

Maximale Anlagenverfügbarkeit -  
schnell und flexibel.

**TBE**  
die Maschinenflüsterer®

## Warum Öl-Zustandsanalyse?



TBE Anlagendiagnostik GmbH.

  
Ing. Martin Eisenberger  
Allgemein beauftragter und gerichtlich  
zertifizierter Sachverständiger für  
Maschinenprüfungswesen



**TBE**

TBE Anlagendiagnostik GmbH  
SV | Ingenieurbüro | Condition Monitoring

A-8112 Gratwein  
Judendorfergasse 2a  
Tel.: +43 3124/510 40  
Fax: +43 3124/510 40-4  
Mobil: +43 664 357 62 88



e-mail: office.tbe@aon.at  
www.tbe-anlagendiagnostik.com

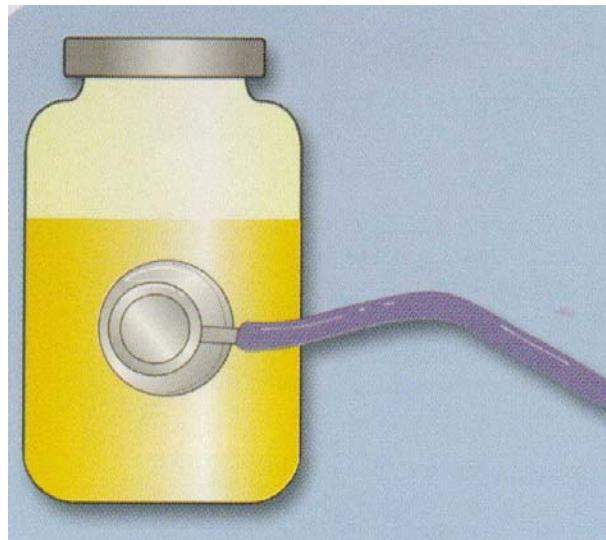
## Schmiermittel- / Ölanalyse



Die Ölanalyse ist eine sehr wirkungsvolle Technik zur Erkennung von Maschinenschäden. Nutzen Sie das Öl als Informationsträger! Sehen Sie sich als Maschinendoktor und analysieren Sie das Öl auf dessen Zustand. Chemische Änderungen führen zum Verlust der Schmiereigenschaft.

Kontaminationen verkürzt die Lebenserwartung der Maschine und des Öls. Partikel wie Eisen und Buntmetalle haben eine katalytische Wirkung und beschleunigen die Ölalterung. Abrieb ist aber vor allem ein Indikator für mögliche Maschinenschäden. Deshalb sehen wir die Ölanalyse als wirkungsvolles Diagnosetool zur Erkennung von Verschleißzuständen und als Ergänzung zur Schwingungsmessung.

Das Öl  
spricht mit  
Ihnen...



....., aber hören  
Sie auch zu?

## Ausfallsursachen für Lagerschäden

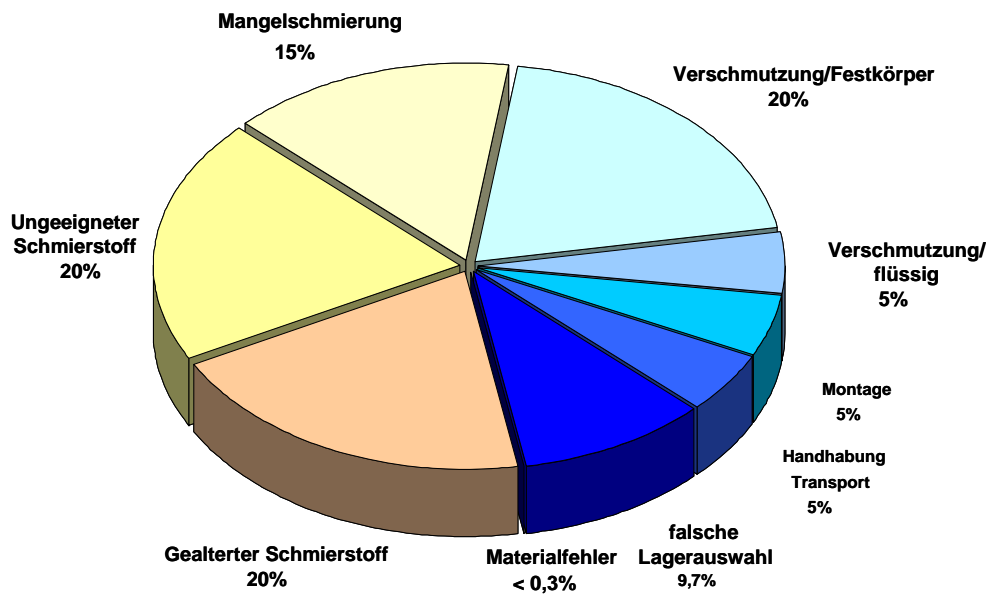


Bild 1) (Ref.: M. Wahler, „Schmierung bestimmt die Lebensdauer“ 01/2006)

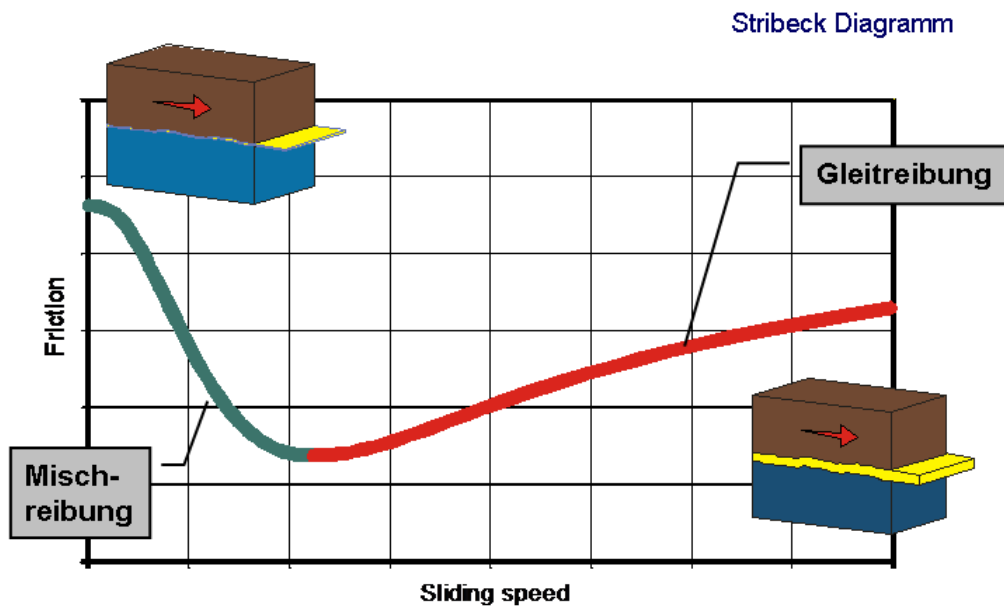
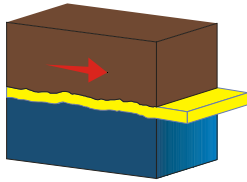


Bild 2) Bei ausreichendem Tragvermögen des Schmierfilms, werden die Kontaktflächen vollständig voneinander getrennt → hydrodynamische Schmierung

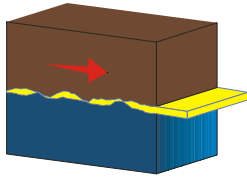
## Schmierzustände

### ⌘ Hydrodynamische Schmierung



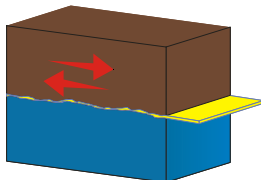
- ⌘ Makrogeometrie
- ⌘ Grundöl, Viskosität und Oberflächenstrukturen
- ⌘ Schmierstoff-Gebrauchsdauer und thermische Beständigkeit

### ⌘ Mischreibungsbereich



- ⌘ Oberflächenstrukturen, Beschichtungen
- ⌘ Additive, Verschleißschutz, EP-Additive !
- ⌘ Verdicker

### ⌘ Passungsrost, Tribokorrosion



- ⌘ Montagepasten, Trennung der Metallflächen
- ⌘ Beschichtung

## Verschleißmechanismen im Detail

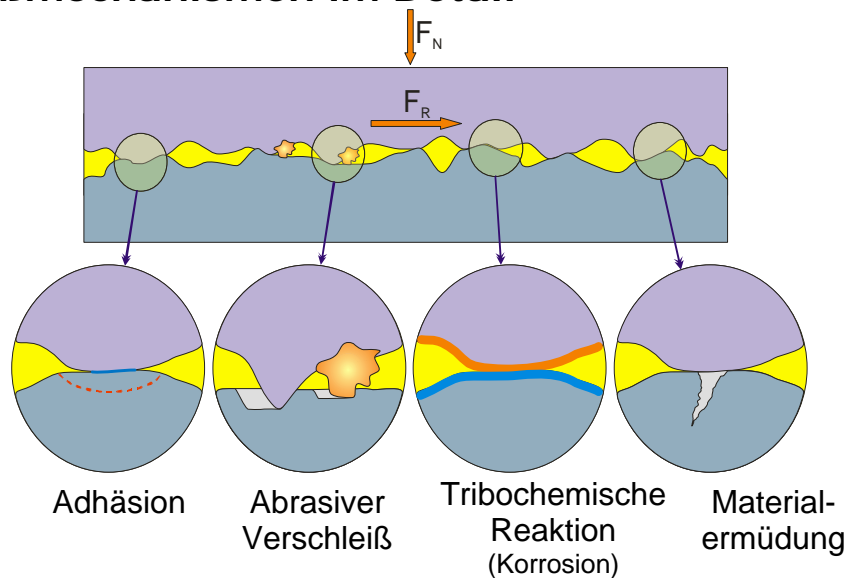


Bild 3) Tribologie & Schmiertechnik (TriboServ)

## Verschmutzter Schmierstoff

**Kontamination** – Verunreinigung stellen je nach Branche, ein zum Teil erhebliches Gefahrenpotential dar. Moderne Anlagen und Hydrauliken haben sehr geringe Toleranzen und reagieren auf Verschmutzungen äußerst sensibel. Standzeiten von Wälzlager und Zahnradpaarungen werden deutlich reduziert. Wir unterscheiden zwischen flüssiger und fester Verschmutzung.

## Verschleißmechanismen & deren Auswirkungen auf die Lebensdauer

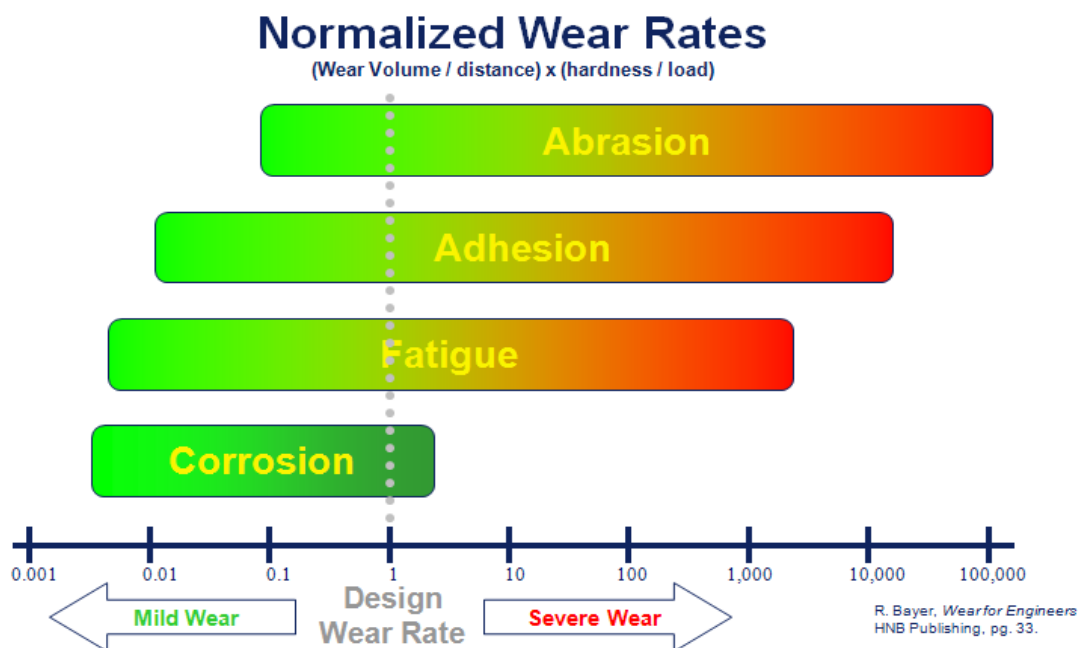
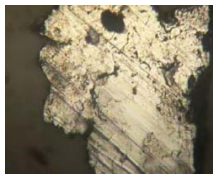


Bild 4)

## Verschleißmechanismen



### Adhäsion (Adhesion)

Lokales Durchbrechen des Schmierfilms resultiert in punktuelle Kaltverschweißung. Mikroskopisches Material wird aus der Oberfläche herausgerissen. → Pitting- & Grübchenbildungen.



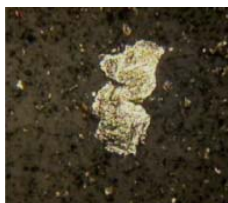
### Abrieb (Abrasion)

Harte raue Oberfläche oder eingebettet harte Partikel pflügen in das Material der Gegenlauffläche – Kratzer & Furchen sind die Folge.



### Korrosion (Corrosion)

Chemische Reaktionen der Oberflächen mit den Schmier- bzw. Betriebsmedien (Kühlmedien in Kompressoren, Wasser..) zersetzen die Oberfläche bzw. ändern die Materialeigenschaften



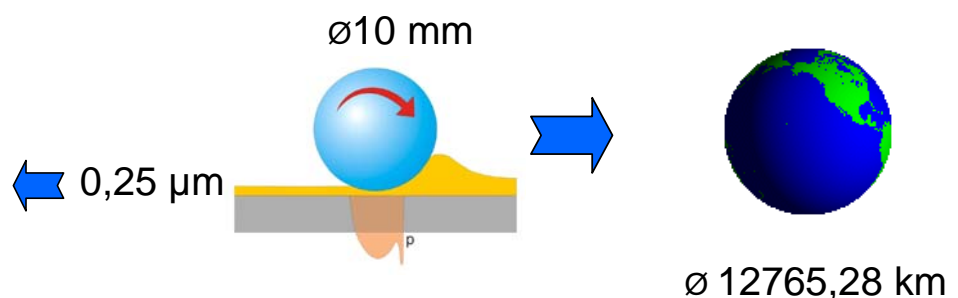
### Ermüdung (Fatigue)

Dynamische Langzeitbelastung verursacht lokale Materialermüdung. Aufgrund Gitterstrukturänderungen und damit einhergehenden Materialermüdungen bilden sich Ermüdungsrisse aus der Tiefe des Werkstoffs

## Schmierfilm



307 m

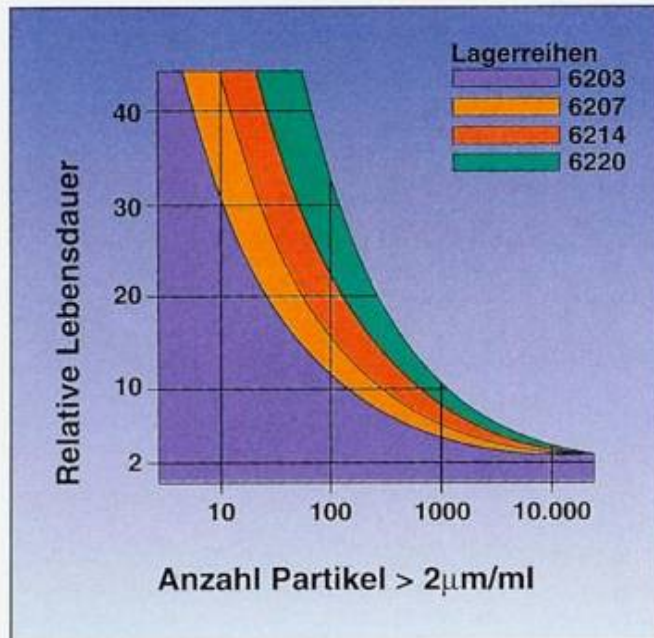


Schmierfilmdicke Gleitlager:  $s \sim 1-20 \mu\text{m}$

Wälzlager:  $s \sim 0,25 \mu\text{m}$

## Verschmutzungseinfluss fester Partikel

Um Initialschäden zu vermeiden, ist auf die Sauberkeit eine enorme Bedeutung zu legen!



Lebensdauer in  
Abhängigkeit der  
Partikelanzahl  
Quelle FIS

**Es gilt generell:** kleine Lager sind empfindlicher als große Lager, Kugellager sind empfindlicher als Rollenlager gleicher Baugröße. Je höher die Belastung, desto schneller reagieren die Lager mit Ausfall!



SEM (Scanning Electron Microscope)  
Bild eines harten Partikels, der  
Material vom Außenring eines Lagers  
abträgt

## Partikelzählung nach DIN ISO 4406

Machine / element	ISO Target
Roller bearing	16/14/12
Journal bearing	17/15/12
Industrial gearbox	17/15/12
Mobile gearbox	17/16/13
Diesel engine	17/16/13
Steam turbine	18/15/12
Paper machine	19/16/13

Empfohlene Reinheitsklassen.  
Quelle - Noria

Anzahl Partikel pro 100 ml		Ordnungszahl
Mehr als	bis einschließlich	
250.000.000		> 28
130.000.000	250.000.000	28
64.000.000	130.000.000	27
32.000.000	64.000.000	26
16.000.000	32.000.000	25
8.000.000	16.000.000	24
4.000.000	8.000.000	23
2.000.000	4.000.000	22
1.000.000	2.000.000	21
500.000	1.000.000	20
250.000	500.000	19
130.000	250.000	18
64.000	130.000	17
32.000	64.000	16
16.000	32.000	15
8.000	16.000	14
4.000	8.000	13
2.000	4.000	12
1.000	2.000	11
500	1.000	10
250	500	9
130	250	8
64	130	7
32	64	6
16	32	5
8	16	4
4	8	3
2	4	2
1	2	1
0	1	0

Bestimmung der Klassen-  
zahl auf Basis der Partikel-  
anzahl pro 100ml

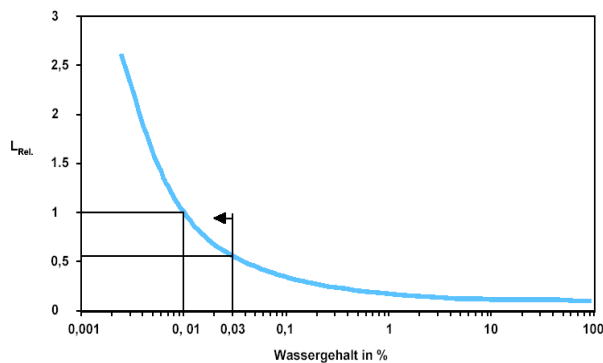


## Verschmutzungseinfluss flüssiger Einträge

**Wasser** ist lebenswichtig, aber in Schmiersystemen nicht erwünscht. Im Gegenteil.

Lebensdauererminderung bei Wälzlagern in Abhängigkeit des Wassergehaltes im Öl (Auswertung von Literaturangaben)

**FAG**



Wie sich die Lebensdauer eines Wälzlagers mit dem Wassergehalt im Öl verändert, sei in der Grafik dargestellt.

Daraus ergibt sich eine hohe Priorität, das Öl auf Wasser zu untersuchen.

Die Wasserbestimmung ist ein fixer Bestandteil unserer Analyse.

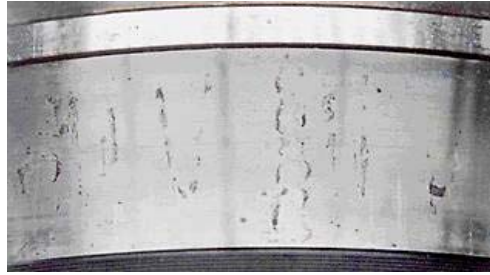


Ein Lager kann mehr als 75% der Lebensdauer einbüßen, bevor das Öl trüb erscheint!

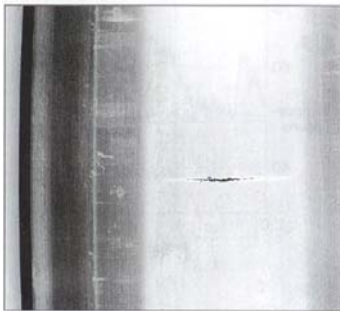
## Flüssige Kontamination → Auswirkungen



Korrosion an Tonnenrollen



Korrosion auf einem Perola IR



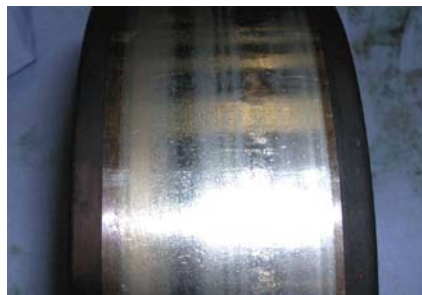
Rissbeginn an einem Pendelrollenlager-Innenring  
Ursache: Wassergehalt im Öl zu hoch !

Zulässiger Wassergehalt im Öl ist abhängig von der Ölsorte. Jedoch können bereits 100ppm Wasser im Öl die Lagerlebensdauer signifikant negativ beeinflussen!

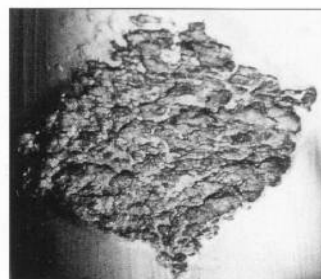
## Feste Verunreinigung → Auswirkungen



Perola IR mit vielen Eindrücken



IR mit vielen Eindrücken



Pitting auf einem Schrägkugellager IR durch harten Eindruck mit Schadensfortschritt

## Reinheitsklassen einstufen

Als mindestens erforderlich empfiehlt die Literatur für bestimmte Anwendungen die folgenden Ölreinheitsklassen (ISO 4406 / SAE AS4059) als Richtwerte:

22 / 20 / 17	19 / 17 / 14	17 / 15 / 12	16 / 14 / 11	14 / 12 / 10
12	9	7	6	4
stark verschmutzt	durchschnittlich verschmutzt z.B. Frischöl*	leicht verschmutzt	sauber	sehr sauber
nicht geeignet für Ölsysteme	Nieder- und Mitteldrucksysteme	Hydraulik- und Schmierölsysteme	Servo- /Hochdruck- hydrauliken	alle Ölsysteme

Quelle: cjc

## Farbzahl

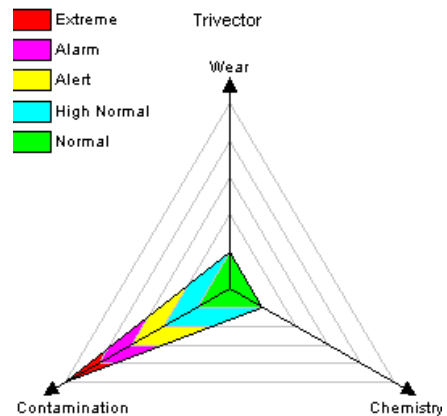


## Analyse / Beurteilung (TBE Lab)

Am Anfang jedes Ölbesandes von TBE steht das **Trivector**<sup>®</sup> Diagramm. Diese Darstellung ermöglicht dem Betrachter eine rasche Beurteilung des Öl- & Maschinenzustandes. Ermöglicht wird dies, weil die drei Achsen des Diagramms unterschiedliche Fehlergruppen darstellen. Details sind in der jeweiligen Beilage zu entnehmen.

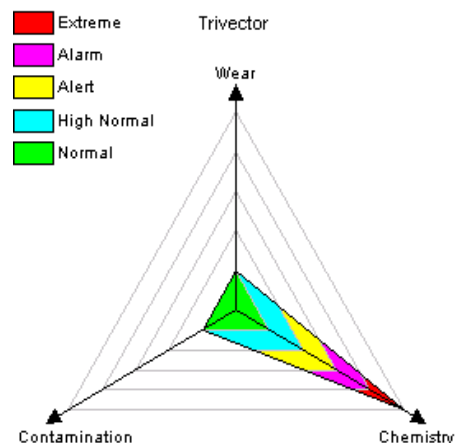
Vektor 1 „**Kontamination**“:

Verunreinigungen, flüssig oder fest, werden hier grafisch beurteilt.



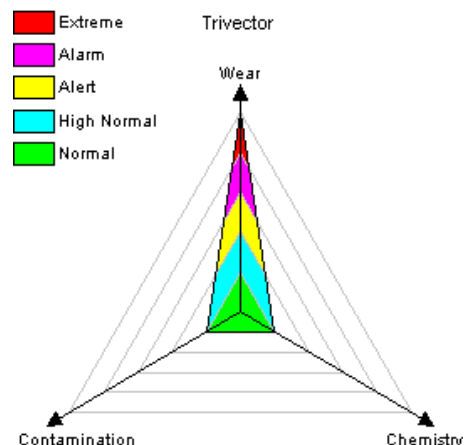
Vektor 2 „**Chemie**“

Im Falle einer chemischen Veränderung, Ölalterung oder Veränderung der Viskosität, kommt es an dieser Stelle zur Indikation.



Vektor 3 „**Abrieb**“,

Beurteilt den mechanischen Abrieb in der Ölprobe. Ein Indikator für Maschinenschäden. Der Partikelzähler sowie weiterführende WDA Analysen geben Auskunft über die mögliche Ursache.



## Voraussetzung für eine objektive Ölanalyse ist eine korrekte Entnahme der Ölprobe!

### Die 7 Grundregeln für die Entnahme von Ölproben

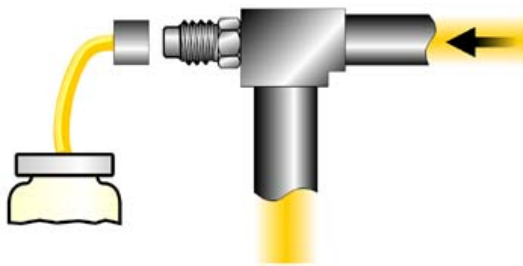
- Probe während des Betriebs oder kurz nach dem Stillstand ziehen – Schmutz und Verschleißpartikel sind noch in der Schwebelage, eventuell vorhandenes Wasser hat sich noch nicht abgesetzt
- Entnahme bei normaler Betriebstemperatur – warmes Öl lässt sich schneller entnehmen (vor allem bei zähem Getriebeöl von Vorteil)
- Öl immer nach der gleichen Methode und an der gleichen Stelle entnehmen
- Probe nach Möglichkeit vor dem Filter, nie aus dem Filter (unverhältnismäßige Anhäufung von Schmutz und Abrieb) oder nach dem Filter (Informationen werden entfernt) entnehmen
- Probe nicht kurz nach einem Ölwechsel oder nachdem größere Mengen Öl nachgefüllt wurden ziehen
- Nur in ein sauberes und trockenes Gefäß – am besten sofort in eine Original TBE–Probe flasche füllen
- Eindeutige Beschriftung der Probe (Verwechslungsgefahr)

Mit der Analyse einer Ölprobe wird der Zustand der gesamten Schmierstoffmenge überprüft, aus der sie stammt. Außerdem sollen die ermittelten Werte Rückschlüsse auf das Aggregat selber ermöglichen (Zustandsbestimmung). Die entnommene Probe steht damit stellvertretend für den verwendeten Schmierstoff an sich.

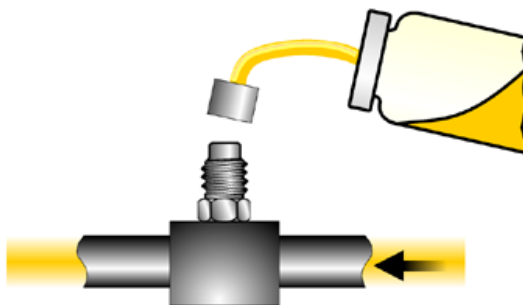
Die Ölentnahme muss daher repräsentativ, zeitgerecht und richtig dokumentiert erfolgen. Nur so können vom Labor die richtigen Schlüsse aus den ermittelten Werten gezogen werden. Bei der Probennahme können sich jedoch Fehler einschleichen, die sich unmittelbar auf die Untersuchungsergebnisse auswirken. Um solche Risiken auszuschließen, sollten folgende Regeln befolgt werden:

- Ideal ist die Probennahme während des Betriebs oder kurz nach einem Stillstand. Schmutz und Verschleißpartikel sind dann noch in der Schwebelage. Eventuell vorhandenes Wasser hat sich noch nicht abgesetzt. Das Öl hat noch in etwa die Betriebstemperatur. Es ist damit niedrigviskoser und leichter fließfähig als im kalten Zustand.
- Das Öl sollte immer an der gleichen Stelle entnommen werden. Diese muss auch für zukünftige Probennahmen leicht zugänglich sein. Eine Ölprobe, die direkt aus dem Ölsumpf, dem Ölfilter oder an der tiefsten Stelle gezogen wird, kann zuviel Schlamm, abgesetztes Wasser oder Abrieb enthalten. Eine von der Ötoberfläche abgeschöpfte Probe kann mit einem Wasser-Luftgemisch versetzt sein.
- Wird eine Probe kurz nach dem Filter entnommen, sind in ihr kaum noch Verschleißmetalle und Verunreinigungen vorhanden. Wichtige Informationsträger gehen so verloren.

- Bei Reihenuntersuchungen muss die Entnahme immer nach der gleichen Methode erfolgen. In einigen Fällen bietet die Ablassschraube die einzige Möglichkeit für eine Entnahme. Dieses Verfahren verlangt zwar keine Hilfsmittel, erfordert aber einiges Geschick. Dabei wird zunächst ein halber Liter Öl als Spülöl abgelassen. Erst dann wird das Probengefäß in den Ölstrahl gehalten (Ablasshahn dazwischen nicht schließen). In keinem Fall soll mit dem Probengefäß aus dem abgelassenen Öl geschöpft werden oder das Filtergehäuse ins Probengefäß entleert werden.
- Besser geeignet, aber aufwendiger in der Installation, ist die Entnahme der Ölprobe über ein spezielles Entnahmeventil. Bei der Hydraulik übernimmt ein Minimess-Anschluss diese Funktion. Der Entnahmepunkt sollte möglichst in der Rücklaufleitung vor dem Filter eingebaut werden. Falls diese Installation nicht möglich ist, kann der Einbau des Ventils alternativ in halber Höhe des Ölniveaus im Öltank erfolgen. Das Ventil selbst sollte mit einer Staubschutzkappe ausgerüstet sein. Vor der Entnahme ist es mit einem sauberen, fusselreien Tuch zu reinigen, damit kein Schmutz in das Probengefäß gelangt. Bevor die eigentliche Probennahme durchgeführt wird, sollte das Ventil mit einer kleinen Ölmenge freigespült werden.

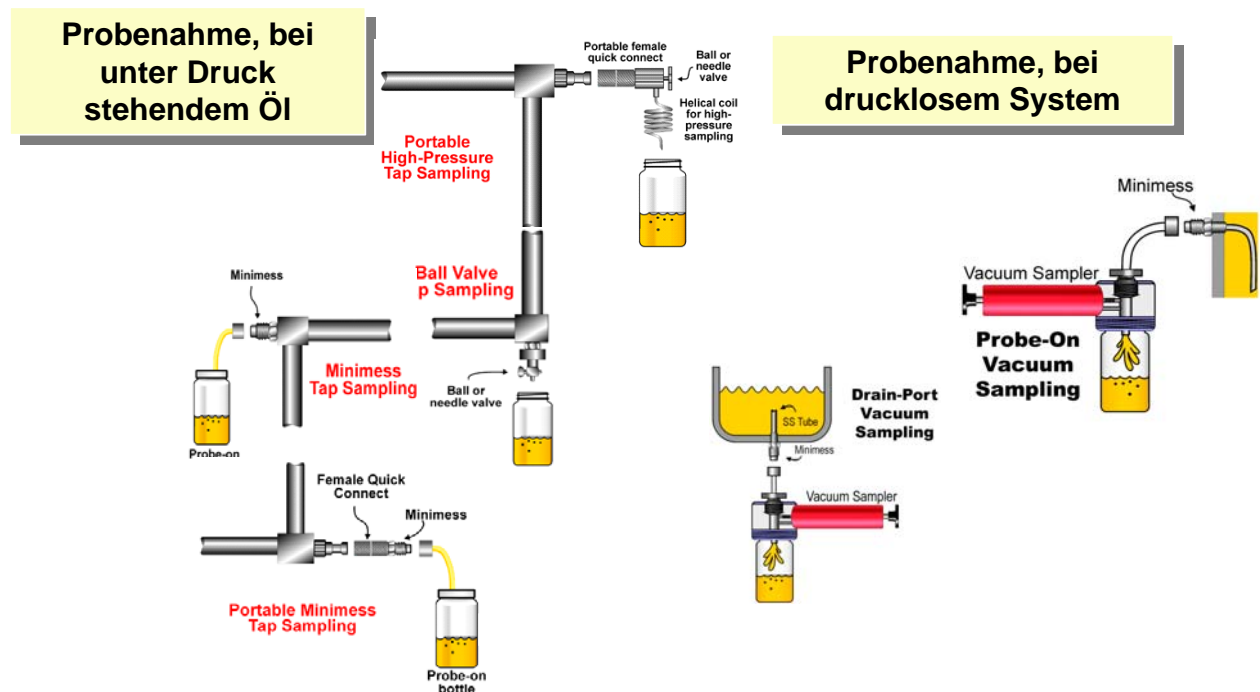


**Richtige Entnahme**  
Das Öl ist in Bewegung,  
vorbeifließende Partikel  
werden erfasst.



**Falsche Entnahme!**  
Schnell fließende Partikel  
strömen vorbei.  
Laminare Strömungen können  
die Aussagekraft reduzieren.

## Möglichkeiten einer Probeentnahme



## Hilfsmittel zur Ölprobenentnahme

Einfach und problemlos erfolgt die Entnahme mit einer speziellen Probenpumpe. Sie kommt besonders dann zum Einsatz, wenn zum Zeitpunkt der Probennahme kein Ölwechsel erfolgt oder wenn die Ölprobe durch eine Ölstaböffnung gezogen werden soll. Die Probeflasche wird direkt auf die Pumpe geschraubt, wobei die Pumpe selbst mit dem Öl nicht in Berührung kommt!



*Techniker bei der Probennahme.  
Zum Einsatz kommt unsere  
Vakuumpumpe Modell 92610.*

## Ölprobenflaschen

Die Probengefäße müssen trocken, sauber und stabil sein. Werden die Proben per Post versandt, sind Kunststofffläschchen zu bevorzugt (Bruchgefahr). Alte Farbdosen, Getränkeflaschen oder gar Kaffeebecher sind für eine Probennahme absolut ungeeignet, sogar gefährlich! Besondere Vorsicht ist bei einigen Syntheseölen geboten, die Plastik angreifen oder weich werden lassen. Die ins Öl diffundierten Weichmacher können sogar die Zusammensetzung des Schmierstoffs verändert. Unabhängig von der Methode, mit der die Probe entnommen wird, sollte das Öl immer direkt in ein TBE Ölprobenfläschchen gefüllt werden. Es ist für Schmierstoffe, synthetische Flüssigkeiten und für Kraftstoffe geeignet. Jedes TBE Ölprobenfläschchen ist speziell auf Reinheit untersucht, damit auch Partikelzählungen problemlos durchgeführt werden können. Außerdem lässt es sich sauber verschließen, seine Deckeldichtung besteht aus fusselfreiem Plastikschaum mit Alubeschichtung und nicht aus Kork.