

Einsatz von biologisch abbaubaren und für prozeßbedingten Lebensmittelkontakt geeigneten Syntheseölen im Schraubenkompressor

K. B. Willuweit, Bremen

Zusammenfassung

Steigende technische Anforderungen an den Schmierstoff und härtere gesetzliche Auflagen im Hinblick auf Umweltverträglichkeit zum einen und Lebensmittelverträglichkeit verlangen nach anderen Produkten als Mineralölen.

Die nachfolgende Betrachtung zeigt Möglichkeiten auf, diese Kriterien durch den Einsatz von Syntheseölen zu lösen.

Der Gesetzgeber definiert Lebensmittel in § 1 LMBG wie folgt:

- 1) Lebensmittel im Sinne dieses Gesetzes sind Stoffe, die dazu bestimmt sind, in unverändertem, zubereitetem oder verarbeitetem Zustand von Menschen verzehrt zu werden; ausgenommen sind Stoffe, die überwiegend dazu bestimmt sind, zu anderen Zwecken als zur Ernährung oder zum Genuß verzehrt zu werden.
- 2) Den Lebensmitteln stehen gleich ihre Umhüllungen, Überzüge oder sonstigen Umschließungen, die dazu bestimmt sind, mitverzehrt zu werden, oder bei denen der Mitverzehr vorauszusehen ist.

Ferner fallen unter die Bestimmungen des LMBG alle Produktgruppen, in Abb. 1 erwähnten Produktgruppen.

§ 31 LMBG behandelt den Übergang von Stoffen auf Lebensmittel:

Es ist verboten, Gegenstände als Bedarfsgegenstände im Sinne des § 5 Abs. 1 Nr. 1 gewerbsmäßig so zu verwenden oder für solche Verwendungszwecke in den Verkehr zu bringen, daß von Ihnen Stoffe auf Lebensmittel oder deren Oberfläche übergehen, ausgenommen gesundheitlich, geruchlich und geschmacklich unbedenkliche Anteile, die technisch unvermeidbar sind.

In den USA gelten seit vielen Jahren die Bestimmungen der Food and Drug Administration (FDA) und des US Department of Agriculture (USDA), die auch in Europa beachtet werden und im wesentlichen folgendes aussagen:

• **FDA-Vorschrift 21 CFR 178.3570:**

Eine Freigabe hiernach erfolgt, wenn alle verwendeten Komponenten, also Grundöle und Additive, von der FDA freigegeben wurden.

• **USDA H-2:**

Lebensmittelkontakt ist auf keinen Fall gestattet. Allerdings dürfen H-2-zugelassene Schmierstoffe in lebensmittelverarbeitenden Betrieben eingesetzt werden, wenn gewährleistet ist, daß der Schmierstoff oder die geschmierten Teile nicht mit dem Lebensmittel in Berührung kommen.

• **USDA H-1:**

Prozeßbedingter Lebensmittelkontakt ist gestattet. Öle und Fette dieser Kategorie dürfen als Schmierstoffe oder Korrosionsschutzmittel auf Anlagen- und Maschinenteilen eingesetzt werden, bei denen das Lebensmittel dem geschmierten Teil ausgesetzt ist. Dies gilt z. B. auch für Ölaerosole aus Kompressoren.

In der Lebensmittelindustrie haben die gesetzlichen Auflagen häufig dazu geführt, daß ölfreie Kompressoren zum Einsatz kommen, die allerdings wesentlich teurer sind als ölgeschmierte Anlagen. Außerdem ist davon auszugehen, daß bei geeigneter Druckluftaufbereitung der Gehalt an Kohlenwasserstoffen in der Druckluft - häufig fälschlicherweise als Restölgehalt bezeichnet - ähnlich niedrig ist.

Für Lebensmittelanwendungen kommen im wesentlichen drei Grundölsorten in Frage, und zwar besonders aufbereitete Mineralöle, Polyglykole und Polyalphaolefine, deren Eigenschaften im wesentlichen wie folgt zu charakterisieren sind. (Abb. 2)

- **Mineralöle** können in Formulierungen für die Lebensmittelindustrie nicht so hoch additiviert werden wie für gewöhnliche Industrieanwendungen. Dadurch stellt sich ihr Einsatz insbesondere in Kompressoren in Frage, will man nicht hohe ölbedingte Verschmutzung und kurze Ölwechselintervalle in Kauf nehmen.
- **Polyglykole** zeichnen sich durch gutes Lasttrageverhalten und hohen Viskositätsindex aus, neigen aber zu Emulsionsbildung und sind thermisch nicht besonders stabil. Sie sind nicht mit Mineralöl mischbar, besitzen nur eine bedingte Werkstoffverträglichkeit und müssen als Sondermüll entsorgt werden.

- **Polyalphaolefine** verfügen über eine gute thermische Stabilität, besitzen einen hohen Viskositätsindex und scheiden Kondensat schnell und praktisch vollständig ab. Sie sind mit Mineralöl vollständig mischbar, weisen praktisch die gleiche Werkstoffverträglichkeit auf wie Mineralöl und können ohne hohe Additivierung auch in kritischen Anwendungen eingesetzt werden. Auch sie sind kein Sondermüll.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die oben beschriebene Überlegenheit der PAO-Grundöle deutlich.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Abbildungen 2 bis 4 ergibt sich, daß Polyalphaolefine aufgrund ihrer natürlichen Eigenschaften in ölgeschmierten Kompressoren und Vakuumpumpen in der Lebensmittelindustrie eine geeignete Alternative gegenüber Trockenläufern darstellen.

Eine Reihe synthetischer Kompressorenöle, die sowohl nach FDA 21 CFR 178.3570, USDA H-1 als auch nach LMBG für prozeßbedingten Lebensmittelkontakt geeignet ist, steht in den ISO-Viskositätenklassen 32 bis 100 zur Verfügung. Ihre typischen Eigenschaften zeigt Abb. 5.

Mögliche Anwender sind z. B. die fleisch-, fisch- und geflügelverarbeitende Industrie, Getränkehersteller, Konservenfabriken, Molkereien, die Zucker- und Süßwarenproduktion sowie die kosmetische und pharmazeutische Industrie.

Die nachfolgende Ergebnisse eines Versuches bei einem Milchverarbeiter (Abb. 8 bis 15) zeigen deutlich, daß für Lebensmittelkontakt geeignete PAO-Verdichteröl trotz der vergleichsweise niedrigen, aber für diesen Zweck zugelassenen Additivierung, ausgezeichnete Standzeiten von bis zu 11.400 Bh ermöglichen.

Eingesetzt wurde das PAO-Verdichteröl nach ISO-VG 68, das sowohl nach LMBG §§ 5 und 31 als auch nach FDA 21 CFR 178.3570 und USDA H-1 geprüft und zugelassen ist. (Abb. 6, 7) Im Hinblick auf die Ölaerosolbildung ist zu berücksichtigen, daß der Dampfdruck von Polyalphaolefinen weniger als ein Zehntel von Mineralöl beträgt, wodurch zwangsläufig der Ölaustrag niedriger wird.

Bei den im Versuch benutzten Maschinen handelte es sich um Boge Schraubenverdichter der Typen VLEX 121 D-14, 67 D-11 und 84 D-14.

Die Alterungsbeständigkeit zeigt sich insbesondere in der Entwicklung der Säurezahlen und der Viskosität.

Die Verschleißwerte in den BOGE-Schraubenverdichtern lagen durchweg unter 10 ppm und der Wassergehalt immer unter 0,05 %.

Aufgrund der Ergebnisse muß davon ausgegangen werden, daß Ölgeflutete Verdichter, in denen Polyalphaolefinöle, die den Anforderungen des LMBG entsprechen und nach FDA und USDA H-1 zugelassen sind, eine geeignete Alternative zu Trockenläufern sein können.

Biologisch abbaubare Schmierstoffe

Seit Ende der 70er Jahren wird in Europa die biologische Abbaubarkeit von Ölen verstärkt gefordert. Zunächst insbesondere für Zweitakt-Außenbordmotorenöle. Hauptsächlich wegen öligter Rückstände auf der Wasseroberfläche wurden Außenbordmotoren mit mehr als 12 PS auf dem Bodensee verboten.

Als Ergebnis mehrerer Tagungen in Zürich, an denen Vertreter von amtlichen Laboratorien, Umweltschutzverbänden, Motorenherstellern und Öl- und Additivproduzenten beteiligt waren, formulierte das Co-ordinating Europa Council (CEC) for the Development of Lubricants and Engine Fuels die Prüfmethode CEC L-33-T-82.

Sie ermittelt die biologische Abbaubarkeit eines Schmierstoff nach 7 und 21 Tagen und seine Wassergefährdungsklasse (WGK), wobei die Messungen durch anerkannte Institute, z. B. der EMPA, Dübendorf/Schweiz oder dem Hygieneinstitut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen, durchgeführt und bescheinigt werden. Die Wassergefährdungszahlen sind das arithmetische Mittel der Bakterien, Fisch- und Säugetier-toxizität. Aus ihnen errechnet sich die Wassergefährdungszahl, die wiederum die WGK-Klassifizierung ermöglicht (Abb. 16).

Das biologische Abbaubarverhalten wird entsprechend den Richtlinien der CEC-Methode L-33-T-82 durch die Extraktion von $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-Molekülgruppen}$, die als typische Kohlenwasserstoffbestandteile von Ölen und Fetten zu betrachten sind, aus wässrigem Medium per Infrarotspektroskopie ermittelt.

Hierzu werden aliquote Mengen an Untersuchungsmaterial in Trichlorfluoräthan gelöst und von diesem so gewonnenen Lösungsmittel/Substanzgemisch definierte Anteile in ein wässriges, mineralisches Nährmedium gegeben, das mit polyvalenten Organismen beimpft wurde. Die Kohlenwasserstoffkonzentration wird zu Beginn des Versuches sowie nach 7 und 21 Tagen Abbaupzeit in drei parallelen Ansätzen gemessen. Analog hierzu erfolgt die Überprüfung der Abbaubarkeit einer Vergleichssubstanz (DITA=Diisotridecyladipat) mit bekannten Eliminationsraten.

Wie die Abb. 17 mit den Untersuchungsergebnissen des CEC-Test L-33-T-82 zum Ausdruck bringt, beträgt der biochemische Abbau der aliphatischen Kohlenwasserstoffanteile des Produktes nach 21 Tagen 94,2 % uns ist damit als "sehr gut" einzustufen.

Kohlenwasserstoffe verhalten sich hinsichtlich ihrer biologischen Abbaubarkeit sehr unterschiedlich. Dies gilt natürlich auch für die in der Schmiertechnik verwendeten Grundöle, wie Abb. 18 zeigt.

Da aber auch die verwendeten Additive einen nicht unerheblichen Einfluß auf die biologische Abbaubarkeit von Schmierstoffen haben, kommt es darauf an, Grundöle zu verwenden, die nur einer geringen, möglichst wenig umweltbelastenden Additivierung bedürfen.

Bisher wird im wesentlichen in der Hydraulik mit biologisch abbaubaren Arbeitsflüssigkeiten gearbeitet, da hier ein großes Umweltbelastungspotential besteht. Dort haben sich bisher im wesentlichen drei Grundölararten durchgesetzt:

- Rapsölmethylester
- bestimmte Polyglykole
- organische Ester

Diese Grundölararten unterscheiden sich hinsichtlich Eigenschaften wie folgt (s. Abb. 19):

1. native Öle

Vorteile:

gutes Haftvermögen, niedriger Preis.

Nachteile:

geringe, thermische und oxidative Beständigkeit, mäßige Schmiereigenschaften, schlechtes Kälteverhalten, Entsorgung als Sondermüll.

2. Polyglykole

Vorteile:

Alterungsverhalten besser als bei nativen Ölen, guter Viskositätsindex.

Nachteile:

Unverträglichkeit mit vielen Lacken, schlechte Korrosionsschutzeigenschaften, überwiegend wasserlöslich, daher Entsorgung über Emulsions-spaltanlage, danach Sondermüll.

3. Ester

Vorteile:

mischbar mit Mineralöl, besitzen von allen die beste Alterungsstabilität, sehr gute Schmier-eigenschaften, gutes Tieftemperatur- und sehr gutes Hochtemperaturverhalten, nicht wassermischbar, problemlose Entsorgung.

Nachteil:

relativ teuer.

Die Anforderungen an ein Hydrauliköl sind natürlich nicht so hoch wie für Verdichteröle, insbesondere was ihre Alterungsstabilität betrifft. Das bedeutet, daß die meisten gut oder sehr gut abbaubaren Arbeitsflüssigkeiten für diese Anwendung völlig ungeeignet sind. Dies gilt ausnahmslos für native Öle und zu einem hohen Grade für Polyglykole. Nur spezielle Ester (meist Polyolester) können das Anforderungsspektrum in Kompressoren und Vakuumpumpen erfüllen.

Dies bestätigen die nachfolgenden Analysen von Gebrauchsoil aus einen Kolbenverdichter. Diese Kolbenmaschine, deren Verdichtungsendtemperatur bei 200 °C im Dauerversuch lag, wobei mit häufigem An- und Abschalten gefahren wurde, war zunächst mit einen thermisch ziemlich stabilen biologisch abbaubaren Ester der ISO VG 68 für Hydraulikanwendungen gefahren worden. Der starke Anstieg der Säurezahl, die sich dann allerdings stabilisierte, ließ starke Verkokung erwarten, was dann bei Demontage auch festgestellt wurde (s. Abb. 20 - 22).

Mit einem thermisch und oxidativ stabileren Esterprodukt, mit geringer Additivierung, hoher Abbaubarkeit und WGK 0 wurde ein erneuter Versuch unter gleichen Bedingungen durchgeführt.

Es zeigte sich deutlich erhöhte thermische Stabilität und die Möglichkeit langer Standzeiten (Abb. 23 - 25). (Abb. 23 - 25).

Aufgrund dieser Resultate ergibt sich zwangsläufig die Einsatzmöglichkeit eines solchen biologisch abbaubaren Esterschmierstoff sowohl für stationäre als auch für Fahranlagen mit Schrauben- und Kolbenverdichtern.

Das Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände- gesetz

- § 1 - Lebensmittel und deren zum Verzehr bestimmte Umhüllungen
- § 2 - Zusatzstoffe
z. B. Mineralstoffe, Aminosäuren, Vitamine, Süßstoffe,
nicht zum Verzehr bestimmte Umhüllungen etc.
- § 3 - Tabakerzeugnisse
z. B. Roh-, Kau-, Schnupftabak, Zigarettenpapier
- § 4 - Kosmetische Mittel
für Mund-, Zahn-, Zahnersatz-, Körperpflege
- § 5 - Bedarfsgegenstände
Gegenstände die bei Herstellung, Behandlung und beim In-
verkehrbringen mit dem Lebensmittel in Berührung kommen
oder darauf einwirken,
- Packungen für Kosmetika und Tabakerzeugnisse
 - Gegenstände, die mit den Mundschleimhäuten in Berührung
kommen
 - Gegenstände für die Körperpflege
 - Kleidung, Bettwäsche, Haarteile, Brillengestelle etc.
 - Reinigungs- und Pflegemittel
 - Insektenvertilgungs- und Pflanzenschutzmittel
(Anwendung in Räumen, in denen sich Menschen aufhalten)
 - Spielsachen und Scherzartikel

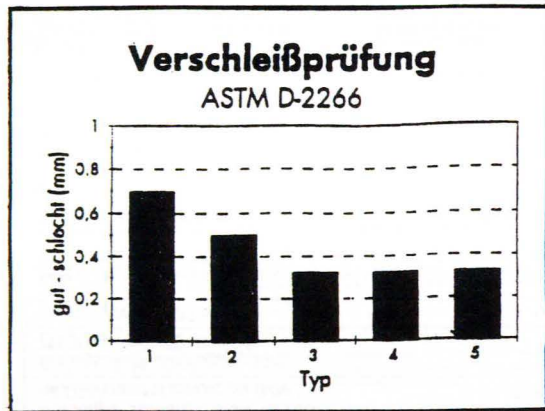
Abb. 1: LMBG



Der Bundesminister für Gesundheit

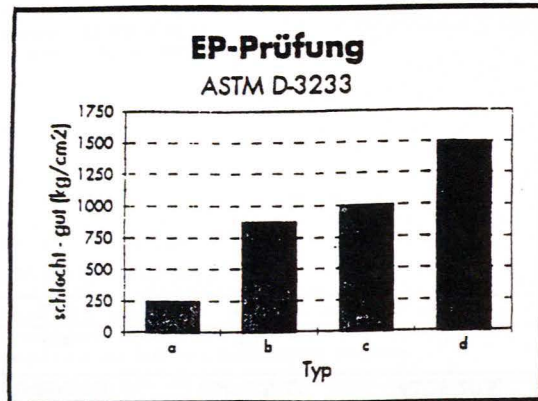
	Mineralöl	Polyglykol	Polyalphaolefin
Fließverhalten	schlecht	gut	gut
Viskositätsindex	niedrig	hoch	hoch
Alterungs-/ Oxidationsstabilität	schlecht	ausreichend	hoch
Entflammbarkeit	relativ hoch	relativ hoch	relativ niedrig
Verdampfungsverlust (Ölverbrauch)	hoch	hoch	niedrig
Produktverträglichkeit	gut	schlecht	gut
Mischbarkeit mit Mineralöl	sehr gut	schlecht	sehr gut
Entsorgung	problemlos	Sondermüll	wie Mineralöl
Kostenindex	1	2-3	3

Abb. 2: Die wichtigsten Grundölartern für prozeßbedingten Lebensmittelkontakt im Vergleich



- 1 - Mineralöl, H-1
- 2 - Mineralöl, H-2
- 3 - EP-Mineralöl, H-2
- 4 - PAO-Kompressorenöl, H-1
- 5 - PAO-Getriebeöl, H-1

Abb. 3: Verschleißprüfung von Ölen gem. USDA H-1 und H-2



- a - Typisches Mineralöl, H-1
- b - Typisches Mineralöl, H-2
- c - PAO-Kompressorenöl, H-1
- d - PAO-Getriebeöl, H-1

Abb. 4:

Synthetische Verdichterschmiermittel für gelegentlichen Lebensmittelkontakt

Typische Eigenschaften

ISO-Viskositätsklasse	32	46	68	100
Viskosität bei 100°C, mm ² sec ⁻¹ (cst)	5,9	7,4	9,5	13,3
bei 40°C, mm ² sec ⁻¹ (cst)	31,5	43,7	62,2	93,1
bei 210°F, SUS	46	51	58	73
bei 100°F, SUS	161	223	319	477
bei 0°F/-18°C, mm ² sec ⁻¹ (cst)	800	2000	3100	5500
Viskositätsindex	134	134	134	134
Stockpunkt, °C/°F	-59/-75	-57/-70	-54/-65	-51/-60
Flammpunkt, °C/°F	240/465	240/465	243/470	243/470
Selbstentzündungstemperatur °C/°F	337/710	379/715	385/725	388/730
Demulgierbarkeit, bei 54°C/130°F ml Öl/Wasser/Emulsion (Min.)	40/40/0(10)	40/38/2(10)	40/38/2(10)	40/38/2(15)
4-Kugel-Test, Abtragung mm (1200 Umin ⁻¹ , 75°C, 40 kg, 1 h)	0,4	0,4	0,4	0,4
Spez. Gewicht, 25°C	0,83	0,83	0,84	0,84

Abb. 5: PAO-Verdichterschmierstoffe mit Freigaben nach FDA 21 CFR 178.3570 und USDA H-1, sowie LMBG § 5 und 31



United States
Department of
Agriculture

Food Safety
and Inspection
Service

Science
Building 306, BARC-East
Beltsville, MD 20705

March 01, 1988

Dear Mr.

This is in reply to your request for compound authorization received on February 02, 1988 for your product Synthetic Lubricant

This product is acceptable as a lubricant with incidental food contact for use in official establishments operating under the Federal meat and poultry products inspection program. Such compounds may be used as lubricants or anti-rust films on equipment and machine parts in locations in which there is exposure of the lubricated parts to edible products. They may also be used as a release agent on gaskets or seals of tank closures. The amount used should be the minimum required to accomplish the desired technical effect on the equipment. If used as anti-rust films, the compounds must be removed from the equipment surface by washing or wiping as required to leave the surface effectively free of any substance which could be transferred to food being processed.

Acceptance of compounds by this Department is in no way to be construed as an endorsement of the compounds or of any claims made for them.

If any change is made in the labeling information or formulation, the authorization for use in official plants becomes void immediately.

Sincerely,

Charles R. Edwards

Charles R. Edwards, Chief
Product Safety Branch
Food Ingredient Assessment Division

Abb. 6: USDA-H-1-Zulassung

Blatt 02

Unser Zeichen V/89 8501.2 Mg/Go

Datum 25. August 1989

Für die Prüfung der zulässigen Verwendbarkeit des synthetischen Schmierstoffs

hatten Sie uns unter vertraulicher Offenlegung der Zusammensetzung nach Art und Menge (Rezeptur) mit Unterlagen über technische und chemisch-toxikologische Eigenschaften der Komponenten ein Produktmuster als Untersuchungsprobe übersandt.

Die Prüfung der Unterlagen und die analytische Kontrolle der Probe nach einschlägigen Anforderungen von Kommissionen des Bundesgesundheitsamts und anderen nationalen Beurteilungsgrundlagen (z.B. der FDA) führte zu dem Ergebnis, daß das genannte synthetische Schmiermittel bei sach- und fachgerechter Anwendung

- im gesamten Bereich der Lebensmitteltechnik eingesetzt werden kann und dabei nicht zu erwarten ist, daß
- flüchtige Stoffe mit nachteiligem Einfluß für Lebensmittel auftreten, sowie
- von den Inhaltsstoffen bei eventueller Übertragung technisch unvermeidbar kleiner Mengen gesundheitsgefährdende Wirkungen ausgelöst werden.

Damit steht das Produkt und seine Anwendung nicht in Widerspruch zu §5 und 31 LMBG.

Chemisch-Technisches
Prüfamt Stuttgart

Dr. Schiede
Leit. Chem. Lab.



Referat 52:
Organische Chemie

Dr. Mager
Oberchemiker

Abb. 7: Prüfzertifikat nach LMBG

Datum	7-11-89	14-07-90	05-09-90	31-10-90	13-02-91	17-04-91	13-06-91	08-08-91	10-09-91	29-10-91	09-01-92	12-03-92	12-05-92	30-07-92	16-12-92	02-03-93	17-06-93	29-09-93
Bh auf Öl	1.743	336	1.533	2.654	4.412	560	1.510	2.578	3.125	3.855	4.902	5.946	6.909	878	1.000	1.930	3.195	4.002
Bh total				3.355	5.113	6.198	7.148	8.216	8.763	9.493	10.540	11.584	12.547	13.787	15.013	15.943	17.208	18.015
V., 40°C, mm ² ·s ⁻¹	50.53	43.02	44.59	45.41	45.94	43.79	44.91	45.24	45.91	46.17	46.82	46.59	56.55	43.28	41.34	41.95	42.72	57.50
V., 100°C, mm ² ·s ⁻¹	7.43	7.31	7.47	7.63	7.71	7.48	7.62	7.65	7.71	7.83	7.73	7.69	8.52	7.25	7.08	7.25	7.27	8.50
TAN, mg KOH/g	0.20	0.29	0.30	0.25	0.22	0.18	0.21	0.24	0.36	0.38	0.42	0.72	4.97	1.43	0.67	0.51	0.45	7.43
Unlösliche, %						0.02	0.01	0.01	0.00	0.01		0.02	0.15	0.02	0.02		0.02	0.03
Wasser, %	3.19	1.69	3.37	0.02	0.01	0.02	0.04	5.39	0.06	0.04	0.06	0.03	0.01	0.08	1.31	0.21	0.39	
Si, ppm	<5	<5	<5	<5	0	<5	<5	<5	0	0	<5	<5	<5	0	<5	<5	0	0
Fe, ppm	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	0	<5	<5	<5	<5	<5	7
Al, ppm	<5	<5	<5	0	0	<5	<5	<5	<5	<5	0	0	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cu, ppm	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	9	<5	<5	<5	<5	6
Pb, ppm	<5	0	<5	0	<5	<5	<5	<5	0	<5	0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cr, ppm	<5	0	<5	0	5	<5	0	<5	<5	<5	0	0	0	0	<5	0	<5	<5
Sn, ppm	0	0	<5	0	0	<5	0	0	<5	0	0	0	0	<5	0	0	0	0
Ni, ppm	<5	<5	<5	0	0	<5	0	0	<5	0	0	0	<5	0	0	0	0	<5

Abb. 8: PAO-Verdichteröl ISO-VG 46 mit USDA H-1-Zulassung
 Betreiber MWW, Schraubenverdichter 1 (BOGE VLEX 121 D-14)

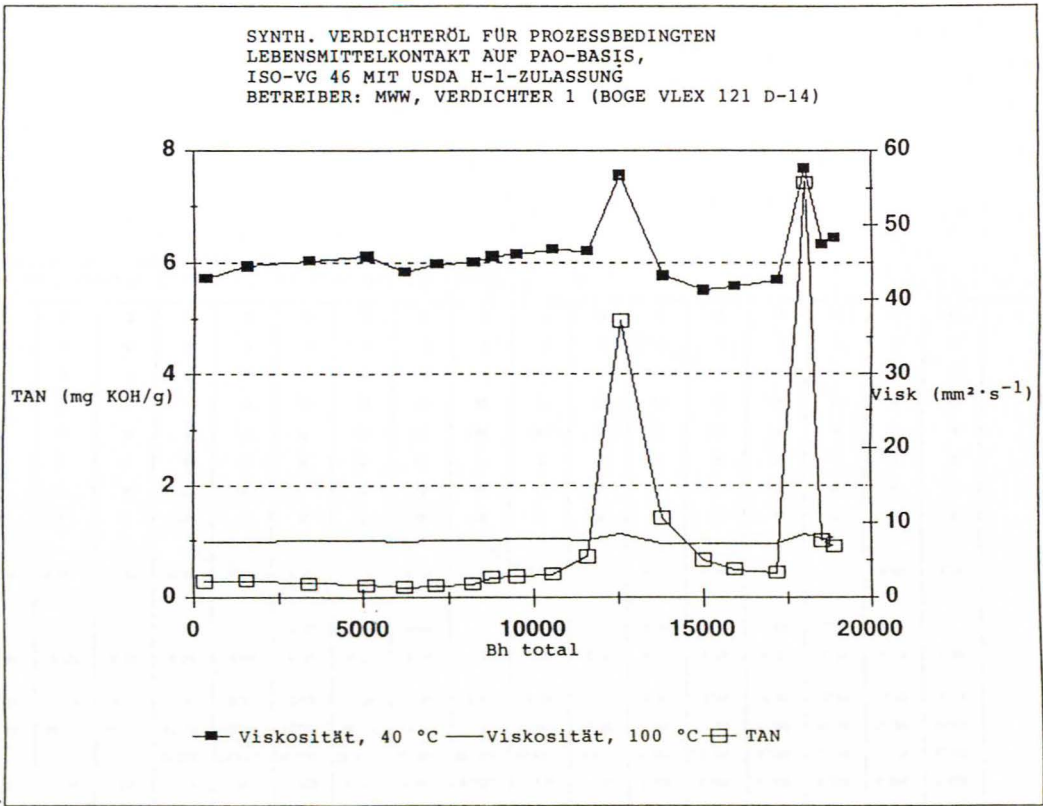


Abb. 9: PAO-Verdichteröl ISO-VG 46 mit USDA H-1-Zulassung (MWW, Verdichter 1)

Datum	7-11-89	13-09-90	05-09-90	06-12-90	13-02-91	13-06-91	08-08-91	29-10-91	09-01-92	12-03-92	23-09-92	16-12-92	02-03-93	17-06-93	29-09-93	04-11-93	16-12-93	
Bh auf Öl	1.540	118	329	517	1.429	3.180	4.087	5.241	6.252	7.116	494	1.660	2.691	4.318	6.209	6.856	7.622	
Bh total				28.023	28.935	30.686	31.595	32.747	33.758	34.622	1.059	2.225	3.256	4.883	6.774	7.421	8.187	
V., 40°C, mm ² ·s ⁻¹	51.60	43.77	44.15	47.24	48.25	45.25	48.59	49.25	49.53	48.61	40.77	41.60	42.25	42.89	54.16	54.80	54.87	
V., 100°C, mm ² ·s ⁻¹	7.56	7.42	7.40	7.64	7.77	7.64	7.84	7.89	7.95	7.86	6.91	7.07	7.14	7.22	8.15	8.40	8.41	
TAN, mg KOH/g	0.18	0.33	0.25	0.80	0.58	0.20	0.97	1.24	1.55	1.65	0.64	0.83	0.56	0.54	4.79	4.43	4.34	
Unlösliche, %						0.01	0.01	0.00		0.01		0.02		0.02	0.07	0.05		
Wasser, %	0.04	0.04	7.03	0.14	0.03	0.02	0.07	0.05	0.07	0.03	0.13	0.01	0.04	0.02		0.02	0.02	
Si, ppm	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	0	<5	0	0	<5	0	<5	<5	0	
Fe, ppm	<5	<5	6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Al, ppm	<5	<5	<5	0	<5	<5	<5	<5	<5	0	<5	<5	0	<5	0	<5	0	
Cu, ppm	<5	<5	0	5	5	<5	71	120	156	168	41	31	23	13	6	10	6	
Pb, ppm	<5	<5	<5	6	9	<5	15	17	20	17	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Cr, ppm	<5	0	0	0	<5	0	<5	<5	0	0	0	<5	0	<5	<5	<5	0	
Sn, ppm	0	0	<5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<5	
Ni, ppm	<5	0	0	<5	0	<5	0	<5	<5	0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	

Abb. 10: PAO-Verdichteröl ISO-VG 46 mit USDA H-1-Zulassung
 Betreiber MWW, Schraubenverdichter 2 (BOGE VLEX 84 D-14)

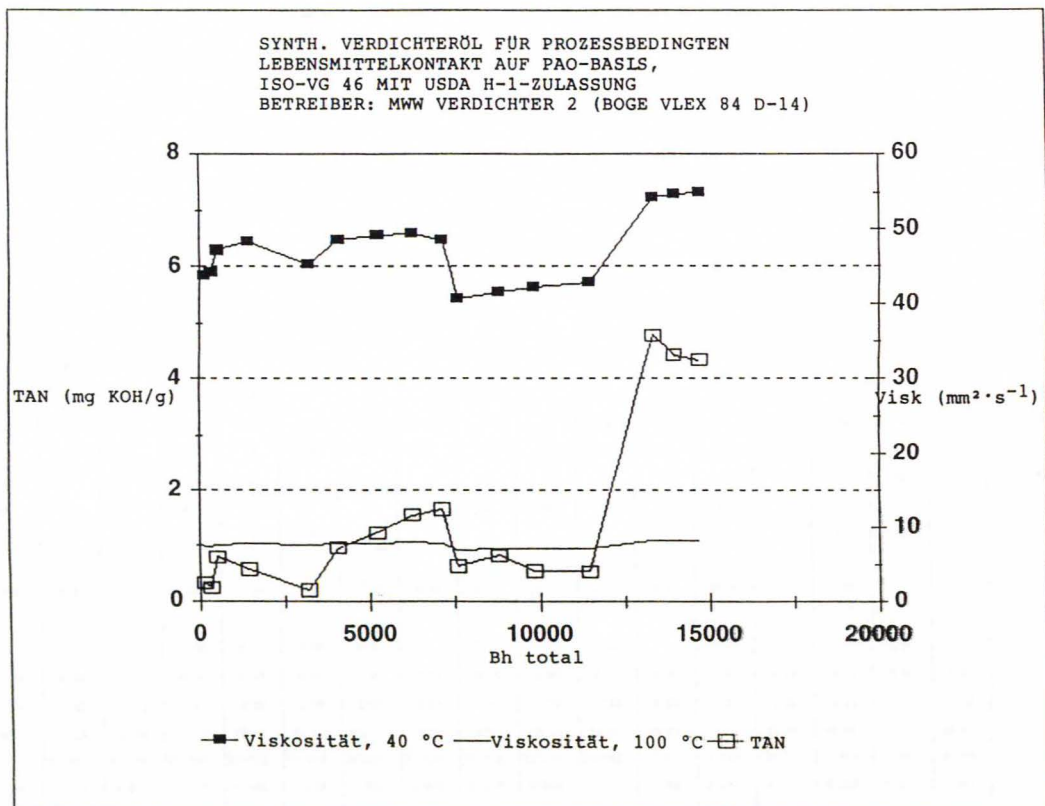


Abb. 11: PAO-Verdichteröl ISO-VG 46 mit USDA H-1-Zulassung (MWW, Verdichter 2)

Datum	7-11-89	06-12-90	13-02-91	13-06-91	08-08-91	10-09-91	29-10-91	09-01-92	12-03-92	12-05-92	7-06-92	23-09-92	16-12-92	02-03-92	17-06-93	29-09-93	16-12-93
Bh auf Öl	2.206	565	1.646	3.492	4.390	215	875	1.846	2.771	3.569		376	1.321	1.967	3.266	4.724	5.483
Bh total		29.625	30.706	32.552	33.450	33.845	34.505	35.476	36.401	37.199	37.442	753	1.698	2.344	3.643	5.101	5.860
V., 40°C, mm ² ·s ⁻¹	48.16	47.72	47.90	49.01	48.90	41.83	42.71	43.65	43.87	43.77	43.80	40.46	41.40	41.62	42.65	43.49	43.99
V., 100°C, mm ² ·s ⁻¹	6.96	7.73	7.77	7.87	7.86	7.16	7.25	8.29	7.43	7.38	7.38	6.86	7.01	7.05	7.17	7.26	7.35
TAN, mg KOH/g	1.36	0.65	0.49	0.94	0.82	0.50	0.54	0.45	0.57	0.60	0.61	0.64	0.83	0.54	0.58	0.61	0.60
Unlösliche, %				0.01	0.01	0.00	0.01		0.02	0.01	0.00		0.01		0.02	0.05	
Wasser, %	0.31	0.27	0.03	0.20	2.06	0.02	0.02	0.95	0.23	0.06	0.03	0.67	0.04	0.03	0.05		0.02
Si, ppm	<5	<5	<5	<5	<5	0	0	0	0	0	<5	<5	0	<5	<5	<5	0
Fe, ppm	<5	<5	<5	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Al, ppm	<5	0	<5	<5	<5	0	<5	0	0	0	<5	<5	<5	0	<5	<5	0
Cu, ppm	<5	<5	<5	32	71	14	21	29	23	17	16	45	46	27	22	14	6
Pb, ppm	7	<5	<5	14	12	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	0	<5
Cr, ppm	<5	0	<5	0	<5	<5	<5	0	0	0	0	0	<5	<5	<5	<5	<5
Sn, ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<5	0	0	0	0	0	<5
Ni, ppm	<5	0	<5	<5	0	0	0	0	0	<5	0	<5	<5	<5	<5	<5	<5

Abb. 12: PAO-Verdichteröl ISO-VG 46 mit USDA H-1-Zulassung
 Betreiber: MWW, Schraubenverdichter 3' (BOGE VLEX 84 D-14)

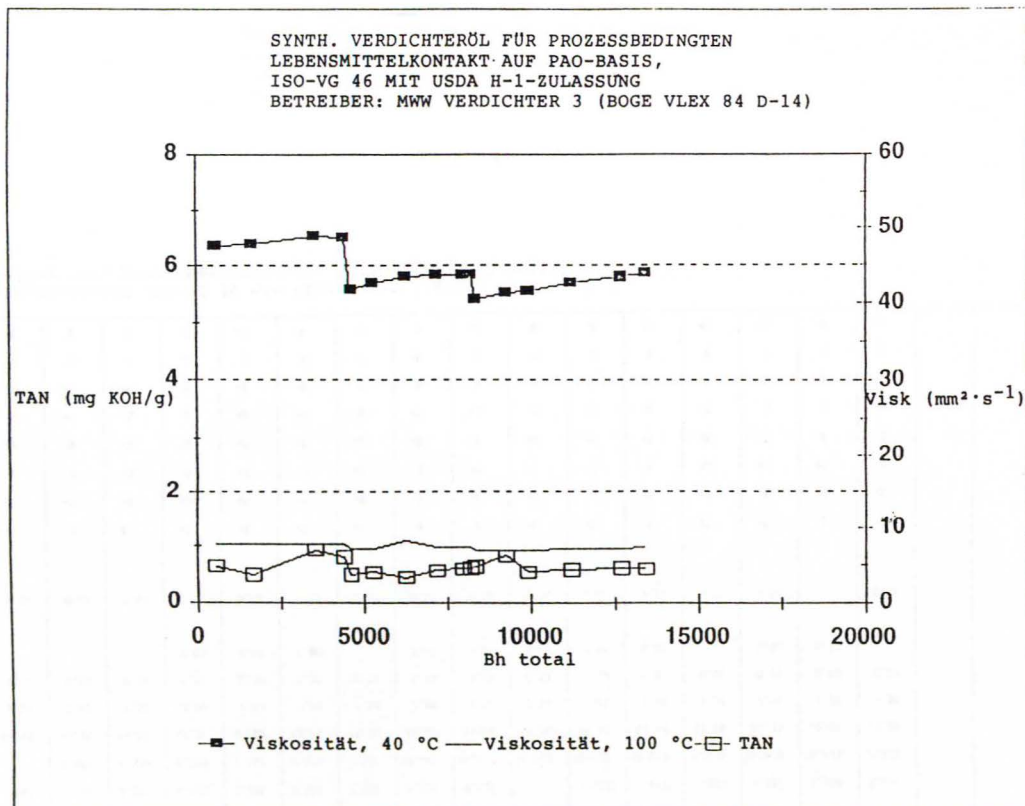


Abb. 13: PAO-Verdichteröl ISO-VG 46 mit USDA H-1-Zulassung (MWW, Verdichter 3)

Datum	13-09-90	06-12-90	13-02-91	13-06-91	08-08-91	29-10-91	09-01-92	12-03-92	12-05-92	7-06-92	30-07-92	16-12-92	02-03-93	17-06-93	29-09-93	16-12-93		
Bh auf Öl	147	1.194	2.240	4.223	5.275	6.568	7.639	8.758	9.724		11.023	692	1.380	2.351	3.088	3.654		
Bh total		3.080	4.126	6.109	7.161	8.454	9.525	10.644	11.610	11.889	12.909	14.017	14.705	15.676	16.413	16.979		
V., 40°C, mm ³ ·g ⁻¹	43.48	44.11	44.58	49.14	44.82	45.09	45.00	44.63	44.96	44.76	44.28	40.98	41.56	42.13	42.80	43.21		
V., 100°C, mm ³ ·g ⁻¹	7.34	7.52	7.55	7.99	7.59	7.58	7.58	7.50	7.56	7.53	7.45	7.02	7.09	7.19	7.23	7.30		
TAN, mg KOH/g	0.18	0.20	0.14	0.81	0.20	0.37	0.39	0.48	0.49	0.57	0.58	0.83	0.60	0.43	0.40	0.39		
Unlösliche, %				0.01	0.01	0.00		0.00	0.01	0.00	0.01	0.03		0.02	0.11			
Wasser, %	0.14	0.04	0.06	0.03	0.06	0.03	0.00	0.02	0.06	0.04	0.09	0.54	0.27	0.08		0.75		
Si, ppm	<5	0	0	<5	<5	<5	<5	0	0	<5	<5	<5	<5	<5	0	0		
Fe, ppm	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Al, ppm	<5	0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
Cu, ppm	<5	0	<5	10	<5	<5	<5	<5	16	<5	<5	<5	<5	<5	<5	8		
Pb, ppm	<5	<5	<5	7	<5	<5	0	<5	<5	0	<5	<5	<5	0	0	<5		
Cr, ppm	0	<5	<5	0	<5	<5	0	0	0	0	0	<5	<5	<5	<5	0		
Sn, ppm	0	0	0	0	0	0	0	<5	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ni, ppm	0	0	0	0	<5	<5	0	0	<5	0	0	<5	<5	<5	0	<5		

Abb. 14: PAO-Verdichteröl ISO-VG 46 mit USDA H-1-Zulassung
 Betreiber MWW, Schraubenverdichter 4 (BOGE VLEX 67 D-11)

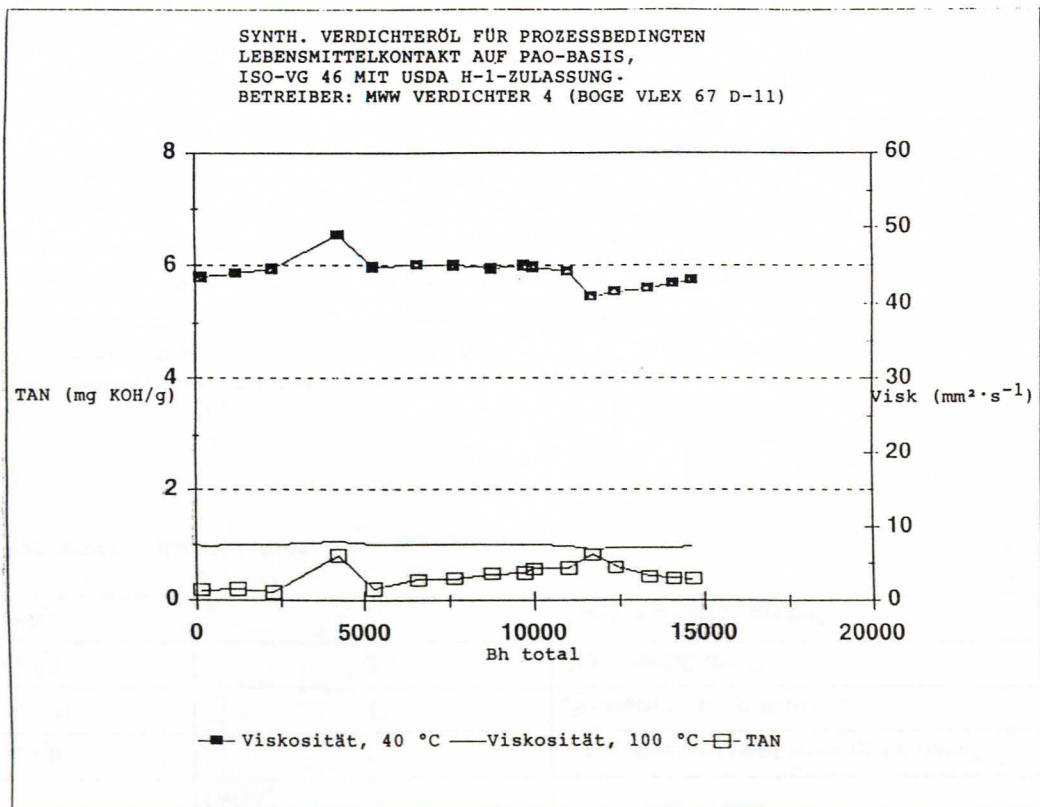


Abb. 15: PAO-Verdichteröl ISO-VG 46 mit USDA H-1-Zulassung (MWW, Verdichter 4)

Mittlere Wassergefährdungszahl (WGZ)	Wassergefährdungsklasse (WGK)	Bezeichnung
0 bis 1,9	0	„Im allgemeinen nicht wassergefährdend“
2 bis 3,9	1	„Schwach wassergefährdend“
4 bis 5,9	2	„Wassergefährdend“
über 5,9	3	„Stark wassergefährdend“

Abb. 16: Wassergefährdungsklassen

Ausgangskonzentration	Konzentration nach 7 Tagen	Elimination	Konzentration nach 21 Tagen	Elimination
27,6 mgKW/l	6,4 mgKW/l	76,8 %	1,6 mgKW/l	94,2 %

Ausgangskonzentration DITA	Konzentration nach 7 Tagen	Elimination	Konzentration nach 21 Tagen	Elimination
38,1 mgKW/l	29,8 mgKW/l	21,8 %	8,5 mgKW/l	77,7 %

Abb. 17: Biologische Abbaubarkeit eines Esterschmierstoffs nach CEC-L-33-T82

GRUNDÖL	% ABBAUBARKEIT
Polyisobutylen	0 - 25
Polyether	0 - 25
Mineralöl	10 - 35
Polyalphaolefine	10 - 35
Phtalatester	10 - 80
Trimelitatester	10 - 80
Weißöl	25 - 45
Native Öle	70 - 100
Polyolester und Diester	60 - 100

Abb. 18: Biologische Abbaubarkeit nach CEC-L-33-T82

	Rapsöl	Polyglykol	Ester
Fließverhalten	schlecht	gut	gut
Viskositätsindex	niedrig	hoch	relativ hoch
Alterungs-/Oxidationsstabilität	unzureichend	ausreichend	sehr hoch
Entflammbarkeit	hoch	relativ hoch	niedrig
Verdampfungsverlust (Ölverbrauch)	hoch	relativ hoch	niedrig
Schmierfähigkeit/Lasttrageverhalten	schlecht	gut	gut
Produktverträglichkeit	relativ gut	schlecht	relativ gut
Entsorgung	Sondermüll	Sondermüll	wie Mineralöl
Kostenindex	1	2-3	3

Abb. 19: Die wichtigsten biologisch abbaubaren Grundöle im Vergleich

EIGENSCHAFT	PRÜFMETHODE	ERGEBNIS
Hydraulik - Klassifizierung	DIN 51.524 T,2	HLP 68
ISO-Viskositätsklasse	DIN 51.519	68
SAE-Viskositätsklasse	SAE J-300	30
Viskosität bei 40 °C,	DIN 51.562	67
Viskosität bei 100 °C,	DIN 51.562	12.1
Viskositätsindex	ISO 2909	180
Dichte bei 15 °C,	DIN 51.757	925
Pour Point,	°C	
Flammpunkt, C.O.C.,	°C	- 28
Säurezahl,	mg KOH/g	282
Wassergehalt,	%	3,3
Sulphataschegehalt,	%	0,1
		0
Oxidationsstabilität,		
24 h bei 190 °C:		
Viskositätsveränderung,	%	+ 4,0
Veränderung der Säurezahl,	mg KOH/g	+ 0,5
PZG Schadenskraftstufe,		
A 8.3 bei 90 °C	DIN 51.354	12
Kupferstreifenprüfung,		
3 h bei 100 °C	DIN 51.759	1 B
Korrosionsschutz	DIN 51.585	A=0
Schaumbildung,	DIN 51.566	S1A-100/0
		S2A-210/0
		S3A-100/0
Biologische Abbaubarkeit,	%	96
	CEC-L-33-T-82	

Abb. 20: Biologische Abbaubarkeit Hydrauliköl auf Esterbasis, ISO-VG 68

Datum	7-07-91	7-08-91	16-09-91	7-10-91													
Bh auf Öl	500	750	1.100	1.400													
Bh total																	
V., 40°C, mm ² ·s ⁻¹	81.35	88.25	93.03	97.70													
V., 100°C, mm ² ·s ⁻¹	13.75	14.60	15.10	15.77													
TAN, mg KOH/g	4.19	5.84	5.80	6.18													
Wasser, %	0.04	0.06	0.03	0.05													
Si, ppm	<5	<5	<5	<5													
Fe, ppm	33	42	51	92													
Al, ppm	0	<5	<5	<5													
Cu, ppm	<5	<5	<5	<5													
Pb, ppm	71	86	99	93													
Cr, ppm	<5	<5	<5	<5													
Sn, ppm	5	5	8	5													
Ni, ppm	<5	<5	<5	<5													

Abb. 21: Verdichtertest mit biologisch abbaubaren Hydrauliköl auf Esterbasis ISO-VG 68 in KNORR VV-450

BIOLOGISCH ABB. HYDRAULIKÖL
AUF ESTERBASIS, ISO-VG 68
VERDICHTER: KNORR VV-450

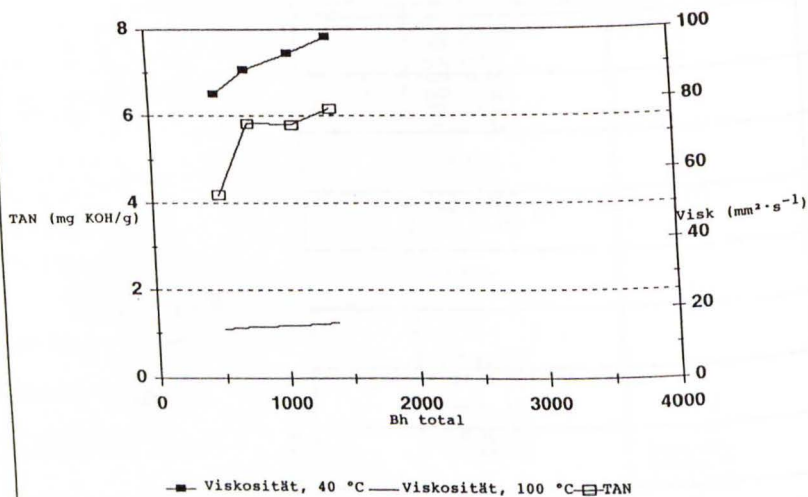


Abb. 22: Verdichtertest mit biologisch abbaubarem Hydrauliköl auf Esterbasis

EIGENSCHAFT	PRÜFMETHODE	ERGEBNIS
Betriebstemperaturbereich, °C	-	- 50 bis 230
ISO Viskositätsklasse	DIN 51.519	46
SAE Viskositätsklasse	SAE J-300	20
Viskosität bei 40 °C, mm² · s ⁻¹	DIN 51.562	44
Viskosität bei 100 °C, mm² · s ⁻¹	DIN 51.562	7.4
Viskosität bei -18 °C, mm² · s ⁻¹	DIN 51.562	2000
Viskositätsindex	ISO 2909	134
Dichte bei 15 °C, kg/m ³	DIN 51.757	832
Pour Point, °C	ISO 3016	- 70
Flammpunkt, C.O.C., °C	ISO 2562	240
Selbstentzündungstemperatur, °C	ASTM D-2155	385
Verdampfung, 22 h bei 99 °C, %	ASTM D- 972	1
Demulgierverhalten bei 54 °C, mit Öl/Wasser/Emulsion (min.)	ISO 6614	40/38/3 (10)
4-Kugel-Test 1200 Umin ⁻¹ , 40 kg, 1 h bei 75 °C, Abtragung mm	ASTM D-2266	0,4
Schaumbildung, SEQ I, II, III	ASTM D- 892	0

Abb. 23: Synthetischer Verdichterschmierstoff für prozessbedingten Lebensmittelkontakt auf PAO-Basis, ISO-VG 46

Datum	05-10-93	19-10-93	18-11-93															
Bh auf Öl		2.674	1.167															
Bh total			3.037															
V., 40°C, mm ² ·s ⁻¹	77.5	74.60	75.0															
V., 100°C, mm ² ·s ⁻¹	10.66	10.59	10.96															
TAN, mg KOH/g	1.41	1.51	1.56															
Unlösliche, %	0.00	0.04																
Wasser, %		0.04	0.04															
Si, ppm	0	<5	<5															
Fe, ppm	24	26	23															
Al, ppm	<5	0	<5															
Cu, ppm	<5	<5	<5															
Pb, ppm	<5	7	6															
Cr, ppm	<5	0	0															
Sn, ppm	<5	8	<5															
Ni, ppm	<5	<5	<5															

Abb. 24: Verdichtertest mit biologisch abbaubaren Verdichteröl auf Esterbasis ISO-VG 68 in KNORR VV-450

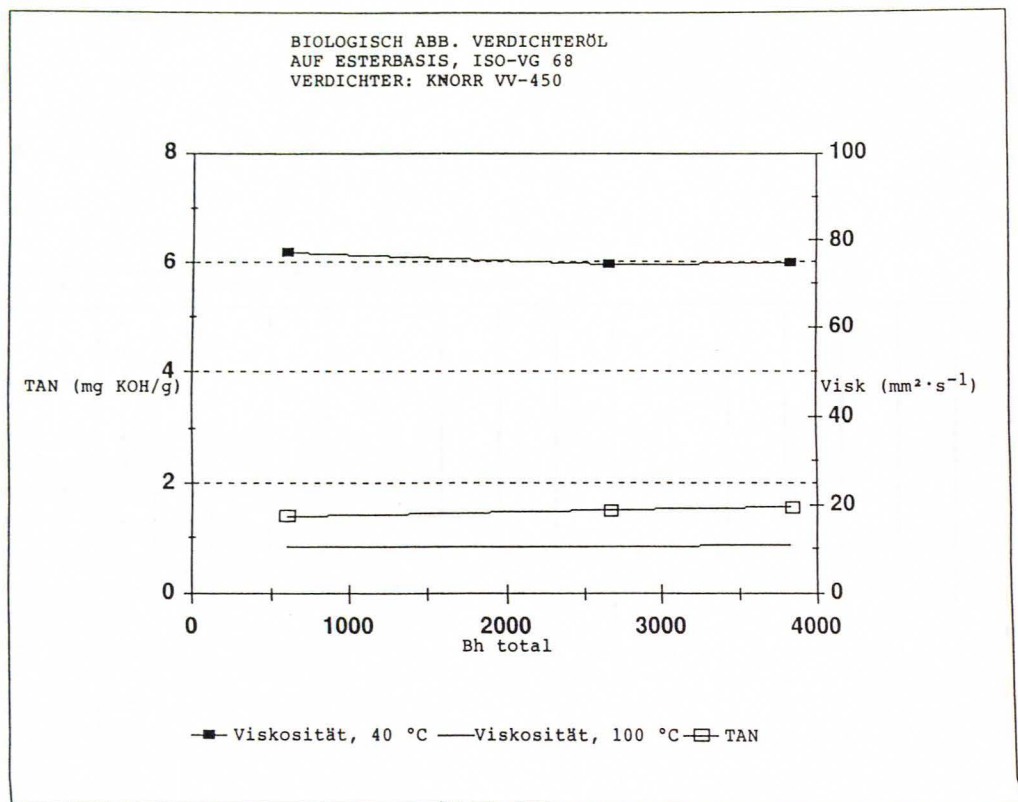


Abb. 25: Verdichtertest mit biologisch abbaubarem Verdichteröl auf Esterbasis

Literaturnachweis

- Abb. 2, 16, 19: "Lebensmittelverträgliche, biologisch
abbaubare Kompressorenschmierstoffe"
K.B. Willuweit, Drucklufttechnik 11-12/92
- Abb. 18: "Biodegradability"
Ultrachem, Techn. Information 3/91