

# ABC DER TRIBOLOGIE

**MAAGTECHNIC** an **ERIKS** company

# ABC DER TRIBOLOGIE

**11. Auflage, Januar 2018**

Die Autoren  
M. Oesch und D. Hêche



**Shell**  
**Distributor**  
Technical Support

Tribologie ist die Lehre von der wissenschaftlichen Erforschung und technischen Anwendung der Gesetzmässigkeiten und Erkenntnisse auf den Gebieten der Reibung, der Schmierung und des Verschleisses.

Das «ABC der Tribologie» erläutert im **TEIL 1** die wesentlichsten in diesem Wissenschaftszweig angewandten Ausdrücke und Begriffe. Es soll bei der Behandlung zu Fragen der Schmierung und beim Umgang mit Schmierstoffen dem besseren Verständnis der in der Fachliteratur, in Schmiervorschriften und anderen schmiertechnischen Unterlagen vorkommenden chemischen, physikalischen und technischen Angaben dienen.

Der **TEIL 2** widmet sich ausschliesslich der Entstehung, der Förderung und Verarbeitung von Erdöl und dessen Erzeugnisse.

Im **TEIL 3** sind schliesslich die in der Tribologie gebräuchlichsten Mess- und Prüfverfahren umschrieben. Zudem werden deren Ergebnisse in kurzen prägnanten Sätzen erläutert.

Für Zahlenwertangaben werden grundsätzlich SI-Einheiten verwendet. Einzig bei Temperaturangaben müssen, mit Rücksicht auf die amerikanische Praxis, stellenweise noch Grad Fahrenheit übernommen werden.

Im Abschnitt SI-Einheiten werden die grundlegenden Änderungen und Umrechnungen beschrieben.

Der Technische Kundendienst der Maagtechnic ist jederzeit für ergänzende Auskunft über tribologische Fachfragen bereit und nimmt sich der schmiertechnischen Probleme aus der Praxis an.

Maagtechnic AG Dübendorf

Copyright © Maagtechnic AG

Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Weitere Exemplare können zum Preis von CHF 30.– bezogen werden.

Einführung.....	2
<b>TEIL 1</b> Begriffe und Abkürzungen .....	4–105
<b>TEIL 2</b> Ursprung, Förderung, Verarbeitung und Umgang von und mit Erdölprodukten.....	106–151
<b>TEIL 3</b> Analyse-, Mess- und Prüfverfahren .....	152–160

### Tabellen und Grafiken

Umwandlungstabelle Englergrade in mm <sup>2</sup> /s .....	97
Umwandlungsgraphik verschiedener Viskositäten .....	98
Temperatur-Umwandlungstabelle .....	99
Diagramm zur Bestimmung der Viskosität von Ölmischungen .....	100
Häufig gebrauchte Umrechnungen aus britischen und amerikanischen Einheiten .....	101
Griechisches Alphabet (nach DIN 1453-1).....	102
Abkürzungen .....	103
Schema Erdölgewinnung, Raffination, Mineralölprodukte .....	118
Prinzpschema der GtL Produktion.....	120
Prinzipschema der Herstellung von Basisölen .....	133

**Abschrecköle**

→ Härteöle

**ACEA**

Abkürzung für: Association des Constructeurs Européens d'Automobiles. Ab 1991 Nachfolgeorganisation für → CCMC. Anfänglich wurde die Klassenbezeichnung von CCMC (G-4, G-5, D-4, D-5 und PD-2) übernommen. Seit Januar 1996 gelten die ACEA-Klassenbezeichnungen nach folgender Tabelle.

ACEA Klassen ab 2008									
Für Benzin- und leichte Dieselmotoren	A1/B1		A2/B2*		A3/B3		A3/B4		A5/B5
Motorenöle die mit Abgasnachbehandlungssystem kompatibel sind	C1	C2	C3	C4					
Für schwere Dieselmotoren	<del>E1</del> *	<del>E2</del> *	<del>E3</del> *	E4	<del>E5</del> *	E6	E7		E9

\* Die gestrichenen Sequenzen haben keine Gültigkeit mehr.

**AdBlue**

Markenname einer wässrigen 32.5% Lösung von Harnstoff in Wasser. AdBlue wird in der selektiven katalytischen Reduktion (SCR-Technologie), zur Reduktion von Stickoxyden (NOx) aus den Verbrennungsgasen, verwendet. Der Einsatz erfolgt in Nutzfahrzeugen und Personenwagen zur Erreichung der Euro 4, 5 und 6 Abgasnormen. Der Harnstoff wird bei den hohen Temperaturen im Abgassystem in Ammoniak (NH<sub>3</sub>) umgesetzt, welcher dann mit den Stickoxyden zu den Edukten reagiert. AdBlue kann nicht in den Kraftstofftank gegeben werden, sondern benötigt ein separates Tanksystem, aus dem es in das Abgassystem eingespritzt wird. Harnstofflösungen werden schon seit Jahren für denselben Zweck in industriell genutzten Motoren und thermischen Kraftwerken eingesetzt.

**Additive**

Additive, Dopes, Zusätze oder Wirkstoffe genannt, sind Sammelbegriffe für chemische Verbindungen, welche den Schmier- oder Treibstoffen beigelegt werden. Additive verleihen den Schmierstoffen erwünschte Eigenschaften, welche sie von Natur aus nicht oder nicht im erforderlichen Ausmass besitzen oder unterdrücken unerwünschte Eigenschaften. Die Dosierung der Additive erfolgt in genauer Abstimmung mit den Basisölen. Additive für Schmierstoffe sind beispielsweise: Farbstoffe, Stockpunkterniedriger, Viskositätsindexverbesserer, Oxydations- und Korrosionsinhibitoren, Festschmierstoffe wie Graphit und/oder → Molybdändisulfid (MoS<sub>2</sub>), Dispergentien und Detergentien, Antischaum- und Netzmittel, Haftfähigkeitsverbesserer, Hochdruckadditive (EP und HD-Additive), Schmierfähigkeitsverbesserer.

**ADR**

Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse) Schmierstoffe sind bisher, bis auf wenige Ausnahmen, nicht von den ADR Richtlinien betroffen, gelten also nicht als Gefahrgut im Sinne von ADR.

**AGMA**

Die AGMA Schmierstoffempfehlungen gibt es für offene und geschlossene Industriegetriebe. Die Getriebeöle sind eingeteilt in neun Viskositätsbereiche. Die Auswahl der Getriebeöle (unlegiert, inhibiert, EP-legiert und compoundiert) erfolgt unter Berücksichtigung der Getriebebauart, der Betriebstemperatur, der Belastung und der Viskositätsbereiche.

**Alkalische Additive**

→ pH-Wert

**Alkalinität**

→ TBN

**Alkane**

→ paraffinbasierte Öle

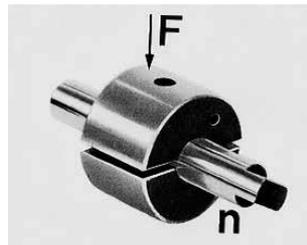
**Alkene**

→ Olefine

**Almen-Wieland-Test**

Der Almen-Wieland-Test dient der Bestimmung des Druckaufnahmevermögens von Schmierölen. In der Testapparatur rotiert eine 6,35 mm starke Welle in einer halbierten Lagerschale. Diese Teile bestehen aus nicht gehärtetem Stahl. Die Prüfkörper sind in das zu prüfende Öl eingetaucht. Der Druck auf die Lagerschalen wird solange erhöht, bis die Teile anfressen (verschweissen), wobei der Antriebslappen an der Welle bricht. Es gibt auch Fälle, wo kein Anfressen eintritt. Die Welle wird dann ausgewalzt. Der erreichte Wert der Anpresskraft in N (Newton) ist ein Mass für das Druckaufnahmevermögen des Schmierstoffes.

Prüfkörper:	Welle, 2 Lagerschalen
Drehzahl:	200 min <sup>-1</sup>
Gleitgeschwindigkeit:	0,066 m/s
Belastung:	bis 16000 N
Messgrössen:	Schweisslast, Abrieb Temperatur, Reibungskraft
Aussagen:	Hochdruckverhalten von Ölen und Dispersionen

**Alterungsinhibitoren**

→ Oxydationsstabilität

**Alterungsprodukte**

→ Oxydationsstabilität

**Alterungsstabilität**

→ Oxydationsstabilität

**Altöl**

Altöle im Sinne der Abfallverordnung sind gebrauchte, halbflüssige oder flüssige Stoffe, die ganz oder teilweise aus Mineralöl oder synthetischem Öl, einschliesslich ölhaltiger Rückstände aus Behältern, Emulsionen und Wasser-Öl-Gemischen bestehen. Zwecks einheitlicher Altölverwertung wurden sämtliche Schmierstoffe mit einem 6-stelligen, europaweit gültigen Abfallschlüssel versehen. Dieser findet sich auf den Sicherheitsdatenblättern im Kapitel 13. Schmierstoffe fallen im Abfallschlüssel unter die Kapitel 12 und 13.

**Anfressen**

Das Anfressen ist das ständige Verschweissen und Losbrechen zweier ferritischer Gleitpartner. Das heisst, dass an den Kontaktflächen Temperaturen von >800°C herrschen.

**Anilinpunkt**

Als Anilinpunkt wird die Temperatur bezeichnet, bei der sich eine homogene Mischung von gleichen Volumenteilen einer Ölprobe und Anilin beim Abkühlen entmischt. Der Anilinpunkt gestattet gewisse Rückschlüsse auf die Zusammensetzung von Mineralölen, da sich die Entmischungstemperatur für → Aromaten (unter 0°C), → Naphthene (30–50°C) und → Paraffine (über 50°C) stark unterscheidet.

**Antioxydantien**

→ Inhibitoren

**API**

International bekannt sind die API-Klassierungen für Gruppierung von Grund-, Motoren- und Getriebeölen. Im Gegensatz zur → SAE-Klassierung, welche sich nur auf die Viskosität der Öle bezieht, stützt sich die API-Klassierung auf die Betriebsbedingungen.

## 1. Grundöl

Die API klassiert neben Motoren- und Getriebeölen auch die zur Herstellung derselben und Industrieöle benötigten Grund- oder Fabrikationsöle. Diese werden nach ihrem chemischen Aufbau und, oder deren Viskositätsindex (VI) in fünf Gruppen eingeteilt.

API Group	Alternative Bezeichnung	Charakterisierung und Einsatzgebiet
I	HVI	Paraffinbasisches Grundöl, mit einer Sättigung von <90 %, einem Schwefelgehalt von >0.03 % und einem VI von >80–<120. Standard Industrieöle sowie Prozessöle.
II	HHVI Star II	Stark hydriertes paraffinbasisches Grundöl, mit einer Sättigung von >90 %, einem Schwefelgehalt von <0.03 % und einem VI von >80–<120. Qualitätsmotoren- und Turbinenöle.
III	VHVI	paraffinbasisches Grundöl, mit einer Sättigung von >90 %, einem Schwefelgehalt von <0.03 % und einem VI von >120. Premium Motorenöl mit verringertem Verdampfungsverlust.
	XHVI	Aus Wachs produziertes Syntheseöl mit einem sehr hohem VI von >140. Premium Motorenöl mit verringertem Verdampfungsverlust.
	GTL	Aus Erdgas, nach Fischer-Tropsch Prozess produziertes Syntheseöl mit einem VI von >120. Premium Motoren- und Industrieöl mit geringem Verdampfungsverlust und hohem Flammpunkt.
IV	PAO	Syntheseöl, produziert durch Oligomerisation von $\alpha$ -Olefinen. Extrem tiefer Stockpunkt bei gleichzeitig hohem VI 120-150. Synthetische Schmierstoffe für Motoren und Getriebe sowie Schmierstoffe für die Lebensmittelindustrie.
V	LVI	Grundöl mit einem VI <80, extreme tiefem Stockpunkt und erhöhtem Aromatengehalt. Hergestellt aus naphthenischem Erdöl. Isolier- Kältekompressor- sowie Prozessöle.
	PIO	Flüssigkeiten hergestellt durch Oligomeriation von Olefin. Verwendung ähnlich wie PAO.
	Ester	Chemisch hergestellte Produkte für die Weiterverarbeitung in umweltverträglichen, Feuer resistenten, und oder Temperatur beständigen Schmierstoffen sowie Anwendungen in der Luftfahrt.

## 2. Motoren

Gemäss der Klassierung aus dem Jahre 1952 wurde zunächst in Benzinmotoren (Kennbuchstabe M) und Dieselmotoren (Kennbuchstabe D) unterteilt. Beide Gruppen enthielten, nach Betriebsbedingung abgestuft, eine weitere Unterteilung.

- ML und DG entsprachen einem leichten Betrieb
- MM und DM entsprachen einem mittelschweren Betrieb
- MS und DS entsprachen einem schweren Betrieb

Zur Gruppe DS gehörten im Allgemeinen aufgeladene Dieselmotoren.

Nach dem System (1970) wurden zwei Hauptgruppen gebildet: Service- oder S-Öle (hauptsächlich für den Verkauf an Tankstellen vorgesehen) und Commercial- oder C-Öle (hauptsächlich für Fahrzeugparks in Transport- und Bauwesen sowie in der Landwirtschaft vorgesehen).

Jede Hauptgruppe wird alphabetisch mit einem Zusatzbuchstaben weiter unterteilt.

Service	Beschreibung	Status 2015
SA	Unlegierte Mineralöle, keine Leistungsanforderungen, ab 1930	Ungültig
SB	Motorenöle mit Oxydations- und Korrosionsschutz, ab 1951	Ungültig
SC	Motorenöle, $\leq 1967$	Ungültig
SD	Motorenöle, $\leq 1971$	Ungültig
SE	Motorenöle, $\leq 1979$	Ungültig
SF	Motorenöle, $\leq 1988$	Ungültig
SG	Motorenöle, $\leq 1993$	Ungültig
SH	Motorenöle, $\leq 1996$	Ungültig
SJ	Motorenöle, $\leq 2001$ erhöhte Motorensauberkeit	Gültig
SL	Motorenöle, $\leq 2004$ , erhöhte Leistungsanforderungen	Gültig
SM	Motorenöle, $\leq 2010$ , Treibstoffeinsparung und Oxidationsstabilität	Gültig
SN	Motorenöle, ab 2011, Treibstoffeinsparung und Emissionswerte	Gültig

Commercial	Beschreibung	Status 2015
CA	Motorenöle entsprechend MIL-L-2104 A, $\leq 1959$	Ungültig
CB	Motorenöle entsprechend MIL-L-2104 B, $\leq 1961$	Ungültig
CC	Motorenöle entsprechend MIL-L-2104 B, $\leq 1990$	Ungültig
CD	Motorenöle entsprechend MIL-L-2104 D, $\leq 1994$ , mit Turbolader	Ungültig
CD-II	2-Takt-Dieselmotoren, $\leq 1994$	Ungültig
CE	Motorenöle entsprechend MIL-L-2104 E, $\leq 1994$ mit Turbolader	Ungültig
CF	Motorenöle, $\geq 1994$ , ersetzt CC, CD und CE	Ungültig
CF-2	2-Takt-Dieselmotoren, $\geq 1994$	Ungültig
CF-4	Motorenöle, $\geq 1990$ ersetzt CD und CE	Ungültig
CG-4	Motorenöle, $\geq 1995$ ersetzt CD, CE und CF-4	Ungültig
CH-4	Motorenöle, $\geq 1998$ und älter, US Emissionsstandard 1998	Gültig
CI-4	Motorenöle, $\geq 2002$ und älter, US Emissionsstandard 2004	Gültig
CJ-4	Motorenöle, $\geq 2010$ und älter, US Tier 4 Emissionsstandard	Gültig

Die Klassierungsstufen API SA bis SH sowie CA bis CG-4 sind ungültig. Sie sind hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Für europäische Motoren sind die  $\rightarrow$  ACEA-Spezifikationen von Bedeutung.

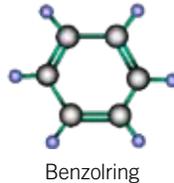
### 3. Getriebe

Die Getriebeöle für hand- oder servobetätigte Schaltgetriebe und Achsantriebe werden in 5 Stufen eingeteilt: API GL-1 bis GL-5. Die Stufe GL-1 gilt für geringe Anforderungen und die Stufe GL-5 für höchste Anforderungen (Hypoidantriebe mit grosser Achsversetzung von Personen- und Nutzfahrzeugen, Baumaschinen usw.).

Die Klassierungen GL-1 bis GL-3 sind heute überholt, GL-6 ist obsolete. Die Komponenten der Achsantriebe für die Praxisversuche sind nicht mehr erhältlich. In der Praxis spricht man auch von nicht-legierten, mildlegierten, Hochdruck- und Höchstdruckgetriebeölen.

### Aromatische Öle

Aromatische Öle (auch Aromaten genannt) sind Mineralöle, in denen wasserstoffarme ringförmige Kohlenwasserstoffe mit einem hohen, aber nicht überwiegenden Anteil vorhanden sind. Benzol und seine Abkömmlinge bilden dabei die Grundbausteine. Wegen höherer Reaktionsfreudigkeit sind aromatische Öle weniger alterungsstabil. Man erkennt sie an einem tiefen Anilinpunkt und hoher Dichte. Einige Aromaten sind in hohem Mass gesundheitsschädlich.



### Aschegehalt

Es wird zwischen Oxydasche und Sulfatasche unterschieden.

Unter Oxydasche versteht man den bei 750 bis 800°C unter Luftzutritt unverbrennbarem, nicht flüchtigem Rückstand des Schmierstoffes. Die Bestimmung des Gehaltes an Oxydasche dient bei Neuölen ohne → Additive zur Beurteilung des Reinheitsgrades. Bei legierten Ölen erlaubt sie, besonders dann, wenn sie mit einer chemischen oder spektroskopischen Untersuchung der Asche verbunden wird, Rückschlüsse auf den Gehalt und die Natur der → Additive und eventuell auch auf das angestrebte Leistungsniveau des Öles.

Unter Sulfatasche versteht man den bei 575 bis 600°C unter Luftzutritt unverbrennbarem, nicht flüchtigem und vorwiegend aus Sulfaten bestehendem Rückstand des Schmierstoffes. Bei Schmierfetten wird in der Regel nur die Sulfatasche bestimmt. Die Bestimmung der Sulfatasche ermöglicht sinngemäss die gleichen Rückschlüsse auf das untersuchte Produkt wie die Bestimmung der Oxydasche. Der Aschegehalt wird in Massenprozenten angegeben.

### Asphalt

Asphalt ist nach dem heute geltenden Begriff ein Strassenbaumaterial bestehend aus → Bitumen und mineralischen Baustoffen (Sand, Kies, etc.).

### Asphaltene

Unter Asphaltene versteht man in der Mineralölchemie solche Erdölbestandteile, die in einem niedrigsiedenden Lösemittel wie zum Beispiel n-Heptan, nicht löslich sind.

### ASTM

Abkürzung für: **A**merican **S**ociety for **T**esting and **M**aterials. Dies ist eine amerikanische Normenorganisation, welche sich u. a. mit der Normierung von Materialprüfmethoden befasst.

### ATF

ATF bedeutet: **A**utomatic **T**ransmission **F**luid (Flüssigkeit für automatische Getriebe). Es handelt sich dabei um dünnflüssige, meist Mineralöle, mit hohem → Viskositätsindex, tiefem Pourpoint, guter Scherstabilität, hoher Alterungsbeständigkeit und günstigem → Schaumverhalten.

Bei den herkömmlichen automatischen Fahrzeuggetrieben handelt es sich um Aggregate mit mehreren Schaltstufen, wobei der Gangwechsel automatisch erfolgt. ATF-Flüssigkeiten werden nach anerkannten Versuchsmethoden der Getriebehersteller geprüft. Entsprechend gibt es für ATF Fluide mehrere Bezeichnungen wie zum Beispiel die Marken Bezeichnung → Dexron® von GM oder → Mercon® von Ford und viele mehr. ZF und Voith beschreiben ATF Fluide in werkseigenen Normen. Eine neue Generation von automatischen Getrieben ist mit einem stufenlos verstellbaren Scheibensatz ausgerüstet. In diesen sogenannten CVT-Getrieben (Continuously Variable Transmission) erfolgt die Änderung der Übersetzung stufenlos. ATF für solche Getriebe (mit Lebensdauerschmierung) müssen weit höheren Anforderungen genügen als die bisher üblichen Flüssigkeiten.

### Atmosphärische Destillation

→ Destillate

### Aufsteifmittel

Aufsteifmittel sind Stoffe, die das normale Fliessverhalten reiner Flüssigkeiten zu ändern vermögen. In der Schmierstoffindustrie verwendet man Aufsteifmittel speziell zur Schmierfetherstellung. Dabei werden hauptsächlich folgende Arten unterschieden:

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| a) Seifen                      | Lithium-, Calcium-, Aluminiumseifen; weniger aktuell sind heute Natrium- und Bariumseifen. Man spricht z. Bsp. von Lithiumseifenfetten usw.  |
| b) Anorganische Aufsteifmittel | Anorganische Stoffe, wie z. Bsp. Bentonit oder Montmorillonit, werden mit speziellen Verfahren lipophil, das heisst, ölfreundlich gemacht. So veränderte anorganische Aufsteifmittel haben die Eigenschaft, in Ölen zu quellen. Man spricht dann von seifenfreien Fetten. Weiter werden Polyharnstoff und Microgel zu den seifenfreien Fetten gezählt. |

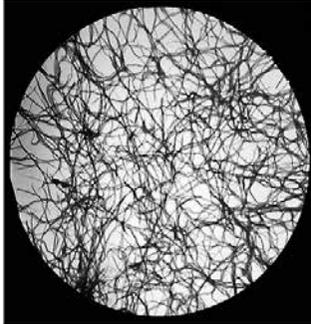
## c) Komplekseifen

Komplexfette sind eine besondere Art von verseiften Fetten, zu deren Herstellung neben den üblichen Fettsäuren noch andere, meist niedermolekulare organische oder anorganische Säuren verwendet werden.

Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Lithiumseifenfett-Strukturen (Vergr. 4000-fach).



Fett aus dem Rührwerk



Fett nach der Homogenisierung

### Ausbluten

→ Ölausscheidung

### Baader Test

Test zur Prüfung der Oxydationsstabilität von Isolierölen nach DIN 51 554 (heute praktisch bedeutungslos). Das Isolieröl wird bei diesem Test bei erhöhten Temperaturen und unter Zufuhr von Sauerstoff künstlich gealtert. Seine Alterungsstabilität kann z. Bsp. aus der Neutralisationszahl und dem Schlammgehalt ermittelt werden.

### Bakterienbefall

Im Rahmen der hier behandelten Begriffe interessiert vor allem die bakterielle Zersetzung von wässrigen Kühlschmierstoffen (KSS) für die Metallbearbeitung.

Bei der Bearbeitung metallischer Werkstoffe – insbesondere von Eisenmetallen – ist die Vermeidung von Korrosionserscheinungen während und nach der Bearbeitung von entscheidender Bedeutung. Eine alkalische Einstellung der Emulsionen ist deshalb unbedingt notwendig.

Nun gedeihen aber Bakterien im alkalischen Bereich besonders gut. Pilze andererseits, als eine andere Gruppe von Mikroorganismen, bevorzugen den sauren Bereich. In alkalischen Emulsionen können sich Bakterien (Zersetzungskeime) innerhalb weniger Tage in die Milliarden pro mm<sup>3</sup> vermehren. Die bakterielle Zersetzung von KSS-Emulsionen macht sich durch einen sehr unangenehmen Geruch und durch Aufspaltung der Emulsion in Wasser und Öl bemerkbar. Man spricht dann von Öl-Aufrahmung. Insbesondere während der Arbeitsruhe z. Bsp. über das Wochenende sind es die anaeroben Bakterien, deren Stoffwechselprodukte in der ruhenden Emulsion bei Sauerstoffmangel das Wachstum von Keimen begünstigen und Sulfonate aus den Emulgatoren reduzieren und damit die Spaltung der Emulsion fördern. Daher rührt der bekannte «Montagsgeruch» in Metallbearbeitungswerkstätten.

Durch Verwendung moderner Additivtechnologien in Metallbearbeitungs-Konzentraten bzw. -Emulsionen kann die bakterielle Zersetzung verzögert oder verringert werden; sie lässt sich jedoch durch kein Mittel vollkommen und auf die Dauer ausschalten. Eine periodische Überwachung der Füllungen ist deshalb angebracht.

### Barrel

Engl. Fass. Das Barrel ist ein internationales Hohlmaß welches in der Mineralölbranche seit Beginn der Erdölförderung verwendet wird. Fördermengen und Preisnotierungen werden in Barrel bzw. Dollar/Barrel festgelegt.

1 Barrel = 42 US Gal. = 159 Liter

### Batch

Unter einem Batch, einer Charge oder einem Los, versteht man in der Produktion die Gesamtheit sämtlicher Einheiten eines Produktes, die unter gleichen Bedingungen erzeugt, hergestellt oder verpackt wurden. Einer solchen Gesamtheit wird meist eine eindeutige Batchnummer, Losnummer oder Chargennummer zugewiesen, und diese Nummer wird auch häufig auf den Produkten dieses Loses vermerkt.

Es ist in vielen Situationen hilfreich, ein Produkt mithilfe seiner Losnummer auch nach Auslieferung und Verkauf an den Kunden einem eindeutigen Los zuzuordnen.

**Belastungswert** → **Vierkugelapparat**

### Benetzungsvermögen der Öle

Unter Benetzungsvermögen ist die Fähigkeit eines Öles bzw. eines Öltropfens, sich auf einer Fläche auszubreiten, zu verstehen. Das Benetzungsvermögen oder die → Polarität ist abhängig von der Oberflächen- bzw. Grenzflächenspannung des Öles. Je kleiner diese Spannung ist, desto grösser ist die Benetzung eines Werkstoffes oder einer Schmierstelle. Hinreichendes Benetzungsvermögen ist für die → hydrodynamische Schmierung notwendig, da andernfalls der Schmierstoff nicht in den Schmierspalt befördert wird.

**Bentonit** → **Aufsteifmittel**  
**Biologisch abbaubare Schmierstoffe** → **Umweltverträgliche Schmierstoffe**

### Bitumen

Als Bitumen wird der Rückstand bei der → Vakuum-Destillation von Erdöl bezeichnet. Dank seiner bindenden und klebenden Eigenschaften und seiner Wetterbeständigkeit findet Bitumen als → Asphalt im Strassenbau, als Bautenschutz, als Bindemittel für Dachpappen und für Isolieranstriche an Fundamenten, Verwendung.

### Blauer Engel

Bezeichnung für ein Umweltzeichen, das vom deutschen Umweltbundesamt nach Richtlinien des RAL für Produkte vergeben wird, die bei einer ganzheitlichen ökologischen Betrachtung, im Vergleich zu konventionellen Schmierstoffen günstigere Eigenschaften in Bezug auf die Umweltrelevanz verfügen. Folgende RAL-Normen gelten für Schmierstoffe. Siehe auch: → **Ecolabel**

RAL-UZ 48 Biologisch abbaubare Kettenschmierstoffe  
 RAL-UZ 64 Biologisch abbaubare Schälöle  
 RAL-UZ 64 Biologisch abbaubare Schmierfette  
 RAL-UZ 79 Biologisch abbaubare Hydrauliköle



### Bleicherde

Hydrosilikat oder Tonerde-Silikat des Aluminiums oder Magnesiums. Ungesättigte Verbindungen wie Harze und Asphaltene aus dem Öl werden durch Bleicherde absorbiert. Das Öl wird dadurch aufgehellt oder bleicher.

### Bore Polishing

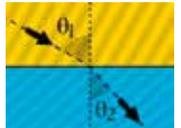
Darunter versteht man die Bildung von spiegelglatten Oberflächenpartien auf der Lauffläche von Zylindern von aufgeladenen Dieselmotoren. Die Dichtwirkung wird zwischen Kolbenringen und Laufbüchsen vermindert, dadurch tritt ein erhöhter → Ölverbrauch auf. Neben konstruktiven Einzelheiten und Betriebsbedingungen hat das Motorenöl einen entscheidenden Einfluss auf das Bore Polishing.

### Brechungsindex

Formel:

$$\frac{\sin \text{Einfallswinkel } (\theta_1)}{\sin \text{Brechungswinkel } (\theta_2)} = \text{Brechungsindex } (n)$$

Der Brechungsindex ergibt sich aus dem Lichtbrechungsgesetz, das besagt, dass das Licht am Übergang von zwei optisch andersartigen Medien eine Richtungsänderung (Refraktion) erfährt. Die Brechung ist eine Folge der verschiedenen Ausbreitungsgeschwindigkeit in den betrachteten Medien. In der Praxis macht man sich diese Eigenschaft des Lichtes z. Bsp. bei Konzentrationsmessungen und Prüfungen auf die Reinheit einer Flüssigkeit zunutze. Die Zahlenwerte sind auf die D-Linie des Natriumlichtes bezogen.



### Bremsflüssigkeit

Hydraulikflüssigkeiten die in Bremsanlagen von Fahrzeugen eingesetzt werden. Diese Flüssigkeiten müssen auch bei Wasseraufnahme einen hohen Siedepunkt, einen guten Korrosionsschutz und gute Schmiereigenschaften aufweisen. Als Grundflüssigkeit werden meistens → Polyglykole, Borsäureester, Glykoläther und Silikonöl verwendet. Die üblichen Normen für Bremsflüssigkeiten sind DOT 3, DOT 4 und DOT 5.1 sowie DOT 5 für Silikonöle. Bremssysteme die mit Mineralöl befüllt sind bilden die Ausnahme und dürfen keines Falls mit Bremsflüssigkeiten nach DOT Norm befüllt werden.

**Brennpunkt** → **Flammpunkt**

### Bright Stocks

Bright Stocks sind hochviskose Rückstände aus der → Vakuumdestillation, welche durch geeignete → Raffination von → Asphaltenen, Hartparaffin und anderen unerwünschten Bestandteilen befreit wurden. Bright Stocks sind praktisch ausschliesslich → paraffinische Mineralöle. Sie werden zum Einstellen der Viskosität von Neutralölen verwendet. Sie vermögen die Filmfestigkeit des Öles bei mässiger Flächenpressung zu erhöhen, dürfen aber z. Bsp. den Motorenölen nicht zugesetzt werden, da sie die Rückstandsbildung im Verbrennungsraum begünstigen. Dadurch steigt bei den hochverdichtenden Benzinmotoren die Neigung zu Glühzündungen und zur Erhöhung des Oktanbedarfs in untragbarer Weise an.

**Brookfield Viskosität** → **Viskosität**

## Calciumseifenfett → Aufsteifmittel

### CCMC

Veraltete Abkürzung für «Comité des Constructeurs d'Automobiles du Marché Commun».

Die von dieser Organisation herausgegebenen Spezifikationen umfassen Motorenöle

- für Benzinmotoren G-4 und G-5 (niedrige Viskosität)
- für Dieselmotoren ohne und mit Aufladung D-4 und D-5
- für Personenwagen-Dieselmotoren PD-2

Zwischen den Anforderungen nach CCMC und denjenigen nach →API besteht nur eine teilweise Übereinstimmung. Die Nachfolgeorganisation für CCMC ist ab 1996 →ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles).

### CCS

Abkürzung für «Cold Cranking Simulator».

Rotationsviskosimeter, das die Gleitverhältnisse eines unbelasteten Motorenlagers simuliert. Er dient zur Einreihung von Motorenölen bei tiefen Temperaturen in die SAE W-Bereichs-Viskositätsklassen.

### CEC

Abkürzung für «Coordinating European Council for the Development of Performance Tests for Lubricants and Engine Fuels». Diese Vereinigung ist vergleichbar mit der →ASTM und erarbeitet Testmethoden für die Mineralölindustrie. Für →biologisch leicht abbaubare Schmierstoffe wurde im Test CEC-L-33-A-93 eine Abbaubarkeit >80% gefordert. Diese Testmethode ist nicht mehr gültig. Heute erlangt die Prüfung nach →OECD oder die CEC-L-103 immer grössere Bedeutung.

## Centipoise → SI Einheitensystem Centistokes → SI Einheitensystem

### Chlorgehalt

Mineralöle enthalten ursprünglich kein Chlor. Zur Verbesserung der Hochdruckeigenschaften wurden jedoch einigen Schmierstoffen wie z. Bsp. Schneidölen organische Chlorverbindungen zugesetzt. Chlor →Additive sind grenzflächenwirksam, vielfach aber auch, besonders unter Feuchtigkeitseinfluss, stark korrosiv. Kommen Chloratome an metallischen Flächen zur Wirkung, entstehen Salzschichten, die das Verschweissen von Flächen unter hohen Drücken verhindern.

Bei Feuchtigkeitzutritt entsteht aus Eisenchlorid brauner Rost, während sich unter alkalischem Einfluss bei Leichtmetallen bestimmte Korrosionsformen zeigen. Deswegen müssen Chlorverbindungen in Schmierstoffen so gebunden und dosiert sein, dass ihre Wirksamkeit möglichst gross, die korrosive Wirkung dagegen so gering als möglich ist. Der Chlorgehalt wird in Massenprozenten oder in ppm ausgedrückt. Auf Chlor haltige Additive verzichten aus Umweltaspekten und wegen der hohen Entsorgungsgebühren die meisten Hersteller wenn immer möglich.

Entsorgungscodes siehe: → **Entsorgung**

## Chlorfreie Kühlschmierstoffe

Chlorfreie Kühlschmierstoffe sind Produkte, die zur Verminderung der Umweltbelastung und zur Senkung der Entsorgungskosten führen. Die Entsorgungskosten steigen mit zunehmendem Chlorgehalt.

## Compoundierte Öle

Als Compound (engl. Verbundstoff) werden Gemische aus sortenreinen Grundstoffen bezeichnet, denen zusätzliche Additive beigemischt worden sind.

## Conradson-Carbon-Test

Der Conradson-Carbon-Test nach DIN 51 551-1 dient als Mass für die Verkokungstendenz eines Schmieröls. Unter der Verkokungszahl versteht man die Gesamtheit der nach planmässigem starkem Erhitzen eines Schmieröls unter Luftabschluss anfallenden, vorwiegend koksartigen Rückstände. Bei Dieseltreibstoffen und Heizölen ist es unter Umständen möglich, durch die Verkokungszahl Rückschlüsse auf das voraussichtliche Verhalten des Produktes in Bezug auf Abscheidung von Koks in den Brennkammern und den Einspritz- und Brennerdüsen zu ziehen.

In erster Linie dient aber die Verkokungszahl zur Kennzeichnung von →Basisölen, die für die Herstellung von Motorenölen vorgesehen sind. Bei gleicher Ölbasis nimmt mit zunehmender Viskosität die Verkokungszahl zu, ebenso beim Übergang von →naphthenischen zu →paraffinischen Ölen gleicher →Viskosität.

Die Verkokungszahl wird in Massenprozenten angegeben.

## Dampfdruck

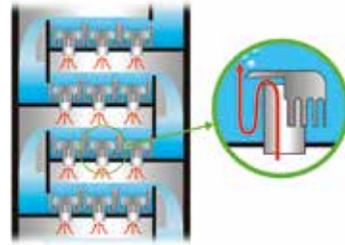
Mass für die Verdampfungsneigung von flüssigen Schmierstoffen. Der Dampfdruck gibt einen Hinweis über die Grundölzusammensetzung und ist abhängig vom Flammpunkt und der Schmierölviskosität. Angabe in mbar oder hPa.

## Demulgiervermögen

Das Demulgiervermögen ist die Fähigkeit eines Öls, einen mehr oder weniger grossen Teil emulgierten Wassers abzuscheiden oder im Idealfall eine Emulsionsbildung zu verunmöglichen. Verschiedene Tests zur Prüfung des Demulgiervermögens von Ölen, wie z. Bsp. die ASTM D1401, dienen zur Prüfung der Geschwindigkeit, mit der sich das Öl vom Wasser trennt. Die einzelnen Methoden geben an, bei welchen Ergebnissen ein Öl als emulgierend, schwach emulgierend oder nichtemulgierend zu beurteilen ist. Hochlegierte Öle zeigen im Allgemeinen ein schlechteres Demulgierverhalten als schwach- oder unlegierte Öle. Steigende Temperatur, ergo abnehmende Viskosität, ergibt ein besseres Demulgierverhalten. Besonders wichtig ist ein gutes Demulgiervermögen zum Beispiel für Dampf- und Gasturbinenöle.

## Destillate

Destillate sind Produkte der Destillation, bei der ein flüssiger Stoff durch Erhitzen verdampft und an anderer Stelle durch Abkühlen wieder verflüssigt wird. Erdöl wird bei Temperaturen von 360 °C destilliert. In der ersten Stufe, der atmosphärischen Destillation, fallen Treib- und Brennstoffe an. Da Mineralöle wie andere organische Substanzen sich bei hohen Temperaturen zersetzen, wird für die weitere Verarbeitung der Siedebereich durch Drucksenkung erniedrigt. Man spricht dann von der Vakuumdestillation. Endprodukte dieser zweiten Stufe sind u. a. die Schmierölfractionen und → Bitumen.



Ausschnitt aus einer Destillations- oder Fraktionierungskolonnen

## Detergents & Dispersants

Mit Detergents & Dispersants (engl. reinigen & in Schwebe halten) werden die → Additive bezeichnet, die ein Reinigungs- und Schmutztragvermögen des Schmieröls bewirken.

Im Verbrennungsmotor bilden sich öllunlösliche Verbrennungsrückstände und Ölalterungsprodukte. Verunreinigungen sowie Metalabriebe und Schmutzteilchen haben das Bestreben, sich an den Innenteilen von Motoren und Hydrauliksystemen festzusetzen. Besonders im Bereich der Kolbenringe dürfen sich aber nur kleinste Mengen von Rückständen ablagern, da andernfalls die Ringe ihre Beweglichkeit in den Nuten verlieren und unwirksam werden. Die Folgen sind: Höherer Ölverbrauch, Leistungsverminderung und Kolbenschäden.

Die Aufgabe der Detergents & Dispersants ist es, das Anwachsen von Ablagerungen zu vermeiden und die Verunreinigungen im Öl in der Schwebe zu halten. Detergents & Dispersants, sogenannte DD-Additive, sind seit Jahrzehnten ein unerlässlicher Bestandteil von Motoren- und seit längerem

auch von detergierend wirkenden Hydraulikölen. DD-Additive stellen komplizierte, metallorganische Verbindungen dar. Zur Hauptsache gelangen Calcium und Zink zur Anwendung, die naturgemäss einen mehr oder weniger grossen Aschegehalt bewirken. Die Bestrebungen in der Forschung auf diesem Gebiet tendieren deshalb nach möglichst aschearmen oder gar aschefreien DD-Additiven. In der Norm werden diese unter → ACEA C1 bis C4 sowie E6 und E9 beschrieben.

## Dexron®

Dexron ist keine Spezifikation, sondern ein seit 1967 geschützter Markenname einer Flüssigkeit für automatische GM (General Motors) Getriebe. z. Bsp. Dexron III.

Dexron	Beschreibung	Status
IID	Automatengetriebe von 1973 bis 1991	Ungültig
IIE	Automatengetriebe von 1991 bis 1994	Ungültig
III	Automatengetriebe von 1994 bis 2006	Ungültig
IIH	Automatengetriebe von 2003 bis 2006, Nachfolger von Dexron IIE	Ungültig
VI	Automatengetriebe ab 2005, Nachfolger von Dexron II und III	Gültig

Obwohl seit 2006 die Lizenzen für Dexron III nicht mehr erneuert werden, sind Dexron IID und Dexron III → ATF nach wie vor weit verbreitet.

Dexron IID und Dexron III ATF können in Ausnahmefällen auch anstelle von Hydraulikölen nach HVLP eingesetzt werden.

## Dichte

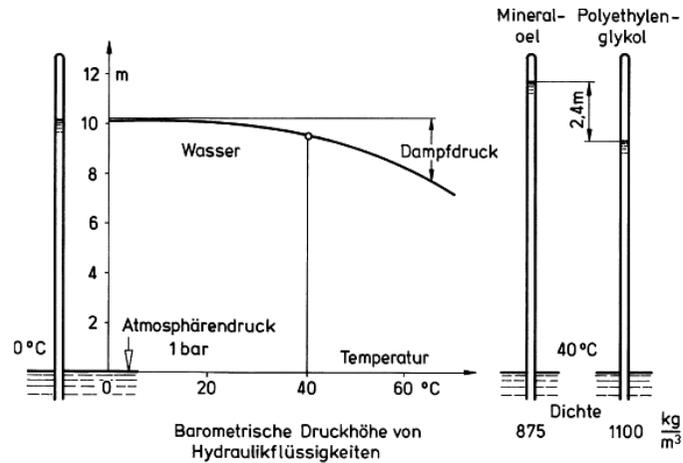
Unter Dichte, oft auch noch als «spezifisches Gewicht» bezeichnet, ist die Masse pro Volumeneinheit zu verstehen:

$$\rho = \frac{m [kg]}{V [m^3]}$$

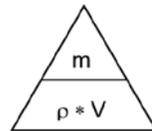
Einheiten: kg/m<sup>3</sup>

Mineralöle weisen Dichten von <1000 kg/m<sup>3</sup> auf, schwimmen also auf Wasser. Bei gleicher Ölbasis nimmt die Dichte mit zunehmender Viskosität zu. Bei gleicher Viskosität weisen → paraffinbasierte Öle die niedrigste, → naphthenbasierte Öle die höchste Dichte auf. Nach Beimischung metallorganischer → Additive kann sich die Dichte der Öle erhöhen, sodass sie kein sicheres Zeichen für die Ölbasis mehr bietet. Bei gewissen synthetischen Schmierölen kann die Dichte >1000 kg/m<sup>3</sup> sein.

In der Ölhydraulik ist die Dichte von Bedeutung, da sie den Öldruck beeinflusst. So ändern sich die Drücke erheblich beim Übergang von einem Hydrauliköl auf Mineralölbasis auf eine synthetische Flüssigkeit mit höherer oder auch niedriger Dichte. Dieser Gesichtspunkt ist wichtig für die Wahl der Saug- oder Zulaufhöhe von Pumpen, siehe Diagramm. Hydrauliköl mit Dichten <850 kg/m<sup>3</sup> haben dementsprechend auch ein gewisses Energieeinsparpotenzial.



Für den Kaufmann hat die Dichte eine praktische Bedeutung beim Vergleich von Preisangaben. Dabei ist die Dichte in  $\text{kg}/\text{m}^3$  einzusetzen. Zur einfachen Umrechnung von Dichte und Volumen dient folgendes Rechnungsdreieck. Dabei wird die gesuchte Komponente abgedeckt, die Rechnung ergibt sich aus dem Rest.



### Dielektrikum

Nichtleiter. Niederviskose Öle mit einem sehr geringen Wassergehalt die auch als Funkenerosionsöl oder Isolieröl bezeichnet werden.

### Dielektrischer Verlustfaktor oder Dissipationsfaktor (DDF)

Der DDF oft auch als  $\tan \delta$  bezeichnet, ist eine Bewertungsgröße für das Alterungsverhalten von Isolierölen, in Form der Zunahme der dielektrischen Verluste durch Alterungsprodukte. Niedrig oxidierte Kohlenwasserstoffe verursachen dabei nur geringe Verluste, während höher oxidierte Aromatenringe einen starken Anstieg der dielektrischen Verluste bewirken. Den stärksten Anstieg verursachen gelöste Kupfer- und Eisenseifen aus oxidativ gebildeten Carbonsäuren. Dieser Effekt wird durch Feuchtigkeit im Isolieröl noch verstärkt.

### Dieseleffekt

Wenn man Mineralöl, das Luftbläschen enthält, sehr schnell verdichtet, werden die Bläschen so stark erhitzt, dass eine Selbstzündung des Luft-Gas-Gemisches auftreten kann. Dadurch entsteht örtlich ein sehr hoher Druck- und Temperaturanstieg was zu einer beschleunigten Alterung des Öls führt. Zudem können auch Dichtungen unmittelbar in Mitleidenschaft gezogen werden.

### Dimethylsulfoxid (DMSO)

Dimethylsulfoxid ist eine farb- und geruchlose, hygroskopische Flüssigkeit. Nach längerer Lagerung weist es häufig einen fauligen Geruch auf. Mit einem Schmelzpunkt bei  $18^\circ\text{C}$  kann die Substanz nur wenig unterhalb der Raumtemperatur erstarren. Konzentriertes DMSO ist ein Zellgift. Nur in geringen Konzentrationen von  $<10\%$  ist es nach heutigem Stand der Erkenntnisse unbedenklich. Länger anhaltende Einwirkung höherer Konzentrationen von DMSO auf Haut oder Atemwege und ein Verschlucken von DMSO ziehen Leber- und Nierenschäden nach sich. Auch Nervenschäden sind möglich, z. B. Krämpfe, Zittern, Lähmungen.

### DIN

Kurzzeichen für Deutsche Industrie Norm.

Herausgeber der DIN-Normen ist das Deutsche Institut für Normung. Das Normenwerk enthält u. a. auch Normen für Schmierstoffe und Schmierstoff-Prüfverfahren.

Folgende DIN Normen werden im Zusammenhang mit Schmierstoffen oft verwendet:

DIN Nummer	Teil	Beschreibung	Bezeichnung
50501	1	Schmieröle, Mindestanforderungen	L-AN
51502	1	Bezeichnung der Schmierstoffe und Kennzeichnung der Schmierstoffbehälter, Schmiergeräte und Schmierstellen	
51503	1 2	Kältemaschinenöle Gebrauchte Kältemaschinenöle	KA, KC
51506	1	Kompressorenöle, Einteilung und Anforderungen	VB, VBL VC, VCL VDL
51515	1 2	Schmierstoffe und Reglerflüssigkeiten für Turbinen, normale thermische Beanspruchung Schmierstoffe und Reglerflüssigkeiten für Turbinen, erhöhte thermische Beanspruchung	TD TG
51517	1 2 3	Schmieröle Umlaufschmierung nicht legiert Schmieröle Umlaufschmierung leicht legiert Schmieröle Getriebeöle EP legiert	C CL CLP
51519	1	ISO Viskositätsklassifikation für Industrieschmierstoffe	ISO VG
51524	1 2 3	Druckflüssigkeiten Hydrauliköle leicht legiert Druckflüssigkeiten Hydrauliköle legiert mit verschleissmindernden Additiven Druckflüssigkeiten Mehrbereichs-Hydrauliköle legiert mit verschleissmindernden Additiven	HL HLP HVLP
51818	1	Konsistenz-Einteilung für Schmierfette	NLGI 000-6
51825	1	Schmierfette K (Lagerschmierfett)	Bsp. KP 2 K-20
51826		Schmierfette G (Getriebschmierfett)	Bsp. GP 0 K-20

### DIN – ISO Gegenüberstellung Dispersants

→ ISO Schmierstoffklassierung  
→ Detergents & Dispersants

### Dispersion

Unter Dispersion versteht man in der Kolloid-Chemie ein Zweistoffsystem, bei dem der eine Stoff in fein verteilter, also dispergierter, jedoch ungelöster Form in einem andern Medium, dem Trägerstoff, enthalten ist. In der Schmiertechnik werden besonders zwei Systeme angewandt. Die Wasser-in-Öl-Emulsion oder die Öl-in-Wasser-Emulsion. Im ersten Fall ist Wasser in Form von feinen, kleinen Tröpfchen im Öl als Trägersubstanz enthalten, im zweiten Fall ist es umgekehrt.

### Dispersionsgrad

Als Dispersionsgrad wird die Feinheit, also die Teilchengröße der inneren dispersen Phase, einer Dispersion oder Emulsion bezeichnet. Je feiner ein dispergierter Stoff in der Trägersubstanz verteilt ist, umso klarer oder transluzenter ist die Dispersion.

Bei Kühlschmierstoff-Emulsionen bewegt sich die Teilchengröße zwischen 0,1 und 10 µm.

### Dispersionsmittel Dopes

→ Emulgatoren  
→ Additive

### Drehzahlkennwert

Produkt aus Drehzahl  $n$  in  $\text{min}^{-1}$  und mittlerem Lagerdurchmesser  $d_m$  in mm eines Wälzlagers. Der Wert dient dazu, Schmierfett und Wälzlager aufeinander abzustimmen. Die Wälzlager eines 2-poligen 50 Hz Elektromotors ( $3000 \text{ min}^{-1}$ ) haben je nach Bauart Drehzahlkennwerte von 60 000 bis 500 000.

### Durchschlagfestigkeit

Als Durchschlagfestigkeit wird die Spannung in kV bezeichnet, die ein Öl in einer Funkenstrecke bis zum Durchschlag ertragen kann. Umgibt man eine elektrische Entladungsstrecke (2 Stahlkugeln im Abstand von 2,5 mm) mit Mineralöl, dann darf der Strom bei 60 kV Spannung die isolierende Ölschicht nicht durchschlagen. Diese Durchschlagfestigkeit wird bei wasserfreien und mechanisch sauberen Isolierölen in der Regel erreicht. Ein → Wassergehalt von >30 ppm oder andere, kleinste Verunreinigungen können das Isoliervermögen aber deutlich negativ beeinträchtigen.

### Dynamische Viskosität

Mass für innere Reibung von Flüssigkeiten. Als dynamische Viskosität wird die Viskosität bezeichnet, die mit Hilfe eines Rotationsviskosimeters gemessen wird. Die Scherbeanspruchung wird durch die Rotation eines Messkörpers in der zu prüfenden Flüssigkeit erzeugt. Mit Hilfe von Eichkurven kann die wirkliche oder scheinbare Viskosität direkt in mPa s angegeben werden.

$$\eta = \frac{\text{Scherspannung [N/m}^2\text{]}}{\text{Scherströmung [1/s]}}$$

## Ecolabel

Gütesiegel zur Kennzeichnung von Verbraucherprodukten und Dienstleistungen. Folgende Gütesiegel sind im europäischen Raum üblicherweise anzutreffen:



Blauer Engel



Euromargherite



Nordic Ecolabelling  
oder Nordic Swan

## Elastohydrodynamik (EHD)

Die Theorie von → Hertz über die Verformung und Beanspruchung an den Berührungsstellen fester elastischer Körper mit gekrümmten Oberflächen setzt voraus, dass sich die beiden Körper im Ruhezustand befinden. Diese Voraussetzung trifft in der Praxis z. Bsp. in Verzahnungen und Wälzlagern nicht zu. Zudem befindet sich zwischen den beiden Kontaktflächen ein Schmierstoff, der insbesondere seine Viskosität in Funktion des Druckes erheblich ändert. Mit Hilfe der Elastohydrodynamik werden die Verformungen und die Viskosität im Schmierpalt bei der Berechnung der minimalen Schmierfilmdicke berücksichtigt. Damit gelangt man zu Ergebnissen, welche durch die praktische Erfahrung weitgehend bestätigt werden.

Interessanterweise hat die Belastung nur einen geringen Einfluss, während sich die Viskosität und die Gleitgeschwindigkeit bedeutend stärker auswirken.

Der häufig verwendete Ausdruck «Elastohydrodynamische Schmierung» ist nicht zutreffend. Es handelt sich nicht um eine neue Art der Schmierung sondern nur um die bessere Erfassung der Vorgänge im Schmierpalt gegenüber den früheren Berechnungsverfahren.

## Elastomere, Elastomerverträglichkeit

Elastomere sind formfeste, aber elastisch verformbare Kunststoffe. Die Kunststoffe können sich bei Zug- und Druckbelastung elastisch verformen, finden aber danach wieder in ihre ursprüngliche, unverformte Gestalt zurück. Elastomere finden Verwendung als Material für Reifen, Gummibänder, O- und andere Dichtungsringe etc.

Die richtige Abstimmung und Verträglichkeit zwischen Werk- und Schmierstoffen spielt für die störungsfreie Funktion von Hydrauliksystemen und Getrieben oft eine zentrale Rolle. Für die Elastomerverträglichkeit von Mineralölen liegen umfangreiche Praxiserfahrungen vor. Synthetische Schmieröle beeinflussen die Eigenschaften der Elastomere und Kunststoffe jedoch anders als Mineralöle. In der Praxis werden Schmierstoffe jedoch so formuliert, dass ein möglichst neutrales Verhalten gegenüber Elastomeren erreicht wird. Hinweise zur Materialverträglichkeit von Schmierölen sind in der folgenden Tabelle ersichtlich.

		Grundöl						
Elastomere / Kunststoffe		Mineralöl	PAO	Synth. Ester	Polyglykol	Silikonö	HFC Fluid	Alkylat
Abk.	Chemische Bezeichnung							
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol	++	+	+	+	++	?	?
PMMA	Polyacrylat- Kautschuke	++	++	+/-	+	++	-	?
PU/AU	Polyester-Urethan-Kautschuke	++	+	+	-	++	-	?
EPDM	Ethyl-Propylen-Dien-Kautschuke	-	-	-	++	++	++	-
PU/EU	Polyether-Urethan-Kautschuke	++	++	+	+	++	-	?
FPM/FKM	Fluorkarbon-Elastomere/Fluor-Kautschuke	++	+	++	+	++	+/-	++
HNBR	Hydrierte Acrylnitril-Butadien-Kautschuke	++	++	+	+	++	++	++
IIR	Isobuten-Isopren-Kautschuke/Butylkautschuke	-	-	-	++	++	++	?
NBR	Acrylnitril-Butadien-Kautschuke	++	++	+	+	++	++	++
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuke	-	-	-	++	?	+	?

++ = Sehr gut beständig

+ = Beständig, ggf. mit geringen Einschränkungen

+/- = Bedingt beständig

- = Unbeständig

? = Keine Angaben verfügbar

## EMCOR-Test

## → SKF-EMCOR-Test

## Emulgatoren

Emulgatoren sind Stoffe, die die Grenzflächenspannung zweier nicht ineinander löslicher Flüssigkeiten herabsetzen. Man unterscheidet zwischen ionogenen und nicht-ionogenen Emulgatoren. Erstere zerfallen im Wasser in zwei elektrisch geladene Teilchen. Die Zugabe von Emulgatoren ermöglicht, zwei oder mehrere unter sich nicht lösliche Stoffe so miteinander zu mischen, dass eine mehr oder weniger stabile Emulsion entsteht. Die Wirkung der Emulgatoren beruht darauf, dass sie die Grenzflächenspannung zwischen Öl und Wasser so weit herabsetzen, dass es in Wasser in feinsten Tröpfchen dispergiert werden kann.

Beispiel: Eigelb dient dazu, Wasser und Speiseöl zu Mayonnaise emulgieren zu lassen.

## Emulgierbare Kühlschmierstoffe

Emulgierbare Öle sind Mineralöle, die neben andern Additiven → Emulgatoren enthalten, welche das Öl im Wasser emulgierbar machen. Sie bilden mit Wasser Öl-in-Wasser-Emulsionen und werden zur Hauptsache als Kühlschmierstoffe zur Metallbearbeitung, als Hydraulikflüssigkeiten im Bergbau (Presswasserzusätze) und als Entschalungsmittel verwendet.

Je feiner die Verteilung der Tröpfchen ist, desto stabiler ist eine Emulsion. Die Stabilität der Emulsion wird beim Ansetzen durch intensives Rühren gefördert. Mit der Zeit fließen die Öltröpfchen wieder zusammen, was durch → Aufrahmung von Öl auf der Oberfläche der Emulsion sichtbar wird. Die Zersetzung einer Emulsion wird häufig durch Mikroorganismen beschleunigt.

## Emulsion

Eine Emulsion ist ein mehr oder weniger flüssiges Medium, in dem ein → Emulgator eine so feine Verteilung eines flüssigen oder halbflüssigen Stoffes in einem andern unlöslichen Stoff ermöglicht hat, dass die beiden Stoffe miteinander vermischt bleiben. Emulsionen bestehen somit aus:

1. disperse innere Phase (zerteilter Anteil), 2. Emulgator und 3. äussere Phase (Dispersionsmittel).

## Englergrade

→ Viskosität

veraltetes Viskositätsmass

## Entsorgungscode

→ Lagerung und Entsorgung

Siehe Sektion 2

## EP (Extreme Pressure)

EP = englische Bezeichnung für Hochdruck. Sie wird für Schmierstoffe mit Hochdruck Additiven verwendet.

## Erdöl/Rohöl

Rohöle aus verschiedenen Vorkommen (Provenienzen) weisen unterschiedliche Qualitätsmerkmale auf. Als Qualitätsmassstab werden international u. a. die API Grade als Ausdruck der Dichte verschiedener Rohölsorten verwendet.

Beispiele für Rohölsorten mit unterschiedlichen Qualitätsmerkmalen:

Land (Rohölsorte)	API-Grade	Schwefelgehalt (Gew.-%)
Saudi-Arabian (Arabian Heavy)	ca. 28	ca. 3,0
Iran (Agha Jari)	ca. 34	ca. 1,4
Libyen (Zueitina)	ca. 35	ca. 0,2
Nigeria (Forcados)	ca. 31	ca. 0,2
Venezuela (Tia Juana)	ca. 27	ca. 1,5
Norwegen (Ekofisk)	ca. 36	ca. 0,2
Nordsee (Brent)	ca. 38	ca. 0,3

API° < 20 = schweres Rohöl;

API° 20–34 = mittelschweres Rohöl;

API° > 34 = leichtes Rohöl

Aus leichten Rohölen lassen sich überdurchschnittlich hohe Benzinanteile gewinnen, während schwere Rohöle im Allgemeinen zu einem höheren Anteil an schwerem Heizöl führen. Diese Qualitätsunterschiede spiegeln sich auch in den Rohölpreisen wieder.

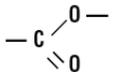
Rohölsorte	Anteile in %			
	Gase	Benzin	Mitteldestillate	Rückstand
Arabian Heavy (Saudi-Arabien)	1,6	15,9	26,0	56,5
Agha Jari (Iran)	1,7	20,3	30,0	48,0
Zueitina (Libyen)	1,0	22,0	39,0	38,0
Forcados (Nigeria)	0,8	17,2	45,0	37,0
Tia Juana (Venezuela)	1,0	10,0	29,0	60,0
Ekofisk (Norwegen)	1,3	22,7	32,0	44,0
Brent (Nordsee)	2,3	34,5	24,7	38,5

## Erstarrungspunkt

Der Erstarrungspunkt in °C ist die Temperatur, bei der ein flüssiger Stoff in den festen Zustand übergeht. Der Beginn der Erstarrung kann infolge Unterkühlungserscheinungen wesentlich tiefer als der Schmelzpunkt liegen.

## Ester

Ester sind Reaktionsprodukte aus Säuren und Alkoholen. Sie enthalten die Gruppe



Ein Teil der Ester findet in der Technik Verwendung als Lösemittel und Schmierstoffe. Die wichtigsten sind: Mono- und Dicarbonsäure sowie komplexe Carbonsäureester, Polyolester und Phosphorsäureester. Die Eigenschaften variieren bedingt durch die unterschiedliche chemische Zusammensetzung der einzelnen Ester wesentlich. So gibt es Ester, die gegenüber Mineralölen schwerer entflammbar und/oder umweltverträglicher sind.

## Euromargerite

Europäisches Umweltzeichen. Dieses wird im Schmierstoffbereich für Hydraulik-, Schal- und Kettensägeöl sowie andere Verlustschmierstoffe wie Zweitaktmotorenöle und Schmierfette vergeben. Zu den Vergaberichtlinien des → Blauen Engels kommen hier noch zusätzlich der Nachweis der Verwendung von mindestens 50 % nachwachsender Rohstoffe hinzu. Das Umweltzeichen wird jeweils für 3 Jahre verliehen.



## Farbe

Unter Farbe versteht man in der Ölchemie den in der Durchsicht gegen eine bestimmte Farbskala verglichenen Farbton eines Öles.

Bekannt sind vor allem ASTM-, und Saybolt-Farbskalen, die mit genau normierten Bezugsfarben von farblos über braun bis schwarzbraun unterteilt sind. Die Farbe stellt kein eigentliches Qualitätsmerkmal dar. Bei reinen Mineralölen kann auf Grund der Farbe noch auf den Raffinationsgrad geschlossen werden. Legierte Öle haben in der Regel eine dunklere Farbe als das entsprechende Neutralöl. Synthetische Öle wie → PAO sind hingegen wasserhell. Eingefärbte Öle wie beispielsweise ATF können nicht nach ASTM beurteilt werden.

## FDA

Abkürzung für **F**ood and **D**rug **A**dministration.

Staatliche Stelle in den USA. Sie vergibt Freigaben für Medikamente, Zusatzstoffe für Lebensmittel, etc. Unter anderem gibt sie auch Einzelsubstanzen frei, die dann später in → H1-zugelassenen Schmierstoffen verwendet werden dürfen.

## Festschmierstoffe

Festschmierstoffe werden eingesetzt, wenn die Betriebsbedingungen im Mischreibungsgebiet keinen sicheren Betrieb mit flüssigen Schmierstoffen und Fetten allein mehr ermöglichen. Solche Bedingungen findet man bei sehr hohen oder sehr tiefen Temperaturen, bei hoher spezifischer Gleitflächenbelastung, bei oszillierenden Bewegungen oder geringer Gleitgeschwindigkeit des unter Belastung stehenden Reibsystems u. a. m. Festschmierstoffe werden bevorzugt bei Schmierstellen verwendet, die während des Betriebs nicht nachgeschmiert werden können. Die bekanntesten Festschmierstoffe sind → Graphit, → Molybdädisulfid ( $\text{MoS}_2$ ) (Stoffe mit schichtgitterartiger Kristallstruktur) und → PTFE. Gegenüber Schmierölen und -fetten auf Mineralölbasis sind die Festschmierstoffe bedeutend temperaturbeständiger und weisen einen niedrigen Reibungskoeffizienten auf.

## Fettschmierung

→ **Schmierfett**

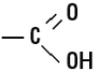
## Fette Öle

Fette Öle sind pflanzlicher oder tierischer Herkunft und werden durch Pressen, Extrahieren oder Auskochen mit anschließender Raffination und eventuell Destillation gewonnen. Im Gegensatz zu den Mineralölen lassen sie sich mit einem Metallhydroxyd in das entsprechende Salz bzw. dessen Seife überführen. Darum kann der Gehalt eines Mineralöles an Fettöl durch die Ermittlung der Verseifungszahl bestimmt werden.

Zur Erhöhung der Schmierfähigkeit werden in gewissen Fällen wie z. Bsp. bei Schneidölen fette Öle beigemischt.

## Fettsäure

Fettsäuren sind hochmolekulare, geradkettige Kohlenwasserstoffverbindungen mit Carboxylgruppen.



Sie sind in allen tierischen und pflanzlichen Ölen und Fetten, die mit Glycerin oder andern Alkoholen verestert sind, enthalten.

Fettsäuren werden Schmierstoffen auf Mineralölbasis zugemischt, um die Reibung im Mischreibungsgebiet zu vermindern. Diese Wirkung wird durch die polar wirkenden Carboxylgruppen, die eine ausgeprägte Adhäsion mit Metalloberflächen aufweisen, erzielt. Fettsäuren werden oft auch Hochdruckschmierstoffen zugemischt, um den Temperaturbereich, in dem Mineralöle nicht mehr ausreichend schmieren und die Reaktionstemperatur der Hochdruckwirkstoffe noch nicht erreicht ist, zu überdecken.

## Filtrierbarkeit

Die Filtrierbarkeit von Schmierölen kann durch Verunreinigungen massiv gestört werden. Sie wird in der ISO 13 357 beschrieben, wobei zwei Varianten vorgesehen sind. Einmal wird mit Wasser und einmal trocken gemessen. Da neben der DIN noch weitere zum Teil interne Normen existieren, ist ein direkter Vergleich der Filtrierbarkeit oft nur schwer möglich.

## Fischer-Tropsch-Synthese → GtL

## Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der sich aus einer nach Norm erhitzten Ölprobe so viele Dämpfe entwickeln, dass sie mit der unmittelbar darüber liegenden Luft ein Gemisch ergeben, das sich beim Annähern einer Flamme entzündet und von selbst wieder erlischt.

Wird das Öl nach der Bestimmung des Flammpunktes weiter erhitzt, so erreicht man den Brennpunkt, der die niedrigste Temperatur bedeutet, bei der das Öl bei Annäherung einer Flamme selbsttätig weiter brennt. Der Brennpunkt von Mineralölen liegt als Faustregel um 20 bis 50°C über dem Flammpunkt. Die Differenz nimmt bei steigender Viskosität des Öles zu.

Die Bestimmung des Flammpunktes ergibt in erster Linie ein Mass für die Entflammbarkeit durch Fremdzündung, d. h. für die Feuergefährlichkeit (die Einteilung feuergefährlicher Stoffe in verschiedene Gefahrenklassen für Transport und Lagerung stützt sich unter anderem auf den Flammpunkt). Für die Bestimmung des Flammpunktes und Brennpunktes sind drei verschiedene Prüfmethode üblich:

1. Abel-Pensky-Apparat für leichtflüchtige Stoffe.  
Flammpunkt im Bereich von +5 bis +65°C.
2. Pensky-Martens-Apparat (PM) zur Bestimmung von mittel- und schwerflüchtigen Stoffen im geschlossenen Tiegel. Flammpunkte höher als 49°C
3. Cleveland-Apparat (COC) zur Bestimmung von mittel- und schwerflüchtigen Stoffen im offenen Tiegel. Flammpunkte über 80°C

Im Allgemeinen wird die Bedeutung des Flammpunktes von Schmierölen überschätzt. Mit wenigen Ausnahmen hat der Flammpunkt bei solchen Produkten bei weitem nicht die Bedeutung, die ihm früher beigemessen wurde.

### Fließdruck

Es ist der Druck, der erforderlich ist, um einen Schmierfettstrang bei verschiedenen Temperaturen aus einer Prüfdüse herauszupressen. Die Temperaturen können frei variieren, interessant für den Anwender sind aber in der Regel die Minustemperaturen. Die Bestimmung erfolgt nach der Methode von Kesternich nach DIN 51 805.

### Fließverhalten

Das Fließverhalten bestimmter Stoffe (Newtonsche, strukturviskose, thixotrope Flüssigkeiten, Schmierfette), werden mit Hilfe von Fließkurven charakterisiert. Diese stellen den Verlauf der Schubspannung in Funktion des Schergefälles dar.

### Flockpunkt

Der Flockpunkt ist die Temperatur in °C für Kältemaschinenöl, bei der beim Abkühlen in einem homogenen Gemisch von 10 zu 90 im durchfallenden Licht die ersten Ausscheidungen in Form einer milchigen Trübung oder als Flocken sichtbar werden. Die Messung erfolgt nach DIN 51 351.

### Fluoreszenz

Als Fluoreszenz wird die Eigenschaft gewisser Stoffe bezeichnet, das einfallende Licht aufzunehmen und es sofort mit anderer Wellenlänge wieder auszusenden. Bei diesem Vorgang leuchten Mineralöle in grüner bis blauer Farbe auf. Die Fluoreszenz ist am intensivsten bei Ultraviolettlicht (UV), gut sichtbar bei Tageslicht, jedoch wenig sichtbar bei Glühlampenlicht.

→ Paraffinbasierte Öle fluoreszieren grünlich, → naphthenbasierte Öle bläulich bis violett. → Fettöle und → synthetische Öle zeigen praktisch keine oder nur geringe Fluoreszenz. Eine Beurteilung des Gebrauchswertes eines Öles aus der Fluoreszenz ist nicht möglich.

### Flüssigkeitsreibung → Viskosität hydrodynamische Schmierung

### Fraktion

Das Wort ist aus dem lateinischen fragmentum = Bruchteil abgeleitet. Fraktionen sind die durch fraktionierte Destillation von Gemischen aus mehreren Stoffen mit verschiedenen Siedepunkten gewonnenen Anteile. Beim Erdöl sind es z. Bsp. Benzine, Petroleum, Gasöle und Schmieröle der Viskositätsklassen VG 32, VG 100, VG 680.

### Friction Modifier

Friction Modifier sind spezielle Öl-Additive mit stark polaren Gruppen zur Verminderung der Reibung im Gebiet der Mischreibung. Sie werden u. a. in → Leichtlaufölen eingesetzt, bei welchen infolge ihrer niedrigen Viskosität der Anteil der → Mischreibung grösser ist als bei höher viskosen Ölen. Sie tragen damit zu einer Verminderung des Treibstoffverbrauches bei.

### Fullererde

→ Bleicherde

### FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine

FZG ist die Abkürzung für Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebbau der Technischen Universität München. Das Prinzip dieser Prüfmaschine beruht auf dem Lauf eines belasteten Zahnradpaares mit korrigierter Verzahnung in dem zu prüfenden Schmierstoff. Die Beanspruchung der Zahnflanken erfolgt durch Verdrehen der Torsionswellen durch eine Verspannungskupplung, wobei das Drehmoment durch sogenannte Kraftstufen (1 bis 12) eingestellt wird. Als Prüfergebnisse werden festgehalten: Zustand der Flanken (visuell), Gewichtsveränderung von Ritzel und Rad, Schadens-Kraftstufe und spezifische Gewichtsveränderung in mg/kWh.

Die Schadens-Kraftstufe ist die Kraftstufe, bei der die Gewichtsänderungskurve nach oben abknickt, somit als auffällige Zunahme des → Verschleißes erkennbar wird.

Grundsätzlich kann die Prüfung mit unterschiedlich korrigierten Verzahnungen durchgeführt werden. In der Regel erfolgt die Prüfung mit dem FZG-Normaltest A/8,3/90 nach DIN ISO 14 635. A bedeutet die Zahnform, 8,3 die Umfangsgeschwindigkeit im Wälzkreis in m/s und 90 die Anfangstemperatur im Ölsumpf in °C.

Die Ergebnisse gestatten die Abschätzung für die Berechnung der Fresstragfähigkeit.

Prüfkörper:	2 Zahnräder (Geradverzahnung)
Drehzahl:	2170 min <sup>-1</sup> am Ritzel
Gleitgeschwindigkeit:	max. 5,6 m/s
Belastung:	12 Laststufen bis 16 kN Zahndruck
Drehmoment an Ritzel:	bis 535 Nm, entsprechend einer Zahnnormalkraft von 8000 N pro cm Zahnbreite
Prüfdaten:	Schadens-Kraftstufe, spezifische Gewichtsänderung
Aussagen:	Schmiereigenschaften von Getriebeölen und -fetten

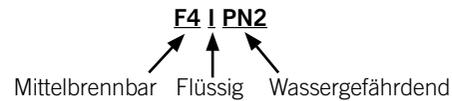


## Gefahrencode

Klassierung von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen nach den Kriterien von Gefahrgut für Transporte, der EU-Kennzeichnung gefährlicher Stoffe und Zubereitungen sowie der von diesen Stoffen ausgehende Gefahren. Wobei der erste Teil des Codes die Brennbarkeit klassiert, der zweite Teil gibt den Aggregatzustand bei Raumtemperatur an und der dritte Teil gibt die Wassergefährdungsklasse an.



Beispiel für ein Getriebeöl:



## Gemischtbasische Öle

Gemischtbasische Öle sind Mineralöle, die in ihrer Zusammensetzung und den Eigenschaften zwischen den →paraffin- und →naphthenbasischen Ölen liegen.

## GHS

Abkürzung für Global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien sowie deren Kennzeichnung auf Verpackungen und in Sicherheitsdatenblättern. Seit 2010 ist es obligatorisch chemische Stoffe nach GHS einzustufen und zu kennzeichnen.

## Gleitreibung

Gleitreibung entsteht beim Aufeinandergleiten zweier Körper. In den Berührungsflächen tritt ein verhältnismässig grosser Reibungswiderstand auf. Im Gegensatz dazu erfolgt bei der Rollreibung ein Abrollen der Berührungsflächen, verbunden mit einem kleinen Reibungswiderstand. In Verzahnungen treten beide Reibungsformen gleichzeitig auf.

## Glykol

Zweiwertiger Alkohol, z. Bsp. Ethylen- und Propylenglykol als Kühlerfrostschutz oder Polyalkylenglykol als Schmierstoff für Schneckengetriebe. Glykole können je nach Chemie und/oder Temperatur wasserlöslich oder -unlöslich sein. Glykole dürfen nicht mit Schmierstoffen auf Basis von Mineralöl, PAO oder Ester vermischt werden!

## Graphit

Graphit kommt in der Natur als Mineral vor, wird aber auch synthetisch hergestellt. Er eignet sich als Schmierstoff besonders für Schmierstellen, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind. Als Zusatz in Schmierfetten verleiht er diesen besondere Notlaufeigenschaften bei erhöhten Betriebstemperaturen; die Druckaufnahmefähigkeit der Schmierstoffe wird jedoch durch einen Graphitzusatz in der Regel nur unbedeutend erhöht.

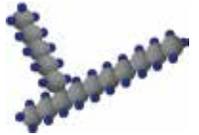


## Graufleckigkeit

Graufleckigkeit ist ein Schaden, den man an oberflächengehärteten Zahnflanken beobachtet. Die matt erscheinenden Flächen weisen eine sehr grosse Zahl von kleinsten Materialausbrüchen, die auch als → Mikropitting bezeichnet werden, auf. Dieselben treten unterhalb der Dauerfestigkeit wegen Grübchenbildung auf und führen zu Formabweichungen mit entsprechend unerwünschten Folgeerscheinungen. Neben anderen Faktoren spielt die Additivierung des Getriebeöls eine wichtige Rolle. Die Graufleckentragfähigkeit einer Verzahnung kann mit Hilfe eines modifizierten → FZG-Testes bestimmt werden. Als Schadensbild ist die Graufleckigkeit jedoch nur mit viel Erfahrung erkennbar.

## GtL

**Gas to Liquid.** Im GtL-Verfahren wird Erdgas durch Zufuhr von Sauerstoff und Wasserdampf zu Synthesegas und dieses nach dem Fischer-Tropsch Verfahren in flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Der Hauptanteil des Produktgemisches aus der Fischer-Tropsch-Synthese besteht aus langkettigem, wachsartigem Normalparaffinen, die erst durch Cracken und Isomerisierung in einem speziellen Hydrocracker und anschliessender → Fraktionierung in hochwertige Produkte umgewandelt werden müssen. Der Herstellungsprozess ist in der Sektion 2 näher beschrieben.



## Gütesiegel

→ Ecolabel

## H1/H2/3H

**H1** ist die Kennzeichnung für die Freigabe der → NSF (**N**ational **S**cience **F**oundation) für einen Schmierstoff, der für den zufälligen Kontakt mit Lebensmitteln (incidental food contact) freigegeben ist. Die Schmierstoffkonzentration im Endprodukt darf dabei 10ppm nicht übersteigen.

**H2** ist die Kennzeichnung für die Freigabe der NSF für Schmierstoffe, die keine Schwermetall- und chlorhaltigen Additive enthalten und nicht in Kontakt mit Lebensmitteln kommen. Das H2 Label kann heute nahezu jedem konventionellen Schmierstoff vergeben werden, während zur Formulierung von H1 Schmierstoffen nur Substanzen zugelassen sind, die vom → FDA freigegeben sind.

**3H** ist die Kennzeichnung für die Freigabe der NSF für Schmierstoffe die als Trennmittel in der Lebensmittelindustrie für den direkten Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen sind. Die Schmierstoffkonzentration im Endprodukt darf dabei 120ppm nicht übersteigen.

## Härtegrade

1 dH = 10mg CaO/l oder 1 dH = 1.78fH (französische Härtegrade)  
Da die Härte des Wassers je nach der geographischen Lage seines Vorkommens, nach der Bodenbeschaffenheit und auch von Jahreszeit zu Jahreszeit schwankt, wurden zur Unterscheidung dieses Merkmals die Härtegrade eingeführt. Ein deutscher Härtegrad entspricht dem Gehalt von 10mg Calciumoxyd (CaO) in 1 Liter Wasser. Man unterscheidet zwischen temporärer und permanenter Wasserhärte. Die temporäre (vorübergehende) Härte bezieht sich auf die im Wasser enthaltenen Hydrogencarbonate, die durch Erhitzen beseitigt werden können. Die permanente Härte bezieht sich auf die im Wasser enthaltenen Sulfate, die sich nur mittels chemisch-technischer Verfahren beseitigen lassen.



- Hart
- Mittelhart
- Weich

Starke regionale Schwankungen sind möglich

## Härteöle

Meist Mineralölraffinate zum Abschrecken während dem Härteprozess von Stählen. Sie können neben Oxydationsinhibitoren auch Additive zur Steigerung der Abschreckwirkung enthalten. Die Abschreckwirkung der Stähle steht in direktem Zusammenhang mit der Viskosität. Der Anstieg der Viskosität ergibt eine Erhöhung des Siedebereiches und damit eine Verringerung der Dampfbildung in der Dampfhautphase. Ein begrenzter Anstieg der Viskosität ergibt also gleichzeitig eine optimalere Härtung. Dies obgleich durch Behinderung der Konvektion die Abschreckwirkung milder wird. Die Wahl einer zu hohen Viskosität führt jedoch zu einer verminderten Abschreckwirkung, weil die wärmeabführenden Turbulenzen während der Siedephase gleichzeitig herabgesetzt werden (Der Ansteigen der Viskosität verringert die Abkühlgeschwindigkeit durch die Verminderung der Konvektionsströmung). Je langsamer jedoch die Abkühlung ist, desto geringer ist die Gefahr des Härtever-

zugs und der Rissbildung, so dass innerhalb vernünftiger Grenzen eine höhere Viskosität vorteilhaft sein kann. Deshalb werden in der Praxis Härteöle mittlerer Viskosität gewählt.

## Heavy Duty (HD)-Motorenöle

Heavy Duty-Öle waren legierte Motorenöle, die neben anderen → Additiven → Detergentien und Dispergentien enthielten. Für den erfolgreichen Betrieb von modernen Otto- und Dieselmotoren waren sie unentbehrlich. Sie fanden frühzeitig Eingang in die US-Military-Specifications. Heute stellt die Zusatzbezeichnung HD kein Unterscheidungsmerkmal von legierten Motorenölen mehr dar. Hochlegierte Öle wurden in der Folge als → Super Duty-Öle bezeichnet.

Die Bezeichnung Heavy Duty oder HD-Motorenöl hat heute keine Bedeutung mehr. Massgebend sind indes die → ACEA-, → API- oder → OEM-Spezifikationen.

## Herbert-Test

Der Herbert-Test dient zur Prüfung des Korrosionsschutzvermögens von wässrigen Lösungen und → Emulsionen von → Kühlschmierstoffen für die Metallbearbeitung. Mit der Prüflüssigkeit übergosene Frässpäne aus Baustahl werden auf einer geschliffenen Gusseisenplatte während 24 Stunden unter Einwirkung feuchter Atmosphäre gelagert. Danach werden die Späne und die mit Lösemittel gereinigte Platte auf allfällige Korrosionsbildung kontrolliert und nach genormten Richtlinien benotet.

## Hertzische Flächenpressung

Berühren sich zwei gewölbte Körper punkt- oder linienförmig. Lassen sich Pressung und Verformung nach der Gleichung von Heinrich Rudolf Hertz berechnen. Die maximale Pressung ist dabei durch Erreichen der Fließgrenze des jeweiligen Werkstoffs begrenzt. Bei Stahl ist das bei ca. 800 N/mm<sup>2</sup> der Fall.

## Hochdruck-Eigenschaften

Das Druckaufnahmevermögen ist die Fähigkeit eines Schmierstoffes, einen Schmierfilm aufzubauen, der bei Druckbelastung eine direkte metallische Berührung der gegeneinander gleitenden Flächen verhindert. Bei punkt- und linienförmiger Druckbelastung oder wenn sich kein hydrodynamischer Schmierfilm aufbauen kann, ist es erforderlich, das Druckaufnahmevermögen des Öles durch Zugabe von Hochdruckwirkstoffen zu verbessern. Solche → Additive sind → Fettöle, → Fettsäuren, Zinkverbindungen, organische Schwefel-, Chlor- und Phosphorverbindungen, die bei hoher Druckbelastung, unter der Wirkung der dabei auftretenden, hohen Temperaturen, mit dem Metall chemisch reagieren und dabei eine Trennschicht zwischen den gleitenden Flächen bilden. Bei extrem hohen Drücken bewähren sich als Additive → Festschmierstoffe. Die Hochdruckeigenschaften von Schmierstoffen, gemessen in N/mm<sup>2</sup>, werden in verschiedenen Öl- und Fettprüfmaschinen bestimmt. Die Bezeichnung HD wird oft auch als Suffix den entsprechenden Schmierstoffbezeichnungen nachgeführt.

## HTHS Viskosität

→ Viskosität

### Hydrodynamische Schmierung

Unter hydrodynamischer Schmierung versteht man die vollständige Trennung von Gleitflächen durch einen Ölfilm.

Im Zustand der hydrodynamischen Schmierung findet kein → Verschleiss statt, und der Reibungswiderstand wird ausschliesslich durch die → Viskosität des Schmierstoffes bestimmt. Voraussetzung für die Erreichung dieses Zustandes ist die Form der Gleitflächen, damit sich ein «Ölkeil» bildet, eine genügend grosse Gleitgeschwindigkeit und eine darauf abgestimmte Viskosität. Dabei gilt: hohe Geschwindigkeit = tiefe Viskosität, tiefe Geschwindigkeit = hohe Viskosität. Beim Anlaufen und Auslaufen von Maschinen werden diese Voraussetzungen gestört, notgedrungen wird bis zur Festkörperreibung im Stillstand der Bereich der Mischreibung durchfahren.

Um auch diese Bereiche mit Flüssigkeitsreibung zu durchlaufen, sind grosse Gleitlager die hauptsächlich in Turbinen eingebaut sind zusätzlich mit einer hydrostatischen Schmierung ausgerüstet. Daneben gibt es auch Gleitlager die mit rein → hydrostatischer Schmierung betrieben werden, wobei als Schmierstoff auch Luft zur Anwendung kommen kann.

### Hydrophil

Wasserliebend; Hydrophile Substanzen sind in der Regel wasserlösliche Stoffe, aber es gibt auch solche Stoffe die nicht wasserlöslich sind. Aus diesem Grund ist hydrophil nicht mit wasserlöslich gleichzusetzen. Die Bezeichnung bezieht sich nur auf das Anziehen von Wasser und weder auf die Löslichkeit noch auf die Fähigkeit Wasser zu binden. Ein Stoff der dies kann wird als → hygroskop bezeichnet. Hydrophile Stoffe sind oft gleichzeitig lipophob, lösen sich also schlecht in Fetten oder Ölen. Substanzen, die hydrophil und lipophil sind, bezeichnet man als amphiphil; hierzu zählen zum Beispiel Seifen. Amphiphilie ist eine spezielle Eigenschaft eines Moleküls, das hydrophobe so wie hydrophile Gruppen beinhaltet.

### Hydrophob

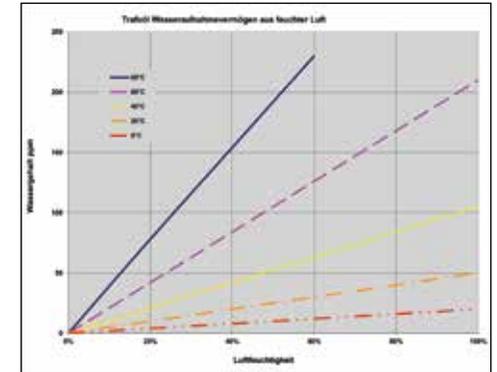
Wasserfeindlich oder wasserabweisend; mit diesem Ausdruck aus der Chemie werden Substanzen charakterisiert, die sich nicht mit Wasser mischen und es auf Oberflächen meist «abperlen» lassen.

### Hydrostatische Schmierung

Bei der hydrostatischen Schmierung wird im Gegensatz zur hydrodynamischen Schmierung der Druck in der Schmierschicht zur Trennung der Gleitflächen nicht von den Gleitflächen durch Pumpwirkung von innen, sondern von aussen durch externe Pumpen erzeugt.

## Hygroskopische Flüssigkeiten

Die Eigenschaft, Feuchtigkeit aus der Umgebung, meist in Form von Wasserdampf aus der Luftfeuchtigkeit, zu binden. Viele Stoffe – soweit es sich um feste Stoffe handelt – zerfliessen oder verklumpen durch die Wasseraufnahme. Davon ausgenommen sind poröse Materialien, die das Wasser in ihren Hohlräumen binden. Auch einige Schmierstoffe können temperaturabhängig mehr oder weniger hygroskop reagieren und müssen deshalb vor Luftfeuchtigkeit geschützt werden



## Hypoidgetriebeöle

Hypoidöle bilden eine spezielle Gruppe von Getriebeölen mit → Hochdruckadditiven. Sie werden in Hypoid-Getrieben eingesetzt, in denen sehr hohe Drücke auf die Zahnflanken und dadurch auch hohe Temperaturen auftreten. Zudem haben Hypoidgetriebe gegenüber stirnverzahnter Getriebe einen erhöhten Gleitreibungsanteil.

Diese Getriebe sind dadurch gekennzeichnet, dass sich die Achsen der bogenverzahnten Kegelräder im Raume kreuzen. Die Ritzelachse ist gegenüber der Tellerradachse in der Regel nach unten versetzt, daher die Bezeichnung Hypoid-Getriebe.



**ILSAC**

International Lubricants Standardization and Approval Committee, wurde 1992 von der AMMA (American Automobile Manufacturers Association und JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association) gegründet, um Parameters, Lizenzen und Administration von Schmierstoffspezifikationen zu definieren.

- ILSAC GF-1 Motorenöl nach API SH und EC-II (Energy Conserving II). Erstausgabe 1990 und 1992 angepasst als minimal Anforderungen für amerikanische und japanische Autos.
- ILSAC GF-2 Ersetzte GF-1 in 1996. Motorenöl nach API SJ und EC-II. Der GF-2 Standard verlangt 0W-30, 0W-40, 5W-20, 5W-30, 5W-40, 5W-50, 10W-30, 10W-40 und 10W-50 Motorenöle mit limitiertem Phosphorgehalt, minimalen Anforderungen an Tieftemperaturverhalten, Hochtemperaturablagerungen und Schaumverhalten.
- ILSAC GF-3 Motorenöl nach API SL und EC-II. Der GF-3 Standard enthält erhöhte Anforderungen zur Kompatibilität mit Abgasnachbehandlungssystemen, Treibstoffeinsparung, geringere Verdampfungsneigung, Motorensauberkeit und reduzierter Ölverbrauch.
- ILSAC GF-4 Ähnlich wie API SM, aber mit Anforderungen an VIB Fuel Economy Test.
- ILSAC GF-5 Eingeführt im Oktober 2010 für Fahrzeuge ab 2011 oder älter. Erhöhte Anforderungen an Hochtemperaturablagerungen, Verschleisschutz von Kolben und Turbolader, Schlammablagerung, Treibstoffverbrauch, Kompatibilität mit Abgasnachbehandlungssystemen, Dichtungsverträglichkeit und Motorschutz für den Betrieb mit Ethanol-Treibstoff E85.
- ILSAC GF-6 Spezifikation ist derzeit in Arbeit

**Inhibiertes Öl → legiertes Öl**

**Inhibitoren**

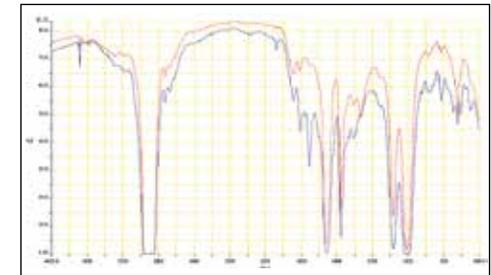
Inhibitor bedeutet lat. Inhibere = unterbinden. Inhibitoren sollen also einen Vorgang hemmen bzw. unterbinden. Als Inhibitoren werden vor allem Antioxydantien (Alterungshemmer) und Korrosionsschutzadditive bezeichnet.

**Institute of Petroleum**

IP ist die gebräuchliche Abkürzung für: Institute of Petroleum (London). Dieses Forschungsinstitut gibt, teilweise mit der ASTM (American Society for Testing and Materials), Normen über Schmierstoff-Prüfverfahren heraus.

**Infrarot Spektrometrie**

Infrarotspektrographen dienen in der Forschung der Raffineriekontrolle, der Analytik in der Erdölindustrie und der Petrochemie. Durch Eigenschwingung der Atome bestimmter organischer Molekülgruppen wird die Strahlenenergie des infraroten Lichtes unterschiedlich absorbiert. Dadurch können quantitative und qualitative Bestimmungen von Additiven in Schmierölen und Vergleichs-IR-Diagramme von organischen Flüssigkeiten gemacht werden.



IR-Vergleich zweier Fette

**Internationales Einheitensystem (SI)**

Das Internationale Einheitensystem, abgekürzt SI (von frz. Système international d'unités), ist das auf dem internationalen Grössensystem (ISQ) basierende Einheitensystem. Dieses 1960 eingeführte metrische Einheitensystem ist heute das weltweit am weitesten verbreitete Einheitensystem für physikalische Grössen.

Basiseinheit	Kurzzeichen	Basisgrösse
Meter	m	l Länge
Kilogramm	kg	m Masse
Sekunde	s	t Zeit
Kelvin	K	T Thermodynamische Temperatur

Zum Bezeichnen bestimmter dezimaler Vielfache und Teile von Basiseinheiten werden Vorsatzzeichen verwendet. Einen Ausschnitt aus den genormten Vorsätzen gibt die folgende Tabelle:

Bezeichnung	Kurzzeichen	Bedeutung
Mega	M	das 10 <sup>6</sup> fache der Einheit
Kilo	k	das 10 <sup>3</sup> fache der Einheit
Hekto	h	das 10 <sup>2</sup> fache der Einheit
Deka	da	das 10 <sup>1</sup> fache der Einheit
Dezi	d	das 10 <sup>-1</sup> fache der Einheit
Zenti	c	das 10 <sup>-2</sup> fache der Einheit
Milli	m	das 10 <sup>-3</sup> fache der Einheit
Mikro	μ	das 10 <sup>-6</sup> fache der Einheit

Bezeichnung	Kurzzeichen	Bedeutung
<b>Kraft</b>		
Einheit: Newton	N	1 N = 1 kg(m/s <sup>2</sup> )
<b>Druck</b>		
Einheit: Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> .
Für technische Zwecke wird bevorzugt:		1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa
<b>Kinematische Viskosität</b>		
Einheit:		(m <sup>2</sup> /s)
Umrechnung:		1 cSt = 1 mm <sup>2</sup> /s = 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
Die Einheiten Centistokes (cSt) ist nach wie vor geläufig.		
<b>Dynamische Viskosität</b>		
Einheit: Pascalsekunde	Pa*s	1 Pa s = 1 N s/m <sup>2</sup>
Umrechnung:		1 P = 10 <sup>-1</sup> Pa s 1 cP = 10 <sup>-3</sup> Pa s = 1 mPa s
Die Einheit Centipoise (cP) wird gelegentlich noch verwendet.		
<b>Arbeit (Energie)</b>		
Einheit: Joule	J	1 J = 1 N m
Umrechnung:		1 kp m = 9,81 N m = 9,81 J 1 kJ = 0,239 kcal 1 kWh = 3600 kJ
<b>Leistung</b>		
Einheit: Watt	W	1 W = 1 N m/s = 1 J/s
Umrechnung:		1 kp m/s = 9,81 W 1 PS = 736 W
<b>Temperatur</b>		
Einheit: Kelvin	K	0 K = -273.15°C
Umrechnung:		1 °C = 1 K (als Temperaturdifferenz)
In physikalischen Gleichungen muss die Kelvin-Temperatur eingesetzt werden. Dagegen können Temperaturdifferenzen sowohl in K wie in °C ausgedrückt werden.		
Die bisherigen Einheiten, Grad Fahrenheit (°F) ist im amerikanischen Sprachraum nach wie vor geläufig. Grad Réaumur (°R) wird nicht mehr gebraucht.		

ISO – Schmierstoffklassierung

DIN Nummer	Teil	Beschreibung	Bezeichnung
6743	1	Verlustschmierung	L-A
6743	2	Spindellager, Lager und deren Kupplungen	L-F
6743	3A	Kompressoren	L-DA & L-DV
6743	3B	Kältekompressoren	L-DG
6743	4	Hydrauliksysteme	L-H
6743	5	Turbinen	L-T
6743	6	Industriegetriebe	L-C
6743	9	Fette	L-X
6743	11	Pneumatische Werkzeuge	L-P
6743	12	Wärmeträgeranlagen	L-Q
6743	13	Werkzeugmaschinen	L-G

ISO – DIN Gegenüberstellung der wichtigsten Schmierstoffnormen

ISO 6743	Typische Kennbuchstaben	Anwendung	DIN 51 502 typ. Kennbuchstaben
Teil 2	L-FC, -FD	Spindellager & Lager	HL, CL
Teil 3A	L-DAJ, -DVD	Kompressoren & Vakuum	VC, VD, VCL, VDL
Teil 3B	L-DGC, DER	Gas- & Kältekompressoren	KA, KC, KD, KE
Teil 4	HM, HV, HFD	Hydrauliksysteme	HLP, HVLP, HFD
Teil 5	L-TGA, L-TGB	Turbinen	L-TD, L-TG
Teil 6	L-CKC, CKD	Getriebeöl	CL, CLP
Teil 9	L-XBEGB 00	Schmierfette	KP 2 K-30, GP 00 K-40
Teil 12	L-QA, -QC	Wärmeträgerflüssigkeiten	L-Q
Teil 13	L-G	Gleitbahnenöle	CG LP
Teil 15	EGB, EGC,EGD	Interne 2-Takt Verbrennungsmaschinen	-

### ISO-Viskositätsklassierung

Die ISO-Norm 3448 steht für die Viskositätsklassierung flüssiger Industrieschmierstoffe. Sie erleichtert das gegenseitige Verständnis zwischen dem Schmierstoffhersteller, dem Verbraucher und dem Konstrukteur.

Als Bezugstemperatur für die Viskositätsmessung ist 40 °C festgelegt. Die Schmierstoffe werden in entsprechende Viskositätsklassen (ISO VG) eingeteilt.

### ISO Mittelpunkt für Grenzwerte für die Viskositätsklassen

ISO Viskositätsklasse	Mittelpunkt für die kinematische Viskosität	Grenzwerte für die Viskositätsklassen	
	mm <sup>2</sup> /s bei 40 °C	mm <sup>2</sup> /s bei 40 °C min.	mm <sup>2</sup> /s bei 40 °C max.
ISO VG 2	2.20	1.98	2.42
ISO VG 3	3.20	2.88	3.52
ISO VG 5	4.60	4.14	5.06
ISO VG 7	6.80	6.12	7.48
ISO VG 10	10.00	9.00	11.00
ISO VG 15	15.00	13.50	16.50
ISO VG 22	22.00	19.80	24.20
ISO VG 32	32.00	28.80	35.20
ISO VG 46	46.00	41.40	50.60
ISO VG 68	68.00	61.20	74.80
ISO VG 100	100.00	90.00	110.00
ISO VG 150	150.00	135.00	165.00
ISO VG 220	220.00	198.00	242.00
ISO VG 320	320.00	288.00	352.00
ISO VG 460	460.00	414.00	506.00
ISO VG 680	680.00	612.00	748.00
ISO VG 1000	1000.00	900.00	1100.00
ISO VG 1500	1500.00	1350.00	1650.00
ISO VG 2200	2200.00	1980.00	2420.00
ISO VG 3200	3200.00	2880.00	3520.00

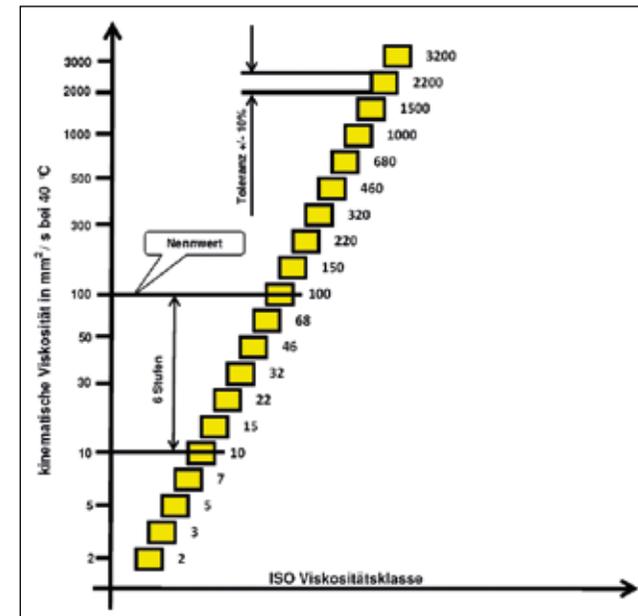
Die Viskositätsklassierung nach ISO 3448 ist wie folgt definiert:

- Die Klassierung umfasst 20 Viskositätsklassen im Bereich von 2 bis 3200mm<sup>2</sup>/s bei 40 °C.
- Jede Viskositätsklasse wird mit einer Zahl bezeichnet, welche der Nennviskosität bei 40 °C entspricht. Um Dezimalzahlen zu vermeiden, wird für Viskositäten <10mm<sup>2</sup>/s von diesem Prinzip leicht abgewichen. Die Klassennummern entsprechen hier den gerundeten Viskositätswerten.
- Für die Viskosität gilt eine Toleranz von ± 10 % des Nennwertes.
- Der Stufensprung beträgt rund 1,5. Die Nennviskosität jeder Klasse ist also um etwa 50 % höher als diejenige der vorhergehenden Klasse. Nach jedem sechsten Sprung erreicht die Viskosität das Zehnfache des Ausgangswertes.
- Die Klassierung bezieht sich ausschliesslich auf die kinematische Viskosität.

Die Bezeichnung der Viskositätsklasse für ein Öl mit 31.5 mm<sup>2</sup>/s bei 40 °C lautet demnach vollständig: ISO-Viskositätsklasse 32 (ISO 3448)

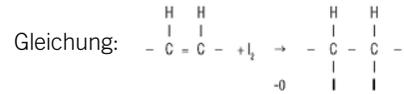
oder abgekürzt

ISO VG 32



## Jodzahl

Die Jodzahl gibt an, wie viele Massenprozent Jod ein Stoff an vorhandenen Doppelbindungen zu addieren vermag. Die Jodzahl liefert einen Massstab für den Gehalt an ungesättigten, mit Doppelbindungen versehenen Fettsäuren, da diese unter Aufspaltung der Doppelbindungen elementares Jod zu addieren vermögen.



Daraus folgt:

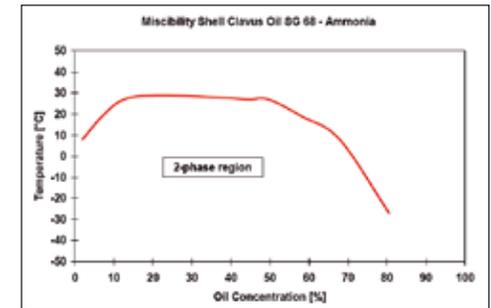
Je höher die Jodzahl ist, desto reicher an ungesättigten Verbindungen muss der Stoff sein.

## Kältekonsistenz

Als Kältekonsistenz wird die Konsistenz von Schmierstoffen bei tiefen Temperaturen bezeichnet, ausgedrückt in Zahlen als scheinbare  $\rightarrow$  dynamische Viskosität. Sie wird durch Prüfungen unter verschiedener Scherbeanspruchung ermittelt und ist von besonderer Bedeutung bei Schmierfetten, die sich unter gesteigerten Anforderungen bei grosser Kälte in Flugzeugen und anderen tribologischen Systemen bewähren müssen. Als besonders geeignet haben sich unter solchen Bedingungen weiche  $\rightarrow$  Lithium verseifte Fette erwiesen.

## Kältemittellöslichkeit

Die Löslichkeit von Kältemittel in Kältemaschinenöl steht in Abhängigkeit der Chemie der beiden Produkte und der Temperatur. Da ein Anteil des Öles in den Kältekreislauf gefördert wird, sichern nur gut lösliche Öle und die richtige Sauggeschwindigkeit für eine einwandfreie Ölrückführung zum Verdichter. Dabei muss die Löslichkeit sowohl bei hohen Drücken und Temperaturen im Verdichter, als auch bei tiefen Drücken und Temperaturen im Verdampfer gewährleistet sein.



Löslichkeit von PAG und NH3

## Kaltschlamm

Als Kaltschlamm wird die Ablagerung von Verbrennungsrückständen, Schmutz, Abrieb und Wasser in Form von bleichen, gelartigen Ausscheidungen bezeichnet. Diese setzen sich vor allem dort fest, wo das Öl eine sehr kleine Fließgeschwindigkeit hat oder wo Schmierstoffe einer sehr grossen Zentrifugalkraft ausgesetzt sind. Die Bildung von solchen Ablagerungen hängt stark von der Betriebsart ab und wird durch eine Unterkühlung des Motors massgebend begünstigt. Moderne Hochleistungsmotorenöle enthalten Additive, welche die Bildung von Kaltschlamm verhindern oder auf ein unbedeutendes Ausmass reduzieren.

## Kaltstart

Unter Kaltstart ist das Starten eines Benzin- oder Dieselmotors bei tiefen Temperaturen zu verstehen. Einem guten Start der Motoren können bei tiefen Temperaturen folgende Momente entgegenstehen:

1. Die Viskosität des Motorenöles nimmt durch die Kälteeinwirkung stark zu, und die Reibungswiderstände werden höher.
2. Die Batterie kann nur noch einen Bruchteil ihrer Leistung abgeben.
3. Die Verdampfungsgeschwindigkeit der Treibstoffe nimmt stark ab.

Die zum Starten erforderliche Anlassdrehzahl sollte bei Benzinmotoren 30 bis 60 min<sup>-1</sup> und bei Dieselmotoren 80 bis 120 min<sup>-1</sup> nicht unterschreiten. Die Startgrenze eines Motorenöles wird bei einer Viskosität von ca. 6200 mm<sup>2</sup>/s (0W)–7000 (10W) mm<sup>2</sup>/s angenommen. Bei dieser Viskosität ist

mit einer gut geladenen, kalten Batterie die erforderliche Anlassdrehzahl erreichbar. Ein Motorenöl der →SAE-Klasse OW erreicht diese Grenze bei ca. –35 °C, ein SAE 10W Öl bei ca. –25 °C.

### Kappa-Wert (K)

Damit sich während dem Betrieb von Wälzlager ein ausreichend tragfähiger Schmierfilm bilden kann, muss der Schmierstoff (Fett oder Öl) eine bestimmte Mindestviskosität bei Betriebstemperatur aufweisen. Als Mass für die Wirksamkeit der Schmierung dient das Viskositätsverhältnis  $K$  bei Betriebstemperatur. Mit  $K$  wird das Verhältnis der tatsächlichen kinematischen Viskosität  $\nu$  zu der für eine ausreichende Schmierung erforderlichen kinematischen Viskosität  $\nu_1$  bezeichnet.

$$K = \frac{\nu}{\nu_1}$$

### Kavitation

Von Kavitation wird gesprochen, wenn gelöste Luft durch Druckabfall in Blasenform ausgeschieden wird. In Hydrauliksystemen wird diese Erscheinung besonders häufig beobachtet. Die ausgeschiedenen Luftblasen kollabieren und belasten die Metalloberflächen und führen in Form von Kraterbildung zu Materialschäden. Kavitation ist besonders bei Kreiselpumpen durch ein knackendes Geräusch auch deutlich hörbar.



### Kernfraktion

Unter Kernfraktion, auch als Herzfraktion oder Herzschnitt bezeichnet, versteht man ein bei der Destillation von Erdöl erhaltenes Destillat mit einem bestimmten, engbegrenzten Siedebereich. Für gewisse Anwendungsfälle, beispielsweise für die Schmierung von Vakuumpumpen, werden Kernfraktionen bevorzugt. Im Allgemeinen sind aber Schmieröle Gemische von mindestens zwei Kernfraktionen.

### Kinematische Viskosität → Viskosität

### Kohlenstoffverteilung

Die Kenntnis der Kohlenstoffverteilung erlaubt einen Einblick in den strukturellen Aufbau eines Mineralöls ohne →Additive. Dadurch sind Angaben über die Anteile von Kohlenwasserstoffen möglich, die in →aromatischen oder →naphthenischen Ringen und in →paraffinischen Ketten gebunden sind. Die Anteile charakterisieren die statistische Zusammensetzung, sagen jedoch nichts über ihre Struktur aus. Die Einteilung erfolgt über die Viskositäts-Dichte-Konstante (engl. VGC) und sieht wie folgt aus:

aromatische Öle: 0.939 – 1.000  
naphthenische Öle: 0.820 – 0.899  
paraffinische Öle: <0.820

$$VGC = \frac{\rho + 0.0822 - 0.776 \lg \lg(10\nu - 4)}{1.0763 - 0.72 \lg \lg(10\nu - 4)}$$

### Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe (engl. hydro carbon HC) sind Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt sind. Mineralöle sind ein Gemisch von ring- und kettenförmigen HC-Verbindungen, die in unzähligen Variationen vorkommen können und neben HC-Verbindungen in der Regel auch S- und andere Verbindungen aufweisen.

### Kolloide

Kolloide sind Suspensionen von feinsten Teilchen, innerhalb eines definierten Grössenbereiches, in einem →Dispersionsmittel. In der Schmiertechnik kennt man hauptsächlich Graphit und Molybdändisulfid in kolloidaler Feinheit in Öl oder Schmierfett suspendiert. Diese Feststoffteilchen sind so klein, dass sie verschiedene Filtertypen durchdringen.

### Komplexfette

→ Aufsteifmittel

### Kompressibilität

Mineralöle sind beschränkt kompressibel und damit gegenüber Druckbeaufschlagung elastisch. Als Faustregel gilt, dass sich das Volumen von mineralölbasischen Hydraulikölen bei 100 bar Druckanstieg um ca. 0.5 %–0.7 % verringert. Die Volumenänderung ist nicht linear zum Druckgefälle. Bis ca. 150 bar ist die Kompressibilität für Öle mit maximal 9% gelöster Luft vernachlässigbar. Oft wird in diesem Zusammenhang auch vom Bulk Modul (Elastizitätsmodul) gesprochen, welches reziprok zur Kompressibilität ist.

Bulk Moduli einiger Hydraulikflüssigkeiten:

HLP	Hydrauliköl	1.5 * 10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup>
HFDR	Hydraulikflüssigkeit	2.0 * 10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup>
HFDU	Hydraulikflüssigkeit	2.2 * 10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup>
HFC	Hydraulikflüssigkeit	2.9 * 10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup>

### Konsistenz

→ Penetration

### Korrosionsinhibitoren

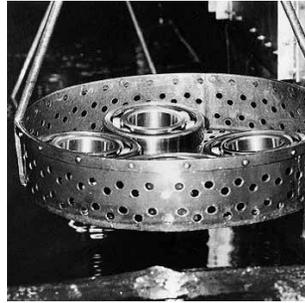
→ Inhibitoren, Additive

### Korrosionsschutzmittel

Korrosionsschutzmittel haben die Fähigkeit, schon bei Schutzschichten im µm Bereich korrosionsempfindliche Metalloberflächen vor dem Angriff von Wasser, Feuchtigkeit, aggressiven Gasen und Verunreinigungen zu schützen und damit die Rost- und Korrosionsbildung zu unterbinden. Korrosionsschutzmittel können Feststoffe, Öle, Fette, Lacke, Wachse, Emulsionen, Gase oder synthetische Produkte sein. Als Additive für die Formulierung solcher Produkte kommen verschiedene Metallverbindungen in Frage. Ihre Wirkung ist zeitlich beschränkt. Je nach ihrer Umgebungsbedingung muss in kürzeren oder längeren Abständen eine Nachbehandlung der zu schützenden Metall-

oberflächen vorgenommen werden. Bei Innenlagerung in gut durchlüfteten Räumen mit konstanter Temperatur kann beispielsweise mit einem guten Korrosionsschutzöl ein zuverlässiger Schutz für die Dauer von über 12 Monaten erzielt werden. Korrosionsschutzöle sind oft nur beschränkt mit Getriebe- oder Hydraulikölen verträglich. Die jeweilige Verträglichkeit ist von Fall zu Fall abzuklären.

Auftragen eines Korrosionsschutzmittels an Wälzlagern im Tauchverfahren



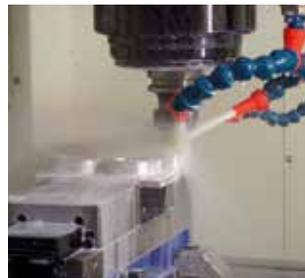
### Kühlschmierstoffe (KSS & WKSS)

Unter den Begriff Kühlschmierstoffe fallen im Prinzip alle Metallbearbeitungsflüssigkeiten. In der Praxis wird jedoch zwischen nicht wassermischbaren Schneidölen und Wasser emulgierbaren bzw. Wasser löslichen Kühlschmierstoffen unterschieden.

Die Kühlschmierstoffe haben bei der Metallbearbeitung die Aufgabe, das Werkstück und insbesondere das Werkzeug zu kühlen und damit schonend auf die Werkzeuge einzuwirken, gleichzeitig aber auch der Verbesserung der Masshaltigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Werkstücke zu dienen. Die Kühlschmierstoffe, in der Praxis auch als Bohröl bezeichnet, sind entweder echt wasserlösliche Produkte auf der Basis von synthetischen Stoffen wie z. Bsp. Glykole oder wasseremulgierbare Stoffe auf der Basis von Mineralöl, denen nebst andern Additiven → Emulgatoren beigegeben werden. Die Emulgatoren ermöglichen die Emulsionsbildung, d. h. die mehr oder weniger feine Verteilung des Öls im Wasser.

Kühlschmierstoffe werden in verschiedenen Konzentrationen von 2 % für Schleifarbeiten, 10 bis 20 % für schwere Arbeiten wie Gewindeschneiden, Tieflochbohren etc. angewendet. Die Konzentrate werden reinem Leitungswasser oder unter Umständen entsalztem Wasser zugegeben. Das heisst, das Konzentrat wird immer dem Wasser zugegeben, nie umgekehrt. Die wassergemischten Kühlschmierstoffe sind in der Regel alkalisch eingestellt, da in diesem Medium eine grössere Rostsicherheit gewährleistet ist. Gute Kühlschmierstoffe zeichnen sich besonders durch ein vorzügliches Rostschutzvermögen und eine gute Stabilität aus (kein oder nur geringes Aufrahmen von Öl). Wässrige Lösungen bzw. Emulsionen werden bei spanabhebenden Arbeiten vorzugsweise beim Bohren und Drehen, dann aber auch beim Fräsen, Sägen und Schleifen eingesetzt. Bei spanloser Verformung werden sie für gewisse Zieh- und Walzvorgänge verwendet.

Anwendung eines Wasser emulgierbaren WKSS beim Fräsen.



### Legiertes Öl

Da reine Mineralöle den an sie als Schmierstoff gestellten Anforderungen in der Regel nicht genügen, müssen sie durch → Additive legiert oder veredelt werden.

Als Additive zu den Mineralölen gehören Oxydationsinhibitoren, Viskositätsindexverbesserer, Stockpunktniedriger, Korrosionsinhibitoren, Antischaummittel, EP-Additive usw. Wie diese Bezeichnungen aussagen, handelt es sich beim Legieren der Mineralöle entweder um die Verbesserung bestimmter Eigenschaften oder um die Verleihung neuer Eigenschaften, welche reine Öle nicht aufweisen.

### Leichtlauföle

Unter Leichtlaufölen versteht man Motorenöle, welche im Hinblick auf die Einsparung von Energie entwickelt wurden. Sie enthalten spezielle Additive, welche die Reibung im Mischreibungsgebiet, verglichen mit herkömmlichen Motorenölen, vermindern. Diese Öle sind auch unter der Bezeichnung FE (Fuel Economy) bekannt geworden. Ein Leichtlauföl entspricht typischerweise einer SAE Klasse von ≤ 10W-40.

### Leitfähigkeit

Schmierstoffe gelten grundsätzlich als elektrisch isolierend. Die elektrische Leitfähigkeit kann sich aber durch Additive, insbesondere Graphit und MoS<sub>2</sub> und Kontamination von Wasser oder anderen Substanzen ändern. Die Leitfähigkeit von einem Schmieröl wird in der Regel in Picosiemens pro Meter angegeben und liegt beispielsweise bei einem Turbinenöl bei ca. 10–30 ps/m bei 20°C.

### Limited Slip (LS)

Damit werden Spezialöle bezeichnet, die für die Schmierung von Achsen mit Limited-Slip-Sperrdifferential, wie sie in gewissen Fahrzeugtypen eingebaut sind, verwendet werden. Der Ausdruck Limited-Slip stammt aus dem engl. und bedeutet «begrenzter Schlupf». Das heisst, dass das Gleiten des Rades, welches am Boden nicht greift, begrenzt wird. Mit einem herkömmlichen Getriebeöl wird in solchen Getrieben entweder ein Stick-Slip-Effekt erzielt, welcher sich durch Pfeifen oder Vibration äussert, oder durch zu grosse Schmierwirkung wird die Sperrung, welche mit den Lamellen erreicht werden soll, vermindert.

### Lithiumseifenfett Lösemittel-Raffination

→ Aufsteifmittel  
→ Raffination

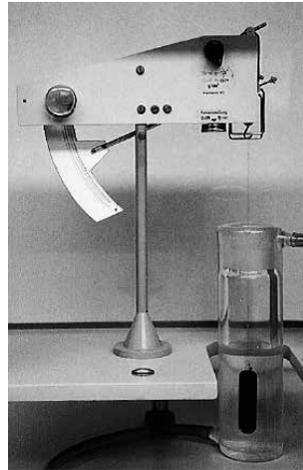
### Low SAPS-Öl

SAPS steht für Sulfat-Asche, Phosphor und Schwefel. Low SAPS Öle sind demnach Motorenöle die weniger Asche generieren. Der Einsatz von Low SAPS Ölen wird gefordert, wenn Fahrzeuge mit Diesel-Partikelfilter (DPF) und Dreiweg-Katalysatoren (TWC) ausgerüstet sind. Die entsprechenden Limiten sind unter anderem in den ACEA und API Normen festgeschrieben.

### Luftabscheidevermögen (LAV)

Als Luftabscheidevermögen wird die Fähigkeit eines Mineralöles bezeichnet, eingeschlossene Gase mehr oder weniger schnell wieder abzugeben. Nach DIN ISO 9120 versteht man darunter die Zeit, in der sich die im Öl dispergierte Luft bis auf einen Restgehalt von 0,2 Volumenprozent abscheidet. Zur Bildung der Luft-in-Öl-Dispersion wird Druckluft durch eine Düse in die Ölprobe geleitet. Das LAV hängt bei einer bestimmten Temperatur hauptsächlich von der → Viskosität und der Grenzflächenspannung des Öles ab. Viskose Öle haben im Allgemeinen ein schlechteres LAV als dünnflüssige Öle gleicher Herkunft.

Antischaummittel verbessern selbst bei kleinsten Konzentrationen das → Schaumverhalten. Silikonhaltige Entschäumer verschlechtern aber andererseits das LAV. Ein gutes LAV ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal eines Grundöls und kann nur in geringem Masse durch Additive verbessert werden.



### MAK-Wert

Der MAK-Wert (Maximal ArbeitsplatzKonzentration) war die höchst zulässige Konzentration eines Arbeitsstoffs in Form von Gas, Dampf oder Aerosol in der Luft am Arbeitsplatz. Der MAK-Wert war aus dem Sicherheitsdatenblatt Kapitel 8 ersichtlich. In den EU Sicherheitsdatenblätter wurden die MAK-Wert durch die LD-50 Werte ersetzt.

### Maschinenöl

Veraltete Bezeichnung. Maschinenöl war eine Sammelbezeichnung für unlegierte Mineralöle, die für Schmierstellen verwendet wurden, die keine besonderen Anforderungen an die Schmieröle stellten.

### Mehrbereichsöle

Mehrbereichsöle sind Öle, deren Viskositäts-Temperaturkurve zwei SAE-Bereiche durchlaufen, wovon bei den Motorenölen eine zur Gruppe 0W, 5W, 10W, 15W, oder 20W und bei Getriebeölen 70W, 75W, 80W oder 85W gehört. Dank ihres günstigen Viskositäts-Temperatur-Verhaltens erlauben diese Öle im Winter einen leichteren Kaltstart.

Hydrauliköle mit Mehrbereichseigenschaften müssen nach DIN 51 524 Teil 3 einen Viskositätsindex von  $\geq 140$  aufweisen.

### Mehrzweckfette

Mehrzweckfette, auch Universalfette genannt, werden in einem weiten Drehzahl- und Temperaturbereich für die Schmierung von Wälz- und Gleitlagern verwendet und sollten geeignet sein, die Mehrheit der in einem Betrieb oder an einer Maschine vorkommenden Fettschmierstellen zuverlässig zu schmieren. Man unterscheidet folgende Typen, wobei die NLGI Klasse jeweils 2 ist:

1. Mehrzweckfette für die Industrie. Diese Fette sind vor allem im Hinblick auf die an den Schmierstellen vorkommenden hohen Drehzahlen, mit relativ dünnflüssigen ( $68-150 \text{ mm}^2/\text{s}$  bei  $40^\circ\text{C}$ ) Grundölen aufgebaut.
2. Mehrzweckfette für Baumaschinen und Nutzfahrzeuge. Diese Fette sind mit höher viskosen ( $220-460 \text{ mm}^2/\text{s}$  bei  $40^\circ\text{C}$ ) Grundölen aufgebaut. Sie werden im Allgemeinen bei niedrigeren Drehzahlen verwendet, sind aber in höherem Masse, Schock- oder Vibrationsbelastungen ausgesetzt und müssen relativ wasserbeständig sein. Oft werden von diesen Schmierfetten erhöhte Druckbelastbarkeit und Notlaufeigenschaften verlangt, was → Festschmierstoffe wie z. Bsp. → Molybdändisulfid ( $\text{MoS}_2$ ) erfordert.

### Mehrzwecköle

Mehrzwecköle sind Öle, die in einem weiten Anwendungsbereich eingesetzt werden können. Sie sind nach den jeweils erhöhten Anforderungen ausgerichtet und erfüllen dadurch auch geringere Leistungsansprüche. Mehrzwecköle wie → STOU verlieren jedoch wegen der zunehmenden Leistungsanforderungen der einzelnen Anwendungen an Bedeutung.

**Mercon®**

Mercon ist eine 1990 von Ford veröffentlichte Spezifikation für Automatengetriebe von Ford. Analog den Dexron Flüssigkeiten wurde auch Mercon weiter entwickelt, wobei die Leistungsfähigkeit der beiden Öle jeweils vergleichbar ist.

**Metallbearbeitung  
Mikropitting**

→ **Schneidöle und Kühlschmierstoffe**  
→ **Graufleckigkeit**

**Minimalmengenschmierung**

Schmierung mit der geringst möglichen Schmierstoffmenge, die vorgängig mit automatischen Anlagen der Öl-Luft-, Sprüh- oder Ölnebelschmierung sichergestellt wird. Die für die Metallbearbeitung eingesetzten Schmierstoffe sind durchwegs nicht wassermischbar und bestehen aus pflanzlichen oder synthetischen → Estern oder Fettalkoholen.

**Mischreibung**

Bei Mischreibung wird die Belastung der Gleitkörper teilweise durch hydrodynamische Wirkung und teilweise durch Festkörperberührung aufgenommen. Ein gewisser Verschleiss ist dabei unvermeidbar. Soll anstandsloser Dauerbetrieb gewährleistet sein, muss der Zustand der Mischreibung möglichst vermieden oder schnell durchfahren werden.

**Molybdändisulfid MoS<sub>2</sub>**

MoS<sub>2</sub> wird aus Molybdänit, das weniger als 0,5% reines MoS<sub>2</sub> enthält, durch Vermahlen und Auswaschen des Gesteins gewonnen. Durch weitere Aufbereitungsverfahren kann der erforderliche Reinheitsgrad von 99,9% erreicht werden. Die ausgezeichnete Schmierwirkung von MoS<sub>2</sub> beruht auf dessen ausgeprägter Schichtgitterstruktur. Die S-S Bindung ist dabei wesentlich schwächer als die S-Mo Bindung.

Dichte	4,5–5,0 kg/m <sup>3</sup>
Schmelzpunkt	1180°C
Reibungskoeffizient	0,06–0,02 (je nach Belastung)
Struktur	hexagonales Schichtgitter
Farbe	grauschwarz, glänzend

Hexagonaler Molybdänitblock, auch als Molybdänglanz, Eutomglanz oder als Wasserblei bezeichnet, ist ein häufig vorkommendes Mineral aus der Mineralklasse der Sulfide.

**MSDS**

→ **Sicherheitsdatenblatt**

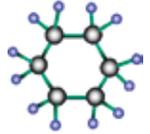
**Naphta**

Rohbenzin mit einem Siedebereich von ca. 30°C bis 150°C. Die Qualität kann je nach Provenienz sehr unterschiedlich sein. Naphta wird hauptsächlich in der Petrochemie als Rohstoff weiter verarbeitet.

**Naphtenbasische Öle**

Naphthenbasische Öle sind Mineralöle, die einen hohen Anteil an ringförmigen Kohlenwasserstoffen (auch Cycloalkane genannt) aufweisen, die aber wasserstoffreicher sind als Aromaten.

Gegenüber den Paraffinen sind sie weniger alterungsstabil, haben eine höhere Dichte und einen niedrigeren Flamm- und Anilinpunkt sowie ein ungünstigeres Viskositäts-Temperatur-Verhalten. Wegen ihres natürlich tiefen Stockpunkts eignen sich naphthenbasische Öle aber als → Isolier- oder Transformatorenöle.

**Natriumseifenfette**

→ **Aufsteifmittel**

**Nebelschmierung**

Bei dieser Schmiermethode wird das Öl mit Druckluft zerstäubt und der Schmierstelle in Form eines Ölnebels zugeführt. Sie wird hauptsächlich bei sehr schnelllaufenden Wälzlagern oder zur → Metallbearbeitung angewendet.

**Netzmittel**

Netzmittel (Benetzungsmittel) sind natürliche oder synthetische Stoffe, die in flüssigen Medien die Oberflächenspannung so stark reduzieren, dass sich auf einer festen Oberfläche von der betreffenden Flüssigkeit keine Tropfen bilden können. Die Flüssigkeit breitet sich dann allseitig aus und benetzt die Trenfläche vollständig.

**Neutralisationszahl**

Die Neutralisationszahl ist ein Mass für die Gesamtmenge der in einem Mineralölprodukt vorhandenen sauren Bestandteile, welche durch verdünnte Kalilauge neutralisiert werden können. Sie wird angegeben in mg KOH/g Öl = Anzahl Milligramm Kaliumhydroxyd, die nötig sind, um die in 1 Gramm Öl enthaltenen sauren Anteile zu neutralisieren.

Die durch die Neutralisationszahl erfassten Bestandteile können organische Säuren, sauer reagierende organische Verbindungen oder anorganische Säuren sein, welche als normale Bestandteile, als → Alterungsprodukte oder als Verunreinigung vorhanden sein können.

Die Neutralisationszahl gibt keinen Aufschluss über die Stärke der vorhandenen Säuren, über die Azidität (pH-Wert), die Art von vorhandenen → Additiven oder allfällig korrodierende Eigenschaften des Produkts.

Der Ausdruck «Säurezahl» wird deshalb durch die zweckmässiger Bezeichnung «Neutralisationszahl» ersetzt.

## Neutralöl

Neutralöl ist die international geltende Bezeichnung für hochwertige → Solvent-Raffinate.

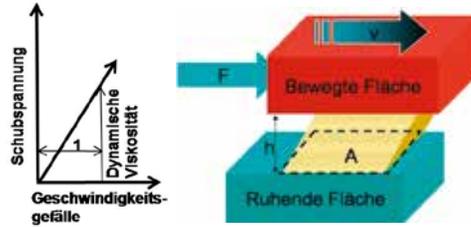
## Newtonsche Flüssigkeit

Eine Newtonsche Flüssigkeit ist ein isotropes rein viskoses Fluid, das folgende Bedingungen erfüllt:

- Schubspannung und Geschwindigkeitsgefälle sind direkt proportional
- In der Scherströmung sind die Spannungen in der X- und Y-Achse sowie der Senkrechten dazu gleich gross
- Eine elastische Verformung des Fluid muss so klein sein, dass sie das Geschwindigkeitsgefälle nicht beeinflusst

Diese Eigenschaft besitzen reine Mineralöle.

Fluide mit anderem Verhalten nennt man nicht Newtonsche Flüssigkeiten.



## NLGI-Klasse

Die NLGI (National Lubricating Grease Institute) Einstufung, die die Penetrationsmessung zu Grunde liegt, dient der einheitlichen Einteilung der Fett Konsistenzklassierung. Die NLGI hat Sitz in Kansas City USA. Klassierung → Penetration.

## Noack-Test

Kurzbezeichnung für die Bestimmung des Verdampfungsverlusts nach Noack, DIN 51 581. Hiermit werden die bei erhöhten Temperaturen auftretenden Verdampfungsverluste insbesondere von Motorölen gemessen.

## Nonfluid

Englische Bezeichnung für «nichtfliessend». Mit «Nonfluid» werden beispielsweise Textilmaschinenöle bezeichnet, denen zwecks Verhinderung des Wegfliessens von der Schmierstelle spezielle Haftzusätze beigegeben sind.

## Notlauf Eigenschaften

Bei intermittierendem Betrieb, schockartiger und hoher Druckbelastung und ungenügender Nachschmierung können Schmierstellen in den Zustand der Mischreibung mit direkter metallischer Berührung der Reibungsflächen versetzt werden.

Zur Überbrückung solcher Situationen können den Schmierstoffen durch die Zugabe von → Graphit oder → Molybdändisulfid erhöhte Notlauf Eigenschaften verliehen werden. Die reibungsmindernde Wirkung dieser → Festschmierstoffe sichert in Momenten der → Mischreibung die Schmierung und vermag die Gefahr hohen Verschleisses bis zum Wiedereintritt der vollen Schmierwirkung oder dem Stillstand abzuwenden. Die Notlaufschmierung ist unter Last immer nur für kürzere Zeit wirksam.

## NSF

NSF (National Science Foundation) ist eine nicht Profit orientierte, nicht staatliche, amerikanische Organisation. Von ihr werden Standards und Normen im Bereich Gesundheit und Sicherheit, mit Fokus auf Lebensmittel, Wasser und Luft erarbeitet. NSF listet seit 1998, nach Übernahme dieses Bereichs von der → USDA, die von ihr, für die Lebensmittelindustrie freigegebenen → H1, H2 oder 3H Schmierstoffe.

## OECD

Abkürzung für: **O**rganization for **E**conomic **C**ooperation and **D**evelopment.

Hauptsächlich europäische Organisation (wobei auch weitere Industrienationen wie die USA, Australien, Japan, etc. dazugehören). Hauptziel: Verbesserung der Lebensqualität in den betreffenden Ländern. Erarbeitet mit Hilfe von Fachgremien und Ausschüssen Empfehlungen, Entscheidungen und Grundsätze (z. Bsp. Testrichtlinien für Oekotoxteste).

Die → biologische Abbaubarkeit von Schmierstoffen wird im Test OECD 301B beschrieben. Als Mindestwert gilt eine Abbaubarkeit von >60%.

## Ölausscheidung

→ Schmierfette neigen dazu, während längerer Lagerung und auch an Schmierstellen mehr oder weniger Öl auszuscheiden. Eine geringe Ölausscheidungstendenz ist ohne Bedeutung und muss stets in Kauf genommen werden; eine starke Ölausscheidung ist dagegen unerwünscht. Für die Neigung zur Ölausscheidung (auch Ausbluten des Fettes genannt) sind in den Schmierfett-Spezifikationen bestimmte Grenzwerte festgelegt. Sie ist abhängig vom Aufsteifmittel, dem Öl und der Fabrikationsmethode. Bei sehr guten Fetten liegt die Ölausscheidung unter 5 Prozent nach 7 Tagen; ihr spezifizierter Maximalwert muss jedoch der Penetration angepasst werden, d. h. er steigt mit steigender Penetration etwas an.

Zur prozentualen Bestimmung der Ölausscheidung wird das zu prüfende Fett in einem normierten Apparat während einer bestimmten Zeit auf eine der Seifenbasis angepasste Temperatur erwärmt.

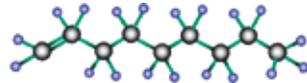
→ Tropfpunkt.

In Zentralschmierungen kann es durch das übermäßige Ausbluten von Öl zu Blockaden von einzelnen Leitungen und oder Verteilerblöcken kommen. Dabei spielen folgende Faktoren, bevor das Fett an die eigentliche Schmierstelle gelangt, eine Rolle.

- Steigender Druck, steigende Ölausscheidung
- Steigende Dauer (bei der das Fett unter Druck bleibt), steigende Ölausscheidung
- Steigende Temperatur, steigende Ölausscheidung
- Sinkende Konsistenz, steigende Ölausscheidung
- Art der Verseifung oder Aufdickung

## Olefine

Umgangssprachliche Bezeichnung für ungesättigte Kohlenwasserstoffe vom Typ n- oder i-Alken mit einer oder mehrerer Doppelbindungen im Molekül. Verbindungen mit zwei Doppelbindungen im Molekül heißen Alkadiene oder kurz Diene.



## Ölkohle

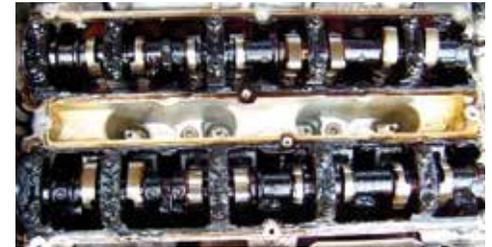
Als Ölkohle oder Ölkoks bezeichnet man harte kohleartige Rückstände. Sie entstehen durch Alterung und örtlicher Überhitzung und sind Pentan und Toluol unlöslich. In der Regel kann Ölkohle wegen deren geringen Löslichkeit in anderen Medien nur noch mechanisch entfernt werden.

## Öl-Luft-Schmierung

Im Gegensatz zur Ölnebelschmierung wird hier das Öl in der Zuleitung zur Schmierstelle durch einen Luftstrom als Film an der Rohrwand entlang transportiert. Bei entsprechender Rohrlänge und richtiger Taktfolge der Ölzufuhr entsteht ein fein dosierter, kontinuierlicher Ölstrom. Am Ende der Zuleitung wird das Öl durch eine Düse der Schmierstelle tropfenweise zugeführt. Die entweichende Luft ist nahezu ölfrei. Das Hauptanwendungsgebiet ist die Schmierung sehr schnelllaufender Wälzlager in der Drucklufttechnik.

## Ölschlamm

Ölschlamm ist der Sammelbegriff für höher molekulare Ölbauprodukte, die sich unter der Einwirkung von Sauerstoff, Temperatur sowie von Feuchtigkeit und Wasser bilden. Zunächst äussert sich die Öländerung durch einen Viskositätsanstieg und/oder eine Farbveränderung, später kondensieren vor allem an kühleren Stellen schlammartige, klebrige Ausfällungen.



## Ölverbrauch

Der Ölverbrauch wird je nach Maschinenart und Verwendung in unterschiedlichen Masseinheiten angegeben.

Richtwerte für einige Maschinen sind:

▪ Kolbenverdichter	20–70	g/1000m <sup>3</sup>
▪ Schraubenverdichter	5–30	g/1000m <sup>3</sup>
▪ Flügelzellenverdichter (Öl eingespritzt)	5–30	g/1000m <sup>3</sup>
▪ Gasmotoren	<50	mg/kWh
▪ Ottomotoren	0.1–0.7	l/1000km
▪ Dieselmotoren	0.3–1.5	l/1000km

## Oxydasche

→ **Aschegehalt**

## Oxydationsstabilität

Unter der Oxydations- oder Alterungsstabilität von Schmierstoffen versteht man die Widerstandskraft der Kohlenwasserstoffe gegen eine Verbindung mit Sauerstoff (Oxydation). Durch Zugabe von Antioxydantien (→ Inhibitoren) kann die Oxydationsstabilität verbessert werden.

Mineralöle oxydieren besonders bei Temperaturen über 100°C zunehmend schneller. Dabei bilden sich je nach der Ölstruktur öllösliche und ö unlösliche saure Alterungsprodukte wie Harze und → Asphaltene. Auch bei niedrigeren Temperaturen treten solche Vorgänge auf, besonders wenn das Öl im Umlauf ständig mit frischen Mengen Luftsauerstoff in Berührung kommt. Die Oxydation wird

durch Metalle wie Kupfer und Blei sehr stark katalytisch begünstigt. Eine weitere Folge der Alterung durch Wärme und Katalyse stellt die Polymerisation dar. Diese besteht in der Zusammenlagerung von Molekülen zu grösseren Komplexen und äussert sich in einer Zunahme der →Viskosität. Ähnlich wirkt sich die unter Einfluss von Sauerstoff und Wärme eintretende Polykondensation aus. Diese ist ebenfalls durch die Bildung grösserer Molekülgruppen, jedoch durch Wasseraustritt, gekennzeichnet.

Zur Bestimmung der Oxydations- und Alterungsstabilität von Schmierstoffen existiert eine Unzahl von Prüfmethode, Apparaturen und Geräten. Einige der bekannteren sind:

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| ▪ TOST (Turbine Oil Oxydation Test)               | Turbinen-, Kompressor und Hydrauliköl |
| ▪ RPVOT (Rotating Pressure Vessel Oxydation Test) | Turbinenöl                            |
| ▪ Wolf Strip Test                                 | Turbinenöl                            |
| ▪ RULER Test                                      | Turbinenöl                            |
| ▪ Cinninati Milacron Test                         | Hydrauliköl                           |
| ▪ Baader Test                                     | Isolieröl                             |
| ▪ MPC (Membrane Patch Colorimetry)                | Turbinen- und Hydrauliköl             |

Ferner gibt es eine grosse Anzahl von Testmethoden, die in den Normen von IP, ASTM, ISO und DIN beschrieben werden.

## Paraffin

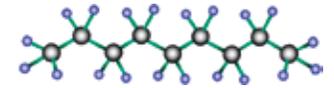
Unter Paraffin versteht man ein Gemisch von gesättigten geradkettigen Kohlenwasserstoffen mit mindestens 16 Kohlenstoffatomen pro Molekül. Paraffine werden hauptsächlich aus dem zur Verbesserung der Kältebeständigkeit notwendigen Entparaffinierungsprozess bei der Raffination paraffinischer Schmieröledestillate gewonnen. Sie werden nach ihren Schmelz- bzw. Erstarrungspunkten eingeteilt in:

	<b>Schmelzpunkt</b>
Weichparaffin	42 °C
Mittelparaffin	44–48 °C
Hartparaffin	50 °C

Als Schmierstoff hat Paraffin keine Bedeutung.

## Paraffinbasierte Öle

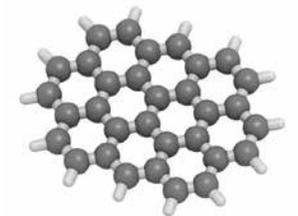
Paraffinbasierte Öle sind Mineralöle, die vorwiegend aus flüssigen →Paraffinen (auch Alkane genannt) bestehen. Paraffinbasierte Öle enthalten aber oft gewisse Mengen aromatischer und naphthenischer Verbindungen. Sie zeichnen sich durch eine flache Viskositäts-Temperaturkurve, mit einem Viskositätsindex von +/- 100, aus und werden hauptsächlich zur Herstellung von Motor-, Hydraulik-, Getriebe- und anderen Industrieölen eingesetzt.



**Paraffinöl** → Weissöle  
**Paraffinum Liquidum** → Weissöle

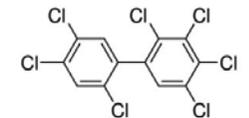
## PCA

Polyzyklische Aromaten. Unter PCA fasst man eine Gruppe kancerogener aromatischer Verbindungen zusammen, die vorwiegend durch Pyrolyseprozesse entstehen.



## PCB

Polychlorierte Biphenyle wurden wegen ihrer guten dielektrischen Eigenschaften und deren Nichtbrennbarkeit bis in die 1980er Jahre als Isolieröle verwendet. Aus chlorierten Biphenylen können sich bei Temperaturen zwischen 500 °C und 800 °C höchst toxische Dioxine und Furane bilden.



## Penetration

Unter Penetration versteht man die Eindringtiefe in Zehntelsmillimetern, die ein genormter Kegel beim Eindringen in eine Fettprobe während 5 Sekunden durch sein Eigengewicht erzeugt. Die Prüftemperatur beträgt dabei 25°C.

Die Penetration ist der zahlenmässige Ausdruck für die Konsistenz. Mechanische Bearbeitung und Scherwirkung kann die Konsistenz eines Fettes mehr oder weniger vermindern.

Man unterscheidet deshalb:

- Ruhepenetration: Bei der Ruhepenetration, meist auch nur kurz Penetration genannt, wird das Fett, so wie es als Probe vorliegt, in den Messbecher gefüllt und gemessen.
- Walkpenetration: Bei der Walkpenetration wird das Fett vor der Messung gewalkt. D. h., das Fett wird mit einem Fettknetter vorbehandelt. Die mechanischen Belastungen an der Schmierstelle wird so simuliert.

Die Werte der Ruhepenetration liegen in der Regel etwas tiefer als diejenigen der Walkpenetration. Zur einfachen Kennzeichnung der Konsistenz hat das US-National Lubricating Grease Institute (NLGI) folgende Skala aufgestellt.

NLGI-Zahl	Walkpenetration ASTM D 217	Konsistenz
000	445 bis 475	schwach fließfähig
00	400 bis 430	plastisch
0	355 bis 385	extrem weich
1	310 bis 340	sehr weich
2	265 bis 295	weich
3	220 bis 250	mittelfest
4	175 bis 205	ziemlich fest
5	130 bis 160	fest
6	85 bis 115	sehr fest

Fette ab NLGI 4 sind auf dem Markt kaum noch erhältlich.



Penetrometer. Genormter Kegel vor dem Eindringen der Spitze in das Fett.



Penetrometer. Der Kegel des Prüfgerätes ist in das Fett eingedrungen.

## Pentan und Toluol unlösliche Stoffe

Die Feststellung von Pentan und Toluol unlöslichen Stoffen in einem gebrauchten Schmieröl lässt folgende Rückschlüsse auf die während des Betriebes eingetretene Veränderung des Öles, bezogen auf die Neubefüllung zu:

Die Pentan unlöslichen Stoffe stellen die Gesamtverschmutzung des Öles dar. Darunter fallen feste Fremdstoffe wie Russ, Staub, Abrieb und Rost, ferner an Verbrennungsrückstände angelagerte, aufgebrauchte → Additive, Ölkohle und Alterungsprodukte wie Harze und → Asphaltene. Die Toluol unlöslichen Stoffe bestehen vorwiegend aus festen Fremdstoffen. Die öleigenen Alterungsprodukte sind also in Toluol, nicht aber in Pentan löslich. Aus der Differenz von Pentan und Toluol unlöslichen Rückständen lässt sich demnach auf den Gehalt an → Alterungsprodukten schliessen.

## Petrol / Petroleum

Petroleum (grich. Steinöl) ist eine Fraktion der Rohöldestillation im Siedebereich von etwa 150°C bis 300°C. Hauptverwendungszweck von leichtem Petroleum ist der Einsatz als «Jet-Fuel», wie er in der Luftfahrt verwendet wird. Die englische Bezeichnung für Petroleum als «Jet-Fuel» ist Kerosin (Kerosene). Petroleum in englischsprachigen Texten bedeutet Paraffinöl. Im amerikanischen Englisch wird andererseits Benzin als Petrol bezeichnet. Petroleum wird auch als Brennstoff, Leuchtöl, Lösungsmittel oder Reiniger eingesetzt.

## pH-Wert

Der pH-Wert (Wasserstoffionenkonzentration) ist ein Mass für den sauren oder alkalischen Charakter eines Stoffes. In wässrigen Lösungen gibt der pH-Wert den negativen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration an. Reines Wasser hat neben H<sub>2</sub>O-Molekülen eine Wasserstoff- und Hydroxylionenkonzentration von 10<sup>-7</sup>, wirkt somit neutral (pH-Wert = 7). Ist die Wasserstoffionenkonzentration grösser, bezeichnet man die Lösung als sauer (pH < 7), ist sie kleiner, wird die Lösung als alkalisch bezeichnet (pH > 7).

## Pitting

Als Pittings werden Zahnflankenschäden durch Grübchenbildung bezeichnet. Es handelt sich primär um eine Ermüdungserscheinung, die jedoch nur bei ölgeschmierten und vorwiegend ungehärteten Verzahnungen beobachtet wird. Schmierstoffseitig spielt die → Viskosität und die Reibungszahl eine gewisse Rolle. Hauptursachen sind Überlastung, ungeeigneter Werkstoff, einseitiges Tragen der Flanken oder ungenügende Oberflächengüte.

Durch Verwendung von → Höchstdruckgetriebeölen oder → Festschmierstoffen können Flankenschäden zum Teil vermieden werden. Brüche, plastische Verformungen und Beschädigungen durch Fremdkörper sind jedoch nicht durch den Schmierstoff beeinflussbar.



Grobe Pitting-Bildung auf der Flanke des Ritzels eines Hypoidgetriebes.

**Poise [P]**

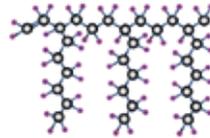
Amerikanische Einheit der dynamischen Viskosität. → Internationales Einheitensystem

**Polar / Polare Wirkstoffe**

Als polare Wirkstoffe werden chemische Verbindungen oder funktionelle Gruppen mit einem ausgeprägten elektrischen Dipolmoment bezeichnet. Diese Gruppen erzielen in Verbindung mit Metalloberflächen eine elektrochemische/elektromagnetische Wirkung. Hierzu gehören → Fettsäuren, → Fettöle sowie viele → Additive zur Erhöhung der → Schmierfähigkeit. Reine Kohlen-Wasserstoffe sind nicht polar oder apolar.

**Polyalphaolefine (PAO)**

PAO sind synthetisch hergestellte → Kohlenwasserstoffe. Sie zählen zu den verzweigten Iso-Alkanen. Man stellt sie großtechnisch in einem dreistufigen Prozess aus Ethylen (Ethen) her.



**Polykondensation**

→ **Oxydationsstabilität**

**Polymer**

Eine chemische Verbindung ist polymer, wenn aus einzelnen kleinen Molekülen grosse Moleküle, sogenannte Makromoleküle, gebildet wurden. Die Kunststoff-Chemie befasst sich nahezu ausschließlich mit polymeren Verbindungen (Polymerisate).

In der Mineralölchemie werden z. Bsp. viskose, langkettige Polymerisate als Viskositätsindexverbesserer verwendet, also auch Verbindungen, die dem Begriff Polymer unterstehen.

**Pourpoint**

Der Pourpoint von Mineralölen ist, im Unterschied zum → Stockpunkt, die Temperatur in °C, bei der das Öl beim Abkühlen unter vorgeschriebenen Bedingungen gerade noch wahrnehmbar fließt. Er gibt einen Anhalt für das Erreichen der Fließgrenze. Nach den genormten Prüfmethode n liegt der Pourpoint um 3°C über der Temperatur, bei der die Ölprobe beim Abkühlen nicht mehr fließfähig ist. Der Pourpoint ist abhängig vom Grad der Endparaffinierung und der Provenienz des Basisöls. Der Pourpoint kann weiter mit Additiven, sogenannten Pourpoint Depressants verbessert werden.

**Pufferwirkung**

Alkalische Reserven von Motorenölen die in der → TBN ersichtlich sind.

**Quellverhalten**

Als Quellverhalten wird im Allgemeinen das Verhalten nichtmetallischer Werkstoffe gegenüber Flüssigkeiten bezeichnet.

Im speziellen handelt es sich hier um das Verhalten von Konstruktionselementen wie Dichtungen, O-Ringen und Seilrollenbelägen aus Elastomeren und Kunststoffen beim Kontakt mit Schmierstoffen. Eine Volumenänderung, sei das, Quellung oder Schrumpfung, ist nur in engen Grenzen zulässig weil sonst die einwandfreie Funktion dieser Bauteile gestört wird. Für die Volumenänderungen sind physikalische Einflüsse verantwortlich. Für Mineralölprodukte sind die Viskosität, der Anilinpunkte und die Temperatur von wesentlichem Einfluss. Allgemein gilt: Je höher die Viskosität und der Anilinpunkt, umso geringer die Quellung.

Daneben wird die Beständigkeit durch chemische Einflüsse, zum Beispiel durch Additive des umgebenden Mediums, und mechanische Einwirkungen beeinflusst. Schmierstoffe die nicht auf Mineralölbasis aufgebaut sind, reagieren in der Regel anders als Mineralöl gegenüber Elastomeren. Deren Verträglichkeit muss deshalb im Einzelfall abgeklärt werden.

Grenzwerte für das Quellverhalten und Härteänderung nach DIN 51 524

Messmethode ISO 1817

ISO VG Klasse	10	15	22	32	46	68	100
Relative Volumenänderung %	0 +18	0 +15	0 +15	0 +12	0 +12	0 +10	0 +10
Änderung der Shore-A-Härte	0 -10	0 -8	0 -8	0 -7	0 -7	0 -6	0 -6

### Radikal

Molekül mit ungepaarten Elektronen und hoher chemischer Reaktivität. Bekanntestes Beispiel ist Sauerstoff. Radikale lösen bei Kohlenwasserstoffen meist unerwünschte chemische Reaktionen aus. Diese äussern sich in vorzeitiger Alterung (Oxydation) von Schmierstoffen. Ihre Wirkung kann mit Antioxydantien verzögert werden. Radikale werden mit einem «Punkt» dargestellt, zum Beispiel Stickstoffmonoxid (NO•).

### Raffinate

Als Raffinate werden Schmierödestillate bezeichnet, die nach speziellen Verfahren, durch extractive oder hydrierende Behandlung, veredelt werden.

### Raffination

Als Raffination wird die Behandlung von Erdölestillaten mit Chemikalien oder Lösungsmitteln zwecks Befreiung von unerwünschten instabilen Bestandteilen bezeichnet. Das am weitesten verbreitete Verfahren ist die Solventraffination. Weitere verbreitete Verfahren sind die Schwefelsäure-Raffination und die Hydrierung, auch als Hydrofinishing oder Hydrotreating bezeichnet.

Für die Lösungsmittel- oder Solventraffination werden vornehmlich Schwefeldioxyd, Furfurylaldehyd, flüssiges Propan oder ein Gemisch von Propan/Kresol, mit anschliessender → Bleicherdebehandlung verwendet.

Für bestimmte Zwecke, z. Bsp. Gewinnung von → Weissölen, genügt eine Solventraffination nicht; das Solventraffinat muss anschliessend noch einer Säureraffination unterzogen werden.

### Raffinationsgrad

Unter Raffinationsgrad versteht man die Stärke der Einwirkung von Chemikalien, Temperatur und Zeit während der Raffination auf das zu raffinierende Mineralöl.

Der Raffinationsgrad ist besonders bei der Beurteilung von Isolier- und Transformatorenöl von grosser Bedeutung.

### REACH

Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals. Dieses europäische Chemikalienrecht wurde im 2006 verabschiedet und ist seit dem 1. Juli 2007 in Kraft. Hersteller und Importeure die chemischer Stoffe in Verkehr bringen, müssen diese in einer zentralen Datenbank registrieren. Diese Datenbank wird von der europäischen Chemikalienagentur verwaltet.

### Redwood Sekunden

Veraltetes Viskositätsmass.

### Refraktion

→ Brechungsindex

### Refraktometer

Das Refraktometer ist ein Gerät zur Messung des → Brechungsindex. Unter Refraktion versteht man die Richtungsänderung eines Lichtstrahles beim Übertritt von einem Medium in das andere. Im Refraktometer wird der einfallende Lichtstrahl je nach Reinheit oder Konzentration der zu untersuchenden Lösung gebrochen.

### Regeneration

Unter Regeneration ist die Behandlung von gebrauchten Mineralölen durch Entwässern mit anschliessender Behandlung mit → Bleich oder Fullererde und Filtration zur Entfernung von Fremdstoffen zu verstehen. Das Verfahren wird vor allem bei Isolierölen angewendet.

Für stark oxydierte Mineralöle genügt eine solche Aufarbeitung nach dieser Methode nicht.

### Reibungskoeffizient

Reibungskoeffizient oder Reibungszahl

$$\mu = \frac{\text{Reibungswiderstand}}{\text{Normalkraft}} = \frac{F_r}{F}$$

Für Maschinenelemente, an denen die Reibung eine unerwünschte Nebenerscheinung darstellt, ist ein möglichst niedriger Reibungskoeffizient erwünscht. Dagegen ist für Elemente, die durch Reibung Kraft übertragen wie z. Bsp. nasse Kupplungen, Bremsen oder ein Sperrdifferential, ein definierter Reibungskoeffizient notwendig.

### Reichert Reibverschleisswaage

Die Reichert-Reibverschleisswaage ist ein Prüfgerät zur Kontrolle des Lasttragevermögens von flüssigen Schmierstoffen. Das Prinzip ist ähnlich dem Brugger Prüfgerät.

Eine feststehende Stahlzylinderrolle (ø 12 mm; L=18 mm) wird über ein Doppelhebelsystem an einen umlaufenden Schleifring gepresst, der mit seinem unteren Drittel in die zu prüfende Schmierflüssigkeit taucht. Bei einer Reibgeschwindigkeit von 1,65 m/s und einer Belastung von 300 N wird der Schleifring bis 100 m Umlaufweg laufengelassen. Die entstehende elliptische Abriebfläche

ist kleiner oder grösser, je nach dem zu prüfenden Schmierstoff. Aus der Abriebfläche in mm<sup>2</sup> kann das Lasttragevermögen des Schmierstoffs in N/mm<sup>2</sup> bestimmt werden.



1 = Schleifmarke 36 mm<sup>2</sup>; unlegiertes Mineralöl  
2 = Schleifmarke 2,2 mm<sup>2</sup>; EP legiertes Mineralöl



Prüfanordnung in der Reichertwaage:  
oben: Prüfkörper  
unten: Schleifring

## Reraffination

Unter Reraffination versteht man die Behandlung gebrauchter Mineralöle mit geeigneten Chemikalien und → Bleicherde oder Lösemitteln. Mit einer durchgeführten Reraffination können Zweitrafinate aus dem Altöl gewonnen werden, welche ähnliche anwendungstechnischen Eigenschaften besitzen, wie die direkt aus dem Erdöl gewonnenen Erstrafinate.

## Restölgehalt

Wenn Baumaschinen von Mineralöl auf umweltverträglichere Ester Öle umgeölt werden, ist darauf zu achten, dass der Mineralölgehalt nach erfolgter Umölung möglichst gering ist. Nach DIN ISO 15380 wird ein Restölgehalt von max. 2 % gefordert. Der Restölanteil kann mit verschiedenen Methoden gemessen werden. Dazu gehören Messungen vor und nach Umölung von: Zn und/oder P-Gehalt, Dichte, Jodzahl oder Dielektrizitätskonstante. Die Genauigkeit der angewandten Methode hängt stark von den verwendeten Öl Typen ab.

## Rheologie

→ Fließverhalten

## Rostschutzvermögen

Das Rostschutzvermögen von Schmierstoffen ist deren Fähigkeit, sich an Metalloberflächen anzulagern und die Berührung des Metalls mit Wasser, Feuchtigkeit, Gasen und Verunreinigungen zu verhindern, somit Rostbildung bzw. Korrosion zu vermeiden. Zur Erreichung dieses Ziels werden den Schmierstoffen → Korrosionsinhibitoren beigegeben. Das Rostschutzvermögen von Schmierstoffen kann im Labor mit Hilfe verschiedener Prüfmethode zuverlässig beurteilt werden.

Abb.: Prüfung der Schutzwirkung in der Klimakammer.



## SAE

Society of Automotive Engineers. Diese amerikanische Vereinigung befasst sich mit der Forschung, Entwicklung, Konstruktion, Bau und Betrieb von Land-, See-, Luft- und Raumfahrzeugen. International sehr verbreitet ist die SAE-Klassierung der Motoren- und Getriebeöle (SAE-Klassen). Diese Klassierung stützt sich auf die Erfahrung, dass zur Erzielung einer sicheren Schmierung von Motoren und Getrieben die Viskosität der Schmieröle innerhalb von definierten Grenzen schwanken darf. Die SAE-Klassen beziehen sich nur auf die Viskosität der Öle und lassen keine Rückschlüsse auf andere Qualitätskriterien zu.

## SAE-Klassierung J 300 für Motorenöl

Im Gegensatz zu älteren Ausgaben der SAE J-300 werden die Viskositätsgrenzen nicht mehr bei der bestimmten Temperatur von 0°F festgelegt. Jede Viskositätsklasse hat jetzt ihre eigene Bezugstemperatur. Daneben wird für jedes Öl einer W-Klasse eine Grenztemperatur hinsichtlich der Pumpfähigkeit vorgeschrieben und Minimalwerte der Viskosität bei 100°C spezifiziert. Zusätzlich wird für die Öle von SAE 8 bis 60 eine minimal erforderliche dynamische Viskosität bei 150°C unter hohem Schergefälle festgelegt. Die Zahlenwerte sind in der folgenden Tabelle enthalten. In der Originalfassung sind die Viskositäten noch in Centistokes und Centipoise angegeben.

### SAE-Viskositätsklassen für Motorenöle nach SAE J 300 JAN 2015

SAE Viskositätsklasse	Max. zulässige dynamische Viskosität		Kinematische Viskosität bei 100°C		Min. erforderliche Viskosität bei 150°C unter hohem Schergefälle
	Für Kurbeltrieb	Für Ölpumpe	Min.	Max.	
Klasse	mPa s bei °C	mPa s bei °C	mm²/s	mm²/s	mPa s
	6200 -35°C	60000 -40°C	3.8		
5W	6600 -30°C	60000 -35°C	3.8		High-Temperature High-Shear Viskosität (HTHSV)
10W	7000 -25°C	60000 -30°C	4.1		
15W	7000 -20°C	60000 -25°C	5.6		
20W	9500 -15°C	60000 -20°C	5.6		
25W	13000 -10°C	60000 -15°C	9.3		
8			4.0	<6.1	1.7
12			5.0	<7.1	2.0
16			6.1	<8.2	2.3
20			6.9	<9.3	2.6
30			9.3	<12.5	2.9
40			12.5	<16.3	3.5*
40			12.5	<16.3	3.7**
50			16.3	<21.9	3.7
60			21.9	<26.1	3.7

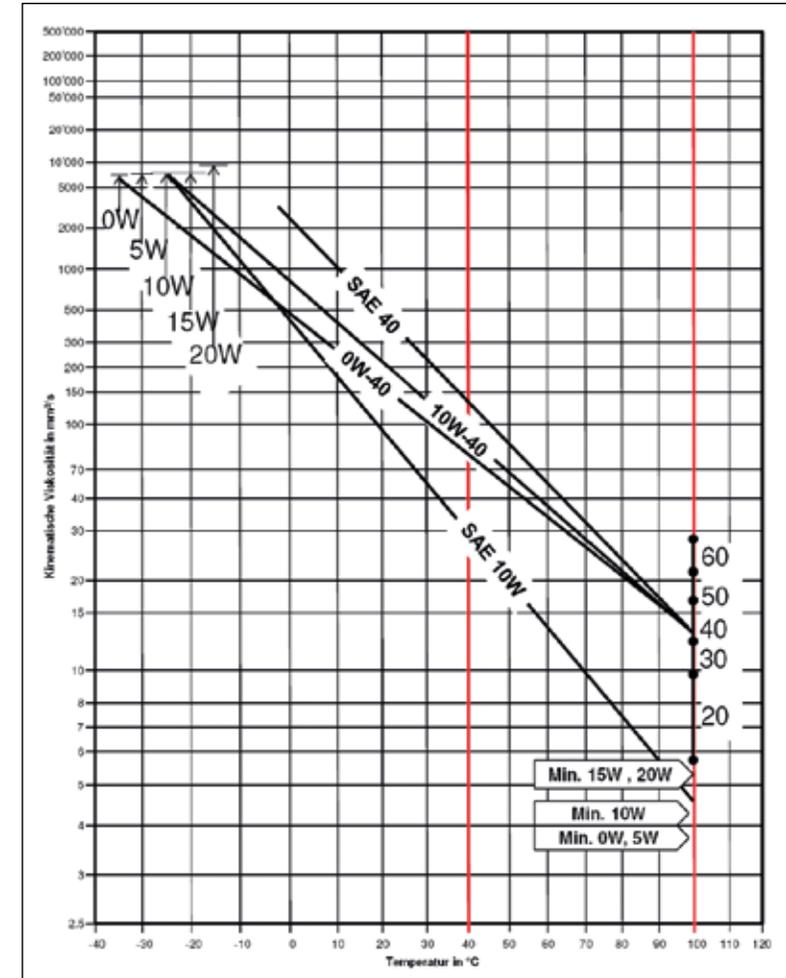
\* für Öle SAE 0W-40, 5W-40 und 10W-40

\*\* für Öle SAE 15W-40, 20W-40, 25W-40 und 40

Die Klassierung gilt für alle Arten von Motorenölen. Bei vorverdünnten Zweitakt-Motorenölen bezieht sich die Angabe der SAE-Klasse auf das unverdünnte Öl.

Die → kinematischen Viskositäten bei 100°C wird mit einem Kapillarviskosimeter gemessen und die scheinbaren dynamischen Viskositäten im Tieftemperaturbereich mit dem → Cold Cranking Simulator. Motorenöle, deren Viskositäts-Temperaturkurve nur durch einen SAE-Bereich läuft, werden als Einbereichsöle bezeichnet. Öle die zwei Bereiche einschliessen (einer davon gehört dann zur W-Gruppe), bezeichnet man als Mehrbereichsöle. Da im Tieftemperaturbereich nur die oberen Viskositätsgrenzen festgelegt sind, können die meisten Öle mehrere SAE-Klassen überdecken. Die SAE-Empfehlung lautet dahin, dass bei der Bezeichnung nur die tiefste W-Klasse zu verwenden ist.

Die bisher behandelten Viskositätsangaben betreffen das Fließverhalten im Motor, also hinter der Ölpumpe. Als volumetrisch wirkende Pumpe kann sie die Widerstände auf der Druckseite ohne weiteres überwinden. Auf der Saugseite dagegen muss das Öl der Pumpe zufließen, und dies bei sehr geringer Zulaufhöhe. Erfahrungen aus der Praxis im Winterbetrieb haben gezeigt, dass es nicht genügt, im Tieftemperaturbereich gewisse Höchstviskositäten vorzuschreiben. Aus diesem Grund enthält die SAE-Klassierung auch Anforderungen an die Viskosität im Hinblick auf die Vorgänge auf der Saugseite der Pumpe. Für eine kritische Viskosität wird eine Grenztemperatur für die Pumpfähigkeit vorgeschrieben.

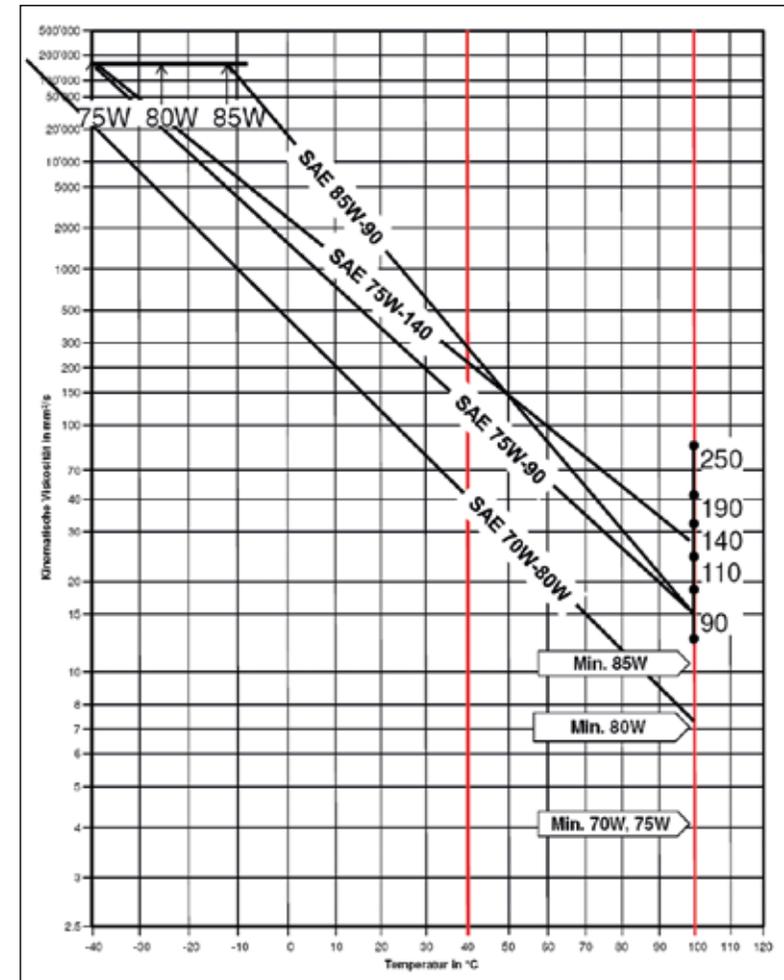


## SAE-Klassierung J 306 für Getriebeöle

Der Aufbau ist ähnlich wie bei der Klassierung der Motorenöle. Die aktuelle Ausgabe trägt die Bezeichnung SAE J 306 Jun 2005. Im Hochtemperaturbereich gilt als Bezugstemperatur 100 °C. Im Tieftemperaturbereich werden für die Öle der Klassen SAE 70W, 75W, 80W und 85W bei der dynamischen Viskosität von 150 Pa s Temperaturzonen festgelegt. Der Zusatzbuchstaben W haben den gleichen Sinn wie die Motorenöle. Die entsprechenden Zahlen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst und im Diagramm graphisch dargestellt. Die kinematischen Viskositäten bei 100 °C werden mit einem Kapillarviskosimeter gemessen und die scheinbaren dynamischen Viskositäten im Tieftemperatur-Bereich mit dem Brookfield-Viskosimeter. Um beide Messungen in einem Diagramm darstellen zu können, wird die dynamische Viskosität, unter Berücksichtigung der Dichte bei der Messtemperatur, in die Einheit der kinematischen Viskosität umgerechnet. Es handelt sich dabei um eine für praktische Bedürfnisse zulässige Vereinfachung.

SAE Viskosität	Max. Temperatur für eine Viskosität von 150000cP (mPa s)	Min. kinematische Viskosität bei 100 °C	Max. kinematische Viskosität bei 100 °C
Kasse	°C	mm <sup>2</sup> /s	mm <sup>2</sup> /s
70W	-55	4.1	-
75W	-40	4.1	-
80W	-26	7.0	-
85W	-12	11.0	-
80	-	7.0	< 11.0
85	-	11.0	< 13.5
90	-	13.5	< 18.5
110	-	18.5	< 24.0
140	-	24.0	< 32.5
190	-	32.5	< 41.0
250	-	41.0	-

Die Viskosität von 150 Pa s als obere Grenze wurde gewählt, weil Versuche an Hinterachsen gezeigt haben, dass bei höheren Viskositäten die Ölversorgung der Ritzellager unterbrochen wird. Andererseits verlangen Schaltgetriebe zum Teil niedrigere Viskositäten. Getriebeöle, deren Viskositäts-Temperaturkurve nur durch einen SAE-Bereich geht, werden als Einbereichsöle bezeichnet. Solche Öle die mindestens zwei Bereiche einschließen, wovon einer zur W-Gruppe gehört, heißen Mehrbereichsöle. Es handelt sich auch hier um eine Einstufung einzig nach der Viskosität ohne Bezug auf die Anwendungsgebiete.



### Säureraffination Säurezahl

→ Raffination  
→ Neutralisationszahl

### Saybolt-Sekunden

Veraltetes Viskositätsmass. Umrechnung → Anhang 2.

### Schaumverhalten

Mineralöle enthalten gelöste Luft und Gase, die bei Druckabfall entweichen. Besonders bei grösserem Druckabfall, z. Bsp. in Kompressoren und Hydrauliksystemen, kann sich durch frei werdende Luft Schaum bilden. Auch durch Umwälzung, Schlagen von Maschinenteilen in den Ölsumpf oder unzweckmässige Rückführung des Öles in den Ölbehälter kann Luft in feiner Verteilung ins Öl gelangen und daraus unter Schaumbildung wieder entweichen. Die Schaumstabilität eines Mineralöles hängt von dessen Oberflächenspannung ab. Das Schaumverhalten kann durch sehr kleine Mengen von Antischaummitteln günstig beeinflusst werden.

Das Schaumverhalten wird durch Einleitung von Luft durch einen feinporigen Verteiler während einer bestimmten Zeit in ein ebenfalls bestimmtes Quantum Öl getestet. Die Beurteilung stützt sich auf die Differenz der Schaummenge unmittelbar nach der Lufteinleitung und nach einer Standzeit von 10 Minuten. Die Prüfung wird bei 25°C, 95°C und erneut bei 25°C durchgeführt.



### Scheinbare Viskosität

Ändert sich die Schubspannung nicht proportional zum Schergefälle, dann verliert die → dynamische Viskosität nach dem Ansatz von Newton ihre Definition. Die an solchen Flüssigkeiten gemessenen Viskositätswerte dürfen deshalb korrekterweise nicht mehr als → Viskosität bezeichnet werden; hierfür hat sich der Ausdruck «scheinbare Viskosität» eingebürgert. Typischerweise werden Fette anstelle der → NLGI Klasse mit der scheinbaren Viskosität beschrieben. Eine direkte Umrechnung in eine NLGI Klasse kann indes nicht gemacht werden.

### Scherstabilität

Zur Verbesserung des Viskositäts-Temperatur-Verhaltens werden Schmierölen → Viskositäts-Index-Verbesserer zugegeben. Diese sehr langkettigen Polymere strecken sich bei erhöhten Temperaturen zu Makromolekülen, die dann beim Einwirken von Scherkräften ihre Molekularstruktur ändern, respektive auseinanderbrechen. Hierdurch tritt ein mehr oder weniger grosser Viskositätsverlust auf.

### Schlamm Bildung

Als Schlamm Bildung wird die Bildung höher molekularer Ölabbauprodukte bezeichnet, die unter Einwirkung von Sauerstoff, Temperatur, Feuchtigkeit, Verbrennungsgasen und anderen Einflüssen entstehen können.

### Schmelzpunkt

Der Schmelzpunkt ist die Temperatur in °C, bei der ein mehr oder weniger fester Stoff beim Erwärmen unter vorgeschriebenen Bedingungen flüssig wird. Von → Schmierfetten wird in der Regel nicht der eigentliche Schmelzpunkt, sondern der → Tropfpunkt bestimmt.

### Schmierfähigkeit

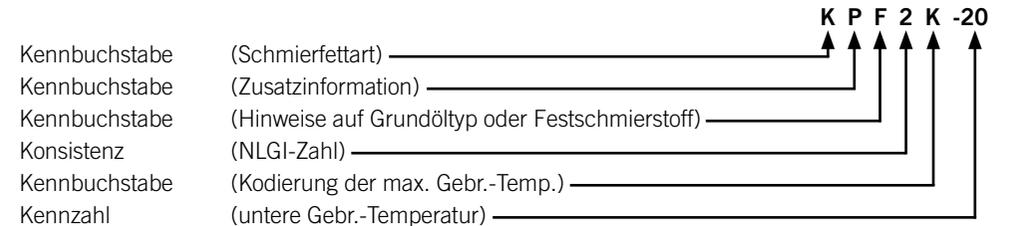
Als Schmierfähigkeit wird die nicht genau definierte Eigenschaft eines Schmierstoffes im Hinblick auf seine Schmierwirkung bezeichnet. Bestimmte → Additive verleihen dem Schmieröl gegenüber rein mineralischen Ölen erhöhte Schmiereigenschaften.

Mit Schmierfähigkeit wird, entsprechend einem Vorschlag des «Fachausschusses für Mineralöl- und Brennstoffnormung», die Tragfähigkeit des Schmierfilms gekennzeichnet. Sie muss immer auf konkrete Bedingungen bezogen werden, z. Bsp. Reibungsart, Reibungszustand, Werkstoffpaarung, Schmierung der Berührungsfläche, Flächenbelastung, Gleitgeschwindigkeit und Temperatur. Bei → Flüssigkeitsreibung ist ausschliesslich die → Viskosität des Schmierstoffes für die Tragfähigkeit massgebend, bei Festkörperreibung dagegen die Fähigkeit der Fressverhinderung mit Hilfe von Hochdruckadditiven.

### Schmierfett

Schmierfette sind → Dispersionen eines → Aufdickers, dem sogenannten Quellungsmittel, in einem Mineral- und oder Syntheseöl. Die Dispersionen werden wie Schmieröle mit → Additiven legiert. Rheologisch gesehen sind Fette → nicht-Newtonsche Flüssigkeiten, mit einem stark vom Geschwindigkeitsgefälle abhängigen Viskositätsverhalten. Schmierfette werden vorzugsweise dort eingesetzt, wo die Schmierung mit Schmierölen aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht oder nur erschwert möglich ist.

Schmierfette werden nach DIN 51825 und Getriebefliessfette nach DIN 51826 normiert. Zusatzbezeichnungen lassen sich aus der DIN 51502 ableiten, wobei deren Bezeichnung wie folgt entschlüsselt werden kann.



Bedeutung einiger Kennbuchstaben und -Zahlen:

Schmierstoffart	K	Schmierfette NLGI 0-4
	G	Schmierfette NLGI 000-1
Zusatzinformationen	P	Additive zur Reibungs- und Verschleissminderung
	F	Festschmierstoff
	E	Ester als Grundflüssigkeit
	HC	PAO als Grundflüssigkeit
Konsistenz-Kennzahl	→	Penetration
Max. Gebrauchstemperatur	E	+ 80°C
	G	+100°C
	K	+120°C
	N	+140°C
	P	+160°C
	R	+180°C
	S	+200°C
Untere Gebrauchstemperatur	-20	Angabe ohne °C

### Schmierfettprüfung nach dem Sauerstoff-Verfahren

Das Gerät besteht aus einem Chromnickelstahl-Zylinder mit aufgesetztem Manometer und dient entsprechend der Norm DIN 51 808 zur Bestimmung der Oxydationsstabilität von Schmierfetten.

Der Zylinder wird mit dem zu prüfenden Fett gefüllt und verschraubt. Danach wird dieser mit reinem Sauerstoff unter einen Druck von 7,7 bar gesetzt und während 100 Stunden bei 99°C in einem Ölbad gelagert. Bei der Oxydation nimmt das Schmierfett Sauerstoff aus dem Zylinder auf, was sich in einem Druckabfall äussert. Durch periodische Überwachung des Manometers wird der Druckabfall registriert.

Ein gutes Lithiumseifenfett wird beispielsweise nach 100 Stunden Prüfdauer nur einen Druckabfall von max. 0,5 bar anzeigen.

### Schmieröl-Verdünnung

Unter diesem Begriff ist die Verdünnung von Motorenöl durch Benzin oder Dieseltreibstoff zu verstehen. Sie wird in Volumen-Prozenten angegeben.

Als Ursachen dieser Erscheinung sind vor allem zu nennen:

- intermittierender Fahrbetrieb, besonders in der kalten Jahreszeit, wenn der Motor nur selten auf Betriebstemperatur erwärmt wird;
- ungenügende Dichtwirkung der Kolbenringe;
- schlecht eingestellte Einspritzorgane bei Dieselmotoren.

Ein zu hoher Treibstoffgehalt senkt die Viskosität des Öles beträchtlich, gefährdet dadurch die Schmierung und fördert den Verschleiss.

Bei Benzinmotoren ist im Sommer ein Treibstoffgehalt von 1–3 % und im Winter bis etwa 5 % tolerierbar; bei Dieselmotoren ist im Allgemeinen ein Treibstoffgehalt von 1–3 % zulässig.

### Schneidöle

Schneidöle werden bei der spanenden und spanlosen Formung von Metallen zur Schonung der Werkzeuge und Verbesserung der Masshaltigkeit und Oberflächengüte der Werkstücke verwendet.

Schneidöle sind dünnflüssige, mild bis hochlegierte Mineral- und Esteröle. Als → Additive dienen Schwefel-, Zink- und Phosphorverbindungen sowie →fette Öle. Auf →Chlorverbindungen wird seit einiger Zeit wenn immer möglich verzichtet, da solche ökologisch nicht unbedenklich, sowie teuer in der Entsorgung sind.

Bei Metallbearbeitungsvorgängen mit niedrigen Arbeitsgeschwindigkeiten und hoher Gleitreibung (z. Bsp. bei Ziehvorgängen) werden höher viskose bis hochviskose Öle verwendet. Die Aufgabe der Schneidöle liegt im Schmieren und Kühlen der Werkzeuge und Werkstücke.

Muss das Hilfsmittel für die Metallbearbeitung vor allem kühlen, dann werden nicht Schneidöle, sondern meistens wasseremulgierbare oder wasserlösliche →Kühlschmierstoffe verwendet.

### Schwefelgehalt

Schwefel in Form von chemischen Verbindungen wie zum Beispiel Schwefel-Phosphorverbindungen wird Mineralölen zur Erhöhung der →Schmierfähigkeit zugesetzt.

Von Interesse ist der Schwefelgehalt auch bei flüssigen Treib- und Brennstoffen sowie beim Roherdöl und den Ölraffinaten.

Nicht chemisch gebundener Schwefel kann auf Bunt- und Leichtmetallen unter Umständen starke Korrosion hervorrufen. Deshalb ist beim Einsatz von hochlegierten →Hypoidgetriebeölen in Industriegetrieben immer Vorsicht geboten. Der Schwefelgehalt wird in Massenprozenten oder ppm angegeben und kann je nach Formulierung von <50 ppm bis zu >3 % variieren.



Unter spanender Formung sind Arbeitsgänge wie Drehen, Bohren, Fräsen, Sägen, Stossen, Hobeln, Räumen, Reiben, Schaben, Läppen, Honen, Schleifen usw. zu verstehen.



Zur spanlosen Formung gehören Pressen, Tiefziehen, Rohrziehen, Drahtziehen, Stabziehen, Walzen usw.

## Schwer entflammare Druckflüssigkeiten

Schwer entflammbar  $\neq$  nicht brennbar. Nicht brennbar ist lediglich Wasser. In vielen Bereichen der Hydraulik ist die relativ leichte Brennbarkeit des Mineralöls ein zu hohes Risiko. Man weicht deshalb auf schwerer entflammare Flüssigkeiten aus. Zwingend vorgeschrieben sind schwerentflammare Hydraulikflüssigkeiten seit 1964 in Steinkohle Bergwerken untertage. Dort dürfen nur zugelassene Hydraulikflüssigkeiten eingesetzt werden, die den Anforderungen nach ISO 12922 entsprechen. Diese Flüssigkeiten sind auf Grund ihres Wassergehaltes oder ihrer chemischen Struktur gegenüber Mineralöl nur schwer oder weniger leicht entflammbar.

Zur Hauptsache werden zwei Gruppen von schwerbrennbaren Hydraulikflüssigkeiten verwendet:

- Wasserhaltige Flüssigkeiten: in erster Linie Öl-in-Wasser-Emulsionen, Wasser-in-Öl-Emulsionen und Wasser-Glykol-Lösungen. Die obere Einsatzgrenze dieser Flüssigkeiten liegt bei etwa 60°C. Der Gefrierpunkt der Emulsionen kann durch Beigabe von Glykolen herabgesetzt werden.
- Synthetische Flüssigkeiten, vor allem Phosphatester, Polyolester und Silikonöle. Die Vorteile dieser Flüssigkeiten liegen, neben der verminderten Brennbarkeit, in ihrer guten chemischen und physikalischen Stabilität und korrosionsverhütenden Wirkung. Sie verlangen jedoch spezielle Dichtungen und sind teurer als wasserhaltige Flüssigkeiten.

Schwerbrennbare Hydraulikflüssigkeiten vermindern die Brandgefahr und erhöhen dadurch die Betriebssicherheit. Bei der Umstellung auf schwerentflammare Flüssigkeiten ist eine gründliche Systemspülung unumgänglich.

## Seife, Seifenart, Seifenbasis → Aufsteifmittel

### Seifenfreie Fette

Seifenfreie Fette enthalten als → Aufsteifmittel in der Regel ein anorganisches Verdickungsmittel. Das Verdickungsmittel übernimmt die Funktion der Seife im → Schmierfett, und es können damit Schmierfette jeder → Konsistenz hergestellt werden. Der Vorteil der seifenfreien Fette liegt darin, dass sie keinen eigentlichen → Tropfpunkt aufweisen, da hohe Temperaturen die Wirkung des Verdickers nicht beeinflussen. Sie können deshalb gegenüber verseiften Fetten bei höheren Betriebstemperaturen eingesetzt werden. Die Ölviskosität ist allerdings so hoch zu wählen, dass die hohe Temperaturstabilität des Verdickungsmittels ausgenutzt werden kann. Für sehr hohe Drehzahlen und tiefe Temperaturen sind solche Fette entsprechend weniger geeignet.

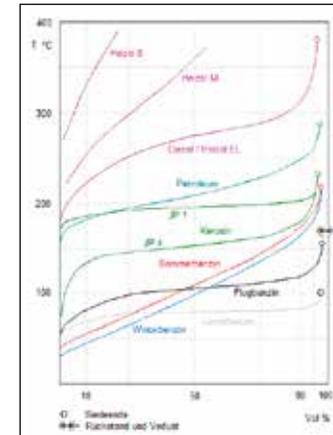
### Sicherheitsdatenblatt

Sicherheitsdatenblätter (SDB) oder Material Safety Data Sheets (MSDS) sind ein Instrument zur Übermittlung sicherheitsbezogener Informationen über Stoffe und Gemische einschliesslich Informationen aus dem/n einschlägigen Stoffsicherheitsbericht/en über die Lieferkette zum nachgeschalteten Verwender. Es ist dazu bestimmt, dem berufsmässigen Verwender die beim Umgang mit Stoffen und Gemischen notwendigen Daten und Umgangsempfehlungen zu vermitteln, um die für den Gesundheitsschutz, die Sicherheit am Arbeitsplatz und den Schutz der Umwelt erforderlichen Massnahmen treffen zu können.

## R- und S-Sätze

«Risiko- und Sicherheitssätze» sind kodifizierte Warnhinweise zur Charakterisierung der Gefahrenmerkmale von Gefahrstoffen, also Elementen und Verbindungen sowie daraus hergestellten gefährlichen Zubereitungen. Sie sind zusammen mit den Gefahrenbezeichnungen und den jeweils dazugehörigen Gefahrensymbolen die wichtigsten Hilfsmittel für die innerhalb der EU vorgeschriebene Gefahrstoffkennzeichnung. Die R- und S-Sätze wurden durch H- und S-Sätze ersetzt.

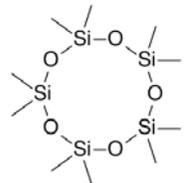
## Siedebereich / Siedekurve



Da in der Natur einzelne Kohlenwasserstoffe nie alleine vorkommen, das Erdöl vielmehr aus einer grossen Zahl von Kohlenwasserstoffen verschiedener Molekülgrössen und entsprechenden Siedepunkten besteht, ergibt die Destillation von Erdöl stets ein Gemisch mit einer bestimmten Bandbreite an Kohlenstoffketten. Ein solches Gemisch hat nicht wie z. Bsp. Wasser einen definierten Siedepunkt, sondern einen Siedebereich, der durch den Siedebeginn und das Siedende gekennzeichnet ist. Die Werte werden graphisch in einer Siedekurve dargestellt.

## Silikone

Silikone oder Siloxane (Der Name leitet sich ab von «Silicium», «Oxygenium» und «an» als Endung für gesättigte HC-Verbindungen) sind polymere Verbindungen, die ein cyclisches oder lineares Grundgerüst aus abwechselnd angeordneten Silicium- und Sauerstoffatomen aufweisen. Die organischen Seitenketten sind an die Siliziumatome gebunden. Es handelt sich dabei, je nach Länge der Hauptkette, um mehr oder minder viskose, zumeist farblose, ölige Flüssigkeiten mit einem ausgesprochen guten Viskositäts-Temperatur-Verhalten. Silikone sind praktisch mineralöln unlöslich, bewirken aber als Additiv zu Mineralöl eine merkliche Hemmung der Ölschaumbildung, wobei das → Luftabscheidevermögen gleichzeitig negativ beeinflusst wird. Nach besonderen Gesichtspunkten gefertigte Schmierfette auf der Basis von Silikonen sind im hohen Masse temperaturbeständig.



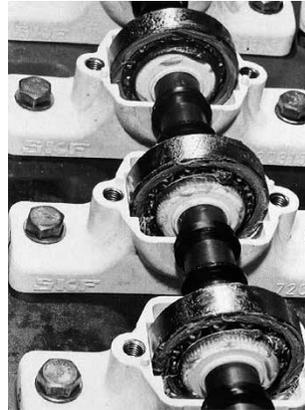
### SKF-EMCOR-Test

Der von der SKF Schweden entwickelte EMCOR-Test (Emulsions-Corrosions) ist zur Prüfung von Schmierfetten in Wälzlagern bei Anwesenheit von Wasser geeignet.

Die Prüfung lässt keine Rückschlüsse auf das tribologische Verhalten eines Wälzlagerfettes zu. Sie dient einzig der Beurteilung der Emulgierbarkeit und der korrosionsschützenden Eigenschaften des geprüften Schmierfettes.

#### Prüfbedingungen:

Prüfkörper	Pendelkugellager 1306 mit Stahlblechkäfig
Drehzahl	80 min <sup>-1</sup> im Wechsel mit Stillstand
Belastung	keine
Messgrößen	Visuelle Beurteilung der Korrosion am Aussening
Aussagen	Korrosionsschutzeigenschaften von Schmierfetten in Gegenwart von Wasser.



SKF-EMCOR-Emulsions-Korrosions-Testapparat

### Sludge-Test

#### → Baader-Test

Sludge-Test ist die engl. Bezeichnung für die Bestimmung der Alterungsstabilität nicht inhibierter Isolieröle.

### Solventraffination

#### → Raffination

### Spektrometrie

Die Spektrometrie oder -skopie umfasst eine Reihe moderner, sehr leistungsfähiger Untersuchungsmethoden der Analytik zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Elementen und gewissen Verbindungen. Im Labor kommen hauptsächlich die folgenden Verfahren zur Anwendung.

- Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP MS) ist eine robuste, sehr empfindliche massenspektrometrische Analysenmethode in der anorganischen Elementanalytik. Sie wird in der Schmierungstechnik zur Spurenanalyse von Metallen, wie Fe, Al, Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Sn usw. benutzt.
- Ultra-Violett-Spektroskopie (UV) zur Bestimmung von Metallen und organischen Verbindungen.
- Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS) zum Nachweis von Metallen (Additive und Metallabrieb).
- Infrarot-Spektroskopie (IR) zur Identifizierung von funktionellen Gruppen organischer Verbindungen und Additiven.

### Spindelöle

Spindelöle sind niederviskose Mineralschmieröle, die aus dem Rückstand der atmosphärischen Destillation nach der Gasölfraction in der Vakuumdestillation überdestillieren. Leichte Spindelöle haben eine Viskosität von ISO VG 3–15. Schwere Spindelöle haben eine Viskosität von ISO VG 15–32.

Spindelöle werden in der Praxis dort verwendet, wo an das Schmieröl keine besonderen Anforderungen in Bezug auf → Verschleisschutz gestellt werden. Nach DIN 51 524 Teil 1 werden Spindelöle als HL 2 bis HL 32 bezeichnet.

Die Bezeichnung Spindelöl ist auf die früher hauptsächliche Verwendung solcher Öle für Textilmaschinen-spindeln zurückzuführen.

### Spratzprobe

Qualitative Prüfmethode um Wasser in Öl nachzuweisen. Eine Ölprobe wird im Reagenzglas mit einer Flamme erhitzt. Beim erwärmen entweicht Wasser mit einem charakteristischen Geräusch. Diese Methode reagiert ab einem Wassergehalt von ca. 100 ppm, der genaue Wassergehalt kann mit dieser Methode aber nicht festgestellt werden.

### Stick-Slip-Effekt

Infolge der Verschiedenheit des Reibungskoeffizienten der Ruhe und der Bewegung tritt bei → Gleitreibung unter bestimmten Umständen eine unregelmässige Änderung des Reibungswiderstandes auf. Die Folge davon ist das sog. Ruckgleiten, oder engl. Stick-Slip. Die Erscheinung zeigt sich vor allem bei sehr kleinen Gleitgeschwindigkeiten z. Bsp. bei Werkzeugmaschinen-Führungen und kann einen einwandfreien Betrieb verunmöglichen.

### Stockpunkt

Als Stockpunkt wird die Temperatur bezeichnet, bei der ein Mineralöl beim Abkühlen unter vorgeschriebenen Bedingungen zu fließen aufhört, d. h. in einen mehr oder weniger festen Zustand übergeht.

Da die meisten Mineralölprodukte komplizierte Gemische der verschiedensten Kohlenwasserstoffe darstellen, ist bei der Abkühlung der Übergang von flüssigen zum praktisch nicht mehr fließenden Zustand im allgemeinen nicht scharf abgegrenzt, sondern er wickelt sich über ein mehr oder weniger ausgedehntes Temperaturintervall ab.

Die zum Stocken führende Abnahme des Fließvermögens kann zwei Ursachen haben:

1. Durch die gesetzmässige Zunahme der Viskosität mit sinkender Temperatur wird schliesslich ein derart hoher Wert erreicht, dass ein sichtbares Fließen der Probe aufhört.
2. Neben der normalen Zunahme der Ölviskosität beim Abkühlen, können noch Ausscheidungen von vorher im Öl gelösten Paraffinkristallen auftreten, welche bei gegenseitiger Verfilzung die Fließfähigkeit des Öles derart reduzieren, dass die halberstarre, → Vaselineähnliche Masse praktisch nicht mehr fließt.

Der Stockpunkt wird durch den etwas anders definierten → Pourpoint ersetzt.

### Stokes

#### → Internationales Einheitensystem

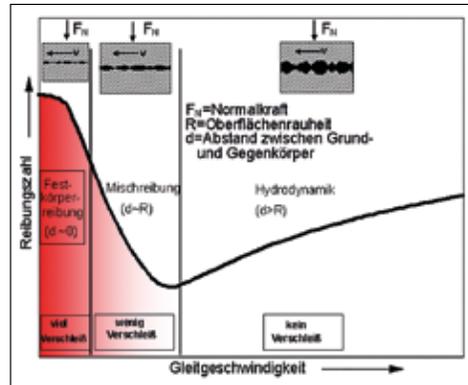
Amerikanische Einheit der kinematischen Viskosität.

## Strahlenbeständigkeit von Schmierstoffen

Wird Mineralöl bestrahlt, steigt die  $\rightarrow$  Viskosität an. Ausserdem tritt unter Umständen eine Gasentwicklung auf. Die Alterung von  $\rightarrow$  paraffinbasierten Mineralölen unter Einfluss von radioaktiver Strahlung ist ebenfalls beträchtlich. Einige  $\rightarrow$  synthetische Schmierstoffe wie  $\rightarrow$  Alkylaromaten weisen Mineralöl gegenüber eine deutlich bessere Strahlenbeständigkeit auf.

## Stribeck Kurve

Die Stribeckkurve beschreibt den Verlauf der Reibkraft in Abhängigkeit von der Reibgeschwindigkeit im Falle  $\rightarrow$  hydrodynamischer Reibung. Sie ist nach dem deutschen Forscher Richard Stribeck benannt, der sich u. a. mit Problemen der Werkstoffhärte und der Wellenlagerung beschäftigte und diese Kurve 1902 veröffentlichte.



## STOU

Universelle Traktorenöle für die Schmierung von Motor und Kraftübertragung über Schalt- und Achsgetriebe mit nassen Bremsen und Kupplungen sowie Druckflüssigkeit für das Hydrauliksystem. STOU ist kein Qualitätsmerkmal. STOU-Öle haben jedoch an Bedeutung verloren.

## Sulfatasche

$\rightarrow$  Aschegehalt

## Super Duty (SD)-Motorenöle

Mit Super Duty (SD) wurden früher die am höchsten legierten Motorenöle bezeichnet. Solche Öle wurden hauptsächlich in aufgeladenen Dieselmotoren unter schweren Belastungen eingesetzt. Gegenüber den normalen HD- (**Heavy Duty**) Motorenölen zeichneten sich die SD-Motorenöle besonders dadurch aus, dass sie neben einem besseren Reinigungsvermögen eine wesentlich höhere alkalische Reserven,  $\rightarrow$  TBN, besaßen.

Die Bezeichnung SD- (**S**uper **D**uty) Motorenöle hat heute keine Bedeutung mehr.

Bis in die 90er Jahre wurden Bezeichnungen wie SHPD (**S**uper **H**igh **P**erformance **D**iesel) und UHPD (**U**ltra **H**igh **P**erformance **D**iesel) bei Diesel-Motorenölen verwendet. Diese Begriffe liessen aber keine Qualitätsbeurteilung der Motorenöle zu.

## Syntheseöle

Die Synthese (griech. Zusammensetzung) stellt den Aufbau komplexer Substanzen aus einfacheren Stoffen oder Verfahren zur synthetischen Herstellung organischer oder anorganischer Verbindungen dar.

Zu den synthetischen Ölen zählt man: Phosphatester, chlorierte und fluorierte Kohlenwasserstoffe, Polyglykole, Silikonöle, Polyphenylether, zweibasische Ester, Polyalphaolefine, Alkylbenzene und weitere. Syntheseöle zeichnen sich gegenüber Mineralölen vor allem durch einen breiteren Temperatur-Einsatzbereich und durch eine bessere thermische Stabilität aus. Auf die einzelnen Typen von Syntheseölen abgestimmte Additive wirken wie bei Mineralölen. Syntheseöl ist kein Qualitätsmerkmal.

### TAN, Total Acid Number

Die TAN ist ein Mass für die in Frisch- und Gebrauchtölen enthaltenen sauren Bestandteile, ausgedrückt in mg KOH, die für die Neutralisation der in einem Gramm Öl enthaltenen sauren Bestandteile notwendig sind. Die Einheit ist mg KOH/g Öl.

Bei gebrauchten Ölen gibt die TAN einen Anhaltspunkt für die Alterung.

(KOH Kalium-Hydroxyd oder Potassium-Hydroxyd)

### TBN, Total Base Number

TBN ist ein Mass für den Gehalt an alkalisch wirksamen Additiven (Alkalinität) in einem legierten Motorenöl. Sie gibt an, wie viele mg KOH dem Neutralisationsvermögen der in einem Gramm Öl enthaltenen alkalischen Wirkstoffe äquivalent sind. Die Einheit ist mg KOH/g Öl.

Alkalisch wirkende Additive haben meistens auch eine Pufferwirkung, d.h. sie reagieren mit den aggressiven Säuren unter Bildung von schwachen, nichtaggressiven Säuren.

Die alkalisch wirkenden Motorenöle werden in Verbrennungsmotoren eingesetzt, um die aggressiven Säuren, die bei der Verbrennung des Kraftstoffes entstehen, zu neutralisieren.

Je grösser der Schwefelgehalt eines Treibstoffes ist, umso grösser muss die TBN sein, damit die Motorenöle nicht vorzeitig übersäuern bzw. altern. Die Kenntnis der TBN allein genügt jedoch nicht zur Beurteilung der Qualität neuer oder gebrauchter Motorenöle.

### Tenside

Sammelbezeichnung für grenzflächenaktive Substanzen. Tenside sind Stoffe, deren Moleküle eine → lipophile sowie eine → hydrophyle Gruppe aufweisen. Sie werden hauptsächlich in alkalischen Reinigern eingesetzt.

### Thixotropie

Nimmt in einer nicht-Newtonschen Flüssigkeit die Zähigkeit bei konstantem Schergefälle in Funktion der Scherzeit ab, dann nennt man dieses Fliessverhalten Thixotropie. Der Vorgang ist umkehrbar, d. h. im ruhenden Zustand bildet sich nach einer gewissen Zeit wieder die ursprüngliche Konsistenz.

### TIMKEN-Prüfmaschine

Es handelt sich hier um eine von der amerikanischen Wälzlagerfabrik TIMKEN entwickelte Verschleiss-Prüfmaschine. Bei der Prüfung wird ein gehärteter Stahlblock gegen einen ebenfalls gehärteten, rotierenden Ring gepresst (Linienberührung). Die Gleitgeschwindigkeit beträgt rund 2 m/s.

Die TIMKEN-Gutlast, ist die Kraft, die nach 10 Minuten Lauf noch nicht zum Anfressen führt. Diese wird stufenweise bestimmt. Der Schmierstoff (Öl oder Fett) wird am Umfang des Ringes zugeführt. Mit dieser Prüfmaschine können folgende Parameter bestimmt werden:

- Hochdruckeigenschaften, ausgedrückt als zulässige Anpresskraft
- Messung der Verschleissmarkenbreite am Prüfblock oder des Gewichtsverlustes von Block und Ring
- Reibungszahl  $\mu$



Reibstelle Prüfring-Block der TIMKEN-Prüfmaschine

### Torsionsviskosität Treibstoffgehalt

→ dynamische Viskosität  
→ Schmierölverdünnung

### Tribologie / Tribotechnik

Beschreibt die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung. Die Tribologie (Tribos = griech. reiben) umfasst das Gesamtgebiet von Reibung und Verschleiss einschliesslich der Schmierung, und schliesst entsprechende Grenzflächenwirkungen zwischen den verschiedenen Medien ein.

Als Disziplinen werden unterschieden: Tribochemie, Tribophysik und Tribotechnik.

### Trockenreibung

Als Trockenreibung wird die Festkörperreibung mit ungeschmierten Gleitflächen bezeichnet. Dieser Zustand kann beim völligen Versagen der Schmierung eintreten. Starker Verschleiss, eventuell verbunden mit → Anfresser ist die Folge.

### Trockenschmierung

Trockenschmierfilme stellen selbstschmierende Aufbauschichten dar, deren Filmdicke von der Applikationsart und den Betriebsbedingungen abhängt. Eine Ausnahme bilden die aus selbstschmierenden Werkstoffen hergestellten Maschinenelemente. Als Trockenschmierstoffe kommen zur Anwendung:

- Festschmierstoffe-Pulver
- Gleitlacke
- Metall-Komposit-Werkstoffe
- Kunststoffe mit inkorporierten Festschmierstoffen

### Tropfpunkt

Schmierfette sind keine chemisch reinen Stoffe und haben deshalb keinen Schmelzpunkt. Beim Erhitzen werden sie aber allmählich oder plötzlich weicher. Unter Tropfpunkt versteht man deshalb die Temperatur in °C, bei der eine Fettprobe unter bestimmten Prüfbedingungen vom pastösen in den flüssigen Zustand übergeht und der erste Tropfen aus der Öffnung eines Nippels im Prüfstand abfällt. Der Tropfpunkt bestimmt nebst anderen Eigenschaften die höchst mögliche Einsatztemperatur. Diese liegt bei Kalziumseifenfetten ca. 20 bis 30°C, bei Lithiumseifenfetten ca. 50°C tiefer als der Tropfpunkt. Der Tropfpunkt ist primär von der Art der Seife oder des Aufdickers und sekundär von der Ölviskosität abhängig. So schmelzen Natriumseifenfette bei 140 bis 150°C, Lithiumseifenfette bei 180 bis 190°C. Seifenfreie Fette, z. Bsp. Bentonit-Fette haben keinen Tropfpunkt.

Eine Aussage über das Leistungsvermögen eines Schmierfettes lediglich anhand des Tropfpunktes ohne Berücksichtigung anderer Parameter führt leicht zu einer Fehlbeurteilung.



### Tropfschmierung

Die Tropfschmierung ist eine Verlustschmierung, bei der der Schmierstoff tropfenweise mittels eines Tropfölers an die Schmierstelle gelangt. Die Schmierölbehälter der Tropföler bestehen meistens aus Sichtgläsern, die eine rasche Kontrolle der Ölmenge erlauben.

### Trübungspunkt

Als Trübungspunkt eines Mineralölproduktes wird die Temperatur in °C bezeichnet, bei der sich das Öl beim Abkühlen unter genormten Bedingungen, in Folge von Paraffinausscheidung oder einer andern festen Substanz, zu trüben beginnt.

Aus der Höhe der Trübungstemperatur lassen sich Rückschlüsse auf das Verhalten in Bezug auf das Verstopfen von Leitungen und Filtern durch ausgeschiedene Paraffinkristalle ziehen.

Bei weiterem Abkühlen werden schliesslich der Pourpoint und Stockpunkt erreicht. Der Trübungspunktes wird vor allem bei Dieseltreibstoffen und Heizölen bestimmt.

### Ubbelohde, Leo

Leo Ubbelohde (1876 bis 1964) hat als Wissenschaftler auf dem Gebiet der Viskositätsmessung grosse Verdienste erworben. Sehr bekannt sind das Ubbelohde-Viskosimeter mit hängendem Niveau nach DIN 51 562 und der von ihm eingeführte Begriff der Viskositätspolhöhe.



### Umweltverträgliche Schmierstoffe

Die Anforderungen an umweltverträgliche Schmierstoffe gehen weiter als dies bisher bei sogenannten bioabbaubaren Schmierstoffen der Fall war. Neben der guten Bioabbaubarkeit bestehen auch Anforderungen an die Biotoxizität und die Verwendung nachwachsender Rohstoffe.

Unter biologischem Abbau versteht man den Abbau von organischen Substanzen in einem, im allgemeinen wässrigen Milieu, durch komplexe Einwirkungen von Mikroorganismen. Diese Mikroorganismen benötigen als Nährstoffe gewisse Kohlenwasserstoffe, die diese in einem ersten Schritt durch Oxydation in Kohlendioxyd und Wasser umwandeln.

Mineralöle sind nur mässig abbaubar. Bedeutend günstiger verhalten sich natürliche und modifizierte Pflanzenöle sowie damit artverwandte synthetische Ester. Auf solchen Grundflüssigkeiten aufgebaute Schmierstoffe zeigen eine gute bis sehr gute biologische Abbaubarkeit. Diese wird in der Regel in Wasser, das mit Mikroorganismen aus Nachklärbecken der biologischen Stufe einer Kläranlage geimpft wird, bestimmt.

Typische Produktgruppen biologisch abbaubarer Schmierstoffe sind Zweitaktmotoren-, Kettensäge- und Hydrauliköle, Fette und Getriebeöle. Der Einsatz solcher Schmierstoffe führt zu einer Verminderung der Umweltbelastung von Böden und Gewässern. Die Umweltschutzmassnahmen nach einer Ölhavarie unterscheiden sich indes nicht.

Auszug aus einem Sicherheitsdatenblatt:

«Angemessene Rückhaltemassnahmen ergreifen, um eine Umweltverschmutzung zu vermeiden. Eindringen in das Abwassersystem, in Flüsse oder Oberflächengewässer durch Errichten von Sperrern aus Sand bzw. Erde oder durch andere geeignete Absperrmassnahmen verhindern. Bei grösseren, nicht auffangbaren Freisetzungen Behörden informieren».

Eine Umweltbeurteilung muss vorgenommen werden, um die Einhaltung der örtlichen Umweltschutzvorschriften zu gewährleisten.

Die biologische Abbaubarkeit wird heute fast ausschliesslich nach der OECD 301 B Methode bestimmt. Anstelle der veralteten CEC-L-33-A-93 Methode wird seit 2012 die CEC-L-103 angewendet.

**Umweltzeichen**

→ Ecolabel

**Ungesättigte Verbindungen**

Als Ungesättigte Verbindungen bezeichnet man organisch-chemische Verbindungen, deren Molekülstruktur eine oder mehrere C-C-Doppelbindungen oder Dreifachbindungen enthält. Beispiel sind die ungesättigten Fettsäuren oder ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkene und Alkine). Sehr viele Naturstoffe sind ungesättigte Verbindungen. Dagegen sind gesättigte Verbindungen solche organisch-chemischen Verbindungen, in denen ausschliesslich C-C-Einfachbindungen auftreten. Ungesättigte Kohlenwasserstoffe sind sehr reaktionsfreudig.

**USDA**

Abkürzung für: United States Department of Agriculture. Amerikanisches Landwirtschaftsministerium. Zuständig für alle Bereiche, die in irgend einer Art und Weise die US-Landwirtschaft betreffen. Dies sind z. Bsp. Pestizide, Schmierstoffe in Lebensmittelverarbeitenden Betrieben, etc. Es war die staatliche Stelle, die eine sogenannte → H1 oder H2 Freigabe für einen fertig formulierten Schmierstoff erteilte. Sie unterhielt in den USA auch ein landesweites Netz von Fabrikinspektoren. Der Bereich Schmierstofffreigabe wurde 1998 von der → NSF übernommen.

**UTTO**

Universell einsetzbares Traktorenöl für die Schmierung der Kraftübertragung mit nassen Bremsen und/oder Kupplungen sowie Druckflüssigkeit für das Hydrauliksystem. Beim Einsatz dieser Öle wird der Motor mit einem konventionellen Motorenöl geschmiert. UTTO sagt nichts über die Qualität eines Schmierstoffs aus, sondern ist lediglich die Abkürzung für den englischen Begriff: Universal Tractor Transmission Oil.

**Vakuumdestillation**

→ Destillation

**Vaseline**

Vaseline ist eine weisse bis gelblich, durchscheinende, geruchs- und geschmacksfreie, neutral reagierende, weiche, salbenartige Substanz. Sie wird aus den über 280 °C siedenden Rückständen der Erdöldestillation durch besondere → Raffination und Entfärbung (z. Bsp. durch Aktivkohle) gewonnen und ist ein amorphes, gelartiges Gemisch aus vornehmlich paraffinischen Kohlenwasserstoffen. Die → Penetration bei 25 °C beträgt 120 bis 220 1/10 mm, der Schmelzpunkt beträgt 35 °C bis 60 °C. Man unterscheidet je nach Anwendungsfall zwischen technischer und pharmazeutischer Vaseline.

**VDMA**

Abkürzung für: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagebauer. Dieser bildet jeweils sogenannte Fachgemeinschaften z. Bsp. für Fluidtechnik. Diese erarbeiten dann Richtlinien (genannt Einheitsblätter) für gewisse Anwendungen, wie z. Bsp. die VDMA 24 568: «Fluidtechnik biologisch schnell abbaubarer Druckflüssigkeiten: Technische Mindestanforderungen». Die VDMA hat nur noch beschränkte Gültigkeit da sie durch die DIN ISO 15380 abgelöst wurde.

**Verdampfungsverlust**

Als Verdampfungsverlust in Massenprozenten wird die Menge eines Öles bezeichnet, die unter genormten Bedingungen verdampft. Bei gleicher Viskosität weisen PAO und GtL Grundöle einen geringeren Verdampfungsverlust auf als → paraffinische oder → naphthenische Öle. Im allgemeinen nimmt der Verdampfungsverlust mit steigender → Viskosität ab.

Bei Berücksichtigung der Viskosität bildet der Verdampfungsverlust ein gewisses Qualitätsmerkmal (→ Kernfraktion oder Gemisch verschiedener Fraktionen). Die Bestimmung des Verdampfungsverlustes erfolgt in der Regel nach DIN 51 581 (Noack-Test).

**Verkokungszahl**

→ Conradson-Carbon-Test

**Verseifungszahl**

Die Verseifungszahl gibt an, wie viele Milligramm reinen Kaliumhydroxyds nötig sind, um die in einem Gramm Fett oder Öl enthaltenen verseifbaren Anteile zu verseifen. Sie ist ein Mass für die in einem Fett oder Öl enthaltenen freien und gebundenen → Fettsäuren, die bei der Verseifung mit Lauge in die entsprechenden Seifen übergeführt werden. Tierische und pflanzliche Fette und Öle, welche chemische Verbindungen von Alkoholen und Säuren, sog. → Ester, darstellen, zeigen eine Verseifungszahl von ca. 180. Mineralöle hingegen enthalten praktisch keine verseifbaren Anteile, ihre Verseifungszahl ist deshalb sehr niedrig.

### Verträglichkeit von Ölen und Fetten

Unter Verträglichkeit versteht man in der Mineralölchemie die Fähigkeit eines Stoffes, sich mit andern Stoffen ohne chemische Reaktionen (erkennbar an Wärmeentwicklung oder Volumenveränderung, Ausfällungen oder Schichtbildungen) zu vermischen. Bei der Herstellung unlegierter Schmierölgemische entstehen molekulare bis kolloiddisperse Systeme. Bei legierten Mineralölen, die als Lösungen oder Dispersionen vorliegen, ist eine Vorhersage der Verträglichkeit nicht in jedem Fall möglich.

Für die Praxis lässt sich sagen, dass Öle mit ähnlichen → Additivpaketen (bei Motorenölen z. Bsp. gemäss der gleichen API oder ACEA Spezifikation) miteinander verträglich sind. Dagegen ist das Mischen von hochlegierten Ölen mit unbekannter Additivtechnologie zu vermeiden. Völlig unverträglich sind hingegen → Polyglykole mit → Mineralöl, → PAO und → Ester etc.

Bei Schmierfetten können auf Grund ihrer spezifischen Eigenschaften Rückschlüsse auf die Verträglichkeit gezogen werden. So können beispielsweise Natriumseifenfette mit andern Natriumseifenfetten vermischt werden. Ferner sind Kalziumseifenfette mit Lithiumseifenfette miteinander verträglich. Kalzium- und Lithiumseifenfette sollten hingegen nicht mit Natriumseifenfetten vermischt werden. Die Verträglichkeit von Fetten ist also einerseits vom Grundölyp und andererseits von der Art der Aufdickung abhängig. Für die Praxis bedeutet dies, dass bei Notwendigkeit eines Schmierfettwechsels zuerst die Verträglichkeit mit dem eingefüllten Fett abgeklärt bzw. die Fettfüllung durch fleissiges Nachschmieren ausgetauscht werden muss, wenn deren Basis nicht bekannt ist. Dadurch können Lagerschäden vermieden werden.

	Al-komplex	Ba-komplex	Barium	Ca-komplex	Calcium	CaS-komplex	Kieselgel	Li / Ca	Li-12	hydroxyterat	Li-komplex	Na-komplex	Natrium	Polyhamstoff	Bentonit*
Al-komplex		+/-	-	+/-	+/-	-	-	-	-	+/-	+/-	-	+/-	-	-
Ba-komplex	+/-		+/-	+	+/-	+	+/-	-	-	+/-	+/-	-	+/-	-	-
Barium	-	+/-		-	-	+	+/-	-	-	-	-	+/-	+/-	-	-
Ca-komplex	+/-	+	-		+/-	+	+	-	-	+/-	+/-	-	+/-	-	-
Calcium	-	+/-	-	+/-		+	+	+	+/-	+	-	+	+	-	+
CaS-komplex	+/-	+	-	-	+/-		+	-	+/-	+	-	-	-	-	-
Kieselgel	-	+	+/-	+	+			+	+	+	+	+	+	+/-	-
Li / Ca	-	-	-	+				+	+	+			+/-	-	-
Li-12															
hydroxyterat	-	+/-	-	-	+/-	+/-	+	+		+		-	+/-	-	-
Li-komplex	+/-	+/-	-	+	+	+	+/-	+	+		+/-	-	+/-	-	-
Na-komplex	+/-	+/-		+/-						+/-		-	+/-	-	-
Natrium	-	+/-	+/-	-/+	-	+		-	-	+	+	+	+	-	-
Polyhamstoff	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	-	+	-	-
Bentonit*	-	+/-	-	+/-	+		+/-	-	-	+/-	+/-	-	+/-	-	-

- + verträglich
- +/- bedingt verträglich
- unverträglich
- leer keine Information verfügbar
- \* Tonerde
- Bentonit
- Microgel (nicht definierte Verdickertypen)

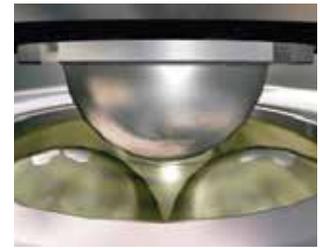
### Vierkugelapparat (VKA)

Der Vierkugelapparat ist eine Prüfmaschine zur Prüfung des Druckaufnahmevermögens von Schmierstoffen durch reine Gleitreibung:

Eine mit der vertikalen Welle rotierende Kugel wird auf drei im Kugeltopf festgehaltene, im zu prüfenden Schmierstoff befindliche Kugeln gepresst (Punktberührung); dann lässt man die angetriebene Kugel unter Belastung während einer Minute pro Laststufe rotieren.

Der höchstmögliche Belastungswert, den ein Schmierstoff während einer Minute aushält, wird als Gutkraft bezeichnet. Die nächsthöhere Kraftstufe, bei der ein Verschweissen der Kugeln stattfindet, heisst Schweisskraft. Mit der geringsten Prüfkraft von 150 N wird im VKA die Stauchgrenze von Stahl (800 N/mm<sup>2</sup>) bereits erreicht.

- Prüfkörper: 4 Kugeln 1/2" Ø
- Gleitgeschwindigkeit: 0,55 m/s
- Drehzahl: 1420 min<sup>-1</sup>
- Belastung: Bis 12 000 N
- Messgrößen: Gut- und Schweisskraft, Abrieb
- Aussagen: Hochdruckeigenschaften von Ölen, Dispersionen, Fetten



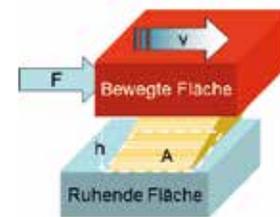
### Viskosität – Brookfield Viskosität

Scheinbare Tieftemperatur-Viskosität von automotiven Getriebeölen. Gemessen wird diese mit einem Rotations- respektive dem Brookfield-Viskosimeter. Die Einteilung der Viskosität erfolgt analog der Einteilung nach → SAE.

### Viskosität – Dynamische Viskosität

Die Viskosität ist die Eigenschaft einer Flüssigkeit, der gegenseitigen Verschiebung zweier benachbarter Grenzschichten einen Widerstand oder eine innere Reibung entgegenzusetzen.

Es ist eine Eigenschaft, die also nur beim Fließen in Erscheinung tritt. Sie bestimmt den Fließwiderstand in Rohren, im Schmierspalt von Gleitlagern usw. Betrachten wir ein Ölteilchen in der Form eines kleinen Würfels, so ergibt sich folgendes Bild:



1 Pa s = 1 N s/m<sup>2</sup>

Im ruhenden Zustand behält der Würfel seine Form bei. Greift eine Quer- oder Schubkraft an, so wird der Würfel in ein schiefes Prisma verformt.

Einheit der dynamischen Viskosität: PascalSekunde (Pa s).

1 Pa s ist die Viskosität, die zwischen zwei parallelen Flüssigkeitsschichten von 1 cm<sup>2</sup> Fläche und einem Abstand von 1 cm, bei einem Geschwindigkeitsunterschied von 1 cm/s, eine Querkraft von 10<sup>-4</sup> N erfordert.

Die dynamische Viskosität bestimmt den Fließwiderstand (Strömung durch Rohre, im Schmierpalt von Gleitlagern usw.). Zu jeder Viskositätsangabe gehört die Nennung der Messtemperatur.

### Viskosität HTHS

Neben den beschriebenen SAE Viskositätsklassen (Winter, Sommer) gibt es noch die sogenannte HTHS-Viskosität. HTHS steht für «High Temperature High Shear» und beschreibt die dynamische Viskosität gemessen bei 150 °C und einem Schergefälle  $\gamma$  von  $10^{-1}/s$ . Durch die Festlegung von Grenzwerten der HTHS soll erreicht werden, dass Motorenöle auch im Lagerbereich (hohes Schergefälle, hohe Öltemperatur) die nötige Schmiersicherheit besitzen. Der Grenzwert bei Motorenölen mit der Spezifikation ACEA A3/B3 liegt bei  $m$  3,5 mPas. Motorenölqualitäten der Kategorie ACEA A1/B1 haben eine abgesenkte HTHS bis 2,9 mPas. Grund der Absenkung ist die zu erwartende Kraftstoffersparung.

### Viskosität – Kinematische Viskosität

Als kinematische Viskosität wird das Verhältnis der dynamischen Viskosität zur  $\rightarrow$  Dichte bezeichnet.

$$\nu [m^2/s] = \frac{\eta [Pa \cdot s]}{\rho [kg/m^3]}$$

Die Einheit ist  $m^2/s$ , sie wird aber einfacher als  $mm^2/s$  ausgedrückt.

Die kinematische Viskosität dient in der Mineralölindustrie als zuverlässiges und mit Kapillarviskosimetern leicht zu bestimmendes Viskositätsmass. Sie ist eine wichtige Grösse in der Mechanik der Flüssigkeiten.

Als veraltete Viskositätsmassen sind weiter, Engler-Grade, Saybolt-Universal-Sekunden (SUS) und Redwood-Sekunden, bekannt.

Diese Einheiten führten, besonders bei niedrigen Viskositäten, leicht zu falschen Vorstellungen, so dass sie nicht mehr angewendet werden sollten. Beurteilt man beispielsweise nach Engler-Graden, dann ist ein Öl mit 13 °E dreizehnmal viskoser als Wasser. Dieses Verhältnis besteht aber nur scheinbar. In Wirklichkeit ist die Viskosität des in Frage stehenden Öles ca. 100 mal grösser als diejenige von Wasser.

### Viskositätsindex

Der Viskositätsindex (VI) beschreibt die Temperaturabhängigkeit der kinematischen Viskosität eines Schmieröls, aber nicht dessen tatsächliche Viskosität. Öle mit einem niedrigen Viskositätsindex zeigen eine stärkere temperaturabhängige Viskositätsänderung als solche mit einem hohen Viskositätsindex. Zusammen mit einer Viskositätsangabe bei bestimmter Temperatur charakterisiert der einheitenlose Viskositätsindex das Viskositäts-Temperatur-Verhalten. Am weitesten verbreitet ist der «Viskositätsindex nach Dean und Davis».

Nach der Norm ISO 2909 werden zur Berechnung des Viskositätsindex, je nach der Höhe desselben, zwei Verfahren angewendet:

- Verfahren A für Mineralölerzeugnisse mit einem Viskositätsindex unter  $< 100$
- Verfahren B für Mineralölerzeugnisse mit einem Viskositätsindex von  $\geq 100$

### Typische Viskositätsindexe einiger Öltypen:

Mineralöle für Kältemaschinen	50–80
Einbereichs-Getriebe- und Hydrauliköle	95–105
Mehrbereichs-Hydrauliköle	130–>200
Synthetische Esteröle	140–>200
Polyglykole	>200
Silikonöle	>300

### Viskositätsindexverbesserer

$\rightarrow$  Additive

### Walkbeständigkeit

Die Walkbeständigkeit ist die Beständigkeit der Konsistenz eines Fettes gegen mechanisch-dynamische Beanspruchung, insbesondere Druck- und Scherwirkung. Sie kann als prozentuale Veränderung der Penetration ausgedrückt werden.

Durch Walk- und Scherbeanspruchung in Gleit- und Wälzlagern wird die ursprüngliche Konsistenz des → Schmierfettes mehr oder weniger verändert. Bei ungünstig aufgebauten Fetten ist diese Veränderung so stark, dass das Fett von der Schmierstelle wegfliessen oder fester wird. In beiden Fällen treten ungünstige Schmierverhältnisse auf. Die Walkbeständigkeit wird in speziellen Roll- und Walktest-Apparaturen ermittelt.

### Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit oder Wärmeleitzahl eines Stoffes gibt die Wärmemenge an, die pro Zeiteinheit durch 1 Meter eines Stoffes fliesst. Ihre Einheit ist W/(m\*K). Bei Wärmeträgerölen ist diese von der Dichte des Öles abhängig. Die Wärmeleitzahl  $\lambda$  von Mineralöl errechnet sich aus:

$$\lambda = \frac{117 - 0.063t}{\rho_{15}}$$

### Wärmekapazität, spezifische

Die spezifische Wärmekapazität  $c$  ist die Wärmemenge, die benötigt wird um die Temperatur von 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erhöhen. Ihre Einheit ist kJ/(kg\*K). Bei Wärmeträgerölen ist diese von der Dichte des Öles abhängig. Die spezifische Wärme  $C_p$  von Mineralöl errechnet sich aus:

$$C_p = \frac{132.4}{\sqrt{\rho_{15}}} (0.403 + 0.00081t)$$

### Wasserabscheidevermögen

→ Demulgiervermögen

### Wasserbeständigkeit von Schmierfetten

Als Wasserbeständigkeit eines Schmierfettes wird dessen Widerstandsfähigkeit gegen Auswaschen durch fliessendes Wasser verstanden. Wo Schmierstellen direkt mit Wasser in Berührung kommen, darf das Fett nicht ausgewaschen werden, da sonst die durch das Fett angestrebte Abdichtung und die Schmierung selbst in Frage gestellt werden. Wichtig ist eine hinreichende Wasserbeständigkeit des Schmierfettes, vor allem bei Wasserpumpen und Wellenabdichtungen von laufenden Maschinenteilen die mit Wasser in Berührung kommen.

### Wassergefährdungsklasse

Die WGK wurde im Jahr 1999 eingeführt. Die Einteilung erfolgt in 3 Klassen:

<b>WGK 1</b>	schwach wassergefährdend	z. Bsp. biologisch abbaubare Schmierstoffe
<b>WGK 2</b>	wassergefährdend	z. Bsp. Hydrauliköl auf Mineralölbasis
<b>WGK 3</b>	stark wassergefährdend	z. Bsp. emulgierbare Kühlschmierstoffe

Die WGK 0 wurde gestrichen, da es grundsätzlich keine nicht-wassergefährdenden Schmierstoffe gibt.

### Wassergehalt

Als Wassergehalt wird das in einem Schmierstoff enthaltene freie und gebundene Wasser bezeichnet. Ein erhöhter Wassergehalt ist als Verunreinigung zu betrachten. Wasser kann im Schmierstoff entweder gelöst oder in emulgiertem Zustand vorhanden sein. Je nach Ölbasis, Viskosität und Temperatur können bis etwa 0,02 Massenprozent Wasser im Öl gelöst sein. Durch Auskochen oder leichtes Erwärmen im Vakuum kann das Wasser aus dem Öl entfernt werden.

Wasser bewirkt eine beschleunigte Alterung und kann zu einem vorzeitigen Versagen des Schmierstoffs führen. Für viele Ölqualitäten, insbesondere für Turbinenöle, ist ein gutes → Demulgiervermögen sehr wichtig. In den meisten Ölen ist schon ein sehr geringer Wassergehalt unerwünscht. In Transformatorenölen beispielsweise wird die Durchschlagsfestigkeit schon ab 30 ppm Wasser deutlich reduziert. Motorenöle hingegen können kurzfristig ohne Beeinträchtigung der Schmiereigenschaften bis 2 % Wasser aufnehmen. Das Wasser verdampft in der Regel, sobald der Motor die Betriebstemperatur erreicht.

### Wasserhärte

**Wasserlösliche, Wassermischbare Metallbearbeitungsschmierstoffe**

→ Härtegrade

→ Kühlschmierstoffe

### Weissmetall

Als Weissmetall wird eine Gruppe von Legierungen auf Zinn-Basis unter Beimischung von Antimon und Blei bezeichnet. Es können auch Wismut oder Kupfer enthalten sein. Früher wurde Weissmetall für Gleitlager, z. B. in Lokomotiven, Landmaschinen und Werkzeugmaschinen benutzt. Heute wird Weissmetall überwiegend im Schleuderguss-Verfahren verarbeitet. In Dampf-, Gas- und praktisch allen Wasserturbinen jeder Grösse werden Weissmetall-Lager wegen ihrer guten → Notlaufesigenschaften verwendet. Weissmetalle haben einen sehr tiefen Schmelzpunkt, der je nach Legierung zwischen 240 °C bis 400 °C liegt.

### Weissöle

Weissöle sind stark ausraffinierte, wasserhelle bis schwach gelbliche Mineralöle mit einem Siedebeginn >280 °C. Sie werden durch → Solventraffination, starke Säure- und → Bleicherdebehandlung und anschliessende ein- oder mehrstufige → Hydrierung gewonnen. Durch diese mehrstufige → Raffinierung werden sämtliche ungesättigten → aromatischen Verbindungen entfernt.

Weissöle sind sehr alterungsbeständig, haben jedoch wegen ihres sehr geringen S-Gehalts nur eine verminderte → Schmierfähigkeit. Man unterscheidet technische und pharmazeutische Qualitäten, wobei zweite auch als Paraffinum perliquidum bezeichnet werden. Pharmazeutische Weissöle müssen die Norm US FDA 21 CFR 178.3620 und 172.878 erfüllen.

### Wirkstoffe

→ Additive

### White Spirit

Hochsiedendes Spezialbenzin mit einem Siedebereich von 130°C bis 210°C. White Spirit wird meist als Reiniger oder Entfetter eingesetzt. Da White Spirits relativ aromatisch und mit Verdacht auf kanzerogene Wirkung eingestuft sind, finden sie in der Industrie kaum mehr Anwendung.

### XHVI™

Extra High Viscosity Index. Ein von Shell entwickeltes Verfahren zur Herstellung von sehr hoch ausraffinierten → Grundölen. Durch katalytische Hydroisomerisierung werden Isoparaffine gebildet. Nach der anschließenden Vacuumdestillation zur Abtrennung leichter Bestandteile verbleibt eine Grundölkomponekte mit sehr hohem Gehalt an Isoparaffinen, mit einem → Viskositätsindex von etwa 150. Die → Viskositäten der XHVI Öle können durch die Wahl der Prozessbedingungen eingestellt werden. XHVI Basisöle haben gegenüber PAO einen deutlich höheren Viskositätsindex.

## Zündtemperatur

Die Zündtemperatur (auch Zündpunkt, Selbstentzündungstemperatur, Entzündungstemperatur oder Entzündungspunkt) ist diejenige Temperatur, auf die man einen Stoff oder eine Kontaktoberfläche erhitzen muss, damit sich eine brennbare Substanz (Feststoff, Flüssigkeit, deren Dämpfe oder Gas) in Gegenwart von Luft ohne Zündfunken ausschliesslich aufgrund dessen Erhitzung – also ohne Zündquelle – selbst entzündet.

## Zweitaktmotorenöle

Zweitaktmotorenöle sind legierte Schmieröle auf Mineralölbasis oder synthetische Flüssigkeiten, die in der Regel mit Treibstoff vorgemischt dem Benzin zugegeben werden. Das Mischungsverhältnis ist entsprechend den Herstellervorschriften zu wählen. Bei Motoren mit Frischölaufomatik wird das Schmieröl durch eine Dosierpumpe in das Ansauggemisch oder in das Kurbelgehäuse eingespritzt. Die Anforderungen werden durch zahlreiche Spezifikationen festgelegt.

Die bekanntesten sind:

- API** (American Petroleum Institute)
- JASO** (Japanese Automobile Standards Organization)
- NMMA** (National Marine Manufacturers Association)
- ISO** (International Organization for Standardization)

## Zweitraffination

→ Reraffination

## Zylinderöle

Zylinderöle werden aus den bei der Destillation des Erdöls anfallenden Rückstandsölen (Bright Stock) gewonnen. Sie dienen wegen ihrer hohen Viskosität von  $>1000 \text{ mm}^2/\text{s}$  vorwiegend zur Schmierung der dampfberührten gleitenden Teile von Dampfmaschinen. Je nach Einsatz wird zwischen Sattdampf- und Heissdampf-Zylinderölen unterschieden. Wegen mangelnder Nachfrage sind Zylinderöle heute kaum noch verfügbar.

## Umwandlungstabelle Englergrade bei 20°C in $\text{mm}^2/\text{s}$ bei 40°C

°E	$\text{mm}^2/\text{s}$ (VI 50)	$\text{mm}^2/\text{s}$ (VI 100)
1.5	3.8	3.9
2.0	6.4	6.6
2.5	8.4	8.9
3.0	10.0	10.7
4.0	13.0	13.8
5.0	15.9	16.7
6.0	18.1	18.9
7.0	20.8	21.5
8.0	22.6	24.1
9.0	25.6	27.1
10.0	27.5	29.0
15.0	37.5	39.8
20.0	46.0	49.4
30.0	62.0	68.0
40.0	78.0	85.0
50.0	90.0	102.0
75.0	131.0	148.0
100.0	160.0	190.0

## Umwandlungstabelle Englergrade bei 50°C in $\text{mm}^2/\text{s}$ bei 40°C

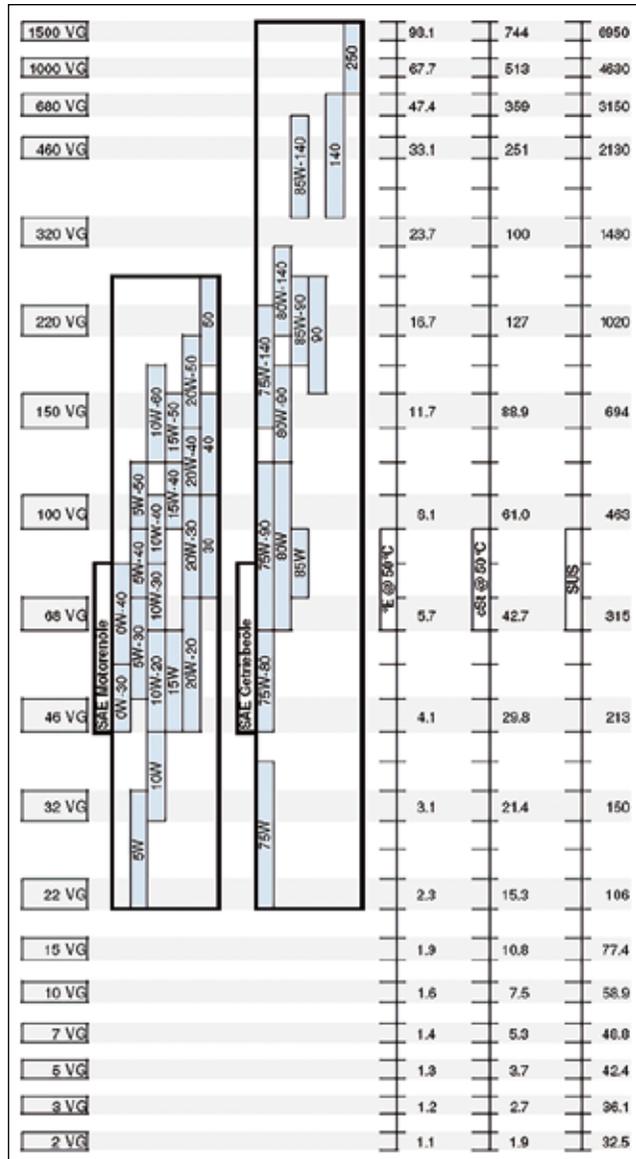
°E	$\text{mm}^2/\text{s}$ (VI 50)	$\text{mm}^2/\text{s}$ (VI 100)
1.5	8.2	8.0
2.0	16.7	16.5
2.5	24.5	24.1
3.0	32.4	31.3
4.0	47.5	46.1
5.0	62.8	60.4
6.0	77.1	74.3
7.0	93.1	87.5
8.0	109.0	105.0
9.0	126.0	122.0
10.0	143.0	136.0
15.0	212.0	200.0
20.0	295.0	283.0
30.0	460.0	422.0
40.0	675.0	600.0
50.0	830.0	750.0
75.0	1350.0	1280.0
100.0	1780.0	1610.0

Für kinematische Viskositäten über  $100 \text{ mm}^2/\text{s}$  gilt angenähert:

$$^\circ\text{E} = 0,132 \text{ mm}^2/\text{s} \quad \text{mm}^2/\text{s} = 7,576 \text{ }^\circ\text{E}$$

Die Zahlenwerte der obigen Tabelle sind zusammen mit den entsprechenden Werten für Saybolt-Universal-Sekunden (SUS) und CSt bei 50°C im folgenden Diagramm eingetragen.

Umwandlungstabelle verschiedener Viskositäten



Temperatur-Umwandlungstabelle

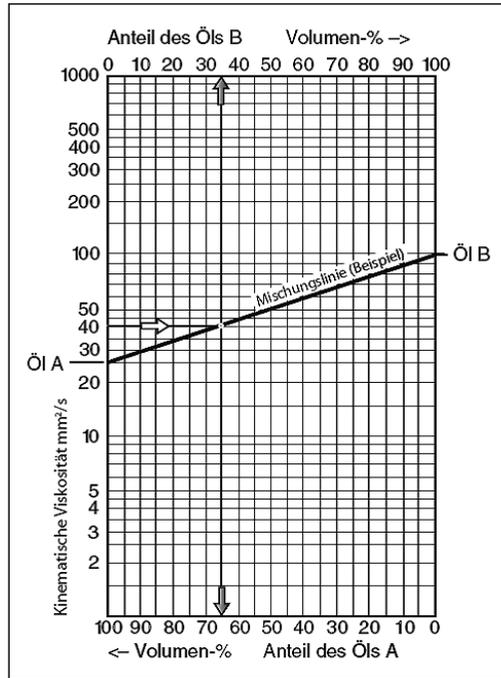
Die Tabelle gestattet die Umwandlung von Temperaturen °C in °F und umgekehrt. Die umzuwandelnde Temperatur wird in der mittleren Kolonne aufgesucht, worauf in der linken Kolonne die Celsiusgrade und in der rechten Kolonne die Fahrenheitgrade ersichtlich sind.

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
-30.0	-22.0	18.0	64.4	66.0	150.8	114.0	237.2	162.0	323.6
-28.0	-18.4	20.0	68.0	68.0	154.4	116.0	240.8	164.0	327.2
-26.0	-14.8	22.0	71.6	70.0	158.0	118.0	244.4	166.0	330.8
-24.0	-11.2	24.0	75.2	72.0	161.6	120.0	248.0	168.0	334.4
-22.0	-7.6	26.0	78.8	74.0	165.2	122.0	251.6	170.0	338.0
-20.0	-4.0	28.0	82.4	76.0	168.8	124.0	255.2	172.0	341.6
-18.0	-0.4	30.0	86.0	78.0	172.4	126.0	258.8	174.0	345.2
-16.0	3.2	32.0	89.6	80.0	176.0	128.0	262.4	176.0	348.8
-14.0	6.8	34.0	93.2	82.0	179.6	130.0	266.0	178.0	352.4
-12.0	10.4	36.0	96.8	84.0	183.2	132.0	269.6	180.0	356.0
-10.0	14.0	38.0	100.4	86.0	186.8	134.0	273.2	182.0	359.6
-8.0	17.6	40.0	104.0	88.0	190.4	136.0	276.8	184.0	363.2
-6.0	21.2	42.0	107.6	90.0	194.0	138.0	280.4	186.0	366.8
-4.0	24.8	44.0	111.2	92.0	197.6	140.0	284.0	188.0	370.4
-2.0	28.4	46.0	114.8	94.0	201.2	142.0	287.6	190.0	374.0
0.0	32.0	48.0	118.4	96.0	204.8	144.0	291.2	192.0	377.6
2.0	35.6	50.0	122.0	98.0	208.4	146.0	294.8	194.0	381.2
4.0	39.2	52.0	125.6	100.0	212.0	148.0	298.4	196.0	384.8
6.0	42.8	54.0	129.2	102.0	215.6	150.0	302.0	198.0	388.4
8.0	46.4	56.0	132.8	104.0	219.2	152.0	305.6	200.0	392.0
10.0	50.0	58.0	136.4	106.0	222.8	154.0	309.2	202.0	395.6
12.0	53.6	60.0	140.0	108.0	226.4	156.0	312.8	204.0	399.2
14.0	57.2	62.0	143.6	110.0	230.0	158.0	316.4	206.0	402.8
16.0	60.8	64.0	147.2	112.0	233.6	160.0	320.0	208.0	406.4

Beispiel: Gegeben 18°C, gesucht Temperatur in °F.  
 Aus der Tabelle kann unmittelbar abgelesen werden: 64,4°F  
 Umgekehrt entsprechen 18°F einem Wert von -7,8°C

Umrechnungsformeln:  $^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F - 32)$   $^{\circ}F = \frac{9}{5}(^{\circ}C + 32)$

Diagramm zur Bestimmung der Viskosität von Ölmischungen



Auf der linken Begrenzung wird die Viskosität des dünnflüssigen Öles, auf der rechten Begrenzung diejenige des dickflüssigeren Öles aufgetragen, und die beiden Punkte werden durch eine Gerade verbunden. Jeder Punkt auf dieser Geraden gibt für eine bestimmte Mischungsviskosität die prozentualen Anteile der beiden Ölkomponenten an und umgekehrt.

Beispiele: Aus dem Öl A mit 25mm<sup>2</sup>/s bei 40°C und dem Öl B mit 100mm<sup>2</sup>/s bei 40°C ist eine Mischung mit 40mm<sup>2</sup>/s herzustellen. Gesucht ist das Mischungsverhältnis.

Lösung: Trage die gegebenen Viskositäten in der beschriebenen Weise auf und verbinde die beiden Punkte durch eine Gerade. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Horizontalen bei 40mm<sup>2</sup>/s gibt das gesuchte Mischungsverhältnis, d. h. 65 % Öl A und 35 % Öl B.

Wichtig: Für alle Viskositäten eines konkreten Beispielles gilt die gleiche Bezugstemperatur (im durchgerechneten Beispiel 40°C).

Häufig gebrauchte Umrechnungen aus britischen und amerikanischen Einheiten

<b>Länge</b>	1 yard (yd)	= 3 feet	914,4 mm
	1 foot (ft)	= 12 inches	304,8 mm
	1 inch (in)		25,4 mm
<b>Fläche</b>	1 square foot (sqft)		0,0929 m <sup>2</sup>
	1 square inch (sqin)		6,45 cm <sup>2</sup>
<b>Volumen</b>	1 cubic foot (cuft)		28,32 dm <sup>3</sup>
	1 cubic inch (cuin)		16,39 cm <sup>3</sup>
<b>USA und Kanada</b>			
	1 barrel	= 42 US gallons	159 Liter
	1 US gallon (gal)	= 4 quarts	3,785 Liter
	1 quart (qt)	= 2 pints	0,946 Liter
	1 pint (pt)	= 16 fluid ounces	0,473 Liter
	1 fluid ounce		29,57 cm <sup>3</sup>
<b>Grossbritannien</b>			
	1 barrel	= 36 imperial gallons	163,66 Liter
	1 imperial gallon	= 4 quarts	4,546 Liter
	1 quart (qt)	= 2 pints	1,136 Liter
	1 pint (pt)	= 20 fluid ounces	0,568 Liter
	1 fluid ounce		28,41 cm <sup>3</sup>
<b>Masse</b>	1 long ton (ltn)	= 20 hundred weight	1016 kg
	1 short ton (shn)	= 2000 pounds	907,2 kg
	1 hundredweight (cwt)	= 112 pounds	50,8 kg
	1 pound (lb. av.)		0,4536 kg
<b>Druck</b>	1 pound per square inch		0,06895 bar
	1 inch Hg		0,0339 bar
<b>Leistung</b>	1 horse power (HP)		745,7 W
<b>Wärmemenge</b>	1 British Thermal Unit (BTU)		1,055 kJ

**Griechisches Alphabet**

nach DIN 1453

A α Alpha	B β Beta	Γ γ Gamma	Δ δ Delta	E ε Epsilon	Z ζ Zeta	H η Eta	Θ θ, ϑ Theta
I ι Jota	K κ Kappa	Λ λ Lambda	M μ My	N ν Ny	Ξ ξ Ksi	Ο ο Omikorn	Π π Pi
P ρ Rho	Σ σ Sigma	T τ Tau	Υ υ Ypsilon	Φ φ Phi	X χ Chi	Ψ ψ Psi	Ω ω Omega

**Bedeutung des griechischen Alphabets in der Tribologie:**

$\alpha_P$ $\alpha_{Vol}$	<b>Alpha</b>	Druckkoeffizient Volumenkoeffizient	
δ	<b>delta</b>	Tangens Delta Dielektrischer Verlustfaktor	
Δ	<b>Delta</b>	Differenz	
ε	<b>Epsilon</b>	Dielektrizitätskonstante	
η	<b>Eta</b>	Dynamische Viskosität	mPa s
ϑ	<b>Theta</b>	Temperatur	°C
Κ	<b>Kappa</b>	Kompressibilität	mPa
Κ	<b>Kappa</b>	Verhältnis der Betriebs- zur Sollviskosität	
λ	<b>Lambda</b>	Wärmeleitfähigkeit	W/(m*K)
μ	<b>My</b>	Reibungszahl	
ν	<b>Ny</b>	Kinematische Viskosität	mm²/s
π	<b>Pi</b>	Zahl 3.1415..	
ρ	<b>Rho</b>	Dichte	kg/m³
Σ	<b>Sigma</b>	Summe	
τ	<b>Tau</b>	Scher- oder Schubspannung	
υ	<b>Ypsilon</b>	Scherströmung	
ω	<b>Omega</b>	Winkelgeschwindigkeit $2*\pi*n$	s <sup>-1</sup>

**Abkürzungen Bedeutung**

<b>ACEA</b>	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles
<b>ADN</b>	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voie de navigation intérieure
<b>ADR</b>	Accord Européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route
<b>AGMA</b>	American Gear Manufacturing Association
<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>ATF</b>	Automatic Transmission Fluid
<b>BASF</b>	Badische Anilin- und Soda-Fabrik
<b>CAS</b>	Chemical Abstracts System
<b>CCMC</b>	Comité des Constructeurs d'Automobiles du Marché Commun
<b>CCS</b>	Cold Cranking Simulator
<b>CEC</b>	Coordinating European Council
<b>CEN</b>	Europäischen Komitees für Normung
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>DMSO</b>	Dimethylsulfoxid
<b>DOT</b>	Department of Transportation
<b>EINECS</b>	Eropean Inventory of Existing Chemical Substances
<b>EMCOR</b>	Emulsion Corrosion, SKF Prüfverfahren
<b>EP</b>	Extreme Pressure
<b>FDA</b>	Food and Drug Administration
<b>FZG</b>	Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau
<b>HD</b>	Heavy Duty
<b>HEES</b>	Hydraulic Environmental Ester Synthetic
<b>HFC</b>	Hydraulic Fluid type C
<b>HFDR</b>	Hydraulic Fluid type D Phosphorsäureseter
<b>HFDU</b>	Hydraulic Fluid type D andere Flüssigkeiten
<b>HTHS</b>	High Temperature High Shear
<b>GHS</b>	Global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien
<b>IATA</b>	International Air Transport Association
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>ILSAC</b>	International Lubricant Standardization and Approval Committee
<b>IMDG</b>	International Maritime Code for Dangerous Goods
<b>IP</b>	Institute of Petroleum
<b>ISO</b>	International Standardization Organization
<b>LAV</b>	Luftabscheidevermögen

<b>LS</b>	Limited Slip
<b>MARPOL</b>	International Convention for the Prevention of <b>Marine Pollution</b> from Ships
<b>NLGI</b>	National Lubricating Grease Institute
<b>NSF</b>	National Science Foundation
<b>NZ</b>	Neutralisationszahl
<b>R&amp;O</b>	Rust and Oxidation inhibited
<b>REACH</b>	Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals
<b>RID</b>	Règlement concernant le transport international ferroviaire de marchandises dangereuses
<b>SAE</b>	Society of Automotive Engineers
<b>STOU</b>	Super Tractor Oil Universal
<b>TAN</b>	Total Acid Number
<b>TBN</b>	Total Base Number
<b>TSCA</b>	Toxic Substances Control Act
<b>USDA</b>	US Department of Agriculture
<b>UTTO</b>	Universal Tractor Transmission Oil
<b>VDA</b>	Verband der Automobilindustrie
<b>VDE</b>	Verband deutscher Elektrotechniker
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure
<b>VKA</b>	Vierkugelapparat
<b>VOC</b>	Volatile Organic Substances (leichtflüchtige organische Substanzen)
<b>WGK</b>	Wassergefährdungsklasse

## Fremdwörterverzeichnis

Fremdwort	Erläuterung	Alternative Bezeichnung
Aliphate	Gesättigte und ungesättigte gerade oder verzweigte CH-Verbindungen	
Analyse	Zerlegen in Bestandteile (Gegenteil von Synthese)	
Barrel	Masseinheit, 159 Liter	Fass
Batch	Produktionsmenge eines Erzeugnisses	Charge, Los
Benzene	Ringförmiger, ungesättigter C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> -Ring	Benzol
Crude	Unverarbeitetes aber entgastes, entsalztes, entwässertes, gefiltertes Erdöl	Rohöl
Cycloalkane	Gesättigte, ringförmige CH-Verbindung	Naphtene
Fraktion	Untergruppe von Substanzen in einem Stoff	Teil, Anteil
Friction	Widerstand zwischen zwei Reibungspartnern	Reibung
Lubeoil	Öl zur Schmierung von Maschinenteilen	Schmieröl
Lubricant	Schmierstoff zur Schmierung von Maschinenteilen	Schmierstoff
Performance	Leistungsfähigkeit eines Produkts	Leistung
Petrolether	Niedersiedende Benzinfraktion, Siedebereich 25 °C–80 °C	
Solvat	Mit Lösemittel raffinierte Mineralöle	Solvat
Solvent	Stoff, der Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe lösen oder verdünnen kann, ohne dass es dabei zu chemischen Reaktionen zwischen gelöstem Stoff und lösendem Stoff kommt	Lösungsmittel Lösemittel
Stick-Slip	Ruckgleiten von gegeneinander bewegter Festkörper	Ruckgleiten
Synthese	Vereinigung von zwei oder mehreren Elementen (Gegenteil von Analyse)	

## TEIL 2

# URSPRUNG, FÖRDERUNG, VERARBEITUNG UND UMGANG VON UND MIT ERDÖLPRODUKTEN

## Inhaltsverzeichnis

Die Entstehung von Erdöl und Erdgas .....	108
Vorkommen, Verbreitung und Förderung von Erdöl und Erdgas.....	110
Erdölverbrauch, -förderung und -reserven.....	113
Die Schweiz und das Erdöl, Energieverbrauch in der Schweiz .....	114
Erdöl, Zusammensetzung und Haupteigenschaften.....	115
Destillation und Raffination .....	115
Herstellungsverfahren für Otto-Treibstoffe (Benzin) .....	117
Treibstoffe, Anforderungen an Benzin, Diesel und Heizöl.....	121
Schmierstoffe, Basisöle und Anforderungen .....	131
Motorenöl-Spezifikationen .....	135
Getriebeöle, Verwendung und Anforderungen .....	140
Schmierfette, Erläuterung.....	142
Hilfsflüssigkeiten, Bremsflüssigkeit und Kühlerschutzmittel .....	143
Umgang mit Mineralölprodukten.....	145
Wartung und Schmierölplanung.....	146
Lagerung und Transport von Mineralölprodukten.....	149
Abfallentsorgung von Mineralölprodukten.....	150

## Die Entstehung von Erdöl und Erdgas

Erdöl ist ein Gemisch von flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen, d.h. einer Vielzahl von unterschiedlichen Verbindungen von Kohlenwasserstoffen. Daneben kann es Verunreinigungen wie Schwefel, Wasser, Schwermetalle etc. enthalten. Erdöl ist somit kein einheitlicher Rohstoff, was seine positiven und negativen Seiten hat. Einerseits lässt sich aus seiner rohen Form, dem Rohöl, eine Vielzahl recht unterschiedlicher Produkte herstellen (Treibstoffe, Heizöle, petrochemische Ausgangsstoffe), andererseits fallen bei der Herstellung eines Produktes gezwungenermassen stets auch unerwünschte Substanzen an. Diese sogenannte Koppelproduktion ist charakteristisch für die Erdölwirtschaft. Sie bedeutet beispielsweise, dass Benzin und Heizöl unzertrennliche Geschwister sind.

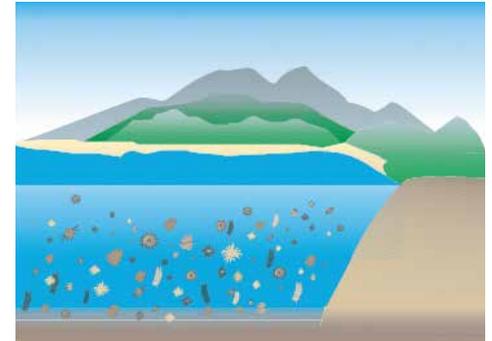
Grundstoff bei der Bildung von Erdöl ist das Plankton, welches aus vorwiegend einzelligen pflanzlichen und tierischen Organismen besteht. Diese sind in den obersten Wasserschichten der Ozeane und Meere zu finden, da sie nur bei Licht existieren können.

In Millionen Jahren sanken riesige Mengen Plankton auf den Meeresgrund. Dabei verweste der grösste Teil. Ein kleiner Rest jedoch erreichte den sauerstoffarmen Grund ohne vorherige Verwesung, und damit auch ohne den Verlust der vorher aufgenommenen Sonnenenergie. Diese Überreste bildeten einen eigentlichen Tiefseeschlamm.

Diese Vorgänge finden in erster Linie in nur schwach bewegten und wenig durchlüfteten Meeresbecken statt. Der Raum des Persischen Golfs beispielsweise, eines der wichtigsten Erdölgebiete, lag vor 10 bis 15 Millionen Jahren vollständig unter dem Meeresspiegel. Damals herrschten dort ähnliche Bedingungen, wie sie in heutiger Zeit im Schwarzen Meer anzutreffen sind.

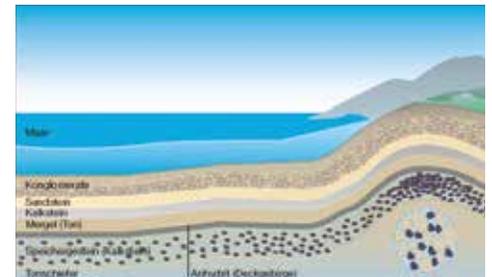
In den unteren Schichten solcher Becken herrschen dank des extrem sauerstoffarmen und salzreichen Wassers ideale Bedingungen für die Bildung von Erdöl. Die herabgesunkenen Planktonorganismen durchlaufen im Tiefseeschlamm einen Fäulnisprozess, verbunden mit der Entwicklung von Schwefelwasserstoffen. Die eigentliche Umwandlung zu Kohlenwasserstoffen erfolgt unter Mitwirkung von anaeroben Bakterien (das sind Bakterien die ohne Sauerstoff auskommen) und unter dem Einfluss von Katalysatoren (z. Bsp. Kieselsäureverbindungen). Weniger als ein Prozent der ursprünglichen Substanzen wurden auf diese Weise in komplexen chemischen Prozessen zu Kohlenwasserstoffen umgewandelt. Der Rest entwich als Kohlendioxyd und Wasser und gelangte in den natürlichen Kreislauf zurück. Zusätzliche Voraussetzungen für die Bildung von Erdöl sind aber auch ein hoher Druck und eine erhöhte Temperatur. Beides entsteht, wenn der Tiefseeschlamm mit anorganischem Material (Ton, Sand und Kies) überlagert oder vermischt wird. Die Überlagerung mit weiteren, jüngeren Sedimentschichten führt zu einer Erhöhung des Druckes; das lose Material verfestigt und verdichtet sich (Diagenese). Damit verbunden ist auch die für die Erdölbildung notwendige Erhöhung der Temperatur. Sie darf allerdings nicht über 250 Grad ansteigen, weil die dann einsetzende Metamorphose (Zerlegung des Erdöls in Methan) das Erdöl gleich wieder zerstören würde.

Auf tonigen Ablagerungen des Meeresbodens sinken Überreste tierischen und pflanzlichen Lebens sowie unzählige Millionen abgestorbener, mikroskopisch kleiner Organismen.

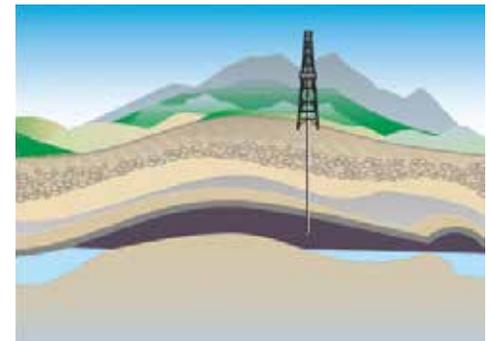


Zur Zeit der grossen Erdbewegungen faltete sich die Erdkruste. Durch den Druck der aufliegenden Gesteinsmassen wurden Gas und Öl mobilisiert und wanderten in dem Wasser, das in den porösen Gesteinsschichten enthalten ist, so weit wie möglich nach oben.

**Im Kreis:** Ein vergrösserter Ausschnitt ölführenden Sandgesteins. Das Öl kann sich durch die Zwischenräume der Gesteinsteilchen relativ frei nach oben bewegen.



Gas und Öl sammeln sich an der höchsten Stelle einer Aufwölbung (Antiklinale), sobald sie durch eine undurchlässige Gesteinsschicht am weitesten Aufsteigen gehindert werden.

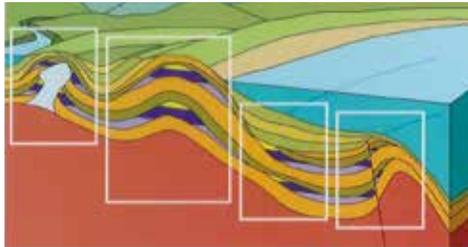


## Vorkommen, Verbreitung und Förderung von Erdöl und Erdgas

Erdöl ist also ein Umwandlungsprodukt überwiegend tierischer, zum Teil pflanzlicher Herkunft, das zusammen mit Meerwasser unter Sedimentschichten eingeschlossen wurde. Anhand den in Speichergesteinen gefundenen Fossilien lässt sich der Zeitpunkt der Entstehung der verschiedenen Erdölvorkommen bestimmen. Die ältesten entstanden vor rund 500 Millionen Jahren, die jüngsten vor wenigen Millionen Jahren. Untersuchungen der bloss 4000 Jahre alten Ablagerungen in der Orinoko-Mündung (Venezuela) haben ergeben, dass sich auch in diesem sehr jungen Material bereits Erdöl nachweisen lässt.

Erdöl kommt in Form kleinster Tröpfchen vor, welche in der Struktur poröser Gesteinsschichten zwischen den einzelnen Körnern eingebettet sind. Kalksteine und vor allem Sandsteine können Erdöl speichern, so wie ein Schwamm Wasser aufnehmen kann. Da sich Erdöl nur in den sich verfestigenden Sedimentschichten bilden konnte, kann es keine unterirdischen Ölseen geben. Damit wird auch verständlich, dass sich die Erdölvorkommen auf die flachen Sedimentbecken früherer Meere beschränken. In den darunterliegenden Tiefengesteinen (z. Bsp. Granit) ist ein Vorkommen unmöglich.

Auf unserer Erde liegt Erdöl in etwa 600 Sedimentbecken. Davon sind 200 völlig unerforscht. Man rechnet damit, dass etwa 60 Prozent der Becken wirtschaftlich nutzbare Vorkommen enthalten. Manche befinden sich jedoch in schwer zugänglichen Gebieten, so dass ihre Ausbeutung aus Kostengründen vorderhand nicht in Frage kommt.



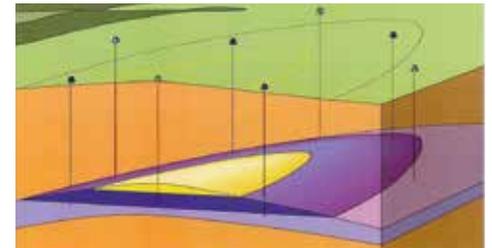
Mit heutiger Technik in grossem Massstab nutzbare Lagerstätten, d. h. sogenannte konventionelle Vorkommen, liegen vor allem im Mittleren Osten, wobei Saudi-Arabien in dieser Region eine dominierende Stellung einnimmt. An zweiter Position folgen Mittel- und Südamerika, wo insbesondere in Venezuela und Mexiko beträchtliche Vorkommen liegen. Es folgen Russland mit grossen Lagerstätten in Westsibirien und Afrika mit bedeutenden Vorkommen in Libyen und Nigeria. Die Vereinigten Staaten als grösster Ölkonsument verfügen zwar über zahlreiche, aber vergleichsweise wenig ergiebige Vorkommen. Die nichtkonventionellen Vorkommen, worunter schwere, zähflüssige Rohöle sowie die nichtflüssigen Einschlüsse in Teersanden und Ölschiefern verstanden werden, liegen vorwiegend in Nord- und Südamerika. Sie bilden damit in der globalen Verteilung der Vorkommen ein Gegengewicht zur Dominanz des Mittleren Ostens bei den konventionellen Vorkommen. Die Nutzung der nichtkonventionellen Lagerstätten wird wesentlich an Bedeutung gewinnen, zumal die nichtkonventionellen Reserven als sehr gross vermutet werden. Ein Beispiel dafür sind die Ölsandvorkommen in Kanada.

### Förderung

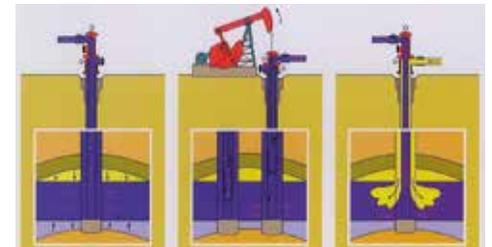
Die grosstechnische Ausbeutung der Erdöllagerstätten begann im 19. Jahrhundert. Man wusste bereits, dass bei Bohrungen nach Wasser und Salz gelegentlich Erdöl in die Bohrlöcher einsickerte. Die

erste Erdölförderung im Untertagebau fand 1854 in Bóbrka bei Krosno (Polen) statt. Die ersten Bohrungen in Deutschland wurden im 1858 bei Wietze in Niedersachsen durchgeführt. In einer Tiefe von ca. 50 m wurde gegen 1910 mit 2000 Bohrtürmen etwa 80% des deutschen Erdölbedarfs gefördert. Weltberühmt wurde die Bohrung nach Öl, die Edwin L. Drake am 27. August 1859 am Oil Creek in Titusville, Pennsylvania durchführte. Drake bohrte im Auftrag des amerikanischen Industriellen George H. Bissell und stiess in nur 21 Meter Tiefe auf die erste grössere Öllagerstätte. In Saudi-Arabien wurde das «Schwarze Gold» zuerst in der Nähe der Stadt Dammam am 4. März 1938 nach einer Reihe erfolgloser Explorationen von der US-Gesellschaft «Standard Oil of California» entdeckt.

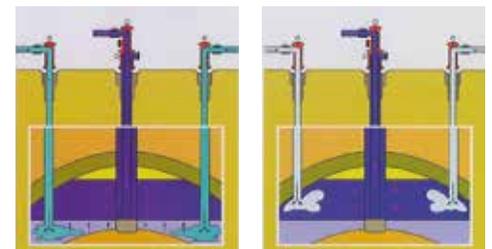
Allgemein erfolgt die Förderung konventionellen Erdöls nach den Sondierbohrungen heute in folgenden Phasen:



In der **ersten Phase (primary oil recovery)** wird Öl durch den natürlichen Druck des eingeschlossenen Erdgases (eruptive Förderung) oder durch «Verpumpen» an die Oberfläche gefördert.



In der **zweiten Phase (secondary oil recovery)** werden Wasser oder Gas in das Reservoir injiziert (Wasserfluten und Gasinjektion) und damit zusätzliches Öl aus der Lagerstätte gefördert.



In einer **dritten Phase (tertiary oil recovery)** werden komplexere Substanzen wie Dampf, Polymere, Chemikalien, CO<sub>2</sub> oder Mikroben eingespritzt, mit denen die Nutzungsrate nochmals erhöht wird.

Je nach Vorkommen können in der ersten Phase 10–30 % des vorhandenen Öls gefördert werden und in der zweiten Phase weitere 10–30 %; insgesamt in der Regel also 20–60 % des vorhandenen Öls. Angesichts des labilen Preisniveaus und der globalen Marktdynamik ist damit zu rechnen, dass sich die tertiäre Förderung auch bei «alten» Vorkommen stark intensivieren wird.

Besondere Schwierigkeiten bereitet die Erdölförderung aus Lagerstätten, die sich in der Tiefsee befinden («Offshore-Gewinnung»). Hier müssen zur Erschließung der Lagerstätte auf dem Gewässergrund stehende oder darüber schwimmende Bohrplattformen (Bohrinseln) eingerichtet werden, von denen aus gebohrt und später gefördert (Förderplattformen) werden kann. Hierbei ist das Richtbohren vorteilhaft, weil dadurch von einer Bohrplattform ein grösseres Areal erschlossen werden kann. Befindet sich die Erdöllagerstätte nahe der Erdoberfläche, so kann das Öl im Tagebau gewonnen werden, Beispiel: Athabasca-Erdölsande, Alberta Kanada.

**Erdöl für alle**

Erdöl ist aus der modernen Welt nicht mehr wegzudenken – mehr noch – es ist uns lebenswichtig geworden! Wir alle verwenden täglich viele Produkte, welche ganz oder teilweise aus Erdöl hergestellt werden. Es dient als Energiequelle für Wärme und Licht, liefert die Schmierstoffe für die Maschinen und den Treibstoff für unsere Automobile sowie die Basisstoffe zur Herstellung von unzähligen Chemikalienprodukten.



Beispiel für verschiedene Erdölqualitäten

**Erdölreserven**

Der «Erdölvorrat der Welt» findet sich vor allem in folgenden Gebieten: Mittlerer Osten, Südost Asien, Nordafrika, Vereinigte Staaten von Amerika, in den an das Karibische Meer grenzenden Ländern (Venezuela, Kolumbien, Mexiko, Trinidad) sowie in Russland. Ungefähr 65 % der derzeit bekannten Vorräte liegen im mittleren Osten. Die Erdöl-Weltreserven sind nicht unerschöpflich und ein haushälterischer Umgang mit allen Arten von Erdölprodukten ist deshalb ein unbedingtes Erfordernis. Der Weltkonsum an Erdölprodukten belief sich im Jahr 2009 auf rund 3,8 Milliarden Tonnen. Die am jeweils aktuellen Verbrauch gemessene Reichweite der Erdölreserven beträgt laut Schätzungen (2009) wenig mehr als 40 Jahre.

Als Masseinheit für das Erdöl ist das Fass (Barrel) gebräuchlich, welches 159 Liter beinhaltet. 7½ Fass ergeben also rund eine Tonne.



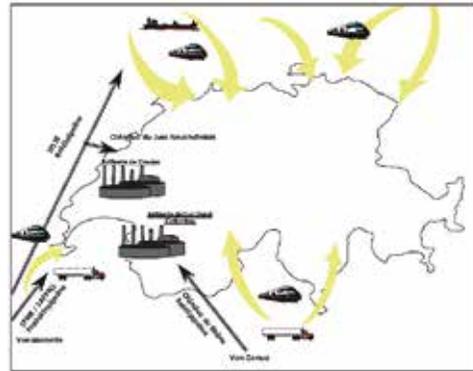
**Erdölverbrauch, Förderung und Reserven**

Stand 2009 (in Mio Tonnen)	Verbrauch	Förderung	Reserven
Europa	740	217	1900
Russland	173	637	16600
Nordamerika	1025	628	10200
Mittel- und Südamerika	256	338	28500
Afrika	144	459	16900
Naher Osten	336	1156	102000
Asien / Pazifik	1206	383	5600
<b>Total</b>	<b>3882</b>	<b>3820</b>	<b>181 700</b>

Quelle: Jahresbericht Erdölvereinigung

### Die Schweiz und das Erdöl

Die Versorgung der Schweiz mit Erdöl und Erdölprodukten geschieht auf zwei verschiedene Arten. Im ersten Fall wird Rohöl importiert und an der Raffinerie Cressier bei Neuenburg weiter transportiert. Im zweiten Fall werden Fertigprodukte eingeführt, welche hauptsächlich in Basel, Genf und im Tessin in unser Land gelangen.



Das Erdöl spielt eine erstrangige Rolle in Bezug auf die Energieversorgung der Schweiz.

### Energieverbrauch in der Schweiz in %

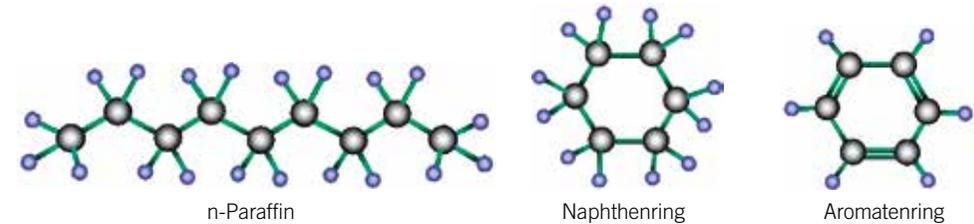
Jahr	1950	1973	1980	1985	1990	1995	2004	2009
Erdölprodukte	24,8	79,6	71,4	65,7	63,6	60,9	57,0	55,1
Elektrizität	20,2	15,4	18,6	20,5	21,7	21,6	23,1	23,6
Gas	-	1,6	4,9	7,3	9,1	11,8	12,1	12,1
Kohle, Holz, Andere	55,0	3,4	5,1	6,5	5,6	5,7	7,8	9,2

Quelle: Jahresbericht Erdölvereinigung

### Erdöl, Zusammensetzung und Haupteigenschaften

Erdöl ist ein Gemisch aus einer sehr grossen Zahl von Kohlenwasserstoffen, begleitet von meist unerwünschten, geringen Anteilen an Sauerstoff-, Stickstoff- und Schwefelverbindungen. Die Elementaranalyse zeigt etwa folgende Verhältnisse: Kohlenstoff (C) 82 bis 87 %, Wasserstoff (H) 10 bis 15 %. Mineralöle sind äusserst komplizierte Gemische, da sich die darin vorkommenden Kohlenwasserstoffe nach Molekülgrösse und chemischem Aufbau sehr stark unterscheiden können. Hinsichtlich des Aufbaues der einzelnen Komponenten enthalten die Rohöle (Rohöl = unverarbeitetes, entgastes und entwässertes Erdöl) im wesentlichen drei Gruppen von Kohlenwasserstoffen: Paraffine, Naphthene und Aromaten.

Die einzelnen Komponenten des Erdöls unterscheiden sich einmal durch die Anzahl der C-Atome im Molekül und andererseits durch die Gruppierung derselben. Dementsprechend hat jede Verbindung andere physikalische und chemische Eigenschaften, beispielsweise Dichte, Viskosität, Siedepunkt usw.



### Destillation und Raffination

Das Rohöl gelangt durch eine Pipeline von Marseille die Raffinerie in Cressier. Dort wird das Rohöl mit Hilfe folgender Verfahren in drei aufeinander folgenden Stufen verarbeitet:

- Atmosphärische Destillation
- Vakuumdestillation
- Thermisches Cracken

### Atmosphärische Destillation

Der Destillationsprozess besteht darin, dass eine Flüssigkeit bis zum Siedepunkt erhitzt und die entstehenden Dämpfe wieder abgekühlt, dabei verflüssigt und aufgefangen werden. Beim Rohöl wird dieses Verfahren angewendet, um es in seine verschiedenen Bestandteile zu zerlegen.

Bei der atmosphärischen Destillation wird das Rohöl auf 350°C erhitzt und in eine sogenannte Destillationskolonne geleitet. Die gasförmigen Kohlenwasserstoffe steigen in dieser Kolonne hoch und kühlen dabei ab. Die leichtesten Fraktionen (Gas und Benzin) steigen am höchsten und kondensieren erst, wenn die Temperatur auf etwa 110°C abgesunken ist.

Weiter unten erhält man Flugpetrol. Die schweren Anteile kondensieren zuerst, bereits am Fuss der Kolonne. Hier gewinnt man Dieseltreibstoff und Heizöl Extra Leicht.

Die am oberen Kolonnenende immer noch gasförmigen Fraktionen werden unterteilt in Flüssiggas (Butan, Propan), die unter Druck in Flaschen abgefüllt auf den Markt gelangen und Raffineriegas, das an Ort und Stelle zum Heizen der Anlagen verwendet wird. Zuvor muss jedoch der Schwefel entfernt werden, um die Luftverschmutzung auf ein Mindestmass zu reduzieren.

Der schwere Rückstand am unteren Ende der Kolonne wird nochmals aufgeheizt und in eine zweite Kolonne geleitet, zur sogenannten Vakuumdestillation.

### Vakuumdestillation

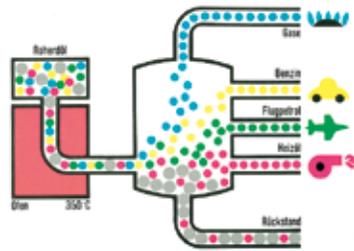
Der bei der atmosphärischen Destillation anfallende Rückstand kann unter normalem Druck nicht weiter zerlegt werden. Er müsste so hoch erhitzt werden, dass sich die Moleküle zersetzen würden. Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, wird in der zweiten Kolonne ein Vakuum geschaffen. Auf diese Weise gelingt es, dem Rückstand noch Heizöl zu entnehmen.

Bei geeigneter Provenienz des Rohöls wird der Rückstand aus der Vakuumkolonne zu Bitumen weiterverarbeitet. Um im anderen Fall noch weitere leichte Produkte aus dem schweren Rückstand herausholen zu können, wurde ein spezielles Verfahren entwickelt; das thermische Cracken.

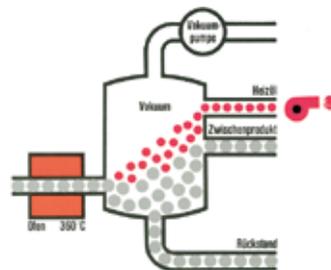
### Thermisches Cracken

Unter «Cracken» versteht man das chemische Aufbrechen schwerer, hochsiedender Kohlenwasserstoffe in kleinere und somit leichtere, niedrig siedende Verbindungen. In den leichten Anteilen, wie Benzin, sind die Moleküle klein; in den schweren, wie Industrieheizöle, bedeutend grösser. Der Bedarf an leichten Produkten ist heute wesentlich grösser als an schweren.

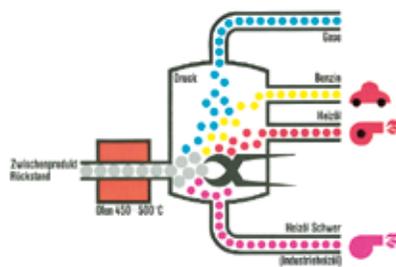
Die Raffinerie Cressier wendet das thermische Cracken an. Das Prinzip dieses Verfahrens ist sehr einfach. Der schwere Rückstand aus der atmosphärischen Destillation wird bei einem Druck von 20 bar in einer speziellen Anlage auf etwa 500°C erhitzt. Neben Benzin und Heizöl Extra Leicht bleibt bei diesem Vorgang ein schwerer Rückstand, der normalerweise dem Industrieheizöl beigemischt wird.



Atmosphärische Destillation



Vakuumdestillation



Thermisches Cracken

## Herstellungsverfahren für Otto-Treibstoffe (Benzin)

### Destillation

Wie vorgängig beschrieben, erhält man Benzin bei der atmosphärischen Destillation. Die mit einer Temperatur von etwa 150°C in der Kolonne aufsteigenden Dämpfe werden kondensiert und das darin enthaltene Wasser abgetrennt. Dieses Rohbenzin muss noch mit Hilfe nachstehend beschriebener Verfahren raffiniert werden, so dass es den Vorschriften entspricht.

### Entschwefelung

Die erste Benzinfraktion enthält Schwefelverbindungen in unterschiedlichen Mengen, je nach Beschaffenheit des verarbeiteten Rohöls. Um die Spezifikationen zu erfüllen, muss der Schwefel aus dem Benzin entfernt werden. Dies geschieht in der Entschwefelungsanlage, in der sich der Schwefel bei einer Temperatur von 370°C in Gegenwart eines Katalysators mit Wasserstoff verbindet und als Schwefelwasserstoff abgetrennt wird.

### Fraktionierung

Das Benzin wird hierauf in Leichtbenzin und Schwerbenzin getrennt.

- Leichtbenzin wird sodann in der Isomerisationsanlage weiterverarbeitet
- Schwerbenzin in der Anlage für katalytisches Reforming
- Beide Behandlungen dienen zur Erhöhung der Oktanzahl des Benzins.

### Katalytisches Reforming

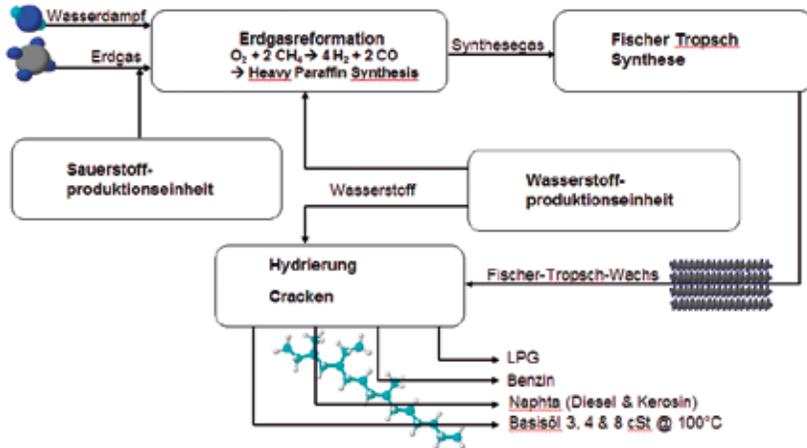
Schwerbenzin wird in einer anderen Anlage, dem sogenannten katalytischen Reforming (Platformer, Abkürzung aus Platin+Reformation) behandelt. Hierbei werden die geradkettigen Moleküle in klopffestere, ringförmige Moleküle (Aromaten) umgewandelt, was die Oktanzahl von 60 bis auf 102 ROZ ansteigen lässt. Dieser Umwandlungsprozess vollzieht sich erst unter hohem Druck und bei Temperaturen von 510°C und in Anwesenheit eines Platin-Katalysators. Dabei wird Wasserstoff abgespalten.

### Isomerisation

In der Isomerisationsanlage werden die geradkettigen Benzinmoleküle in verzweigte Moleküle (Iso-Paraffine) umgewandelt. Dies erfolgt bei einer Temperatur von etwa 250°C in Gegenwart von Wasserstoff und eines Katalysators. Nach dem Durchgang durch die Anlage erreicht das Leichtbenzin eine Oktanzahl von ungefähr 89 ROZ.



## Prinzipschema der GtL Produktion



## Treibstoffe

### Anforderungen an Treibstoffe für Ottomotoren (Benzin)

Die Betriebsbedingungen in modernen Ottomotoren stellen eine Reihe von Anforderungen, die vom Kraftstoff erfüllt werden müssen. Die wichtigsten sind:

- Problemloser Start des Motors bei hohen und tiefen Temperaturen
- Klopfreier Betrieb beim Beschleunigen und bei hohen Belastungen
- Keine Aussetzer des heissen Motors durch Dampfblasenbildung
- Optimale Energieausnutzung, um gute Kilometerleistung zu erreichen
- Gute Lagerbeständigkeit und keine Korrosionsneigung
- Zündkerzen frei von Russ und anderen Ablagerungen
- Sauberhalten von Vergaser, Einspritzdüsen, Ventilen und Einlasssystem

Die wichtigsten chemisch-physikalischen Kenndaten, die das Verhalten eines Treibstoffes beeinflussen, sind sein Klopfestigkeit und seine Flüchtigkeit.

### Klopfestigkeit

Klopfen entsteht, wenn sich im Zylinder die Verbrennung nicht gleichmässig ausbreitet und ein Teil des Benzin-Luft-Gemisches schlagartig verbrennt.

Dadurch wird der Motor thermisch und mechanisch wesentlich stärker belastet, was zu Schäden an Kolben und Kurbeltrieb führen kann. Die Klopfestigkeit oder der Widerstand gegen klopfende Verbrennung wird mit der Oktanzahl beschrieben. Je nach Bauart und Verdichtungsverhältnis eines Motors wird Bleifrei 95 mit einer Oktanzahl (ROZ = **R**esearch-**O**ktan-**Z**ahl) von minimal 95 oder Bleifrei 98 mit ROZ von minimal 98 benötigt. Verbleites Superbenzin darf in der Schweiz und den meisten EU-Ländern seit dem 1.1.2000 nicht mehr verkauft werden.

### Oktanzahl

Die Oktanzahl wird im Einzylinder-CFR (**C**ooperative **F**uel **R**esearch **C**ommittee)-Prüfmotor ermittelt. Im Prüfmotor wird nun die verstellbare Kompression so lange erhöht, bis das zu untersuchende Benzin zur klopfenden Verbrennung neigt.

Danach werden Vergleichsmessungen mit Referenztreibstoffen gemacht. Diese Vergleichstreibstoffe bestehen aus Mischungen von Iso-Oktan und n-Heptan. Iso-Oktan, welches sehr klopfest ist, erhält dabei den Wert 100 zugeordnet, n-Heptan dagegen den Wert 0. So ergibt sich zum Beispiel für ein zu untersuchendes Benzin eine Oktanzahl von 95, wenn seine Klopfestigkeit einer Mischung aus 95 Vol.% Iso-Oktan und 5 Vol.% n-Heptan entspricht.

Nach den Prüfmethode unterscheidet man zwischen ROZ (**R**esearch-**O**ktan-**Z**ahl) und MOZ (Motor-Oktan-Zahl). Die ROZ ist die gebräuchlichste Prüfmethode und entspricht am besten den Verhältnissen, wie sie beim Beschleunigen eines Fahrzeuges auftreten. Die MOZ beschreibt das Klopfverhalten, wie es bei hohen Drehzahlen und höherer Belastung auftreten kann. Bei einem Autobenzin liegt die MOZ in der Regel etwa 10 Punkte tiefer als die ROZ (für Bleifrei 95 ist die MOZ min. 85).

Die bei der Destillation anfallenden Benzine besitzen eine Oktanzahl zwischen 60 und 70 ROZ, was für die Motoren nicht genügt. Um unkontrollierte Selbstzündung des Benzin-Luft-Gemisches zu verhindern, muss die Oktanzahl erhöht werden. Dies geschieht durch Isomerisation und katalytisches Reforming sowie durch Zugabe von hochklopfesten Treibstoffkomponenten.

Diese Komponenten können durch Weiterverarbeiten von Koppelprodukten hergestellt werden. Da sie in ihrer Molekularstruktur bereits Sauerstoffatome besitzen, benötigen sie für eine vollständige Verbrennung weniger Luft als reines Benzin. Damit keine Probleme infolge veränderter Gemischzusammensetzung entstehen, ist der zulässige Anteil dieser Treibstoffkomponenten limitiert auf:

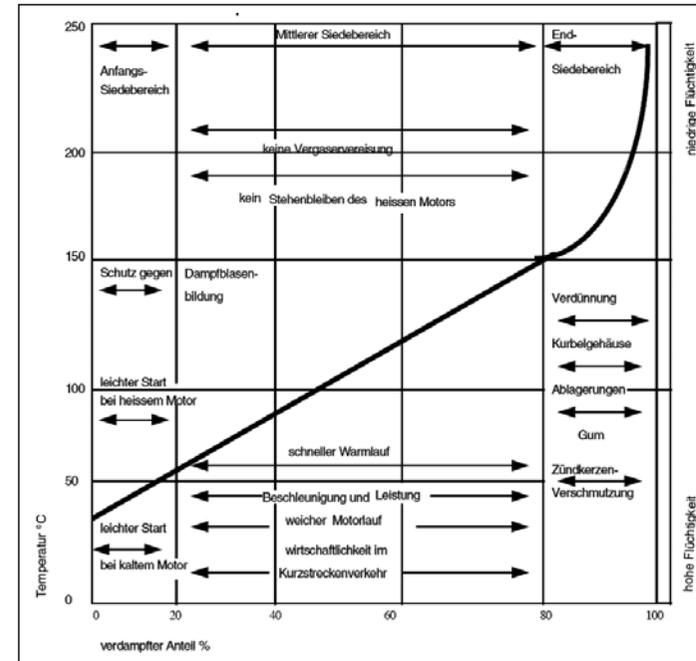
Treibstoffkomponenten	Oktanzahl (ROZ)	Vol. %
MTBE (Methyl-Tertiär-Butyläther)	120	15
TBA (Tertiär-Butyl-Alkohol)	105	7
Methanol	130	3

**Flüchtigkeit**

Das Benzin muss genügend leichtflüchtig sein, damit sich im Vergaser oder nach den Einspritzdüsen ein homogenes Benzin-Luft-Gemisch bilden kann. Im Winter ist eine höhere Flüchtigkeit des Benzins notwendig, um gute Kaltstarteigenschaften und ein einwandfreies «Gasannehmen» während der Aufwärmphase zu erreichen. Im Sommer dagegen ist eine niedrigere Flüchtigkeit notwendig, um die Verdampfungsverluste zu reduzieren und das Bilden von Dampfblasen zu verhindern. Die Flüchtigkeit kann durch Mischen geeigneter Benzinfraktionen den jeweiligen Bedürfnissen angepasst werden.

Bestimmung	Bleifrei 95	
RVP (Dampfdruck nach Reid bei 37,8°C):		
Sommer	(kPa)	45–60
Winter	(kPa)	60–90
E70 (Siedeanalyse verdampfte Menge bei 70°C):		
Sommer	(% Vol.)	20–48
Winter	(% Vol.)	22–50
Siedende	(°C)	210

Spezifikationen zur Festlegung der Flüchtigkeit gemäss Schweizer Normen



Typischer Siedeverlauf eines Benzins

**Bleiersatz**

Seit Anfang 1996 bieten die meisten Kraftstoffhersteller einen umweltschonenden Bleiersatz an. Mit diesem Zusatz kann ganz auf Superbenzin verzichtet werden, was auch älteren Fahrzeugen ermöglicht, uneingeschränkt mit Bleifreibenzin zu fahren. Dieser Bleiersatz schützt die Ventilsitze älterer Motoren ebenso gut wie Blei. Er wird nach dem Tanken im Verhältnis 1:1000 (10ml auf 10 Liter Benzin) den bleifreien Benzinqualitäten (je nach Oktanzahlbedarf des Motors) beigemischt.

**Unverbleites Benzin: Bleifrei 95 und Bleifrei 98**

Das wirksamste Verfahren zur Senkung des Schadstoffausstosses bei Ottomotoren ist der Einbau von Katalysatoren (gesetzliche Vorschrift in der Schweiz seit 1987) in Verbindung mit einer Regelelektronik zur Steuerung des Benzin-Luft-Gemisches. Solche Katalysatoren dürfen jedoch nicht mit Bleiverbindungen in Kontakt kommen. Fahrzeuge mit Katalysatoren müssen deshalb immer mit unverbleitem Benzin betrieben werden.

In der Schweiz werden zwei Sorten Bleifreibenzine angeboten, die sich nur in der Oktanzahl unterscheiden. Bleifrei 95 und Bleifrei 98. Viele der älteren Fahrzeuge ohne Katalysator haben von der Motorenkonstruktion her bereits gehärtete Ventilsitze und können bleifreies Benzin ohne Bleiersatz verwenden.

Seit dem 1. Januar 2004 ist in der Schweiz schwefelfreies Benzin mit einer Lenkungsabgabe auf schwefelhaltigem Benzin steuerlich begünstigt.

Schwefelfreies Benzin hat weniger als 10 ppm Schwefel, das ist 15mal weniger als der zulässige Schwefelgehalt der gemäss Luftreinhalteverordnung bis 2005 vorgesehen war.

Dies begünstigt die Einführung neuer Abgasnachbehandlungs-Systeme, insbesondere auch bei direkt eingespritzten Benzinmotoren.

### Shell V-Power 100

Shell V-Power 100 ist ein Spezialbenzin mit 100 Oktan. Speziell sind einerseits die sehr hohe Oktanzahl, die Verwendung von GtL, die eingesetzten Benzinkomponenten sowie das Performance Additiv. Die daraus resultierenden Vorteile sind:

- Die Zündung kann bei verschiedenen Fahrzeugen noch optimaler auf maximale Leistung eingestellt werden. In der Regel erfolgt dies automatisch gesteuert durch den Klopfsensor ohne Zutun des Fahrers.
- Die verwendeten Benzinkomponenten verbrennen rascher, was eine optimale Verbrennung begünstigt und ein perfektes Ansprechen des Motors ergibt.

### Benzinadditive

Bei der Benzinherstellung nach Norm sind keine Additive vorgeschrieben. Einerseits erwarten die Automobilisten einen immer höheren Fahrkomfort und Zuverlässigkeit, während andererseits der Gesetzgeber zunehmend anspruchsvollere Systeme verlangt, um die Emissionen zu reduzieren. Eine gute Verbrennung beginnt immer mit einer guten Gemischbildung, bei der die Funktion von Vergaser, Saugrohr, Einspritzdüsen und Einlassventilen zunehmend ein integrales System bilden, welches sehr genau abgestimmt ist. Wenn nun Benzine ohne Additive verwendet werden, können sich sehr leicht im Einlasssystem (Einlassventile, Vergaser, Einspritzventile usw.) Ablagerungen bilden, die den optimierten Einlassvorgang stören und schon nach kurzer Zeit zu einer Verschlechterung des Fahrkomforts und zu einem Anstieg des Verbrauches und der Emissionen führen. Je raffinierter die Motorenteknik, desto empfindlicher reagiert er auf Verschmutzungen, Ablagerungen und Verschleiss. Die führenden Motorenhersteller haben denn auch erkannt, dass die Verwendung von additiviertem Benzin einen wesentlichen Beitrag leistet, um die Motoren zu schützen. Benzin mit solchen markenspezifischen Zusätzen unterscheidet sich deutlich gegenüber einer herkömmlichen Benzinqualität. So enthält beispielsweise das an den Shell Tankstellen verkaufte Shell Benzin Bleifrei 98 und Bleifrei 95 ein speziell abgestimmtes, umweltverträgliches Additiv.

Shell optimierte die Benzinformulierung weiter, indem es gelang zusätzlich zur Motorsauberkeit die Reibung zwischen Kolben/Kolbenring und der Zylinderwand zu reduzieren.

### Rennbenzin

Für Rennbenzin gibt es spezielle Vorschriften der FIA (**F**édération **I**nternationale de l'**A**utomobile). Die Vorschriften bezüglich Oktanzahl und chemischer Zusammensetzung, um die wichtigsten zu nennen, weichen nur unbedeutend von der Norm für Bleifrei 98 ab. So ist zum Beispiel die Oktanzahl beim Rennbenzin limitiert auf max. 102 ROZ. Die aus den Renn-Aktivitäten unter extremen Bedingungen gewonnenen Erkenntnisse fliessen auch in die Entwicklung und Produktion von normalem Benzin ein, wie es an den Tankstellen verkauft wird.

### Treibstoff für Dieselmotoren

Dieseltreibstoff ist ein sogenanntes Mitteldestillat, eine Mischung aus Kohlenwasserstoffen im typischen Siedebereich von 170 °C bis 380 °C. Dieseltreibstoff fällt bei der atmosphärischen und der Vakuumdestillation an. Mit Hilfe des thermischen Krackens kann die Ausbeute an Dieseltreibstoff weiter erhöht werden. Im Gegensatz zum Ottomotor, bei dem die Verbrennung mit Hilfe eines Funken fremdgezündet wird, muss sich beim Dieselmotor der in die heisse, komprimierte Luft eingespritzte Dieseltreibstoff von selbst entzünden. Das Mass für die Zündwilligkeit des Dieseltreibstoffes ist die Cetanzahl. Sie sollte gemäss Norm im Minimum 47 betragen. In der Schweiz sind Werte zwischen 49 und 53 üblich.

Im Gegensatz zu Benzin bestehen beim Dieseltreibstoff Kälteprobleme wegen des Paraffingehaltes. Einerseits bewirken die Paraffinkohlenwasserstoffe eine gute Zündwilligkeit des Treibstoffes, andererseits beeinflussen sie das Kälteverhalten des Dieseltreibstoffes negativ. Bei niedrigen Temperaturen können ausgeschiedene Paraffinkristalle zum Verstopfen des Dieselfilters und so zum Stillstand des Motors führen. Es ist darum wichtig, dass der Dieseltreibstoff über ein gutes Kälteverhalten verfügt. In der Praxis wird zum Teil noch zwischen Sommer- und Winterdiesel unterschieden.

### Kälteverhalten

Die wichtigsten Kriterien und Prüfungen für die Kältebeständigkeit von Dieseltreibstoffen sind:

1. Trübungspunkt (Cloud point): Erste, sehr feine Paraffinkristalle beginnen sich auszuscheiden
2. Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP = **C**old **F**ilter **P**lugging **P**oint): Ist bei jener Temperatur erreicht, bei der ein Standardfilter unter genormten Prüfbedingungen verstopft.

Die Schweizer Norm SN 181 160 (SN EN 590) schreibt seit dem 1.1.94 folgende Werte vor:

	Winterqualität Klasse O	Sommerqualität Klasse D
Trübungspunkt	Max. -10 °C	–
Filtrierbarkeitsgrenze	Max. -20 °C	Max. -10 °C

Laut Schweizer Normen darf neben der das ganze Jahr zugelassenen Winterqualität in den Sommermonaten (Mai-September) auch Dieseltreibstoff gemäss Sommerqualität verkauft werden.

### Schwefelgehalt

Ebenso von Bedeutung ist der Schwefelgehalt des Dieseltreibstoffes. Beim Verbrennen des Schwefels entsteht Schwefeldioxid, welches in Verbindung mit Wasser zur Bildung von Schwefelsäure führen kann. Der Schwefelgehalt im Dieseltreibstoff ist gemäss Luftreinhalteverordnung in der Schweiz seit 1. Januar 2000 auf max. 0,035 % = 350 ppm festgelegt. Durch die Herabsetzung des Schwefelgehaltes konnte eine starke Reduzierung der Schwefel- und Partikelemissionen erzielt werden, und es besteht nun die Möglichkeit, Oxidationskatalysatoren wirkungsvoll bei Dieselfahrzeugen einzusetzen.

Für den Einsatz von wirksamen Partikelfiltern muss der Schwefelgehalt weiter reduziert werden. Die per 1. Januar 2004 eingeführte Lenkungsabgabe auf Diesel mit mehr als 10 ppm Schwefel hat die rasche Einführung von schwefelfreiem Diesel in der Schweiz wesentlich erleichtert.

### Schmierfähigkeit des schwefelarmen Diesels

Bei der Einführung des sogenannten City-Diesels in Schweden (max. 0.001 % Schwefelgehalt) ergaben sich nach relativ kurzer Zeit sehr grosse Probleme mit den Einspritzpumpen. Es wurde festgestellt, dass dieser Diesel eine ungenügende Schmierfähigkeit hatte. Durch spezielle Massnahmen konnte dann dieses Problem gelöst werden. Es zeigte sich, dass durch die Entschwefelung auch die Molekülstruktur (in Funktion des Rohöls und Entschwefelungsverfahrens) verschieden verändert wird und daher nicht alleine der Schwefelgehalt als Kriterium für die Schmierfähigkeit herangezogen werden kann. Vor allem kritisch ist der schwefelarme Diesel, welchem der Schwefel durch katalytische Hydrierung mit hohen Drücken entzogen wurde. Der Schwefel wird mit Hilfe von Wasserstoff aus der Dieselfraktion herausgelöst, er verbindet sich dabei mit Wasserstoff zu Schwefelwasserstoff. Dieser Prozess läuft bei Temperaturen zwischen 300°C und 400°C und bei einem Druck von 70–80 bar ab.

Die Einspritzpumpen von Dieselmotoren müssen geschmiert werden. Grössere Dieselmotoren sind mit Reihen-Einspritzpumpen ausgerüstet, die entweder einen eigenen Oelsumpf haben oder am Ölkreislauf des Dieselmotors angeschlossen sind. Diese Pumpen sind mit schwefelarmem Diesel unproblematisch. Bei kleineren Dieselmotoren (Personenwagen, Kleintransporter, Aggregate) sind häufig Verteiler-Einspritzpumpen oder Common Rail Einspritzsysteme eingebaut. Diese werden direkt vom Diesel, den sie fördern, geschmiert. Bei der Einführung des schwefelarmen Diesels in der Schweiz, sind in Folge vermehrt Verteiler-Einspritzpumpeschäden aufgetreten. Aufgrund dieser Kenntnisse wurde ein international anerkanntes Prüfverfahren «HFRR-Test» entwickelt, um die Schmierfähigkeit des Diesels zu testen. Eine entsprechende Qualitätsanforderung ist in der Norm SN EN 590 seit 1.1.2000 enthalten.

### Dichte

Der Verbrauch wird massgeblich von der Dieseldichte bestimmt. Je höher die Dichte, d. h. je schwerer der Diesel, desto mehr Energie tankt man pro Liter. Auf eine mittlere Dichte eingestellte Dieselmotoren arbeiten optimal. Starke Abweichungen der Dichte nach oben verursachen verstärkte Russbildung, während starke Abweichungen nach unten dazu führen, dass die Leistung absinkt und der Kraftstoffverbrauch deutlich ansteigt.

Der Winterdiesel darf gemäss Norm das ganze Jahr eingesetzt werden, muss aber seit dem 1.6.95 während den Sommermonaten eine Mindestdichte von 820 kg/m<sup>3</sup> haben.

Die geänderte Dichtebandbreite des schwefelarmen Diesels nach der neuen Norm hat dazu geführt, dass teilweise Diesel mit extrem tiefer Dichte angeboten wurde. Solcher Diesel war im Einkauf günstiger (Effekt des Gewichtszolles, ab 1.1.97 Volumenzoll). Fahrer von Dieselfahrzeugen, die Diesel mit tiefer Dichte tanken, stellen dann allerdings recht schnell einen Mehrverbrauch fest und beklagen sich, insbesondere an Steigungen, über reduzierte Leistung.

Auf dem Motorenprüfstand wurde pro 10 kg/m<sup>3</sup> tieferer Dichte eine um rund 2 % tiefere Leistung und je nach Motor ein um 0,8–1,4 % höherer Verbrauch gemessen. Im Alltag wirkt sich die tiefere Dichte aber meistens noch gravierender aus:

Der Fahrer versucht unbewusst, die geringere Motorenleistung mit einem höheren Anteil an Vollastfahrt oder durch Fahren in einem tieferen Gang, also mit unwirtschaftlichen Motordrehzahlen, zu kompensieren

Kraftstoff	Dichte
Winterdiesel	800–845 kg/m <sup>3</sup>
Sommerdiesel	820–860 kg/m <sup>3</sup>
Frühere Dichtebandbreite für Sommer- und Winterdiesel	815–845 kg/m <sup>3</sup>
Shell Ganzjahresdiesel	820–837 kg/m <sup>3</sup>

Dichtbandbreite gemäss Schweizer Norm, gültig seit 1.1.2000

### Startschwierigkeiten und geringe Leistung an heissen Sommertagen

Heisse Sommer wie beispielsweise 1994 und 2003 hat bei vielen Dieselpersonenwagen und Dieselmotoren zu ausgeprägten Heissstart-Schwierigkeiten geführt. Die Praxis zeigte, dass diese Schwierigkeiten ausschliesslich von Diesel mit tiefer Dichte (deutlich tiefer als 820 kg/m<sup>3</sup>) und tiefer Viskosität verursacht wurden.

Verschiedene Untersuchungen zeigten, dass bei tiefer Viskosität und hohen Temperaturen die internen Leckagen in der Einspritzpumpe so bedeutend werden, dass insbesondere Verteiler-Einspritzpumpen beim Starten und im Leerlauf nicht mehr die erforderlichen Mengen fördern können. Bei Pumpen mit einer elektronischen Regelung konnte durch eine andere Programmierung das Problem relativ einfach behoben werden. Bei Pumpen mit einer mechanischen Regelung ist dies bedeutend schwieriger und auch problematisch, denn sobald es kälter wird oder Diesel mit einer höheren Dichte getankt wird, ergeben sich Probleme mit Überfüllung und starker Rauchbildung beim Starten.

Da die Einspritzpumpen volumetrisch fördern, erreichen Dieselmotoren bei Verwendung von Diesel mit tiefer Dichte nicht mehr die maximale Leistung. Einerseits, weil das eingespritzte Dieselvolumen eine geringere Energiemenge darstellt und andererseits, weil wegen den erhöhten internen Leckagen das Einspritzvolumen nochmals geringfügig reduziert wird.

Die Europäische Dieselnorm (EN 590) trägt diesem Aspekt insofern Rechnung, als sie zwischen Sommer- und Winterdiesel unterscheidet und für die zwei Jahreszeiten auch verschiedene Minimalwerte für Dichte und Viskosität vorschreibt. Shell hat das Problem in der Schweiz so gelöst, dass beim Shell Ganzjahresdiesel für Dichte und Viskosität immer die Minimalanforderungen des Sommerdiesels eingehalten werden. Dadurch profitieren die Shell-Kunden ganzjährig vom guten Kälteverhalten, ohne irgendwelche Nachteile beim Sommerbetrieb befürchten zu müssen.

### Dieseladditive

Wie bei der Benzin- sind auch bei der Dieselherstellung keine Additive vorgeschrieben, haben aber den gleichen Effekt wie beim Benzin. Vor allem Additive wie Detergentien und Zündbeschleuniger beeinflussen die Leistungs- und Emissionswerte positiv. Infolge des Detergents bleiben die Einspritzdüsen sauber, und dadurch können die Abgasemissionen (u. a. Partikel) des Motors während der gesamten Lebensdauer auf einem niedrigen Niveau gehalten werden. Zündbeschleuniger erleichtern die Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches und lassen die Verbrennung gleichmässiger und ohne Druckspitzen ablaufen. Daraus ergeben sich Vorteile für die Geräuschbildung und Abgasemissionen.

Gemeinsam sorgen diese Elemente für optimale Verbrennung, gute Ausnutzung der Kraftstoffenergie und damit geringeren Kraftstoffverbrauch.

### Shell V-Power Diesel

Shell V-Power Diesel enthält einen festen Anteil an GtL Diesel. Ein spezielles Verfahren, das sogenannte Gas to Liquid-Verfahren oder abgekürzt GtL, ermöglicht es, Diesel aus Erdgas zu synthetisieren. Dieser Diesel hat folgende hervorragenden Eigenschaften: Praktisch keine Aromaten, keinen Schwefel und eine sehr hohe Cetanzahl. Das Resultat ist eine deutlich verbesserte Verbrennung mit weniger Schadstoffausstoss und deutlich weicherer Verbrennung.

### Biotreibstoffe

Erdöl ist ein endliches Produkt. Es macht daher Sinn zu schauen, wie durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen die bestehenden Erdölvorkommen geschont werden können und ein Betrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion geleistet werden kann. Biotreibstoffe basierend auf Biomasse sind eine Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen.

Für Benzin eignet sich vor allem die Beimischung von Ethanol. Bei der Beimischung von Ethanol zu Benzin muss man beachten, dass dies zu einer Erhöhung der Flüchtigkeit führt. Für solche Mischungen muss daher ein speziell raffiniertes Basisbenzin verwendet werden.

Für Diesel eignet sich die Beimischung von sogenannten Estern, in Europa vor allem von Raps Methyl Ester.

Man unterscheidet heute zwischen Biotreibstoffen erster Generation, die vor allem aus den «Früchten» von Pflanzen hergestellt werden, wie z. B. aus Raps, Mais, Zuckerrüben und Getreide. Die daraus hergestellten Biotreibstoffe funktionieren einwandfrei. Allerdings reduziert dies die verfügbaren Nahrungsmittel, was sich auf die Futter- und Nahrungsmittelpreise auswirkt. Zudem benötigt die Herstellung solcher Biotreibstoffe recht viel Energie, so dass der CO<sub>2</sub>-Gewinn doch relativ bescheiden ausfällt.

Deshalb wird zurzeit sehr intensiv an Biotreibstoffen der zweiten Generation gearbeitet, welche aus beliebiger Biomasse, wie z. B. Grünabfällen, Holz, Stroh, usw., Biotreibstoffe herstellen können. Dabei wird die Biomasse in geeigneter Art vergast und dann, ähnlich wie bei V-Power-Diesel beschrieben, verflüssigt. Die so hergestellten Biotreibstoffe haben bessere Eigenschaften, da die Moleküle optimal für die motorische Verbrennung praktisch massgeschneidert werden.

Die Normen für Benzin und Diesel erlauben in Absprache mit den Fahrzeugherstellern seit 2007 eine Beimischung von maximal 5% Biotreibstoff. Nur in Fahrzeugen welche spezielle dafür konzipiert sind, sind deutlich höhere Anteile zugelassen. Insbesondere bei Dichtungen und Schläuchen können Probleme auftreten. Hohe Beimischungen können einen Einfluss auf das Abgasverhalten und die Lebensdauer einzelner Systeme haben.

### Die Verbrennung von Erdölprodukten verursacht Emissionen

Die schweizerische Gesetzgebung legt für die schädlichen Emissionen von Motorfahrzeugen und Heizanlagen sehr strenge Grenzwerte fest.

Die Abgase von Benzinmotoren enthalten Stickoxide (NO<sub>x</sub>), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und Kohlenmonoxid (CO). Ist das Fahrzeug mit einem Katalysator ausgerüstet, werden diese Verunreinigungen um mehr als 90 Prozent vermindert. Der Katalysator stellt das wirksamste Mittel zur Reduzierung der schädlichen Emissionen des Benzinmotors dar.

Die schweren Lastwagen und Dieselpersonenwagen stossen vor allem Stickoxide und Russpartikel aus. Der Grenzwert für die NO<sub>x</sub>-Emissionen von Lastwagen ist in den Jahren von 2000 bis 2014 stark reduziert worden.

Der Schwefelgehalt des Dieseltreibstoffes ist seit dem 1. Januar 2000 gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV) auf max. 350 ppm beschränkt und seit dem 1. Januar 2004 ist schwefelfreier Diesel mit weniger als 10 ppm auf dem Markt erhältlich. Mit dieser Vorschrift wird ein weiterer Beitrag zur Luftreinhaltung geleistet. Sie ermöglichte zudem, neue Dieselfahrzeuge mit Oxidations-Katalysatoren auszurüsten, die zur einwandfreien Funktion auf schwefelarmen Treibstoff angewiesen sind.

Die Heizanlagen und Industriefeuerungen erzeugen Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Stickoxide (NO<sub>x</sub>). Dank dem reduzierten Schwefelgehalt der Brennstoffe und der ständigen Wirkungsgrad-Verbesserung der Heizanlagen sind die Schwefeldioxid-Emissionen gesamthaft unter das Niveau von 1950 gesunken. Grosse Industriebetriebe rüsten sich gegenwärtig mit neuen Brennern aus, die weniger NO<sub>x</sub> ausstossen (Low-NO<sub>x</sub> Brenner); dieser Brennertyp wird inzwischen auch in Anlagen für Heizöl Extra Leicht eingebaut.

### Rückgewinnung der Benzindämpfe

In der Schweiz sind mittlerweile alle Tankstellen mit Tanksäulen und Zapfpistolen ausgerüstet, mit denen die beim Betanken von Fahrzeugen entweichenden Benzindämpfe aufgefangen werden. Mit ihrer Rückführung in den Vorratstank entfällt die Luftbelastung durch das Tanken weitgehend.

Die Belieferung der Tankstellen erfolgt im geschlossenen Kreislauf. Beim Abladen von Benzin führt der Tankwagen über einen zweiten Schlauch die verdrängten Gase zurück. In der Raffinerie oder in einem Umschlaglager werden diese Dämpfe wiederum kondensiert, und man erhält daraus erneut Benzin.

### Umweltrelevante Spezifikationen seit dem Jahr 2000

Brenn- und Treibstoffe unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung mit dem Ziel, die Umweltbelastung weiter zu reduzieren um neue Motoren- und Abgasnachbehandlungssysteme einführen zu können.

Benzin:

- Verkaufsverbot für verbleites Benzin
- Reduktion des Benzolgehaltes von max. 5Vol % auf max. 1 Vol %
- Reduktion des Schwefelgehaltes auf max. 10ppm
- Reduktion des Dampfdruckes auf max. 60kPa im Sommer

Diesel:

- Reduktion des Schwefelgehaltes auf max. 10ppm (EURO V)
- Spezialqualitäten mit weniger als 50ppm Schwefel für Dieselmotoren, die mit Partikelfilter ausgerüstet sind

Heizöl:

- Norm für Oekoheizöl mit max. 0,05% Schwefel und max. 100mg/kg Stickstoff
- Intensive Zusammenarbeit zwischen der Mineralölindustrie und den Brennerherstellern, um die technischen Voraussetzungen zur Einführung von Heizöl mit sehr tiefem Schwefelgehalt zu schaffen

## Schmierstoffe

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen flüssigen (Öle), konsistenten (Schmierfette) und festen Schmierstoffen. Die letzteren, insbesondere Graphit und Molybdändisulfid, dienen als Zusätze für besondere Anwendungen.

### Allgemeine Anforderungen

Die Schmierstoffe haben primär die Aufgabe, Reibung und Verschleiss an bewegten Maschinenteilen zu reduzieren. Gelingt die vollständige Trennung der Gleitpartner durch einen Schmierfilm beispielsweise durch hydrodynamische Schmierung, so ist das gesteckte Ziel in höchstem Masse erreicht. Es gibt jedoch zahlreiche Fälle, wo die technischen Voraussetzungen für diese Schmierungsart fehlen. Der Schmierstoff muss dann in Verbindung mit den Werkstoffen der Gleitflächen Eigenschaften aufweisen, die auch im Gebiet der Mischreibung einen vertretbaren Verschleiss ergeben.

Daneben dient der Schmierstoff zur Wärmeableitung, als Korrosionsschutz und als Dichtmittel. In hydrostatischen und hydrodynamischen Kraftübertragungen übernimmt das Öl zusätzlich die Funktionen einer Hydraulikflüssigkeit. Motorenöle müssen zudem den Motor sauber halten.

### Konventionelle Basisöle

Der mit der atmosphärischen Destillation nicht verdampfbare Rückstand wird durch die Vakuumdestillation in Schmierölfractionen zerlegt. Dabei werden die dünnflüssigen Spindelöle, die mittelflüssigen Neutralöle und die dickflüssigen Zylinderöle gewonnen.

Um den hohen Qualitätsanforderungen zu genügen, müssen diese durch zusätzliche Verfahren raffiniert, d. h. von den im Hinblick auf die Gebrauchseigenschaften unerwünschten Bestandteilen befreit werden. Wichtige Raffinationsverfahren sind die Extraktion mit selektiven Lösungsmitteln, die Entparaffinierung und die Hydrierung.

Bezüglich des chemischen Aufbaus unterscheidet man hauptsächlich zwischen paraffinischen und naphthenischen Basisölen. Zwischen diesen Gruppen bestehen keine scharfen Grenzen. Als Anhaltspunkt kann die unten stehende Tabelle dienen. Die Raffinate stellen die Basisöle für die Fabrikation von legierten Schmierstoffen dar. Wegen den günstigen natürlichen Eigenschaften von paraffinbasierten Ölen werden diese für viele Anwendungszwecke, wie Motoren-, Getriebe- und Hydrauliköle, bevorzugt eingesetzt.

### Synthetische Basisöle

Ausgehend vom Erdöl lassen sich auch synthetische Basisöle herstellen. Durch spezielle Verfahren wird die Molekülstruktur verändert, um bestimmte Eigenschaften gezielt zu verbessern, wie beispielsweise bei den synthetischen Basisölen XHVI (**E**xtr**e**mely **H**igh **V**iscosity **I**ndex). Es handelt sich um sogenannte Hydrocracköle die sich durch einen hohen natürlichen Viskositätsindex auszeichnen. Sie eignen sich dadurch für die Herstellung von Leichtlauf-Motorenölen.

→ Prinzipschema für die Herstellung von Basisölen siehe nächste Seite.

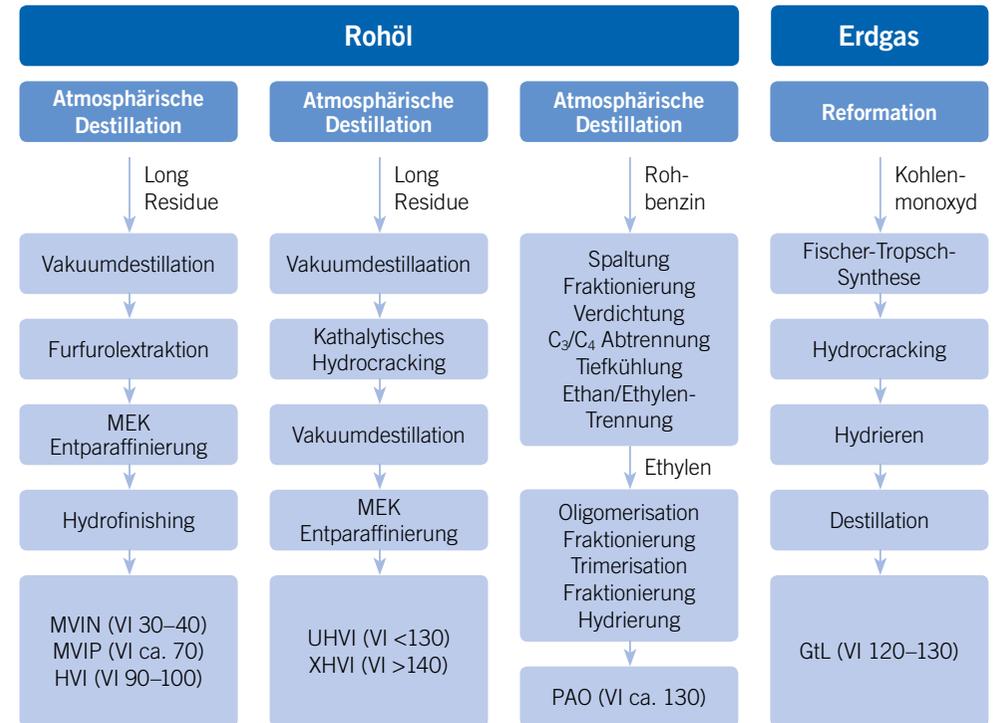
**Schmierstoff-Zusätze (Wirkstoffe, Additive)**

Die Anforderungen, die an Hochleistungsschmierstoffe gestellt werden, können nur noch durch Beimischung von speziellen Additiven zu ausgesuchten Basisölen befriedigt werden. Der Zweck der Wirkstoffe besteht darin, bestehende günstige Öleigenschaften zu verbessern, ungünstige abzuschwächen und neue Eigenschaften, die für gewisse Einsatzgebiete unerlässlich sind, zu schaffen. Es gibt eine sehr grosse Zahl von Wirkstoffen. Nach ihrer Hauptwirkung kann man folgende Gruppen unterscheiden:

- AW-Zusätze (verschleissmindernde Mischreibungszusätze)
- Detergentien
- Dispergentien
- Emulgatoren und Demulgatoren
- Entschäumer
- EP-Zusätze (Vermindern das Anfressen)
- Farbstoffe
- Festschmierstoffe
- Korrosionsinhibitoren
- Oxidationsinhibitoren
- Reibungsminderer
- Stockpunkt-Erniedriger
- Viskositätsindex-Verbesserer

**Prinzipschema der Herstellung von Basisölen (Mineralöle und synthetische Flüssigkeiten)**

Vereinfachte Darstellung, nur eine synthetische Flüssigkeit berücksichtigt.



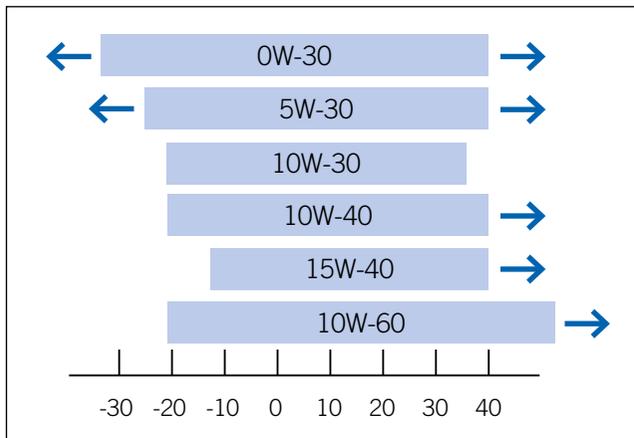
- MEK** Methylethylketon
- MVIN** mittlerer Viskositätsindex, naphthenbasisch
- MVIP** mittlerer Viskositätsindex, paraffinbasisch
- HVI** hoher Viskositätsindex
- UHVI** sehr hoher Viskositätsindex
- XHVI** Shell-Extreme High Viscosity Index Grundöl (Hydrocracköl)
- «Long-Residue»** Rückstand der atmosphärischen Destillation

## Motorenöle

Heutige Motorenöle bestehen vorwiegend aus synthetischen Basisölen und spezifisch abgestimmten Wirkstoffen.

Die wichtigsten Aufgaben eines Motorenöls sind:

- Reibungsminderung
- Optimaler Verschleisschutz
- Erhalten des Honbildes der Zylinderbohrung (Verhinderung von Bore-Polishing)
- Sauberhalten des Motors, insbesondere der Kolbenringpartie
- Gewährleistung eines leichten Kaltstarts
- Guter Korrosionsschutz
- Wärmeableitung



Typische Viskositätsempfehlung für Motorenöl

Im Einzelfall sind die Viskositätsklassen den Konstrukteurvorschriften zu entnehmen. Die Tabelle oben zeigt typische Viskositätsempfehlungen. Die angegebenen Temperaturbereiche sind lediglich als Richtlinien zu betrachten.

## Motorenöl-Spezifikationen

Die Zuordnung der Motorenöle zu den vielfältigen Betriebsbedingungen der Praxis erfolgt nach Spezifikationen, die zum Teil weltweite Verbreitung gefunden haben. Genannt seien vor allem die Klassierung nach API. In Europa treten hingegen die Spezifikationen der ACEA in den Vordergrund. Daneben gibt es OEM-Vorschriften, die in Einzelheiten über die allgemein gültigen Anforderungen hinausgehen.

Im System des API wird zunächst eine Grobunterteilung in Service-Oils resp. S-Klassifikation (Ottomotoren) und in Commercial-Oils resp. C-Klassifikation (Dieselmotoren) vorgenommen.

Zur Erreichung dieser Vorgaben werden den ausgewählten Basisölen folgende Wirkstoffe oder Additive zugesetzt:

Additivgruppe	Wirkung
AW (Anti-Wear)-Additive	Verminderung des Verschleisses, insbesondere an Nocken und Stößeln
HD (Heavy Duty)-Additive	
Detergents	Verhinderung der Ablagerung von ö unlöslichen Rückständen. Neutralisation von sauren Verbrennungsprodukten.
Dispersants	Feinste Verteilung der Verbrennungsrückstände, damit sie im Öl in der Schwebelage bleiben (sauberer Motor)
Viskositätsindexverbesserer	Verminderung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität
Stockpunktverbesserer	Verbesserung des Fließverhaltens bei tiefen Temperaturen
Oxidationsinhibitoren	Verzögerung der Öloxidation
Korrosionsinhibitoren	Verhinderung der Korrosion
Entschäumer	Verhinderung von Schaumbildung

Nach steigenden Ansprüchen gestuft, wird bei Bedarf in beiden API Gruppen in alphabetischer Reihenfolge je ein Buchstabe angefügt und die überholten Stufen werden ungültig. Die Spezifikationen SA bis und mit SH sowie CA bis und mit CG-4 sind nicht mehr gültig. Zurzeit (Stand 2015) gelten die folgenden API-Stufen:

### Service-Oils (Ottomotoren)

#### API SJ

2001, Öle für PKW-Benzinmotoren. Ersetzt API SH. Die Basisöle sind nach der API-Klasse und SAE-Viskositätsklasse eingeteilt.

#### API SL

2004, Weiterentwicklung von API SJ mit Verbesserung in Bezug auf Ablagerungen bei hohen Temperaturen und Reduktion des Ölverbrauches.

**API SM**

Für alle marktüblichen PKW-Motoren im Betrieb. Eingeführt im 2004, die SM-Öle sind formuliert, um während der Öllebensdauer die Oxidationsbeständigkeit zu erhöhen, die Ablagerungsbildung einzudämmern, den Verschleisschutz zu stärken und die Tieftemperatureigenschaften zu optimieren. Einige SM-Öle erfüllen die letzten ILSAC-Spezifikationen und/oder Energiekonservierungskriterien.

**API SN**

Eingeführt 2010. Mit erhöhten Anforderungen an Verschlammung, System-Verträglichkeit, Emissionen und Treibstoffeinsparung. API SN ist mit ILSAC GF-5 abgestimmt.

**Commercial-Oils (Dieselmotoren)****API CF**

1994, für Dieselmotoren mit indirekter Einspritzung und andere Motoren, einschliesslich solchen, die mit Kraftstoff mit mehr als 0.5% m S fahren. Kann an Stelle von API CD verwendet werden.

**API CF-II**

1994, für hoch belastete 2-Takt Dieselmotoren. Kann an Stelle von API CD-II verwendet werden.

**API CH-4**

1998, für schnelllaufende 4-Takt-Motoren, die die Emissionsnormen von 1998 erfüllen. Die Öle nach API CH-4 erlauben die Verwendung von Kraftstoff mit bis zu 0.5% m S. Kann an Stelle von API CD, CE, CF-4 und CG-4 verwendet werden.

**API CI-4**

2002, für schnelllaufende 4-Takt-Motoren, die die Emissionsnormen von 2002 erfüllen. Die CI-4 Öle sind formuliert für Motoren, die mit EGR ausgerüstet sind, und ermöglichen die Verwendung von Kraftstoff mit bis zu 0.5% m S. Kann an Stelle von API CD, CE, CF-4, CG-4 und CH-4 verwendet werden. Einige CI-4-Öle sind mit CI-4 PLUS gekennzeichnet.

**API CJ-4**

2006, für schnelllaufende 4 Takt-Motoren, die die Emissionsnormen ab 2007 erfüllen. Die CJ-4-Öle erlauben die Verwendung von Kraftstoff mit bis zu 500ppm Schwefel, sofern die Motoren mit DPF und modernen Nachbehandlungssystemen ausgerüstet sind. CJ-4 Öle bieten optimalen Schutz vor Katalysatorkontamination, Filterverstopfung, Motorverschleiss und Ablagerungen an Kolben. Sie sichern die Tief- und Hochtemperaturstabilität und die Russdispersion. Sie reduzieren die Aufdickung durch Oxidation, die Schaumbildung und den Viskositätsverlust durch Scherung. CJ-4 Öle können an Stelle von API CD, CE, CF-4, CG-4, CH-4 und CI-4 PLUS verwendet werden. Im Fall einer Verwendung von CJ-4-Ölen zusammen mit Kraftstoff mit mehr als 15ppm S, werden die Serviceintervalle gemäss den Herstellervorschriften reduziert.

**API CK-4**

Voraussichtlich ab August 2018, für schnelllaufende 4 Takt-Dieselmotoren und Motoren der Tier-4 Emissionsklasse.

**API FA-4**

Voraussichtlich ab August 2018, für schnelllaufende 4 Takt-Dieselmotoren die ein XW-30 Motorenöl mit einer HTHS-Viskosität von <3.2mPa\*s verlangen.

**ACEA-Spezifikationen****A/B: Öle für Benzin- und leichte Dieselmotoren**

Diese Ölsorten sind für schwere Dieselmotoren in LKW, Busen und Baumaschinen ungeeignet.

**ACEA A1/B1**

Öle für Benzin- und leichte Dieselmotoren, die für reibungsarme und niedrig viskose Öle ausgelegt sind, mit einer Viskosität von 2,6 bis 3,5mPa.s bei 150°C unter hohem Schergefälle und bei hohen Temperaturen. Diese Öle sind nicht für alle Motoren geeignet. Die Hersteller-Vorschriften sind zu beachten.

**ACEA A3/B3**

Scherstabile Öle, entwickelt für Hochleistungs-Benzin- und leichte Dieselmotoren. Für verlängerte Ölwechselintervalle gemäss Hersteller-Vorschriften (Ganzjahres-Verwendung) und/oder für schwere Einsatzbedingungen gemäss Hersteller-Vorschriften.

**ACEA A3/B4**

Scherstabile Öle, entwickelt für Hochleistungs-Benzin- und leichte, direkt eingespritzte Dieselmotoren. Auch für Motoren gemäss ACEA B3.

**ACEA A5/B5**

Scherstabile Öle, entwickelt für verlängerte Ölwechselintervalle. Vorgesehen für Hochleistungs-Benzin- und leichte Dieselmotoren, die mit niedrig viskosen und reibungsarmen Ölen sowie einer HTHS-Viskosität von 2,9 bis 3,5mPa.s betrieben werden können. Diese Öle sind nicht für alle Motoren geeignet. Die Hersteller-Vorschriften sind zu beachten.

**C: Katalysatorverträgliche Öle**

Achtung: Diese Öle können für einige Motoren ungeeignet sein. Die Hersteller-Vorschriften sind zu beachten.

**ACEA C1**

Scherstabile Öle, entwickelt für Hochleistungs-Benzin- und leichte Dieselmotoren, die reibungsarme und niederviskose Öle mit einer HTHS (Scherstabilität) >2,9mPa.s verlangen. Low SAPS Öle für

Fahrzeuge, die mit Abgasnachbehandlungssystemen (TWC und DPF) ausgerüstet sind. Diese Öle verlängern die TWC- und DPF-Lebensdauer und ermöglichen eine maximale Treibstoffeinsparung.

**ACEA C2**

Scherstabile Öle, entwickelt für Hochleistungs-Benzin- und leichte Dieselmotoren, die in der Lage sind, mit reibungsarmen und niederviskosen Ölen HTHS (Scherstabilität)  $>2,9\text{mPa}\cdot\text{s}$  zu fahren. Geeignet für Fahrzeuge, die mit Abgasnachbehandlungssystemen (TWC und DPF) ausgerüstet sind. Diese Öle verlängern die TWC- und DPF-Lebensdauer und ermöglichen eine maximale Treibstoffeinsparung.

**ACEA C3**

Scherstabile Öle, entwickelt für Hochleistungs-Benzin- und leichte Dieselmotoren die eine HTHS-Viskosität (Scherstabilität)  $>3,5\text{mPa}\cdot\text{s}$  verlangen. Geeignet für Fahrzeuge, die mit Abgasnachbehandlungssystemen (TWC und DPF) ausgerüstet sind. Diese Öle verlängern die TWC- und DPF-Lebensdauer.

**ACEA C4**

Wie C3, aber für Motoren, die low SAPS-Öle mit einer HTHS-Viskosität (Scherstabilität)  $>3,5\text{mPa}\cdot\text{s}$  verlangen. Diese Öle verlängern die TWC- und DPF-Lebensdauer.

**E: Öle für schwere Dieselmotoren**

Diese Ölsorten sind für leichte Dieselmotoren in PKW und Lieferwagen nur bedingt geeignet.

**ACEA E4**

Scherstabile Öle für schwere Dieselmotoren. Die Antiverschleisseigenschaften, die Kolbensauberkeit, die Russdispersion und die Schmierstoffstabilität wurden definiert, um die Emissionsnormen Euro 1, 2, 3 und 4 von sehr schwer belasteten Motoren zu erfüllen. Sie erlauben verlängerte Ölwechselintervalle gemäss Hersteller-Vorschriften. Für Motoren ohne spezifische Partikelfilter, auch für solche, die mit EGR und SCR ausgerüstet sind. Die Hersteller-Vorschriften sind zu beachten

**ACEA E6**

Scherstabile Öle für schwere Dieselmotoren. Die Kolbensauberkeit, die Russdispersion, der Schutz gegen Zylinder-Spiegelbildung, die Antiverschleisseigenschaften und die Schmierstoffstabilität wurden verbessert, um die Emissionsnormen Euro 1, 2, 3 und 4 von sehr schwer belasteten Motoren zu erfüllen. Sie erlauben verlängerte Ölwechselintervalle gemäss Hersteller-Vorschriften. Für Motoren mit oder ohne Partikelfilter, welche mit EGR und SCR ausgerüstet sind. E6 ist zwingend vorgeschrieben für Motoren mit Partikelfilter, die mit Kraftstoffen mit niedrigem Schwefelgehalt ( $<50\text{ppm}$ ) fahren. Gültigkeit bis und mit Euro 6. Die Hersteller-Vorschriften sind zu beachten.

**ACEA E7**

Scherstabile Öle für schwere Dieselmotoren, ausgelegt für optimale Kolbensauberkeit und Schutz gegen Zylinder-Spiegelbildung. Ausgeprägte Verschleisschutz-Eigenschaften, reduzierte Ablagerungen im Turbolader, ausgezeichnete Russdispersion und Schmierstoffstabilität. Für Hochleistungsmotoren, die die Emissionsnormen Euro 1, 2, 3 und 4 erfüllen. Sie erlauben verlängerte Ölwechselintervalle gemäss Hersteller-Vorschriften. Für Motoren ohne Partikelfilter, auch für solche, die mit EGR und SCR ausgerüstet sind. Die Hersteller-Vorschriften sind zu beachten.

**ACEA E9**

Scherstabile Öle für schwere Dieselmotoren, ausgelegt für optimale Kolbensauberkeit und Schutz gegen Zylinder-Spiegelbildung. Ausgeprägte Verschleisschutz-Eigenschaften, reduzierte Ablagerungen im Turbolader, ausgezeichnete Russdispersion und Schmierstoffstabilität. Für Hochleistungsmotoren, die die Emissionsnormen Euro 1, 2, 3, 4 und 5 erfüllen. Sie erlauben verlängerte Ölwechselintervalle gemäss Hersteller-Vorschriften. E9 Öle sind für Motoren mit Partikelfilter im Zusammenhang mit schwefelarmen Dieselkraftstoff wie auch für die meisten Motoren die mit EGR und SCR ausgerüstet sind empfohlen. Gültigkeit bis und mit Euro 6.

**Erläuterung zu Abkürzungen:**

<b>DPF</b>	Diesel-Partikel-Filter
<b>EGR</b>	Abgas-Rückführungssystem
<b>HTHS</b>	Viskositätsmessung unter hohem Schergerfälle bei hoher Temperatur
<b>Low SAPS</b>	Geringe Erzeugung von Sulfatasche (Schwefel-Phosphor Verbindungen)
<b>SCR</b>	NOx Reduktionskatalysator
<b>TWC</b>	3-Wege-Katalysator

**Zweitakt-Motorenöle**

Zweitaktmotorenöle sind legierte Schmieröle auf Mineralölbasis oder synthetischen Flüssigkeiten, die mit Treibstoff vorgemischt oder mittels Einspritzpumpe in den Benzinstrom eingespritzt werden. Das Mischungsverhältnis ist entsprechend den Konstrukteurvorschriften zu wählen. Bei Motoren mit Frischölaufomatik wird das Schmieröl durch eine Dosierpumpe in das Ansauggemisch (Luft-Benzin) oder in das Kurbelgehäuse eingespritzt. Die Anforderungen werden durch zahlreiche Spezifikationen festgelegt. Die aktuell gültigen oder gebräuchlichen Normen sind:

- API TC (American Petroleum Institute)
- JASO FB & FC (Japanese Automobile Standard Organization)
- ISO L-EGC & L-EGD (International Standards Organisation)
- NMMA TC-W3 (National Marine Manufacturers Association).

## Getriebeöle

Das wesentliche Kennzeichen der Schmieröle für hochbelastete Zahnradgetriebe ist die Wirkung der sogenannten EP-Zusätze. Sie reagieren bei bestimmten Temperaturen mit den Kontaktflächen der Zahnflanken. Die sich dabei bildenden Reaktionsschichten sind sehr widerstandsfähig und verhindern das Anfressen. Als solche Zusätze dienen vorwiegend Schwefel- und Phosphorverbindungen. Unter den sehr hohen Drücken steigt auch die Viskosität im Schmierespalt erheblich an und ermöglicht die Bildung eines wirksamen Schmierfilms (Elastohydrodynamik).

Die Getriebeöle sind im Zahneingriff hohen Scherbeanspruchungen ausgesetzt. Für Mehrbereichsöle werden deshalb bevorzugt synthetische Basisöle mit einem hohen natürlichen Viskositätsindex eingesetzt.

Die Zuordnung der Fahrzeug-Getriebeöle zu den Betriebsbedingungen wird in der Regel nach der API-Klassierung vorgenommen:

### API GL-3

Kennzeichnet Betriebsverhältnisse von Handschaltgetrieben und Achsantrieben mit spiralverzahnten Kegelrädern, die unter mittelschweren Belastungen arbeiten.

### API GL-4

Kennzeichnet Betriebsverhältnisse von Getrieben, insbesondere Schaltgetrieben, die unter normalen und schweren Belastungen arbeiten. Solche Öle werden auch als EP-Getriebeöle bezeichnet und werden heute vorwiegend in Handschaltgetrieben eingesetzt. Für Hypoidantriebe sind sie nicht geeignet.

Mit Rücksicht auf die Synchronisierung müssen diese Öle ein bestimmtes Reibverhalten gewährleisten (geräuschloses Schalten). Im Einzelfall sind die OEM-Vorschriften zu beachten. Synthetische Mehrbereichsöle SAE 75W-80 senken die Reibungsverluste (Treibstoffeinsparung) und ermöglichen auch bei tiefsten Aussentemperaturen ein leichtes Schalten.

### API GL-5

Kennzeichnet Betriebsverhältnisse wie API GL-4, jedoch mit zusätzlichen Stossbelastungen (höchster Verschleisschutz). Das Hauptanwendungsgebiet ist die Schmierung von Achsantrieben mit Hypoidverzahnungen. Solche Öle werden auch als HD-(Heavy Duty)-Getriebeöle oder Hypoidöle bezeichnet. GL-5 Öle werden auch für die Schmierung der Planetengetriebe in den Radnaben und der Verteilergetriebe von Nutzfahrzeugen eingesetzt. Für Getriebe in denen Buntmetalle verbaut sind, sollte auf GL-5 Öle verzichtet werden.

### API MT-1

Diese Spezifikation gilt für Schaltgetriebe- und Hypoidöle nach API GL-4 und GL-5. Sie definiert zusätzliche Anforderungen wie thermische Stabilität und Oxidationsbeständigkeit, Dichtungs- und Buntmetallverträglichkeit.

## Öle für Achsantriebe mit Limited-Slip-Differential

Diese Öle müssen ein bestimmtes Reibverhalten aufweisen. Es darf weder der Stick-Slip-Effekt (Rattern) auftreten noch die Sperrwirkung der Bremslamellen durch zu grosse Schmierwirkung vermindert werden. Es handelt sich um hochlegierte Spezialöle nach Hersteller-Spezifikationen. Sie erfüllen alle Anforderungen, die an GL-5 gestellt werden. LS Öle (Limited Slip) können auch in Achsen ohne Sperrdifferential eingesetzt werden.

## Öle für automatische Getriebe

Für diese Gruppe von Getriebeölen hat sich weltweit die Bezeichnung ATF = Automatic Transmission Fluid eingebürgert. Es handelt sich um dünnflüssige Mineral- und Synthetiköle mit hohem Viskositätsindex, tiefem Pourpoint, guter Scherstabilität, hoher Alterungsstabilität und günstigem Schaumverhalten. Als Besonderheit müssen sie in den Schaltkupplungen ein bestimmtes Reibverhalten aufweisen. Die Anforderungen sind konstruktionsbedingt. ATF-Flüssigkeiten werden nach anerkannten Methoden der Getriebehersteller geprüft. Entsprechend den verschiedenen Spezifikationen und/oder Lizenzen gibt es mehrere Bezeichnungen, z. B. ATF A, Suffix A, GM DEXRON II bis GM DEXRON VI, Ford Mercon etc. Um Diese Flüssigkeiten leicht von anderen Getriebeölen unterscheiden zu können, sind sie oft rot gefärbt.

## Universal-Getriebeöl für Traktoren

Für diese Getriebeöle wird die Bezeichnung UTTO (Universal Tractor Transmission Oil) verwendet. Sie dienen zur Schmierung der Kraftübertragungselemente moderner Traktoren (Getriebe mit nassen Bremsen und Kupplungen) und als Druckflüssigkeit für das Hydrauliksystem. Sie erfüllen die Anforderungen an API GL-4 und unterliegen zusätzlichen OEM Normen von John Deere, Case, Ford, Massey Ferguson etc.

## Schmierfette

Schmierfette sind Suspensionen eines Aufsteifmittels in einem flüssigen Schmierstoff (Mineralöl oder synthetische Flüssigkeit). Als Aufsteifmittel dienen vorwiegend metallorganische Verbindungen, daneben organische und anorganische Substanzen in feinsten Verteilung, welche eine sehr grosse Oberfläche aufweisen, die das Öl absorbieren und dadurch eine plastische Masse bilden (Gelfette). Seifenfette vergleicht man wegen der mehr oder weniger ausgeprägten Faserstruktur gerne mit einem Schwamm, der mit Öl (dem eigentlichen Schmierstoff) getränkt ist. Im Betrieb gibt es fortlaufend kleinste Mengen Öl an die Schmierstelle ab. Der Ölgehalt liegt je nach Zusammensetzung zwischen 60 und 95%. Für Schmierstellen mit erhöhten Anforderungen an Hoch- und/oder Tieftemperatur-, Vibrations- und Walkstabilität werden vermehrt Komplexfette eingesetzt.

Als wichtiges Merkmal dient neben der Viskosität des eingearbeiteten Öls die Konsistenz (ausgedrückt durch die Penetration). Als Penetration bezeichnet man die Eindringtiefe eines genormten Prüfkegels in die blasenfreie, glattgestrichene Oberfläche der Fettprobe, gemessen in Zehntelmmillimeter (Prüftemperatur 25 °C). Um für den praktischen Gebrauch nicht immer mit den meist dreistelligen Zahlen arbeiten zu müssen, wurde vom NLGI eine Unterteilung in 9 Klassen vorgenommen. (→ Teil 1 Penetration) Die Tabelle enthält die Zahlen der Walkpenetration, d. h. sie erfasst den Zustand nach dem Bearbeiten im Fettkneiter der Fettprobe mit 60 Doppelhüben innerhalb einer Minute.

Wie bei Schmierölen kommen auch hier Zusätze in Form von Oxidations- und Korrosionsinhibitoren sowie Hochdruckzusätze zur Anwendung. Zusätze von Graphit, Molybdädisulfid oder PTFE verbessern die Notlaufeigenschaften, während Farbstoffe zur Kennzeichnung dienen.

Von praktischer Bedeutung ist der Tropfpunkt von Schmierfetten. Der Tropfpunkt ist die Temperatur in °C, bei welcher der erste Tropfen des geschmolzenen Fettes aus der Öffnung des genormten Prüfgerätes abfällt. Zwischen der höchsten Betriebstemperatur und dem Tropfpunkt muss ein reichlich bemessener Sicherheitsabstand liegen. Typische Anwendungsbeispiele von Schmierfetten sind:

### Chassisfett

Lithium/Calcium-Mischseifenfette NLGI 2, auch mit Haftzusätzen und Molybdädisulfid. Für Nutzfahrzeuge mit Zentralschmieranlagen Lithium- oder Lithium-/Calciumseifenfette NLGI 00/000.

### Wälzlagerfett

(Radlager, Kupplungslager, Wälzlager usw.) Mehrzweckfette für Fahrzeuge, Lithium/Calcium und Lithium-Komplexfette NLGI 2.

Werden aus Vereinfachungsgründen oft auch für die Chassis-Schmierung verwendet. Im Einzelfall sind die OEM-Vorschriften zu beachten.

## Hilfsflüssigkeiten

### Bremsflüssigkeiten

Für die hydraulische Kraftübertragung in Bremssystemen und Kupplungen werden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, synthetische Flüssigkeiten verwendet. Sie sind in ihren Eigenschaften auf die besonderen Betriebsbedingungen und die verwendeten Werkstoffe abgestimmt. Entsprechend der geforderten Betriebssicherheit sind die Anforderungen in Spezifikationen mit internationaler Bedeutung festgehalten. Diese sind beispielsweise FMVSS 116 (Federal Motor Vehicle Safety Standard), SAE J 1703, SAE J 1704, DOT 3, DOT 4 und DOT 5.1. Wichtige Eigenschaften sind: Hoher Siedepunkt und geringe Beeinflussung desselben durch Wasseraufnahme, ausgezeichnete Viskositäts-Temperatur-Verhalten. Verträglichkeit mit den Dichtungsmaterialien, gute Schmierwirkung und sehr gutes Korrosionsschutzvermögen.

Anforderungen an Bremsflüssigkeiten	DOT 3	DOT 4	DOT 5.1
Trocken-Siedepunkt min. °C	> 205	> 230	>260
Nass-Siedepunkt min. °C	> 140	> 155	>180
Kinematische Viskosität bei -40°C mm <sup>2</sup> /s	<1500	<1800	<900

Bremsflüssigkeiten nach den Spezifikationen DOT 3, DOT 4 und DOT 5.1 sind miteinander verträglich. Sie dürfen jedoch nie mit Mineralölen vermischt werden. Diese Bremsflüssigkeiten sind hygroskopisch, d. h. sie haben die Tendenz, Feuchtigkeit aus der Umgebung aufzunehmen. Diese Feuchtigkeitsaufnahme erfolgt nicht nur durch offene oder schlecht verschlossene Gebindeöffnungen, sondern auch wegen der Diffusion durch die Bremsschläuche und das Atmen der Belüftungsbohrungen an Ausgleichsbehältern. Aus diesem Grund sind Bremsflüssigkeiten zeitlich nicht unbeschränkt einsetzbar. Sie sollen deshalb periodisch (nach Konstrukteurempfehlung) ausgewechselt werden.

Weiter gibt es Bremsflüssigkeiten DOT 5 auf der Basis von Silikon. Sie werden vereinzelt von Konstrukteuren ausdrücklich vorgeschrieben. Über die Verträglichkeit mit anderen Bremsflüssigkeiten orientieren die Herstellerangaben.

### Kühlerschutzmittel

Zum Schutz des Kühlsystems gegen das Einfrieren bei wassergekühlten Motoren wird dem Kühlwasser Frostschutz beigemischt. Zur Anwendung kommen Ethylen- oder Propylenglykol, also synthetische Flüssigkeiten, die mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar sind und stabile Lösungen ergeben. Sie bewirken einen sehr wirksamen Gefrierschutz, der durch die gewählte Konzentration den Bedürfnissen angepasst wird. Für Ethylenglykol-Wasser-Gemische gelten die folgenden Richtwerte.

Frostschutz in Volumen-%	Gefrierschutz bis ca. °C
20	-10
30	-20
40	-30
50	-40

Die Konzentration bzw. der Gefrierschutz wird in der Regel mit Hilfe eines Refraktometers geprüft. Der Gefrierschutz von Frostschutzmischungen Ethylen-Propylenglykol kann in der Praxis nicht exakt gemessen werden. Um klare Verhältnisse zu schaffen ist bei einer Umstellung das gesamte System zu entleeren. Neben dem Gefrierpunkt ist ein sehr guter Korrosionsschutz im Kühlsystem eine unerlässliche Forderung. Um diese zu erfüllen, werden den Frostschutzmitteln Korrosionsinhibitoren zugegeben. Es ist unerlässlich, dass Frostschutz-Wasser-Gemisch ganzjährig im Kühlsystem zu lassen. Frostschutz auf der Basis von Propylenglykol wird aus Sicherheitsgründen eingesetzt (Schutz der menschlichen Gesundheit und Verminderung der Umweltbelastung). Solche Produkte sind ohne Einschränkung frei im Handel käuflich. Um einen ausreichenden Korrosionsschutz sicherzustellen, empfiehlt es sich, das Frostschutzmittel nach Betriebsvorschrift regelmässig zu erneuern.

### Umgang mit Mineralölprodukten

#### Gesundheitliche Aspekte

Damit durch den Umgang mit Mineralölprodukten keine gesundheitlichen Risiken entstehen, sollen neben entsprechender Hygiene folgende Schutzmassnahmen berücksichtigt werden:

- Nicht einnehmen
- Augenkontakt vermeiden
- Öl-/Benzin-Nebel und -Dämpfe nicht einatmen
- Längeren Hautkontakt, vor allem mit polaren Flüssigkeiten, vermeiden
- Benzin nicht zu Reinigungszwecken verwenden
- Nach Hautkontakt, insbesondere mit Altöl, verschmutzte Hautpartien mit Wasser und Seife gründlich waschen
- In den wenigen Fällen, bei welchen Zusammensetzung oder Einsatz des Produktes besondere Schutzmassnahmen erfordert, müssen die entsprechenden Hinweise und Warnschriften auf dem Gebinde und dem produktspezifischen Sicherheitsdatenblatt berücksichtigt werden.

#### Gefahrenklassen für die Lagerung

Mineralölprodukte werden in verschiedene Gefahrenklassen unterteilt. Diese Klassierung regelt die einzuhaltenden Vorschriften, damit die Sicherheit beim Umgang und bei der Lagerung dieser Produkte gewährleistet ist. Der Gefahrencode nach SWISSI ist drei geteilt. Beispiel: **F4 I PN2**

Der erste Teil bezieht sich auf die Brandgefahr.

**Gefahrenklasse F1** Produkte mit einem Flammpunkt unter 21 °C (z. B. Benzin)

**Gefahrenklasse F2** Produkte mit einem Flammpunkt von 21 bis 55 °C (z. B. Kerosin)

**Gefahrenklasse F3** Produkte mit einem Flammpunkt von 55 bis 100 °C (z. B. Dieseldieselkraftstoff, Heizöl extraleicht)

**Gefahrenklasse F4** Produkte mit einem Flammpunkt über 100 °C (z. B. Motoren- und Getriebeöle)

Grundsätzlich benötigen nur Mineralölprodukte der Klasse I, II und III besondere Brandschutzvorkehrungen, wobei Produkte der Klasse I am gefährlichsten bzw. am leichtesten entzündbar sind.

Der zweite Teil gibt an, ob es sich um ein gasförmiges, flüssiges oder festes Produkt handelt.

**g** = gasförmig

**l** = liquid (flüssig)

**s** = solid (fest)

Der dritte Teil gibt Informationen zur Wassergefährdung im Falle einer unbeabsichtigten Freisetzung.

**PN1** = stark wassergefährdend

**PN2** = wassergefährdend

**PN3** = schwach wassergefährdend

## Wartung und Schmierölplanung

Eine optimierte Planung von Schmierstoffverbrauch -anwendung und -lagerung kann helfen die Wartungskosten zu reduzieren. Dazu sind einige grundlegende Massnahmen notwendig, die einzeln oder in Kombination miteinander angewendet werden können. Unten sind die acht wesentlichsten Punkte zusammengefasst.

### 1. Aufdecken der Schwachstellen

Soll-Ist-Vergleich

- Wo gibt es Schwachstellen?
- Welche Massnahmen sind notwendig, um diese zu eliminieren?
- Lohnt es sich diese Massnahmen umzusetzen?

### 2. Erfassen der Schmierstoffeffizienz

Erfassen von schmierstoffrelevanten Daten wie:

- Überprüfen des Schmierstoffumsatz im Lager um zu verhindern, dass Schmierstoffe unnötig über Jahre gelagert werden.
- Protokollieren der Schmierstoffbezogenen Maschinenausfälle.
- Überprüfen, ob die Ölwechselintervalle eingehalten werden, oder allenfalls verlängert werden können.
- Regelmässige Überprüfung der Schmierstoffreinheit.
- In Erwägung ziehen, dass qualitativ hochwertigere Schmierstoffe die Wartungskosten reduzieren können.

### 3. Einführen einer geordneten Schmierstofflagerung

Ölkontamination ist einer der Hauptgründe für ölbezogene Maschinenausfälle. Dazu kommt die Verwechslungsgefahr von unterschiedlichen Schmierstoffen. Nachfolgend ein paar Tipps wie Fehler in der Lagerung vermieden werden können.

- Das Lager soll trocken und sauber sein.
- Öl wenn immer möglich im Originalgebinde lagern, jede Umfüllung birgt die Gefahr von Kontamination.
- Die Gebinde sollten gut markiert und ev. mit dem Lieferdatum markiert sein.
- Sortieren und lagern der Produkte nach deren Verwendungszweck. Z. B. Hydrauliköl separiert von Getriebeöl o. ä.
- Farbkodierung der Schmieröle und Schmierstellen z. Bsp. analog DIN 51502.

### 4. Konsolidierung der Schmierstoffvielfalt

Je grösser die Schmierstoffvielfalt ist, desto höher steigt das Risiko, dass eine Schmierstelle mit dem falschen Produkt geschmiert wird. Eine korrekte und konsequente umgesetzte Konsolidierung kann helfen die Lagerkosten wie auch die Verwechslungsgefahr zu reduzieren.

- Eine Konsolidierung der Schmierstoffe sollte nur in Zusammenarbeit mit dem Schmierstofflieferant umgesetzt werden.
- Eine Konsolidierung kann in der Regel nur innerhalb gleichartiger Schmierstofftypen umgesetzt werden.
- Höherwertige Produkte können oft eingesetzt werden, um unterschiedliche «Standardprodukte» zu vereinen.
- Es ist zwingend darauf zu achten, dass unterschiedliche Schmierstoffe untereinander verträglich sind. (Schmieröle auf PAO und PAG Basis sind nicht verträglich, obwohl beides industrielle Schmieröle sind)

### 5. Arbeiten mit einem Wartungsplan

Das richtige Produkt in der richtigen Menge am richtigen Ort und das zum idealen Zeitpunkt. Das ist die Kernaufgabe eines jeden Wartungsplans (z. B. Maagtechnic, [www.LubePlanner.ch](http://www.LubePlanner.ch)). Software gestützte Programme helfen dabei, dass keine Schmierstelle in Vergessenheit gerät. Um einen Schmierplan zu erstellen sind mindestens folgende Schritte notwendig:

- Auflistung aller Maschinen und deren Schmierpunkte
- Festlegung der Nachschmier- oder Ölwechselintervalle
- Festlegung eines Schmierstoffs pro Schmierstelle
- Fortwährende Aktualisierung der Daten

### 6. Implementierung eines Ölanalyseystems

Mit Hilfe von Ölanalysen kann die Präventive Instandhaltung verbessert werden.

- Anhand von Öluntersuchungen kann eine Aussage zum Ölzustand und/oder dem Maschinenzustand gemacht werden.
- Ein Überwachungsservice der hilft den Maschinenpark reibungslos und effizient zu betreiben.
- Es können Probleme und mögliche Fehler identifiziert werden, bevor sie kritisch werden.
- Optimierung der Ölstandzeiten, insbesondere bei grösseren Systemen.
- Die Gefahr von ungeplanten Stillständen kann reduziert werden.

### 7. Ölpflege

Um die Lebensdauer einer Öfüllung zu optimieren, bedarf es einer regelmässigen Ölpflege. Das beinhaltet folgende Punkt:

- Bei Ölwechseln oder beim Ölnachfüllen ist auf Sauberkeit zu achten, um nicht externen Schmutz in das Schmierölsystem hinein zu schleppen.
- Je nach Standort eines Schmierölsystems kann es empfehlenswert sein einen Belüftungsfiler zu installieren.
- Die regelmässige Filtrierung einer Öfüllung kann helfen die Lebensdauer von Schmieröl wie auch Maschinenelement zu verlängern.
- Die Filterfeinheit ist dem zum filtrierenden Öl anzupassen. Hydrauliköl 3 µm–5 µm, Getriebeöl 5 µm–10 µm.

### 8. Installation automatischer Schmierstoffgeber oder einer Zentralschmierung

Um die Schmierung von insbesondere schwer zugänglichen oder leicht zu übersehenden Schmierstellen jederzeit zu gewährleisten mag es ein Vorteil sein, diese Schmierstellen mit einem Schmierstoffgeber oder einer Zentralschmierung auszurüsten. Ob dabei ein unabhängiger Schmierstoffgeber oder eine Zentralschmierung zum Einsatz kommt ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Beide Systeme haben ihre Vor- und Nachteile.

Die wichtigsten Vorteile der Schmierstoffgeber sind:

- Relative günstig in der Anschaffung
- Einfach zu montieren
- Können mit unterschiedlichen Produkten befüllt werden

Die wichtigsten Vorteile der Zentralschmierungen sind:

- Komplex Anlagen können mit einer Einheit geschmiert werden
- Überwachung jeder einzelnen Schmierstelle ab einem Standort
- Transport des Schmierstoffes auch über weite Strecken

### Lagerung und Transport

Um die Qualität von Schmierstoffen auch über längere Lagerzeit aufrechterhalten zu können, müssen solche Gebinde nach Möglichkeit immer in geschlossenen Räumen bei konstanter Temperatur (+5°C bis +40°C) untergebracht sein, so dass Verschmutzung und Einwirkung durch die Witterung weitgehend ausgeschlossen werden können. Auch Gebinde mit öldichten Fassverschraubungen sollten nicht aufrecht im Freien gelagert werden, da die Gefahr besteht, dass durch Atmen des Gebindes Feuchtigkeit durch den Gewindespund eingesogen wird.

Beim Transport von grossen Mengen von kennzeichnungspflichtigen Mineralölprodukten müssen die Fahrzeuge mit entsprechenden Hinweistafeln versehen sein. Diese tragen in der oberen Hälfte eine zweistellige Zahl, die auf die Gefahrenklasse hinweist und in der unteren Hälfte eine vierstellige UN-Nummer, welche die Produktgruppe kennzeichnet.

Diese Tafeln geben der Feuer- und Ölwehr und den Rettungsmannschaften die Grundinformation für die nach Unfällen zu ergreifenden Massnahmen. Achtung: für den Transport gelten andere Gefahrenklassen als für die Lagerung.

Damit die Sicherheit beim Umgang und bei der Lagerung von Mineralöprodukten gewährleistet ist, sind in jedem Fall die nach MSDS aufgelisteten Gefahrenklassierung und Produktdeklarierung anfallenden behördlichen Vorschriften (Feuerpolizei, Gewässerschutz, Chemikaliengesetz usw.) einzuhalten.

#### Beispiele

33	Leicht entzündbare Flüssigkeit
1203	Motorenbenzin
30	Entzündbare Flüssigkeit
1223	Kerosin
30	Entzündbare Flüssigkeit
1202	Dieselmotorenkraftstoffe und Heizöle Extra Leicht

## Abfallentsorgung von Mineralölprodukten

Die Entsorgung von Abfall aus Erdölprodukten hat generell entsprechend den Umwelt- und Gewässerschutzvorschriften zu erfolgen. Leere Grossgebinde können in der Regel an Fasshandelsfirmen abgegeben werden.

Die Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVa) regelt auch die Entsorgung von Altölen. Entsprechend den UVEK Richtlinien werden sowohl das Sammeln wie auch das Deklarieren der einzelnen Abfallklassen genau festgelegt. Damit Altöl möglichst kostengünstig entsorgt werden kann, darf es nicht mit artfremden Produkten vermischt werden. Kraftstoffe sowie Bremsflüssigkeiten, Frostschutz und Emulsionen etc. sollten deshalb unter keinen Umständen mit Motoren- und Getriebealtöl vermischt werden.

Code	Abfallbeschreibung
12 01 07	Halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (ausser Emulsionen und Lösungen)
12 01 09	Halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen
12 01 19	Biologisch leicht abbaubare Bearbeitungsöle
13 01 10	Nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis
13 01 11	Synthetische Hydrauliköle
13 01 12	Biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle
13 02 05	Nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Motorenöle auf Mineralölbasis
13 02 06	Synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
13 03 07	Nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis
13 07 01	Heizöl und Diesel
13 07 02	Benzin

## Quellenverweis

Publikation	Herausgeber	Jahr
Lexikon der Schmierungstechnik	G. Vögtle D	1964
International Petroleum Encyclopedia	Petroleum Publishing Company US	1973
Erdöl	Verlag Neue Zürcher Zeitung CH	1981
Chemie Lexikon	Römpf D	1982
The Petroleum Handbook	Shell UK	1983
Schmierstoffe, Werner H. Kara	Shell D	1986
Schmierstoffe im Betrieb	VDI Verlag D	1987
Erdöl Fachwissen Mineralölprodukte	Erdölvereinigung CH	2001
Treibstoffe und Schmiermittel	Shell CH	2008
Chemistry and technology of lubricants	Springer Science & Business NL	2010
Praxislexikon Tribologie Plus	Expert Verlag D	2010
Einführung in die Tribologie	Expert Verlag D	2010

# TEIL 3

## ANALYSE-, MESS- UND PRÜFVERFAHREN

Bezeichnung	Normen	Beschreibung	Aussage/Auswirkung
Asphaltene	DIN 51 595	Asphaltene sind braune bis schwarze, asphaltartige Rückstände oder Alterungsprodukte, die sich durch thermische Beanspruchung, Lichteinwirkung, Strahlenabsorption und Oxydation durch Luftsauerstoff in Mineralöl bilden können.	Ein zu grosser Gehalt an Asphaltene kann zu störenden Ausscheidungen im Betrieb führen. Asphaltene sind in Toluol löslich.
Bakterien-, Hefe-, Pilzbefall	TTC-Agar Rose Bengal Agar (keine Norm)	Bestimmung des Bakterien-, Hefe- und Pilzgehaltes in Emulsionen und anderen wässrigen Systemen. Tests erfolgen mittels Spezialnährböden nach mehrtäglichem Brüten; Nachweise: quantitativ und semiquantitativ.	Das Bakterien- Hefe und Pilzwachstum erfolgt in kühlgeschmierstoffen oder mit Wasser kontaminiertem Diesel Kraftstoff gefährlich schnell (exponentiell). Befallene Befüllungen können gezielt behandelt werden.
Blotter Spot Test		Auch Tüpfeltest genannt. Ein Öltropfen wird auf ein Filterpapier (Fließ) aufgetragen. Aus der resultierenden Fläche, der Form und der Schwarzfärbung des aufgetragenen Motorenöls wird auf das Schmutztragvermögen und den Russgehalt geschlossen.	Zeigt das noch vorhandene Dispergiervermögen von Motorenölen für Schmutzpartikel sowie den Russgehalt. Die Dispergierfähigkeit von Motorenöl verschlechtert sich durch Additivabbau, Oxydation und saure Reaktionsprodukte.
Chlorgehalt	DIN 51 408  DIN 51 577	Wickbolt-Methode: Aufwendige Methode, wobei die Probe verbrannt wird, der Cl-Gehalt wird im Kondensat mittels Titration bestimmt. RFA-Methode (Röntgen-Fluoreszenz-Analyse): Die Probe wird zusammen mit einem Bezugsstoff der Primärstrahlung einer Röntgenröhre ausgesetzt. Die dabei anfallende Röntgen-Fluoreszenzstrahlung wird gemessen und ausgewertet.	Chlor, ein Umweltgift; wurde bis in die 90er Jahre als Additiv bei Metallbearbeitungsölen eingesetzt. Verunreinigung aus chem. Prozessen; Heute extrem störend und teuer bei der Entsorgung! Chlor ist extrem korrosive und kann in entsprechend sensiblen Anlagen zu Langzeitproblemen führen

Bezeichnung	Normen	Beschreibung	Aussage/Auswirkung
Demulgiervermögen	DIN 51 599 ISO 6614 ASTM D1401	Zeit zur Trennung von je 40 ml Öl und Wasser nach intensivem Rühren. Gemessen wird die Zeit bis zur Trennung, oder die Anteile von Öl, Wasser und Emulsion nach 60 Minuten.	Bei Hydraulik- und Turbinenölen wird eine rasche Trennung von Öl und Wasser gefordert. Eine Verschlechterung des Werts deutet auf Kontamination oder Ölalterung hin.
Dichte	DIN 51 757 ISO 12 185 ISO 3675	$\rho = m/V$ [kg/m <sup>3</sup> ] bei 15 °C oder 20 °C	Die Dichte gibt einen Hinweis auf die Herkunft des Mineralöls oder die Art des Grundöls. Bsp. PAO, Ester, PAG, etc.
Dielektrischer Verlustfaktor	IEC 60 247	Tangens des Verlustwinkels zwischen der angelegten Spannung und dem resultierenden Strom in einem Dielektrikum. Ein idealer elektrischer Widerstand hat einen Verlustwinkel von 90°; er besitzt keine kapazitiven oder induktiven Blindanteile.	Bewertungsgröße für das Alterungsverhalten von Isolierölen in Form der Zunahme der dielektrischen Verluste durch Alterungsprodukte.
Durchschlagfestigkeit	DIN 60 156 ASTM D1816	Die Durchschlagspannung (DS) wird zwischen zwei Elektroden mit 2,5 mm Abstand mit einer Wechselspannung von 50 Hz und min. 20 mA gemessen.	Isolieröle müssen eine DS von 60 kV und mehr aufweisen. Eine Reduktion der DS deutet auf einen zu hohen Wassergehalt oder andere Kontamination hin.
Farbe nach ASTM	ASTM D1500 ISO 2049 IP 196	Bestimmt wird die Farbe von Mineralölerzeugnissen durch visuellen Vergleich in einem Farbvergleichsgerät mit Farbgläser unterschiedlicher Färbung. Die Farbskala ist in 16 Stufen von 0,5 bis 8,0 unterteilt.	Bei gebrauchten Industriebölen lässt eine Farbänderung einen Rückschluss auf den Grad der Oxydation zu.
Ferroggraphie, Verschleissindex	Hausmethode	Die Ölprobe wird über eine schiefe Ebene geleitet. Dabei werden magnetische Partikel von zwei unterschiedlich starken Magneten zurückgehalten.	Das Verhältnis von kleinen und grösseren Partikeln sollte je nach Getriebetyp in einem bestimmten Verhältnis stehen. Wird dieses Verhältnis gestört ändert sich der Index. Ein kontinuierliches Ansteigen des Index deutet auf Maschinenprobleme hin. Einzelanalysen sind wenig aussagekräftig.

Bezeichnung	Normen	Beschreibung	Aussage/Auswirkung
Ferroggraphie, Analytisch	Hausmethode	Mikroskopische Beurteilung des Ferrogramms. Dabei erfolgt die Aufteilung der metallischen Rückstände in einem steigenden Magnetfeld.	Die Analyse gibt Rückschlüsse auf den Herkunfts- und Verschleissort der verschiedenen vorgefundenen ferritischen Metalle.
Flammpunkt COC Cleveland Open Cup	ISO 2592 ASTM D92 IP 36	Flammpunktbestimmung im offenen Tiegel nach Cleveland	Bei Motorenöl deutet ein abnehmender FP auf eine Kraftstoffverdünnung hin.
Flammpunkt PMCC Pensky Martens Closed Cup	ISO 2719 IP 34	Flammpunktbestimmung im geschlossenen Tiegel nach Pensky Martens	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Messverfahren für Mineralölprodukte wie Lösungsmittel mit einem niedrigen FP</li> <li>■ Bei Wärmeträgerölen deutet ein abnehmender FP auf eine thermische Überbeanspruchung hin.</li> </ul>
Glykolgehalt	ASTM D2982	Gaschromatographische Analyse	Messverfahren zur quantitativen Bestimmung von Glykol in Motorenöl.
ICP Metallnachweis Induced Coupled Plasma	DIN 51 390 und weitere ASTM D4628	Verdampfung der Ölprobe in einem Plasmastrahl. Das dabei als Lichtemission gemessene Farbspektrum gibt Aufschluss auf Art der Materie und dessen Intensität über die Menge der nachgewiesenen Stoffe.	Über den Gehalt verschiedener Verschleissmetalle können bedingt Rückschlüsse auf vorhandene Maschinenprobleme gezogen werden.
ICP Additivgehalt Induced Coupled Plasma	DIN 51 363 und weitere ASTM D5185	Verdampfung der Ölprobe in einem Plasmastrahl. Das dabei als Lichtemission gemessene Farbspektrum gibt Aufschluss auf Art der Materie und dessen Intensität über die Menge der nachgewiesenen Stoffe.	Über den Gehalt an Additivelementen wie P, Zn, Mg, B und anderen können bedingt Rückschlüsse über Art und Verwendung von Schmierstoffen gezogen werden.

Bezeichnung	Normen	Beschreibung	Aussage/Auswirkung
IpH	TA 1000-0099D	Bestimmung des pH Werts eines Gasmotorenöls nach der Jenbacher-Methode.	Bestimmung der Ölalterung bei Gasmotorenölen. Beim Einsatz werden organische Säuren gebildet, damit verbunden sinkt der pH-Wert.
Infrarot Differenzspektrum	DIN 51 451	Die IR-Spektroskopie wird zur quantitativen Bestimmung von bekannten Substanzen, deren Identifikation anhand eines Referenzspektrums erfolgt, genutzt. Bei der Bestrahlung eines Stoffes mit elektromagnetischen Wellen werden bestimmte Frequenzbereiche absorbiert.	Qualitative und Quantitative Erfassung der Zusammensetzung organischer Flüssigkeiten. Verunreinigungen und oder Vermischungen von Schmierölen können aufgedeckt werden.
Infrarot Oxydation/Nitration		Infrarot-Spektroskopie-Methode zur Bestimmung der Ölalterung. Diese tritt durch Oxydation und/oder Nitration bei Gasmotorenölen auf.	Die Werte werden zusammen mit dem IpH Wert, der Viskosität, der TBN und der TAN herangezogen um den Ölwechselintervall bei Gasmotoren zu bestimmen.
Luftabscheidevermögen (LAV)	ISO 9120 ASTM D3427 IP 313	Bestimmung der Zeit, nach der sich unter festgelegten Bedingungen die in einem Öl dispergierte Luft bis auf 0.2 Volumenanteile abgeschieden hat.	Turbinen- und Hydrauliköle verlangen ein gutes LAV. Ein erhöhtes LAV deutet auf eine externe Kontamination verschiedener Substanzen hin. Das LAV kann nicht korrigiert werden.

Bezeichnung	Normen	Beschreibung	Aussage/Auswirkung
Gravimetrie	ISO 4405	Verschmutzungsmenge pro Volumeneinheit. Gravimetrische Erfassung von Öl-eigener oder -fremder Kontamination über eine Filtermembrane definierter Porengrösse.	Die Gesamtverschmutzung kann je nach System und Schmierstoff stark variieren. Ölfüllungen mit erhöhten Werten können in Nebenstrom filtriert werden. Eine Korrelation zwischen Partikelzählung und Gesamtverschmutzung ist nicht zwingend.
NZ (Säurezahl) Neutralisationszahl	DIN 51 558 ASTM D664 IP 177	Die Neutralisationszahl gibt die Menge Kalilauge an, die benötigt wird, um die in einem Gramm Öl enthaltenen Säuren zu neutralisieren.	Die NZ lässt im Vergleich mit den Frischölwerten einen Rückschluss auf die Ölyoxydation und den Abbau von Öladditiven zu. Bei der Verlängerung von Ölwechselintervallen liefert sie wesentliche und ergänzende Informationen.
Oxydationsstabilität Conradson Test	DIN 51 551-1 ISO 6615 ASTM D189 IP 13	Verfahren zur Prüfung der Neigung von Mineralölen zur Bildung koksartiger Rückstände. Die Probe wird unter Luftmangel verbrannt (verschwelt). Anfallender Koks wird in Prozenten der Einwaage angegeben.	Bei Schmierölen lässt der Conradson-Test Rückschlüsse auf die Neigung oder Entstehung von Rückstandsbildungen zu.
Partikelzählung	ISO 4406 NAS 1638	Partikel in verschiedenen Grössen werden in einer Photozelle automatisch oder unter dem Mikroskop manuell oder automatisch ausgezählt und auf 100 ml hochgerechnet und danach nach ISO oder NAS klassiert.	Die Partikelzählung ist eine äusserst heikle Messmethode, die höchste Sorgfalt bei der Probenahme abverlangt. Grenzwerte werden von den verschiedenen OEM für die jeweilige Anwendung festgelegt. Eine Korrelation zwischen Partikelzählung und Gesamtverschmutzung ist nicht zwingend.

Bezeichnung	Normen	Beschreibung	Aussage/Auswirkung
PCB Gehalt <b>P</b> olychlorierte <b>B</b> iphenyle	IEC 61 619	Es werden sechs PCB's durch flüssigkeits-chromatographische Vortrennung von Begleitstoffen getrennt und durch gaschromatographische Bestimmung ermittelt. Dies sind: PCB-28 PCB-52 PCB-101 PCB-138 PCB-153 PCB-180	Polychlorierte Biphenyle sind höchst unerwünschte, krebserregende Begleitstoffe bestimmter Öle. Ältere Transformatoren <1972 können teils noch mit PCB haltigen Isolierölen befüllt sein. (Shell Isolieröle waren immer PCB frei)
Penetration	DIN 51 580 ISO 2137 ASTM D217 IP 50	Fettsteifigkeit durch die Messung der Eindringtiefe eines genormten Metallkonus in die Fetprobe. Gemessen werden Ruhe- oder Walkpenetration.	Die Eindringtiefe gibt einen direkten Rückschluss auf die NLGI Klasse des geprüften Fettes. Die Differenz zwischen Ruhe- und Walkpenetration lassen einen Rückschluss auf die Güte des Fettes zu.
Pflanzenölanteil in Motorenöl	DIN 51 639-4 DIN EN 15 199-3	Massenbestimmung des Pflanzenölanteil in gebräuchten Dieselmotorenöl mittels FTIR (DIN 51 639-4) oder GC (DIN EN 15 199-3)	Pflanzenölanteile im Dieselmotorenstoff können bei hohen Betriebstemperaturen im Motorenöl polymerisieren und zu einer unzulässigen Ölaufdickung führen.
RPVOT <b>R</b> otating <b>P</b> ressure <b>V</b> essel <b>O</b> xydation <b>T</b> est	ASTM D2272	Bestimmung der Oxidationsstabilität von Turbinenölen. Öl wird unter einer O <sub>2</sub> Atmosphäre bei erhöhten Temperaturen oxidiert. Gemessen wird der zur Oxydation notwendige Sauerstoffverbrauch.	Das Resultat liefert eine Aussage über die verbleibende Restlebensdauer der im Einsatz befindlichen Ölfüllung. Die Resultate können wie die RULER Resultate stark variieren.

Bezeichnung	Normen	Beschreibung	Aussage/Auswirkung
Ruler Test <b>R</b> emaining <b>U</b> sfull <b>L</b> ife <b>E</b> valuation <b>R</b> outine	ASTM D6810	Bestimmung der Restlebensdauer von Turbinenölen. Nach dem Prinzip der Voltmetrie wird eine Strom-Zeit-Kurve gemessen. Der Stromfluss verändert sich im Verhältnis zu den im Öl verbleibenden Antioxydantien.	Das Resultat liefert eine Aussage über die verbleibende Restlebensdauer der im Einsatz befindlichen Ölfüllung. Wichtiger als eine Einzelanalyse sind Trendanalysen über die gesamte Lebensdauer der Ölfüllung.
Schaumverhalten	DIN 51 566 ASTM D892 IP 146	Öl wird bei festgelegter Belüftungsprozedur mit Luft aufgeschäumt. Die Angaben der Schaummenge und des Restschaums nach 10 Minuten erfolgen bei 25 °C, 95 °C und wieder bei 25 °C.	Turbinen-, Hydraulik- und Kompressoröle verlangen eine geringe Aufschäumung. Erhöhte Schaumengen deuten auf eine externe Kontamination verschiedener Substanzen hin. Das Schaumverhalten kann mit Entschäumern korrigiert werden.
Simulierte Destillation	ISO 3924 DIN EN 15 199	Chromatographische Verfahren. Sie dienen der Trennung komplexer Stoffgemische in ihre Komponenten.	Es können Vermischungen (z. B. Pflanzenöl eintrag bei Motorenölen) oder kurzzeitige und damit flüchtigere Crackprodukte in Wärmeträgerölen nachgewiesen werden. Aber auch bei anderen Anwendungen tauchen immer wieder Fragen auf, die mit Hilfe des Siedeprofils beantwortet werden können.
TAN (Säurezahl) <b>T</b> otal <b>A</b> cid <b>N</b> umber	ASTM D664	Die TAN gibt die Menge Kalilauge an, die benötigt wird, um die in einem Gramm Öl enthaltenen Säuren zu neutralisieren.	Die TAN lässt im Vergleich mit den Frischölwerten einen Rückschluss auf die Öxydation und den Abbau von Öladditiven zu. Bei der Verlängerung von Ölwechselintervallen liefert sie wesentliche und ergänzende Informationen.

Bezeichnung	Normen	Beschreibung	Aussage/Auswirkung
TBN (Basezahl) Total Base Number	ISO 3771 ASTM D2896 IP 276	Die TBN gibt die Menge Kalilauge an, die benötigt wird, um die in einem Gramm Öl enthaltenen Säuren zu neutralisieren.	Die TBN lässt im Vergleich mit den Frischölwerten einen Rückschluss auf den Abbau der im Öl befindlichen alkalischen Reserven zu. Bei der Verlängerung von Ölwechselintervallen liefert sie wesentliche und ergänzende Informationen.
Viskosität	DIN 51 562 ISO 3104 ASTM D445	Viskositätsmessung nach Ubbelohde bei 40°C für Industrieöle und 100°C bei automotiven Ölen.	Eine Änderung der Viskosität bei 40°C und oder bei 100°C kann verschiedene Ursachen haben. Diese reichen von Zunahme durch Russ und Alterungsprodukte bis Abnahme durch Crackprodukte und Scherung.
Viskositätsindex	DIN 51 563 ISO 1628 ASTM D2270 IP 226	Aus den bei min. zwei verschiedenen Temperaturen ermittelten kinematischen Viskositäten wird die Richtungskonstante m nach der VT-Gleichung von Ubbelohde-Walther berechnet.	Eine Änderung des VI lässt auf eine Scherung des VI-Verbessersers schließen.
Wassergehalt	DIN 51 777 ISO 6296 ASTM D1744	Bestimmung nach der Karl Fischer Titrations-Methode.	Wasser kann zu Korrosion oder durch Hydrolyse zu beschleunigter Alterung führen. Je nach Ölvolumen lohnt es sich freies Wasser mittels Zentrifuge oder über eine Vakuumanlage zu evakuieren.





**Maagtechnic AG**

Sonnentalstrasse 8

CH-8600 Dübendorf

T +41 (0)44 824 95 75

F +41 (0)44 821 95 76

[lubeinfo@maagtechnic.com](mailto:lubeinfo@maagtechnic.com)

[www.maagtechnic.ch](http://www.maagtechnic.ch)

[www.maagtechnic.ch](http://www.maagtechnic.ch)