der „Blaue Engel“ /2/ definieren deutlich umfassendere Kriterien dafür. Diese, da an anderer Stelle umfassend dargestellt, sollen hier nicht besprochen werden.

Als Bio-Hydraulikflüssigkeiten werden an dieser Stelle Hydraulikflüssigkeiten gesehen, die das EU-Eco-Label oder eines der nationalen Eco-Label tragen.

Geht es in Diskussionen mit Maschinenbetreibern um das Thema „Bio-Öl anstelle von Mineralöl“, so

kristallisieren sich drei Argumente heraus, die gegen Bio-Öle angeführt werden:

- › Hoher Produkt-Preis
- › Unsicherheiten bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit
- › Fragen zur Material-Verträglichkeit, z. B. mit Elastomer-Dichtungen oder Schläuchen, aber auch der Verträglichkeit mit anderen Schmierstoffen

Der Preis

Es liegt auf der Hand, dass ein Produkt, welches eine zusätzliche Funktionalität „Bio“ bietet, die

- › mit erheblichem Entwicklungs- und Prüfaufwand verbunden ist,
- › alternative Materialien erfordert,
- › in einem relativ kleinen Marktsegment zur Anwendung kommt,

im Vergleich zu den konventionellen Flüssigkeiten einen deutlich höheren Preis haben wird.

Es ist jedoch nicht gerechtfertigt, in Bezug auf den Produktpreis allein den Zusatznutzen „Bio“ auf diese Produkte zu projizieren. Bei einem fairen Blick wird deutlich, dass nicht nur, aber in besonderem Maße die



DIN-(ISO)-Typ	Kurzbeschreibung	Typische Anwendung
(H)	Unlegiert (keine Additive)	(Praktisch nicht mehr in Anwendung)
HL (HL)	Enthält Alterungs- und Korrosionsschutz-Additive	Nur sehr selten in Anwendung
HLP (HM)	Wie HL, enthält zusätzlich Verschleißschutz-Additive	Mindestanforderung für stationäre und mobile Anwendungen
HVLP (HV)	Wie HLP, zusätzlich hoher Viskositätsindex, meistens durch VI-Verbesserer realisiert	Wenn weiter Temperatur-Einsatzbereich erforderlich, z.B. in mobilen Geräten
HLP-D* (HM)	Wie HLP, enthält zusätzlich detergierende/dispersierende Additive	Bei Temperaturschwankungen oder Aussetzbetrieb, z.B. um Feuchtigkeit besser zu binden
HVLP-D* (HV)	Wie HVLP, enthält zusätzlich detergierende/dispersierende Additive	Wenn weiter Temperatureinsatzbereich und Aussetzbetrieb, z.B. um Feuchtigkeit besser zu binden

*) Nach DIN 51524 können HLP- bzw. HVLP-Öle zusätzlich mit detergierenden/dispersierenden Zusätzen versehen sein. Im deutschen Raum hat sich im Allgemeinen dafür in Anlehnung an die DIN 51502 das Anfügen des Zusatzbuchstabens „D“ an die DIN-Typbezeichnung durchgesetzt.

Tabelle 1: Standardisierte Typen konventioneller Hydraulikflüssigkeiten /6/

Bio-Flüssigkeiten auf synthetischer Basis die Mineralöle in wesentlichen Performance-Parametern übertreffen. Die höheren Preise lassen sich vor allem dann deutlich relativieren, wenn nicht nur das Produkt „Mineralöl gegen Bio“ ausgetauscht wird, sondern auch das Service-Konzept den anderen Eigenschaften dieser Flüssigkeiten angepasst wird.

Typen, Normen und Mindestanforderungen

Die Mindestanforderungen an konventionelle Hydraulikflüssigkeiten sind in den DIN-Normen 51524, Teil 1 bis 3 definiert /3/ bzw. in der ISO-Norm 11158 /4/. Die Tabelle 1 gibt einen kurzen Überblick über die klassischen konventionellen Hydrauliköl-Typen.

Hydrauliköle vom Typ HLP bzw. HM repräsentieren die heutige Standard-Qualität im stationären Bereich. In der Mobilhydraulik werden HLP- bzw. HM-Öle aus naheliegenden Gründen zunehmend durch HVLP- bzw. HV-Öle ersetzt. In beiden Anwendungsbereichen kommen neben den „klassischen“ Qualitäten mit guter Wasserabscheidung auch detergierende/dispersierende Öle zur Anwendung. Sie bieten nicht

nur einen wirksameren Korrosionsschutz bei einem Eintrag von Feuchtigkeit, sondern auch ein besseres Handling alterungsbedingter Abbauprodukte („Varnish“).

Die Mindestanforderungen an Bio-Hydraulikflüssigkeiten sind in der DIN ISO 15380 spezifiziert /7/. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die genormten Typen.

Wird die Welt der Bio-Hydraulikflüssigkeiten mit den Eco-Label verknüpft, dominiert die Anwendung der Gruppe HEES auf der Basis synthetischer Ester. Die Anteile der anderen Gruppen sind dagegen erheblich kleiner. Ohne Berücksichtigung der EU-Eco-Label-Zulassung hat in den letzten Jahren die Gruppe der HEPR-Flüssigkeiten an Bedeutung gewonnen.

Die angeführten Standards definieren die Mindestanforderungen anhand genormter technischer Kenngrößen. Öle, ob nun auf der konventionellen oder der Bio-Seite, sind trotz gleicher DIN-/ISO-Typbezeichnung nicht wirklich „gleich“. Einerseits gibt es verschiedene technische Möglichkeiten, diese Mindestanforderungen zu erfüllen. Andererseits übertrefft eine Vielzahl der Produkte die standardisierten Mindestanforderungen erheblich.

Typ	Beschreibung	Typische Anwendung
HETG	TG = Triglyceride Pflanzenöle (Ester) z.B. Rapsöl, Sonnenblumenöl	Mobile Hydrauliken, bei niedriger bis moderater thermischer Beanspruchung
HEES	ES = Ester, synthetisch (gesättigt oder ungesättigt)	Mobile Hydrauliken, auch bei hoher thermischer Beanspruchung
HEPG	PG = Polyglykole (z.B. Polyethylenglykol, wasserlöslich)	Derzeit vereinzelt in Sonderanwendungen, z.B. Schleusen-Hydrauliken
HEPR	PR = PAO und andere synthetische Kohlenwasserstoffe (z.B. Poly-Alpha-Olefine)	Stationäre und mobile Anwendungen, auch bei hoher thermischer Beanspruchung

Tabelle 2: Standardisierte Typen von Bio-Hydraulikflüssigkeiten /6/

Lizenziert für Gast am 06.11.2023 um 11:22 Uhr



Kenngroße	Parameter	HLP 46, DIN 51524/2	HVLP 46, DIN 51524/3	HEES 46, ISO 15380	HETG 46, ISO 15380	HEPR 46, ISO 15380	HEPG 46, ISO 15380
Oxidations- stabilität	TOST _{1000h}	$\Delta NZ \leq +2,0$	$\Delta NZ \leq +2,0$	report _{Dry}	report _{Dry}	$\Delta NZ \leq +2,0$	$\Delta NZ \leq +2,0$
	Baader _{95°C/72h}	-	-	Vis40 $\leq +20\%$	Vis40 $\leq +20\%$	-	-
Verschleiß- schutz	FZG A/8.3/90	10	10	10	10	10	10
	Flügelzellenp. μg	$\leq 120/30$	$\leq 120/30$	$\leq 120/30$	$\leq 120/30$	$\leq 120/30$	$\leq 120/30$
Viskosität	KVis@0°C, mm ² /s	≤ 780	report	≤ 780	≤ 780	≤ 780	≤ 780
	Kvis@40°C, mm ² /s	41,4 – 50,6	41,4 – 50,6	41,4 – 50,6	41,4 – 50,6	41,4 – 50,6	41,4 – 50,6
	Kvis@100°C, mm ² /s	$\geq 6,1$	(VI ≥ 140)	$\geq 6,1$	$\geq 6,1$	$\geq 6,1$	$\geq 6,1$
Schaum- verhalten	ASTM D892	150/0	150/0	150/0	150/0	150/0	150/0
	(24°C/93.5°C /24°C)	75/0	75/0	80/0	80/0	80/0	80/0
	ml/ml	150/0	150/0	150/0	150/0	150/0	150/0
LAV	Minuten	≤ 10	≤ 13	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Dichtungs- verträglichkeit Testparameter	NBR 1	7d, 100°C	7d, 100°C	1000h, X°C	1000h, X°C	-	1000h, X°C
	HNBR	-	-	1000h, X°C	1000h, X°C	1000h, X°C	1000h, X°C
	FKM 2	-	-	1000h, X°C	1000h, X°C	1000h, X°C	1000h, X°C
	AU	-	-	1000h, X°C	1000h, X°C	1000h, X°C	1000h, X°C
Filterbarkeit	ISO13357	+	+	-	-	-	-
Reinheit	ISO 4406*	21/19/16	21/19/16	Vereinbarung	Vereinbarung	Vereinbarung	Vereinbarung

Tabelle 3: Mindestanforderungen an standardisierte Typen von Hydraulikflüssigkeiten im Vergleich /1/

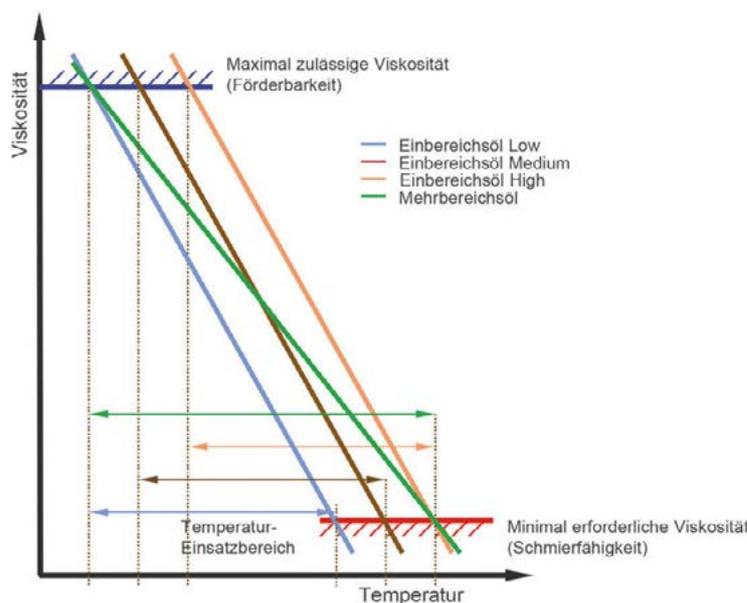
Trotzdem soll ein Auszug dieser für die standardisierten Öltypen definierten Mindestanforderungen zu Vergleichszwecken herangezogen werden (Tabelle 3).

Schon auf den ersten Blick ist selbst dem Laien auffällig, dass dieser Tabelle folgend, Mineralöle und Bio-Öle in vielen Parametern „gleichwertig“ sind. Bei etwas genauerer Betrachtung wird deutlich, dass hier auf der Seite der Bio-Öle teilweise kräftig untertrieben wurde. Mit anderen Worten gesagt, werden Bio-Öle hier in Bezug auf einige Parameter wie beispielsweise das Viskositäts-Temperatur-Verhalten

schlechter dargestellt, als sie wirklich sind. Deshalb sollen nachfolgend einzelne dieser Parameter in Bezug auf die bekannten marktüblichen Werte der einzelnen Produkt-Typen diskutiert werden.

Viskosität und Viskositäts-Temperatur-Verhalten

Gerade im Bereich der mobilen Anwendungen, einem Hauptanwendungsgebiet von Bio-Hydraulikflüssigkeiten, ist die ISO-Viskositätsklasse stets im Zusam-


Bild 1: Einbereichsöl versus Mehrbereichsöl /6/



Fachartikel | Mobilhydraulik: Bio-Öl oder Mineralöl – das ist hier die Frage

menhang mit dem Viskositäts-Temperatur-Verhalten zu sehen. Auf der Seite der konventionellen Flüssigkeiten wird folgerichtig anhand des Viskositätsindex zwischen „Einbereichsöl“ (HLP, typischer VI ca. 100) und „Mehrbereichsöl“ (HVLP, VI \geq 140) unterschieden. Bio-Öle aller Typenklassen haben zwar praktisch ausnahmslos einen Viskositätsindex von 150 oder deutlich höher, in den Anforderungsnormen spiegelt sich das jedoch in keiner Weise wider. Dazu kommt, dass die überwiegende Mehrzahl der Bio-Öle diesen hohen Viskositätsindex während ihres Einsatzes nicht verlieren, die Mehrzahl der Mineralöle hingegen je nach Typ mehr oder weniger stark. Gerade im mobilen Bereich sichert ein hoher Viskositätsindex sowohl die gute Steuerbarkeit bei tiefen Temperaturen als auch die Schmierfähigkeit bei hohen Temperaturen (Bild 1).

Schmierfähigkeit

Neben der durch die Viskosität und das Viskositäts-Temperatur-Verhalten sichergestellten Grundvoraussetzung für eine ausreichende Schmierfilmbildung spielt auch die „Chemie“ des Basisöles eine Rolle. Insbesondere esterbasische Flüssigkeiten, die den Bereich der Bio-Hydraulikflüssigkeiten dominieren, haben aufgrund ihrer höheren Polarität und der damit verbundenen besseren Bindung zur Metalloberfläche deutliche Vorteile.

Verhalten gegenüber Wasser

Wasser ist generell einer der größten Feinde der Hydraulikflüssigkeit (und der Hydraulik-Komponenten). Ein erhöhter Wassergehalt führt zu Korrosion, Kavi-

tation und über eine Schädigung polarer Additive zur beschleunigten Ölalterung. Deshalb ist es eine gute Idee, den Eintrag von Wasser zu vermeiden oder wo nicht vermeidbar, durch geeignete Ölpflege-Maßnahmen zu reduzieren. Bio-Öle auf der Basis von Estern (HEES und HETG) sind dazu noch wasserempfindlicher, weil ein erhöhter Wassergehalt die hydrolytische Spaltung des Basisöls initiiert. Besonders beim Einsatz von esterbasischen Hydraulikflüssigkeiten (und Schmierölen) ist deshalb ein niedriger Wassergehalt noch wichtiger als bei Mineralölen.

Oxidationsstabilität

Auf beiden Seiten, sowohl den konventionellen als auch den Bio-Hydraulikflüssigkeiten, gibt es erhebliche Unterschiede in der Oxidationsstabilität, einem der entscheidenden Kriterien für die Öl-Lebensdauer. Klassische Mineralöle (API Grundöl-Gruppe I) enthalten ungesättigte Verbindungen, die dem Sauerstoff bei höheren Temperaturen sozusagen „Tür und Tor öffnen“. Verschiedene Technologien der Wasserstoffbehandlung beseitigen diesen Nachteil in verschiedenem Maße. Im Hydrocrack-Verfahren hergestellte und PAO-basische Grundöle sind beispielsweise gesättigt. Gepaart mit auf die Grundölchemie abgestimmte Antioxidantien wird die Leistungsfähigkeit, aber auch der Preis erhöht.

Esterbasische Flüssigkeiten haben je nach Grundölchemie auch ungesättigte Anteile oder – im Falle gesättigter Ester, eben nicht. Hier gilt analog zu den konventionellen Grundölen: Neben den Antioxidantien bieten vor allem gesättigte Grundöle hervorragende Voraussetzungen für eine lange Öl-Lebensdauer.

Kenngroße	Dichtung	Schmierstoff
Polarität	→ Löslichkeitsverhalten	→ Löslichkeitsverhalten
	Dichtung absorbiert Öl → Dichtung quillt	Öl extrahiert von Dichtung → Dichtung schrumpft
	Abhängig primär vom Grundwerkstoff	Abhängig primär von Basisflüssigkeit
Sättigungsgrad	→ Alterungsstabilität und Temperaturbeständigkeit (Dichtung)	→ Alterungsstabilität und Temperaturbeständigkeit (Öl)
	Gesättigt: Hohe Beständigkeit Ungesättigt: Niedrige Beständigkeit	Gesättigt: Hohe Beständigkeit Ungesättigt: Niedrige Beständigkeit
	Abhängig primär vom Grundwerkstoff	Abhängig primär von Basisflüssigkeit
„Chemie“	→ Beständigkeit der Vernetzung (Materialstruktur)	
	Nachvernetzung → Dichtung härtet aus	
	Angriff der Vernetzung → Dichtung erweicht	
	Abhängig primär vom Grundwerkstoff	Abhängig primär von Additivierung

Tabelle 4: Prinzipielle Wechselwirkungen zwischen Schmierstoffen und Dichtungen /6/



Druckflüssigkeit	Code	Empfohlene Dichtungswerkstoffe für	
		Dynamische Anwendungen	Statische Anwendungen
Mineralöle	H, HL, HLP, HVLP	NBR – HNBR – FKM – PU	Zusätzlich: CR – ACM – FVMQ – VMQ
Poly-alpha-Olefine	PAO	NBR – HNBR – FKM – PU	Z: CR – ACM – AEM – FVMQ – VMQ
Wasser-Glykol-Gemisch	HFC	NBR – HNBR – (FKM*)	Z: EPDM**
Öl-in-Wasser Emulsion	HFAE, HFAS	NBR – HNBR – FKM – PU*	NBR – HNBR – FKM – PU*
Wasser-in-Öl Emulsion	HFB	NBR – HNBR – FKM – PU*	NBR – HNBR – FKM – PU*
Phosphorsäureester	HFD	FKM* – EPDM**	FKM* – EPDM**
Polyolester	HFDU	NBR – HNBR – FKM – PU	NBR – HNBR – FKM – PU
Synthetische Ester	HEES	NBR – HNBR – FKM – PU	NBR – HNBR – FKM – PU – FVMQ
Triglyzeride (Rapsöl)	HETG	NBR – HNBR – FKM – PU	NBR – HNBR – FKM – PU
Polyalkylenglykole	HEPG	NBR* – HNBR – FKM – CR – EPDM**	NBR – HNBR – FKM – CR – EPDM**
Synthetische KW	HEPR	NBR – HNBR – FKM – PU	NBR – HNBR – FKM – PU
Bremsflüssigkeiten	DOT-3 DOT-4	EPDM – SBR (weichmacherfrei)	EPDM – SBR (weichmacherfrei)
*) Prüfung empfohlen		**) absolut mineralölfrei	

Tabelle 5: Empfohlene Elastomere für Druckflüssigkeiten in Abhängigkeit von der eingesetzten Basisflüssigkeit /9/

Mischbarkeit und Verträglichkeit

Das Thema „Mischbarkeit und Verträglichkeit“ wurde im Heft 1 detailliert dargestellt. Sollte dieses Heft dem Leser nicht vorliegen, sei auf die eLibrary des Verlags hingewiesen /8/.

Ein kurzes Fazit an dieser Stelle: Gerade, wenn die Performance hinsichtlich Ölstandzeit, Schmierfähigkeit etc. im Vordergrund steht, sollte auf das Vermischen unterschiedlicher Hydraulikflüssigkeiten verzichtet werden. Es ist damit im Allgemeinen eher eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit verbunden als ein Performance-Gewinn.

Mineralöle oder PAO-Basisöle sind miteinander und mit esterbasischen Flüssigkeiten mischbar. Wasserlösliche Polyglykol-Flüssigkeiten hingegen sind mit diesen genannten Flüssigkeiten nicht mischbar. Über die Kompatibilität entscheidet dann neben der Mischbarkeit sowohl die Additivierung als auch die Anwendung. Kleine Restmengen nach Umölungen sind in der Regel tolerierbar. Hier sei auf die Umölungsvorschriften der Maschinen- und Ölhersteller verwiesen, die in Abhängigkeit von den Öltypen „vorher/nachher“ und Anwendung klare Vorgaben machen.

Die Materialkompatibilität

An dieser Stelle soll nur die Wechselwirkung mit Elastomer-Dichtungswerkstoffen beleuchtet werden.

Jedoch sind beispielsweise auch Schlauchleitungen, Kunststoffe und Farbanstriche von dieser Thematik betroffen.

Tabelle 4 zeigt vereinfacht die generelle Welt der Wechselwirkung zwischen Öl und Elastomer in Abhängigkeit der wichtigsten Einfluss-Parameter. Neben diesen genannten spielen beispielsweise auch Temperaturen oder UV-Strahlung eine wichtige Rolle.

Basierend auf diesen generellen Zusammenhängen wurden Tabellen publiziert, die zur Vorauswahl eines geeigneten Dichtungswerkstoffs herangezogen werden können (Tabelle 5).

Auffällig ist, dass für Mineralöle und Bio-Öle – mit Ausnahme der Polyglykole – die gleichen Gruppen der Elastomer-Werkstoffe empfohlen werden. Es gibt also Lösungen, die prinzipiell für beide Welten, konventionell oder Bio, geeignet sind.

Diese Tabelle kann die tatsächliche Prüfung der Kompatibilität des Öles A und des Dichtungswerkstoffs B nicht ersetzen. Im Zweifelsfall sollte deshalb der Rat des Öl- oder Dichtungsherstellers eingeholt werden.

Zusammenfassung

Heute stehen Bio-Hydraulikflüssigkeiten zur Verfügung, die in ihrer Leistungsfähigkeit den Mineralölen ebenbürtig, in einigen Parametern auch deutlich überlegen sind.

Lizenziert für Gast am 06.11.2023 um 11:22 Uhr

Anzeige



BIO
RSC BIO SOLUTIONS

COSTENOBLE
moving possibilities forward

Hydrauliköle der Zukunft.
Mehr unter: www.costenoble.de

© 2023 Francke Attempto Verlag GmbH & Co. KG

Lubricants for your success



- + Wassermischbare und nicht-wassermischbare Kühlschmierstoffe
- + Schmierstoffe für die Umformung
- + Industrieöle
- + Hochleistungsindustriefette
- + Korrosionsschutzmittel

EXPERTLY DONE.

Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG
 Schlossstraße 20 · 73054 Eisingen/Fils · Germany
 info@zeller-gmelin.de · www.zeller-gmelin.de

Lizenziert für Gast am 06.11.2023 um 11:24 Uhr

Anzeige

Die Haupt-Feinde einer langen Öl- und Komponentenstandzeit sind betriebsbedingter Natur. So sind beispielsweise Ausfälle von Hydraulikpumpen auf folgende Ursachen zurückzuführen /10/:

- › Konstruktion 2 %
- › Herstellung 6 %
- › Installation 12 %
- › Wartung und Betrieb 80 %

Die wahre Leistungsfähigkeit können Hydraulikflüssigkeiten nur dann entfalten, wenn das Ölservice-Konzept auf die Stärken und Schwächen des Produktes abgestimmt ist. Das schließt den professionellen Umgang in allen Bereichen des betrieblichen Alltags mit ein, von der Beschaffung über Lagerung und Handling bis zur Entsorgung. Eine regelmäßige Öl-

überwachung und anwendungsgerechte Ölpflege sichern die Leistungsfähigkeit des Systems langfristig ab. Insbesondere gesättigte, synthetische Flüssigkeitstypen können dann eine mehrfache Verlängerung des Ölwechselintervalls und gleichzeitig eine hohe Ausfallsicherheit der Komponenten abbilden, was den hohen Preis dieser Hydraulikflüssigkeiten egalisiert.

Literaturhinweise

- /1/ Verordnungen (EG) Nr. 66/2010 und (EU) 2018/1702 über das EU-Umweltzeichen („EU-Eco-Label“)
- /2/ DE-UZ 178: Biologisch abbaubare Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten. („Blauer Engel“), 2013, www.blauer-engel.de
- /3/ DIN 51524 – 2017: Druckflüssigkeiten – Hydrauliköle; Teil 1: Hydrauliköle HL; Teil2: Hydrauliköle HLP, Teil3: Hydrauliköle HVLP; Mindestanforderungen. Beuth-Verlag, www.beuth.de
- /4/ ISO 11158 – 2009: Schmierstoffe, Industrieöle und verwandte Produkte (Klasse L) – Familie H (hydraulische Systeme) – Anforderungen an Klassen HH, HM, HV und HG
- /5/ DIN 51502 – 1990: Schmierstoffe und verwandte Stoffe; Kurzbezeichnungen der Schmierstoffe und Kennzeichnung der Schmierstoffbehälter, Schmiergeräte und Schmierstellen. Beuth-Verlag, www.beuth.de
- /6/ Seminar „Hydraulikflüssigkeiten“. OilDoc GmbH, 2020
- /7/ DIN ISO 15380 – 2016: Schmierstoffe, Industrieöle und verwandte Produkte (Klasse L) – Familie H (Hydraulische Systeme) – Anforderungen für Hydraulikflüssigkeiten der Kategorien HETG, HEPG, HEES und HEPH (ISO 15380:2016)
- /8/ „Schmierstoff + Schmierung“, Fachzeitschrift expert-Verlag. Link zur E-Library: <https://elibrary.narr.digital/journal/sus/1/1>
- /9/ Kuschel, R.: Wechselbeziehungen zwischen Elastomeren und Schmierstoffen. Tribologie + Schmierungstechnik, 4/2008
- /10/ Totten, G.E.: Handbook of Hydraulic Fluid Technology, CRC Press 1999, ISBN 978-0824760229; (2017: ISBN 978-1420085266) ✘

Eingangsabbildung © Greg Brave - stock.adobe.com