

## Schmierstoffprobleme bei der Verdichtung von Deponiegasen am Beispiel der Deponie Dortmund-Huckarde

Dipl.-Ing. K. B. Willuweit, Bockum

Aufgrund seiner Zusammensetzung erfordert Deponiegas ein Verdichteröl mit höchstmöglicher chemischer und oxidativer Beständigkeit und hohen Verschleißschutzeigenschaften. Versuche auf der Deponie Dortmund-Huckarde haben gezeigt, daß mit der Auswahl eines synthetischen Verdichteröls auf Esterbasis, nicht nur erhebliche Standzeitverlängerung erzielt, sondern gleichzeitig auch hinsichtlich der Werterhaltung der Anlagen ein sinnvoller Beitrag geleistet werden kann.

Due to its components, landfill-gas will require a compressor lubricant with the highest possible chemical and oxidation resistance together with high anti-wear properties. Tests at the landfill of Dortmund-Huckarde have shown, that, with the choice of a synthetic compressor oil on ester base, not only longer oil-drain intervals are possible, but in addition wear of the equipment is practically non-existent.

Seit 1992 betreibt die Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH (DEW) eine Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage mit einer Solar-Gasturbine, deren elektrische Leistung 3.381 kW beträgt. Dort werden 2.250 Nm<sup>3</sup>/h Deponiegas verbrannt. Das Deponiegas wird in etwa 50 Gasbrunnen gesammelt und mit einem Unterdruck von 30 mbar mit Hilfe von Drehkolbengebläsen abgesaugt. Von dort wird es einem öleingespritzten Schraubenverdichter zugeführt und verdichtet, bevor es in die Gasturbine gelangt. (Abb. 1/12)

Das Gas erreicht den Schraubenverdichter, Typ VPT 550-15 WSV (Abb. 2/11), mit einem Druck von 1.05 bar(a) bei einer Temperatur von ca. 30 °C und wird einstufig auf einen Enddruck von 15 bar(a) verdichtet. Es hat nach Verdichtung eine Temperatur von ca. 90 °C und wird in einem nachgeschalteten Gaskühler, der in ein geschlossenes Kühlwassersystem eingebunden ist, auf 50 °C abgekühlt, um so gezielten Kondensatausfall herbeizuführen. Die täglich anfallende Kondensatmenge beträgt, je nach Temperatur des angesaugten Gases, ca. 1.000 ltr. pro Tag. Im anschließenden Gasheizer wird mittels Verlustwärme aus dem Schmierölkreislauf das Gas wieder auf eine Temperatur von 65 °C erwärmt, damit es mit einem Temperaturniveau von 10 K über Drucktaupunkt ohne jeden Kondensatausfall gefahrlos zur Turbine geführt werden kann.

Deponiegas setzt sich normalerweise aus 40 - 60 % Methan, 25 - 35 % Kohlendioxid, 5 - 30 % Stickstoff und 0 - 20 % Sauerstoff zusammen. Hinzu kommen wesentlich problematischere, teilweise saure Gasbegleitstoffe, wie gesättigte und ungesättigte Halogenverbindungen, etwa aus Treibgasen von Aerosol-Sprühdosen, Kohlenmonoxid, Schwefelverbindungen, insbesondere Schwefelwasserstoff, Ammoniak und nicht zuletzt Silizium, das meist in Form von Silanen und Siloxanen, aber auch als abrasives  $\text{SiO}_2$  auftritt. Daß von Wasserdampfsättigung auszugehen ist, versteht sich fast von selbst. (Abb. 3)

Bei Inbetriebnahme wurde die Anlage auf Empfehlung des Stufenherstellers zunächst mit einem synthetischen Schraubenverdichteröl auf Basis eines Polyalkylenglykols (PAG) betrieben. Dieser Schmierstoff, der ISO-VG 100 entspricht, war allerdings nur 552 Bh im Einsatz, da die Rückstandsbildung im Verdichter aufgrund von Ölvercrackung ständig zunahm, wodurch das Gasentölelement blockierte.

Die Ursache hierfür war sicherlich u. a., daß Schmierstoffe dieser Art in der Regel hygroskopisch sind, eine Eigenschaft, die sich in Gegenwart saurer Bestandteile im Gas unter Wasserdampfsättigung noch verstärkt. Damit werden Emulsionsbildung und Ölalterung forciert, wodurch sich die Schmierfähigkeit, aber auch der Korrosionsschutz drastisch reduzieren. Man kennt dieses Phänomen übrigens seit langem aus der Vakuumtechnik. Eine vom Betreiber beim RWTÜV, Essen, in Auftrag gegebene Untersuchung der Rückstände in der Filterpatrone vom 30.09.93 bestätigte dies. (Abb. 4/131)

Da die bis dahin gesammelten Betriebserfahrungen nicht zufriedenstellend waren, entschloß man sich, die Maschine auf ein Verdichteröl auf Mineralölbasis umzurüsten, das sich in Schrauben-Luftverdichtern seit Jahren bewährt hat. Dieses Produkt steht allerdings nur in den ISO Viskositätsklassen 46 und 68 zur Verfügung, so daß man sich für die Variante ISO VG 68 entschied.

Die Auswahl für dieses Mineralöl erfolgte sicherlich auch, weil es ein Additivpaket enthält, das in Anbetracht der im Gas enthaltenen sauren Bestandteile eine gewisse alkalische Reserve (TBN) bietet. Aber auch dieses Grundöl-Additiv-System zeigte unter der vorliegenden Gaszusammensetzung (hoher Kondensatanfall, saure Gasbegleitstoffe), daß die Grenzen der Leistungsfähigkeit sehr bald erreicht waren. Es traten folglich auch hier unverhältnismäßig schnelle Alterung, Emulsionsbildung und damit zwangsläufig starke Rückstände in der Maschine auf. Ferner war bei dieser Schmierstoffauswahl nicht berücksichtigt worden, daß Mineralöle grundsätzlich kein besonders gutes Detergier- und Dispergierverhalten besitzen und nicht mit Polyglykolen mischbar sind.

Dies hatte zur Folge, daß die in der Maschine vorliegende Verschmutzung, besonders die Ablagerungen im Ölkühler, nie entfernt wurde. Im Gegenteil: Die

Rückstände im Verdichter nahmen immer weiter zu, so daß sich die Standzeiten von Schmieröl und Separatoren ständig verkürzten. Leider liegen die exakten Aufzeichnungen beim Betreiber aufgrund eines Personalwechsels nicht mehr vor. DEW berichtet aber von Ölwechselintervallen von anfänglich annähernd 1000 Bh, die sich auf letztlich nur 20 Bh für Öl und Abscheider reduzierten.

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse entschloß man sich nun, ein Verdichteröl auf Basis eines Dicarbonsäureesters einzusetzen. Den anfänglichen Überlegungen folgend, fiel auch hier die Auswahl auf ein Produkt, das ISO VG 100 entspricht. Abb. 5 und 6 vergleichen die drei eingesetzten Schmierstoffe als Frischöle miteinander.

Dicarbonsäureester werden seit langem in der Verdichter- und Vakuumtechnik eingesetzt, besonders dann, wenn es auf chemische, oxidative und thermische Stabilität ankommt. Darüber hinaus verfügen sie über ein ausgezeichnetes natürliches Detergier- und Dispergiervermögen. In Gegenwart einer Vielzahl von teilweise recht aggressiven Gasen bei Wasserdampfsättigung, u. a. auch Hochofen-, Kokerei- und Klärgas, haben sie sich bewährt und sorgen für einen störungsfreien Betrieb. In den Maschinen treten praktisch keine ölbedingten Ablagerungen auf, der Verschleiß und die Korrosionswirkung durch die Gase werden minimiert, und nicht zuletzt werden der Ölverbrauch reduziert und die Ölwechselintervalle um ein Vielfaches verlängert.

Wie der RWTÜV bei seinen Gebrauchtöluntersuchungen richtig feststellte, sank die Viskosität des Esterschmierstoffs zunächst drastisch ab. Gleichzeitig wurde ein Anstieg der Neutralisationszahl (NZ) von 0.06 mg KOH/g auf 0.41 mg KOH/g nach 412 Bh mit dem Produkt beobachtet. Man wies darauf hin, daß "sauer reagierende Deponiegasbestandteile sowie eventuell auftretende Reaktionen des Esterproduktes ... mit vorhandenen Feuchtigkeitsanteilen die Neutralisationszahl beeinflussen", und empfahl daher, auch im Hinblick auf den Viskositätsabfall und den Anstieg der Feststoffanteile, das Öl zu wechseln.

Diese Empfehlung entsprach allerdings nicht den technischen Möglichkeiten des Esters, denn:

- Ein Schmierstoff dieser Art ist erst an seiner Leistungsgrenze angelangt, wenn eine NZ von 6 mg KOH/g deutlich überschritten wird. Dabei ist zu bedenken, daß die durch den Ester dispergierten Gasbegleitstoffe und Alterungsprodukte vorher eingesetzter Schmierstoffe die NZ erhöhen. Dagegen ist ein Mineralöl bei einem Anstieg der NZ um 2 mg KOH bereits nicht mehr gebrauchsfähig. Ausgehend von einer Frischöl-NZ von ca. 0.5 mg KOH/g im Falle des vorher eingesetzten Mineralöls, bedeutet dies einen Maximalwert von ca. 2.5 mg KOH/g. (Abb. 7)
- Bei der Verdichtung kohlenwasserstoffhaltiger Gase ist immer mit einer

gewissen Kondensation dieser Verbindungen und daher mit einer Viskositätsabsenkung des Schmieröls zu rechnen. Hinzu kam, daß bei Umstellung in der Maschine Reste von ca. 10 % des vorher eingesetzten niedrigviskoserem Mineralöls vorlagen. Die Scherstabilität des Ester-Schmierfilms und seine Polarität erlauben aber eine derartige Viskositätsveränderung durchaus.

- Der Feststoffanteil im Schmierstoff war durch die Detergierwirkung des Esters aus den Ablagerungen in der Maschine entstanden und hatte keineswegs einen Grad erreicht, der einen Ölwechsel erforderlich gemacht hätte.

Daher wurde vereinbart, daß Ölhersteller und RWTÜV unabhängig voneinander regelmäßige Gebrauchtolanalysen durchführen sollten, damit die Gebrauchsfähigkeit des Syntheseöls dokumentiert und das optimale Ölwechselintervall bestimmt werden konnten.

Als Grenzwerte wurden folgende Daten festgelegt:

100°C

Eigenschaft	Meßmethode	Grenzwert
Viskosität bei <del>40</del> °C	DIN 51.562	6 - 7 mm <sup>2</sup> /s
Neutralisationszahl	DIN 51.558	6 mg KOH/g
Fe-Gehalt*)	AAS	50 ppm

- \*) Die Bestimmung der Verschleißmetalle erfolgte beim RWTÜV anhand der auf dem Feinstfilter gefundenen Rückstände, während der Schmierstofflieferant die im Schmieröl gelösten Metalle anhand der Atomabsorptionsmethode (AAS) untersuchte. Der Grenzwert von 50 ppm bezieht sich auf die AAS-Methode.

Diese Untersuchungen wurden zunächst über einen Zeitraum von fast 2.500 Bh parallel durchgeführt und führten zu folgenden Erkenntnissen (Abb. 8):

- Während der gesamten Betriebszeit mit dem Esteröl bis dahin war lediglich ein Wechsel des Hauptschmierölfilters erforderlich gewesen.
- Die Analysergebnisse des RWTÜV waren mit denen des Öllieferanten praktisch deckungsgleich.
- Wie die Gebrauchtolanalysen zeigten, war der Esterschmierstoff für den Einsatz in dem Schraubenkompressor zur Verdichtung von Deponiegas geeignet.

- Die nach dem Untersuchungszeitraum ermittelten Gebrauchtöldaten hatten die festgelegten Grenzwerte nicht erreicht.
- Lediglich der Eisenwert näherte sich dem kritischen Bereich und hatte während der letzten 600 Bh eine steigende Tendenz aufgewiesen. Über die Herkunft des Eisens konnte zu diesem Zeitpunkt noch keine eindeutige Aussage getroffen werden. Es war aber auch hier davon auszugehen, daß die Detergierwirkung des Esters alte Rückstände, die sich in einer Totzone angesammelt hatten, nach und nach gelöst hatten
- Dafür sprach auch, daß die NZ in der letzten Zeit ebenfalls stärker angestiegen war, als in der davorliegenden Betriebszeit mit dem Ester.

Infolgedessen wurde kurzfristig ein Ölwechsel durchgeführt. Die neue Schmieröffnung wurde ebenfalls analytisch überwacht. Musternahme erfolgte nach 1, 250, 750 und alle weiteren 500 Bh. Bei Annäherung an die Grenzwerte sollten die Probenahmeintervalle verkürzt werden.

Der nächste Ölwechsel wurde bei ca. 4.500 Bh durchgeführt, ohne daß das Syntheseöl bereits seine Leistungsgrenzen erreicht hatte. Bereits in diesem Intervall bestätigte sich, daß der erhöhte Eisenanteil aus Ablagerungen in der Maschine gestammt haben mußte, denn es sind seitdem durchweg nur noch Werte < 10 ppm gemessen worden.

Nun konnten die kommenden Ölwechselintervalle problemlos auf eine Größenordnung von 3.000 - 3.500 Bh festgelegt werden, ohne daß sich DEW in die Gefahr begeben hätte, die Leistungsgrenzen des Esterschmierstoffs zu überschreiten (Abb. 9, 10). Auch Verklebungen der Ölabscheider sind seit der Umstellung auf den Esterschmierstoff nicht mehr aufgetreten.

Zur Sicherheit werden auch gegenwärtig immer noch Gebrauchtölanalysen durchgeführt. Allerdings sind die Musteruntersuchungen seit einiger Zeit nur noch bei ca. 1.000 Bh der jeweiligen Füllung erforderlich, um eventuelle Veränderungen im System, beispielsweise die Auswirkungen schwankender Gasqualität, rechtzeitig zu erkennen und auch weiterhin einen störungsfreien Betrieb zu garantieren. Vollanalysen werden inzwischen nur noch sporadisch oder bei Bedarf durchgeführt.

Darstellung 1.0, Prinzipdarstellung der Deponiegasverwertung auf der Deponie Dortmund-Huckarde

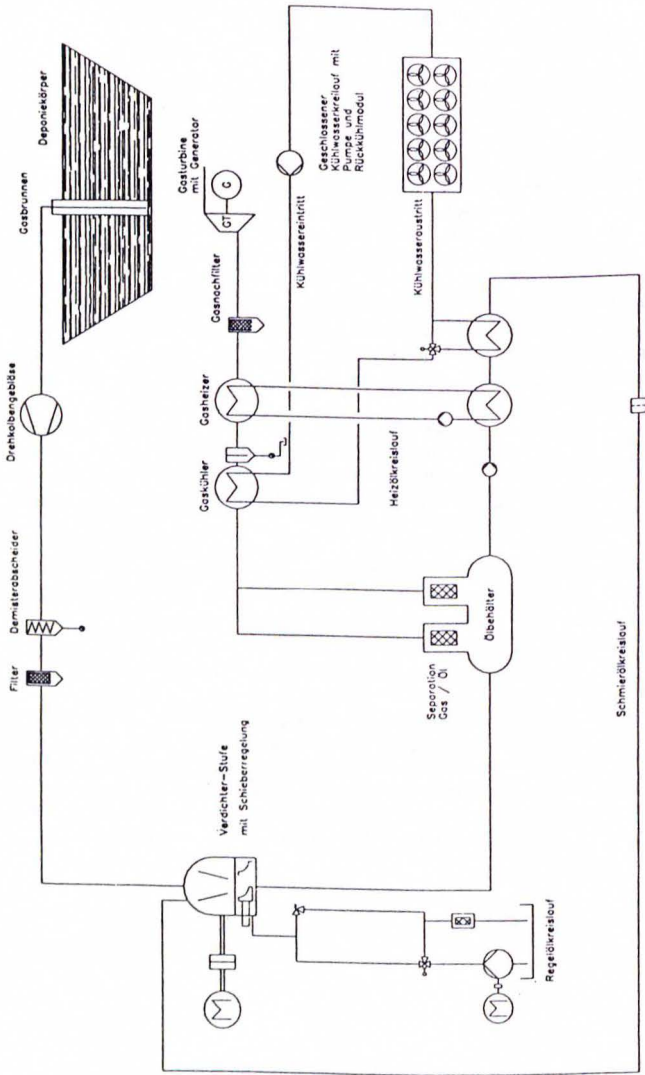


Abb. 1

Technische Daten Schraubenverdichter VPT 550-15 WSV		
Ansaugdruck	1.05	bar(a)
Verdichtungsenddruck	15.00	bar(a)
Verdichtung	einstufig	
Liefermenge	2.606.00	Nm <sup>3</sup> /h
Motorleistung	550.00	kW
Motorspannung / Frequenz	10.000 / 50	V / Hz
Kupplungsleistung	520.30	kW
Motordrehzahl	2.950.00	1/min
Hauptläuferdrehzahl	2.950.00	1/min
Motorschutzart	Eexell T3 IP 54	
Kühlmittelstrom	45.00	m <sup>3</sup> /h
Kühlmittelerwärmung von / auf	41.00 / 45.00	°C
Gaseintrittstemperatur	30.00	°C
Gasaustrittstemperatur	90.00	°C
Verdichtungsendtemperatur	90.00	°C
Restölgehalt im Gas	3.00 - 5.00	mg /Nm <sup>3</sup>

Abb. 2

**Bestandteile von Deponiegas****Hauptbestandteile:**

Methan	45 - 60 %
Kohlendioxid	25 - 35 %
Stickstoff	5 - 30 %
Sauerstoff	0 - 20 %

**Gasbegleitstoffe, u.a.:**

Kondensat

Halogenverbindungen, gesättigt und ungesättigt

Siliziumverbindungen (Silane, Siloxane, SiO<sub>2</sub>)

Kohlenmonoxid

Ammoniak

Schwefelverbindungen (hauptsächlich H<sub>2</sub>S)

**Abb. 3**



**Untersuchung des RWTÜV für DEW**  
**G.-Nr.: 3.5.5-989/93, A.-Nr.: 479867/01**  
**Schraubenverdichter - Filterpatronen**

Art der Rückstände, Rasterelektronenstrahl-Mikroanalyse,  
 Elemente in Näherungswerten Masse%

Element	Filterpatrone Auslieferungszustand, ölfrei	Glührückstand Schmelze	Rückstände aus Verdichter Huckarde
Phosphor	55	62	58
Natrium	13	11	9
Eisen	11	7	16
Schwefel	10	-	6
Kalzium	5	5	6
Zink	3	3	4
Zinn	2	-	-
Silizium	-	-	-
Magnesium	-	1	-

Partikel- verteilung	Anzahl der Partikel	Anteil, %
2 - 5 $\mu$	37.216	58.8
5 - 10 $\mu$	19.305	30.5
10 - 15 $\mu$	4.412	7.0
15 - 20 $\mu$	1.422	2.2
20 - 40 $\mu$	919	1.5
40 - 60 $\mu$	26	< 0.1
60 - 100 $\mu$	6	< 0.1
> 100 $\mu$	-	-

**Abb. 4**

Technische Daten der eingesetzten Verdichterschmierstoffe im Vergleich				
(Frischöldataen)		PAG	Mineralöl	Ester
Dichte bei 15 °C,	kg/ltr.	1.05	0.880	0.96
ISO Viskositätsklasse		100	68	100
Viskosität bei 40 °C,	mm <sup>2</sup> /s	107	68	105
Viskosität bei 100 °C,	mm <sup>2</sup> /s	16.5	8.7	10.2
Viskositätsindex		210	100	70
Pourpiont,	°C	- 36	- 30	- 34
Flammpunkt,	°C	270	218	250

**Abb. 5**

**Verdichterschmierstoffe**  
 Viskositäts-Temperatur-Verhalten

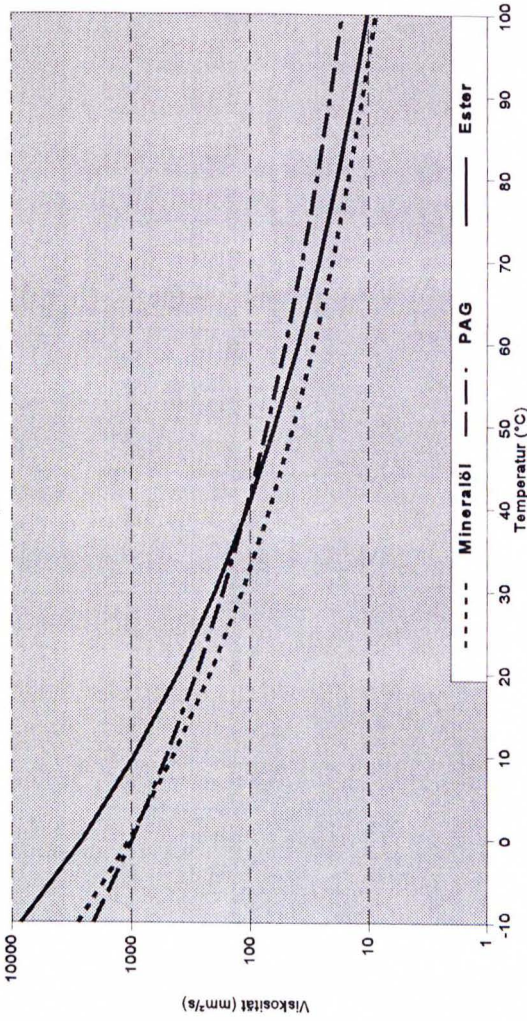


Abb.6

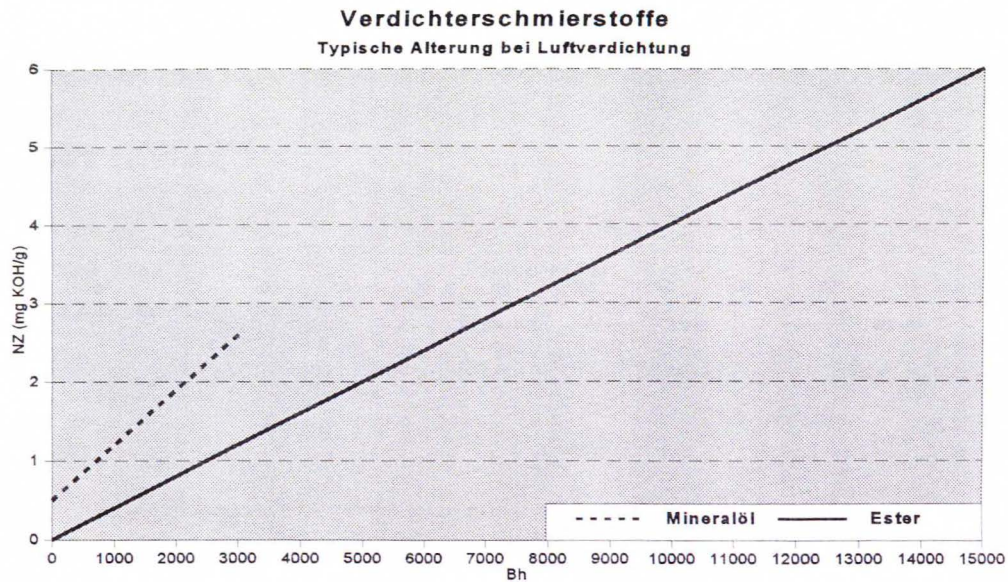


Abb.7

Übersicht der Gebrauchtoilanalysen									
Betreiber	Standort:		Bauart d. Maschine		Typ	Verdichtetes Gas		Schmierstoff	
DEW	Deponie DO-Huckarde		Schraubenverdichter		VPT 550-15 WSV	Deponigas		Ester ISO VG 100	
1. Füllung					2. Füllung				
Bh Öl	Visk. 40 °C	NZ	Fe, ppm	Si, ppm	Bh Öl	Visk. 40 °C	NZ	Fe, ppm	Si, ppm
90	77.3	0.73	< 5	309	57	72.0	0.19	5	157
361	77.5	0.68	17	172	110	72.9	0.22	< 5	190
575	69.9	0.86	24	128	223	72.7	0.46	6	148
					375	72.1	0.33	6	200
					566	59.2	0.45	7	122
					704	62.3	0.48	7	140
					1033	64.1	0.87	5	139
					1272	65.1	0.90	5	130
					1535	66.7	1.09	< 5	137
					2335	67.3	1.0	< 5	145

Abb. 8

Übersicht der Gebrauchtolanalysen									
Betreiber	Standort:		Bauart d. Maschine		Typ	Verdichtetes Gas		Schmierstoff	
DEW	Deponie DO-Huckarde		Schraubenverdichter		VPT 550-15 WSV	Deponigas		Ester ISO VG 100	
3. Füllung					5. Füllung				
Bh Öl	Visk. 40 °C	NZ	Fe, ppm	Si, ppm	Bh Öl	Visk. 40 °C	NZ	Fe, ppm	Si, ppm
1235	75.9	0.9	< 5	129	874	n. b.	0.94	n. b.	n. b.
2686	76.6	1.5	< 5	119	1989	69.9	1.03	n. b.	n. b.
4384	78.9	1.92	< 5	86					
4. Füllung					8. Füllung				
Bh Öl	Visk. 40 °C	NZ	Fe, ppm	Si, ppm	Bh Öl	Visk. 40 °C	NZ	Fe, ppm	Si, ppm
716	76.4	1.12	< 5	129	1.000	63.5	1.08	6	127
1745	79.4	2.3	< 5	119					
2978	n. b.	2,44	n. b.	n. b.					

Abb. 9

## Deponiegasverdichtung DO-Huckarde Alterung des Esterschmierstoffs

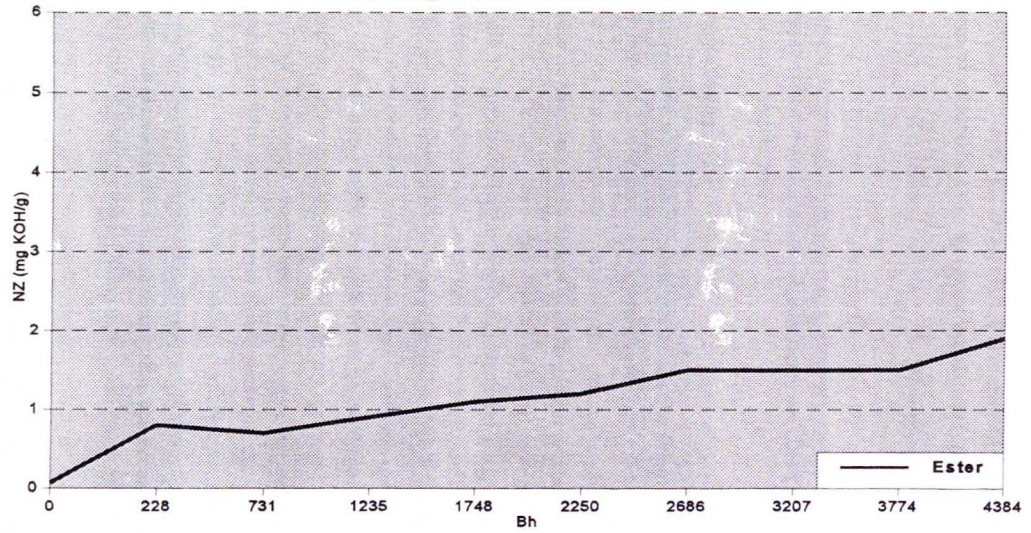


Abb. 10