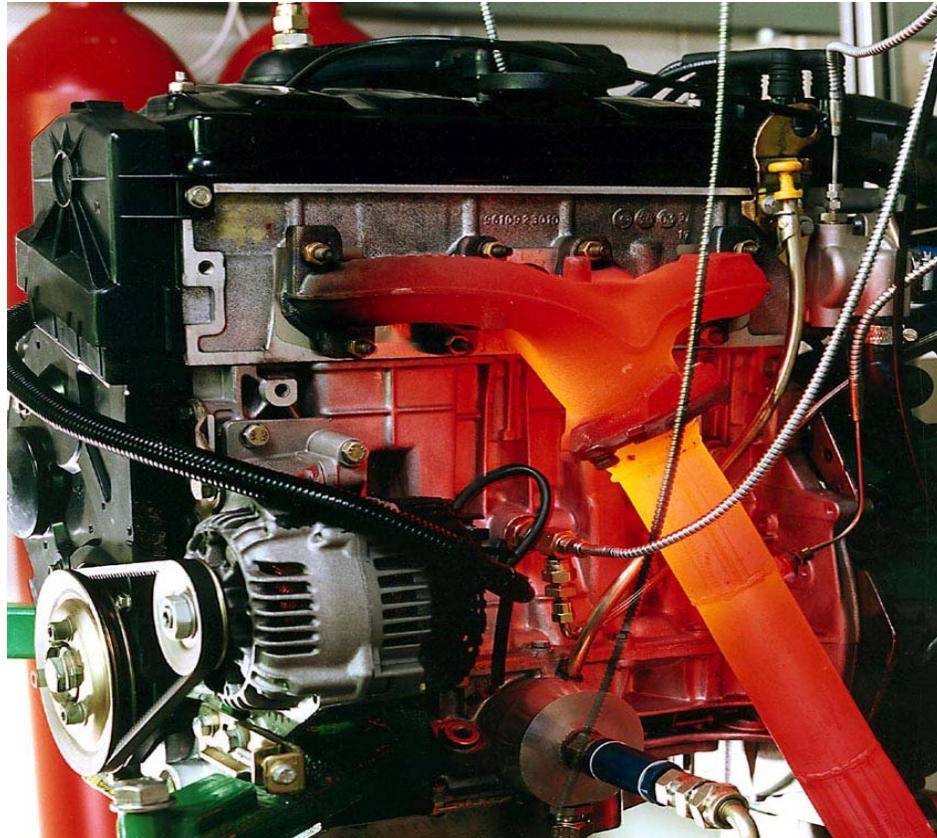




ABC der Schmierung



Aufbau, Verwendung und Eigenschaften von Schmierstoffen

Castrol (Switzerland) AG

Baarerstrasse 139
6302 Zug

Tel. 058 / 456 93 33
Fax 058 / 456 93 39

Vorwort

„Öl ist eben nur Öl“, diese Aussage hört man mitunter. Der Grund dafür ist, dass bis vor nicht allzu langer Zeit die Ölqualität genau genommen nicht sonderlich entscheidend war. In den letzten Jahren hat sich dies jedoch grundlegend geändert. Mit der Entwicklung der Motorentechnik und veränderten Nutzungsgewohnheiten von Fahrzeugen sind die Schmieröle in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Die Zeiten sind im Umbruch: fast täglich werden technische Vorschriften bzw. Spezifikationen geändert und Neuentwicklungen können innerhalb kürzester Zeit veralten. In einem sehr kurzen Zeitraum wurde deshalb die Qualität von Schmierölen zu einer äusserst wichtigen Frage.

Castrol war schon immer bestrebt, ihre Kunden (Garagisten und Konsumenten) mit mehr Informationen über Öle zu versorgen. Die Kenntnis der Schmierstoffe und Schmiervorgänge hilft, ein Gefühl für Qualität zu entwickeln und trägt somit zur Produktauswahl bei. Heutzutage ist die Auswahl des richtigen Produktes wichtiger denn je, will man Problemen aus dem Weg gehen. Das vorliegende „ABC der Schmierung“ sollte als Teil der Bemühungen betrachtet werden, Informationen über Schmierstoffe ständig weiterzuverbreiten.

Dafür haben wir bei Castrol unsere guten Gründe. Aus den Reaktionen auf unsere Ausbildungsveranstaltungen wissen wir, dass es richtig ist, auf die Wichtigkeit der Auswahl optimaler Schmierstoffe aufmerksam zu machen. Hinweise auf Informationsblättern, die wir von Autoherstellern und -importeuren erhielten sowie die vielen wertvollen Beispiele praktischer Erfahrungen von Garagisten und Ausbildnern haben zu diesem Lehrmaterial beigetragen und wir sind allen für ihre Hilfe und Unterstützung sehr dankbar.

Durch die ständigen Neuentwicklungen im öltechnischen Bereich, insbesondere bei den Spezifikationen, wird das „ABC der Schmierung“ in regelmässigen Abständen überarbeitet und dadurch auch immer dem neuesten Stand der Technik angepasst.

Wir hoffen, mit diesen Unterlagen ein besseres Verständnis für das komplizierte Thema „Schmierung“ zu schaffen. Insbesondere erwarten wir, die allgemeine Erkenntnis zu vertiefen, dass Öl - ganz gleich was es ist - nicht „eben nur Öl“ ist.

INHALTSVERZEICHNIS

Kapitel	Thema	Seite
1	Einleitung	4
2	Chemie des Erdöls	5
3	Herstellung von Basisflüssigkeiten	12
4	Kenndaten von Schmierstoffen	16
5	Additive	23
6	Motorenöle für Viertakt-Motoren	25
7	Motorenöle für Zweitakt-Motorenöle	43
8	Fahrzeug-Getriebeöle	46
9	Bremsflüssigkeiten	49
10	Hydraulikflüssigkeiten	53
11	Industrie-Getriebeöle	57
12	Kühlschmierstoffe	61
13	Fette	68
14	Literatur	73

1. Einleitung

Der Ausdruck „Schmieren“ kommt vom mittelhochdeutschen Wort „smer“. So bezeichneten unsere Vorfahren rohes Tierfett, mit dem sie die Lager ihrer Wagen und Karren schmierten, um die Reibung und damit den erforderlichen Kraftaufwand für Mensch und Tier zu vermindern und gleichzeitig den Verschleiss der Fahrzeuge in Grenzen zu halten.

Die Suche des Menschen nach wirksamen Schmierstoffen ist abwechslungsreich und so alt wie die überlieferte Menschheitsgeschichte. Die Chinesen machten sich schon um 3500 v. Chr. die Schmierwirkung von Wasser zunutze, die Ägypter verwendeten um 1400 v. Chr. Tierfett oder Olivenöl gemischt mit Kalkmehl für ihre Streitwagen; um 780 v. Chr. entdeckten die Chinesen die reibungsmindernden Eigenschaften einer Mischung aus pflanzlichen Ölen und Blei, und vor mehr als 100 Jahren wurde erstmals auf die Eignung von Luft als Schmiermittel hingewiesen.

In der modernen Definition umfasst der Begriff „Schmierstoffe“ zunächst einmal Produkte, die für die Schmierung gleitender und rollender Elemente verwendet werden. Den Schmierstoffen werden jedoch auch artverwandte Produkte zugeordnet, die in Zusammensetzung, Herstellung und Eigenschaften ähnlich sind, aber der Kraftübertragung, der Wärmeleitung, der Kühlung, als Isolieröle, als Korrosionsschutzmittel oder unter dem Namen „Verfahrensöle“ als Hilfsmittel für industrielle Prozesse dienen.

Der Anteil der Schmierstoffe am gesamten Mineralölverbrauch beträgt weltweit im Durchschnitt etwa 0,8 %, in hochindustrialisierten Ländern rund 1 Prozent. Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Schmierstoffe ist jedoch weit grösser, als ihr verhältnismässig geringer Anteil am Mineralölmarkt vermuten lässt. Durch Reibung werden 30 Prozent der auf der Welt erzeugten Energie verbraucht, durch Verschleiss entstehen Jahr für Jahr Milliardenverluste.

Konstrukteure wissen heute, dass der Schmierstoff nicht nur ein notwendiger Betriebsstoff, sondern ein Konstruktionselement ist. In schmiertechnischer Hinsicht ausgereifte Konstruktionen und eine richtige Schmierung helfen, Energie sparen, Stillstandsverluste und den Aufwand für Ersatzteile und Instandsetzung zu vermindern und den Wert des Maschinen- und Geräteparks zu erhalten. Die Schmierstoffe selbst werden durch intensive Forschung ständig weiterentwickelt.

Die der Menge nach wichtigsten Schmierstoffe sind Schmieröle, alle vom Erdöl abstammend. Daneben gibt es die Schmierfette für ganz bestimmte Einsatzzwecke. Schmierstoffe werden nach Sortengruppen eingeteilt. Die wichtigsten sind nachstehend genannt :

■ Automotive Schmierstoffe

- Motorenöle
- Getriebeöle
- Bremsflüssigkeiten

■ Industrie-Schmierstoffe

- Hydraulikflüssigkeiten
- Getriebeöle
- Kompressorenöle
- Turbinenöle
- Korrosionsschutzprodukte
- Kühlschmierstoffe
- Isolieröle und Weissöle
- Schmierfette

2. Chemie des Erdöls

2.1 Einleitung

Bereits im Altertum war das Erdöl in Form von Asphalt, Erdpech und bituminösen Stoffen bekannt und trat in sogenannten Teerkuhlen an die Erdoberfläche. Die ersten 1857 in Rumänien, 1858 in den USA und im selben Jahr auch in Deutschland durchgeführten Erdölbohrungen wurden schon in Tiefen von weniger als 50 m fündig. Heute muss man einige 1000 Meter tief bohren, um in erdöhlhaltigen Gebieten auf Öl zu stossen, wobei im Einzelfall Bohrtiefen von mehr als 6000 m erreicht wurden. Bei der Suche nach Erdöl wird heute aufgrund der wissenschaftlich durchgeführten Vorarbeiten fast jede zweite Sondierbohrungen fündig.

2.2 Bestandteile des Erdöls

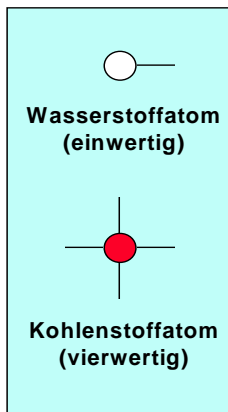


Bild 1

Auf keinem der zahlreichen Ölfelder der Erde findet sich die gleiche Art Erdöl. Schon sein Aussehen ist unterschiedlich; manchmal ist es dünnflüssig und von heller Farbe, manchmal dickflüssig, beinahe schon fest, und tief schwarz. Ebenso unterscheiden sich die Erdölsorten in ihrer Dichte. Trotzdem haben sie alle etwas gemeinsam: sie bestehen fast ausschliesslich aus Kohlenstoff und Wasserstoff in chemischer Bindung. Zerlegt man das Erdöl in seine Elemente, so erhält man 83 bis 87 Massen-% Kohlenstoff, 11 bis 15% Wasserstoff, 0 bis 6 Massen-% Schwefel sowie Spuren von Sauerstoff, Stickstoff und Metallen.

Erdöl ist also ein Gemisch vieler Verbindungen, insbesondere von Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Der Kohlenstoff hat vier freie Fangarme, d.h. er kann vier Bindungen eingehen. Der Wasserstoff dagegen hat nur einen freien Fangarm, er hat nur eine Bindungsmöglichkeit. Der Chemiker nennt diese Fangarme Wertigkeit oder Valenz (Bild 1).

Durch Aneinanderketten von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen können sich unterschiedlich grosse und figürlich unterschiedlichste Kohlenwasserstoffverbindungen - Moleküle genannt - bilden. Die Anzahl der möglichen Kohlenwasserstoffmoleküle ist nahezu unbegrenzt, weil der vierwertige Kohlenstoff gerade und verzweigte Ketten sowie ringförmige (cyclische) Systeme bilden kann. Nach ihrem Bau werden die Kohlenwasserstoffe in vier Gruppen eingeteilt und unterschiedlich benannt (Tabelle 1).

Umgangssprache	Nach IUPAC (*)
Paraffine <ul style="list-style-type: none"> ■ Normal-Paraffine ■ Iso-Paraffine ■ Naphtene (Cycloparaffine) 	Alkane <ul style="list-style-type: none"> ■ Normal-Alkane ■ Iso-Alkane ■ Cyclo-Alkane
Olefine <ul style="list-style-type: none"> ■ Diolefine 	Alkene Alkadiene
Acetylene	Alkine
Aromaten	Aromaten
(*) International Union of Pure and Applied Chemistry	

Tabelle 1 : Bezeichnungen für Molekülstrukturen

2.2.1 Paraffine (Alkane)

Die Paraffine mit ihren geraden (Bild 2) oder verzweigten Ketten (Bild 3) von Kohlenstoff-Atomen enthalten nur einfache Bindungen und damit die grösstmögliche Anzahl von Wasserstoff-Atomen. Weil sie keine weiteren Wasserstoff-Atome aufnehmen können, bezeichnet man sie als „gesättigt“. Sie reagieren chemisch unter den meisten Bedingungen nicht. Die Iso-Paraffine verfügen über ein wesentlich besseres Kälteverhalten als die Normal-Paraffine.

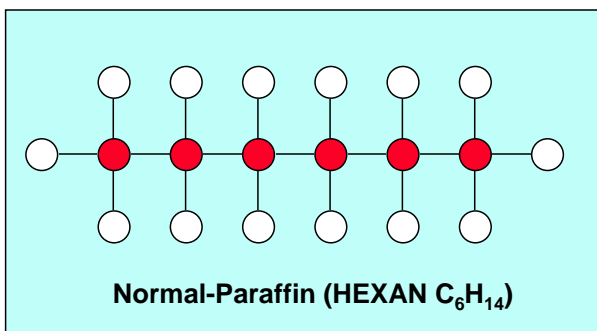


Bild 2

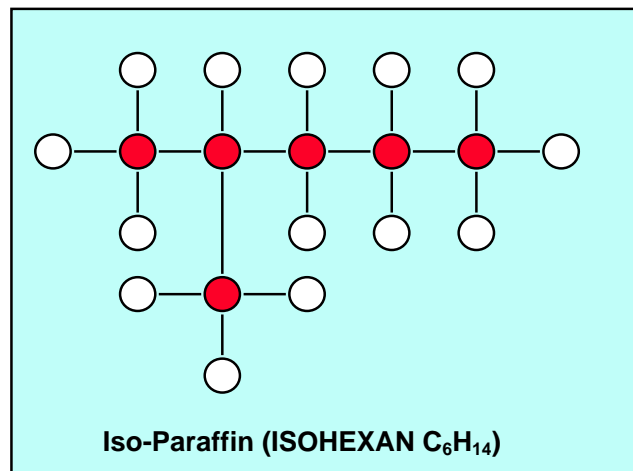


Bild 3

Für Schmierstoffe - insbesondere solche für Motoren - sind gesättigte, reaktionsträge Verbindungen erwünscht, da nur diese die nötige Alterungsstabilität besitzen und damit auch die heute üblichen, langen Ölwechselintervalle ohne gravierende Ölveränderungen erlauben.

2.2.2 Olefine (Alkene)

Bei den Olefinen bilden die Kohlenstoff-Atome ebenfalls Ketten, aber mit einem wichtigen Unterschied gegenüber den Paraffinen: zwischen manchen Kohlenstoff-Atomen bestehen sogenannte Doppelbindungen. An den Kohlenstoff-Atomen, die diesen Doppelbindungen benachbart sind, fehlt je ein Wasserstoff-Atom. Weil sie an diesen Stellen weitere Wasserstoff-Atome aufnehmen können, bezeichnet man Olefine als „ungesättigt“. Sie reagieren leicht mit anderen Stoffen und sind daher willkommene Rohstoffe für die Petrochemie. Mono-Olefine weisen nur eine Doppelbindung auf (Bild 4), während Di-Olefine mehrere Doppelbindungen enthalten und ganz besonders reaktionsfähig sind (Bild 5).

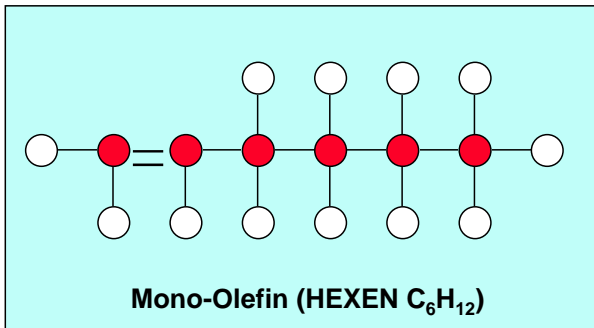


Bild 4

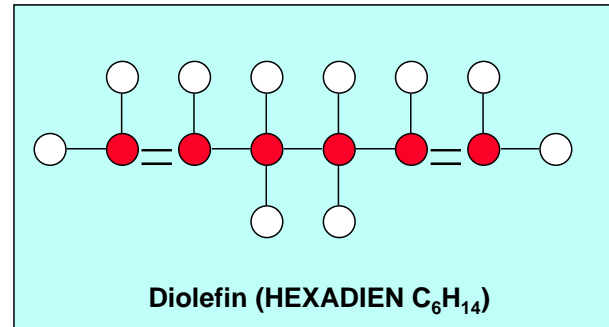


Bild 5

Olefine und Diolefine kommen in Erdöl praktisch nicht vor; sie sind überwiegend in Crackprodukten enthalten und zeichnen sich durch eine hohe Oktanzahl aus. In Vakuumdestillaten ist ihr Anteil nur gering. Ihre Bildung beruht auf örtlichen Überhitzungen in den Destillationsanlagen.

In Schmierölen sind Olefine und Diolefine ungeliebte Komponenten. Die Doppelbindungen können insbesondere unter motorischen Bedingungen relativ schnell aufbrechen. Es kommt dann sofort zur Anlagerung von Sauerstoff und dies führt zur Bildung von Alterungsprodukten.

2.2.3 Naphtene (Cyclohexane)

Naphtene enthalten die Kohlenstoff-Atome in ringförmiger Anordnung und in einfacher Bindung (Bild 6). Sie sind ebenfalls „gesättigt“. In ihren Eigenschaften sind sie den Paraffinen sehr ähnlich, verfügen jedoch über ein wesentlich besseres Kälteverhalten, da sie keine Paraffinausscheidungen zeigen und dadurch zum Stocken neigen. Naphtene lassen sich durch Abspalten von Wasserstoff-Atomen, d.h. durch Erzeugen von Doppelbindungen, in ringförmige Olefine verwandeln, die in ihrem chemischen Verhalten den kettenförmig gebauten Olefinen ähneln.

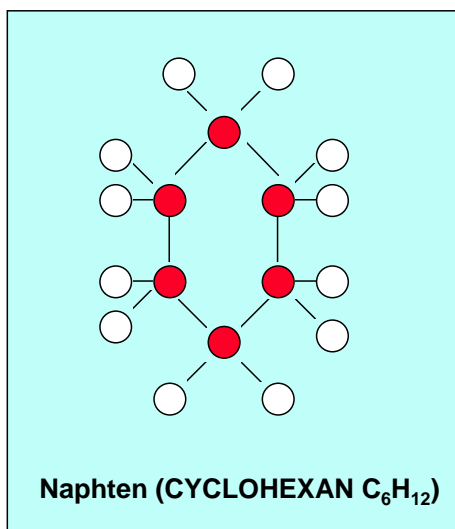


Bild 6

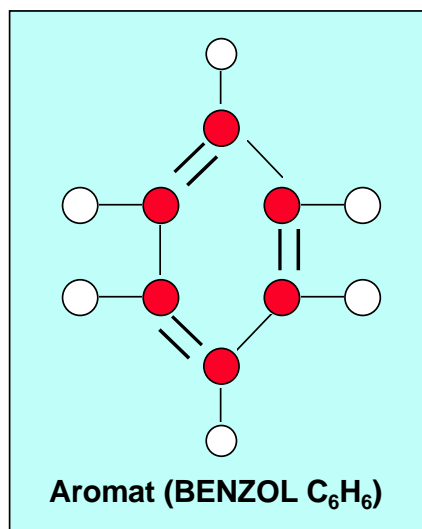


Bild 7

2.2.4 Aromaten

Bei den Aromaten bilden sechs Kohlenstoff-Atome ebenfalls Ringe, die im Unterschied zu den Naphtenen drei symmetrisch angeordnete Doppelbindungen aufweisen. Die Aromaten enthalten also nicht so viele Wasserstoff-Atome, wie bei einfachen Bindungen möglich wäre (Bild 7). Diese angenehm riechenden „aromatischen“ Verbindungen unterscheiden sich von den vorher genannten Gruppen in mancher Hinsicht. Die Aromaten sind wegen ihrer hohen Oktanzahl wertvolle Bestandteile des Motorenbenzins. Ihre Bereitschaft, sich mit anderen Stoffen zu verbinden, macht sie ebenso wie die Olefine zu wichtigen Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Synthese-Produkten.

2.2.5 Acetylene

Dies sind Ketten mit einer Dreifachbindung zwischen den Kohlenstoffatomen. Diese Verbindungen kommen in Treib- und Schmierstoffen nicht vor.

2.3 Molekülgrößen von Kohlenwasserstoffen

Die Molekülgröße ist insbesondere bestimmend für das Verdampfungsverhalten der Kohlenwasserstoffe. Allgemein kann man sagen: je kleiner die Moleküle, umso niedriger liegt die Siedetemperatur. Aber auch Molekülstruktur und Molekularmasse beeinflussen deren chemisches und physikalisches Verhalten. Vor allem die folgenden Kenndaten hängen davon ab:

- Viskosität und Viskositäts-Temperatur-Verhalten
- Aggregatzustand, vor allem der Flüssigkeitsbereich (Tabelle 2)
- Oxidations- und thermische Stabilität

Anzahl C-Atome	Aggregatzustand	Produkt
C ₁ bis C ₄	gasförmig	Gase (Methan, Ethan, Propan, Butan)
ca. C ₅ bis C ₁₂	sehr dünnflüssig	Benzine
ca. C ₁₀ bis C ₂₂	dünnflüssig	Heizöl EL / Diesel
ca. C ₂₀ bis C ₃₅	flüssig - dickflüssig	Schmieröle
über ca. C ₃₅	dickflüssig - fest	Vakuumrückstand / Bitumen
über ca. C ₁₀₀	fest	Paraffine

Tabelle 2 : Aggregatzustand in Abhängigkeit der Anzahl C-Atome

Ein Überblick über verschiedene Kenndaten, abhängig von der Molekülgrösse, gibt Tabelle 3.

Produkte	Molekülgrösse	Molekularmasse	Siedebereich (°C)	Flammpunkt (°C)	Dichte (kg/m ³)
Benzine	C ₅ bis C ₁₂	72 - 170	30 - 200	bis -50	715 - 790
Heizöl EL / Diesel	C ₁₀ bis C ₂₂	142 - 310	180 - 360	58 - 65	810 - 860
Schmieröle	C ₂₀ bis C ₃₅	280 - 460	210 - 600	100 - 300	840 - 920

Tabelle 3 : Kenndaten verschiedener Kohlenwasserstoffe (ca.-Werte)

2.4 Einteilung der Kohlenwasserstoffe aufgrund ihrer Molekülstruktur

Erdöl ist kein Produkt einheitlicher Zusammensetzung. Es enthält leicht- bis schwerflüchtige Verbindungen, die durch Destillation aufgetrennt werden können. Chemisch gesehen findet man Kombinationen von ketten- und ringförmigen, von gesättigten und ungesättigten Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Sie werden dann als paraffinbasisch, naphthenbasisch oder aromatisch bezeichnet, je nachdem welcher Kohlenwasserstofftyp die physikalisch-chemischen Eigenschaften der gesamten Verbindung prägt. Stark vereinfachend gilt der in Tabelle 4 aufgeführte Zusammenhang für die Einordnung eines Mineralöls. Auch die Eigenschaften der Mineralöl-Raffinate hängen sehr stark von der Molekülstruktur ab. Sehr typische Beispiele hierfür sind die bereits oben erwähnte oxidative und thermische Stabilität, welche deutlich voneinander zu unterscheiden sind. Während unter oxidativer Beständigkeit der Widerstand gegen eine Reaktion mit Sauerstoff verstanden wird, ist die thermische Beständigkeit der Widerstand eines Moleküls gegen einen Zerfall durch Wärmeeinwirkung.

Struktur	Hauptanteil	Merkmale
Paraffinbasisch, geradlinige oder verzweigte Ketten	mehr als 75% Paraffine	Dichte < 900 kg/m ³ Viskositätsindex 93 - 105
Naphtenbasisch	mehr als 70% Naphtene	Dichte 900 - 940 kg/m ³ Viskositätsindex 30 -80
Aromatisch	mehr als 50% Aromaten	Dichte > 940 kg/m ³ / Viskositätsindex 0 -40

Tabelle 4 : Einordnung eines Mineralöls aufgrund der Molekülstruktur

Etwas vereinfachend gelten die folgenden Zusammenhänge. Weil Verbindungen mit Doppelbindungen stärker zur Reaktion mit Sauerstoff neigen als Moleküle mit Einfachbindungen, sind Paraffine und etwas weniger auch Naphtene oxidationsbeständiger als Olefine und Aromaten. Andererseits werden kettenförmige Verbindungen durch Wärmeeinwirkung stärker in Schwingungen versetzt, wobei ein Zerfall des Moleküls erfolgt, wenn ein bestimmter Grenzwert überschritten wird. Ringförmige Verbindungen dagegen, können mehr Wärmeenergie speichern, ehe es zum Zerfall des Moleküls kommt. Naphtene und Aromaten sind daher thermisch beständiger als Paraffine.

Tabelle 5 gibt einen summarischen Überblick über die Eigenschaften von konventionellen Mineralöl-Raffinaten als Folge der Molekülstruktur.

Eigenschaft	Paraffinbasisch	Naphtenbasisch	Aromatisch
Dichte	niedrig	mittel	hoch
Viskositäts-Temperatur-Verhalten	gut	mittel	mässig
Kälteverhalten	mässig	sehr gut	gut
Verdampfungsverhalten	gut	mittel	mässig
Flammpunkt	hoch	mittel	niedrig
Verkokungsneigung	mittel	gering	hoch
Oxidationsstabilität	gut	mittel	mässig
Thermische Stabilität	mittel	gut	sehr gut
Elastomerverträglichkeit	gut	gut	mässig
Toxizität	gering	mittel	mässig
Additiv-Löslichkeit	mittel	gut	gut

Tabelle 5 : Eigenschaften von konventionellen Mineralöl-Raffinaten als Folge der Molekül-Struktur

3. Herstellung von Basisflüssigkeiten

Ausgangsprodukt für alle Schmierstoffe, unabhängig ob mineralölbasisch oder synthetisch, ist das Rohöl. Bild 8 zeigt ein stark vereinfachtes Schema der unterschiedlichen Herstellungsverfahren.

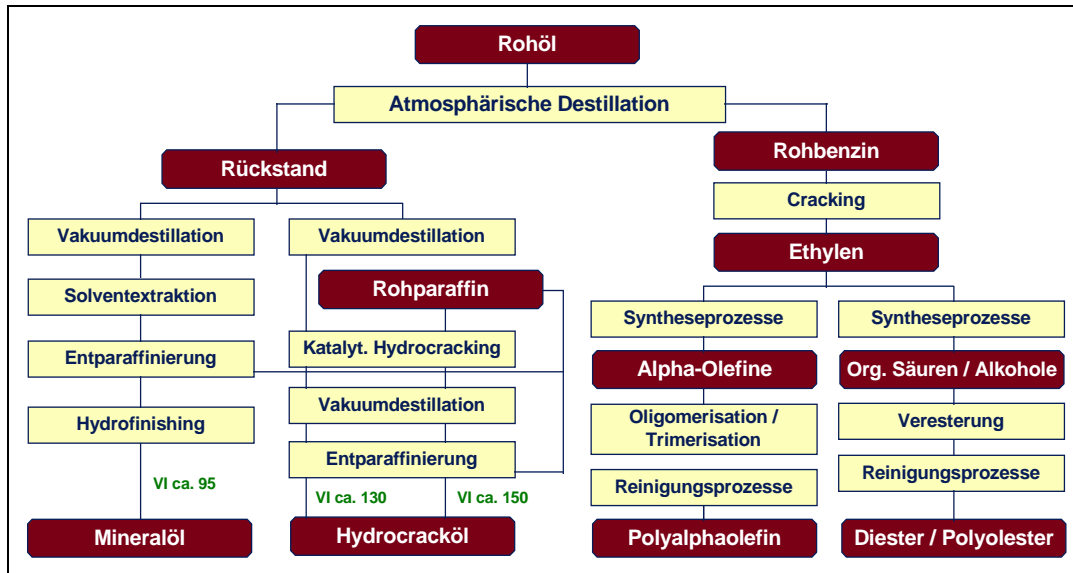


Bild 8: Herstellung von Basisflüssigkeiten (stark vereinfachtes Schema)

Das Rohöl wird zuerst in der atmosphärischen Destillation in unterschiedliche Produkte (Bild 9) aufgetrennt und nachher in weiteren Schritten von unerwünschten Begleitstoffen gereinigt. Je nach Verarbeitungsverfahren erhält man unterschiedliche Basisflüssigkeiten: das konventionelle Mineralöl oder das sogenannte Hydrocrack-Mineralöl. Die Qualität dieser beiden Grundöle ist weitgehend von der Beschaffenheit des Rohöls abhängig, weshalb sie in ihrer Zusammensetzung immer kleine, aber zum Teil gewichtige Unterschiede aufweisen.

3.1 Mineralöl-Raffinate

Die meisten Basisöle die heute hergestellt werden, sind immer noch die sogenannten konventionellen Mineralöl-Raffinate. Die Gewinnung erfolgt durch Vakuumdestillation des Rückstandes aus der atmosphärischen Destillation mit anschließender Solvent-Extraktion, Entparaffinierung und Hydrofinishing (Bild 3). Im Lauf der Jahre wurde die Verfahrenstechnologie ständig verbessert. Diese mineralischen Basisöle haben unterschiedliche Viskositäten - grob unterschieden in dick, mittelviskos und dünn - einen Viskositätsindex zwischen 90 bis 100, und das Tieftemperaturverhalten ist mässig (Pour Point zwischen -6 bis -15 Grad C).

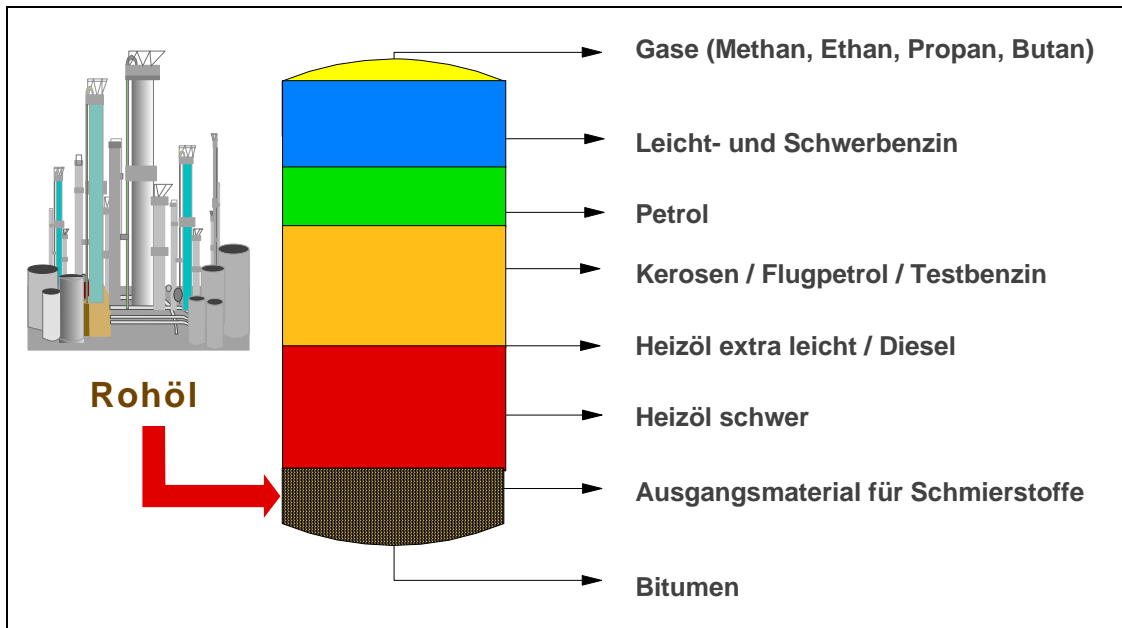


Bild 9: Atmosphärische Destillation von Rohöl

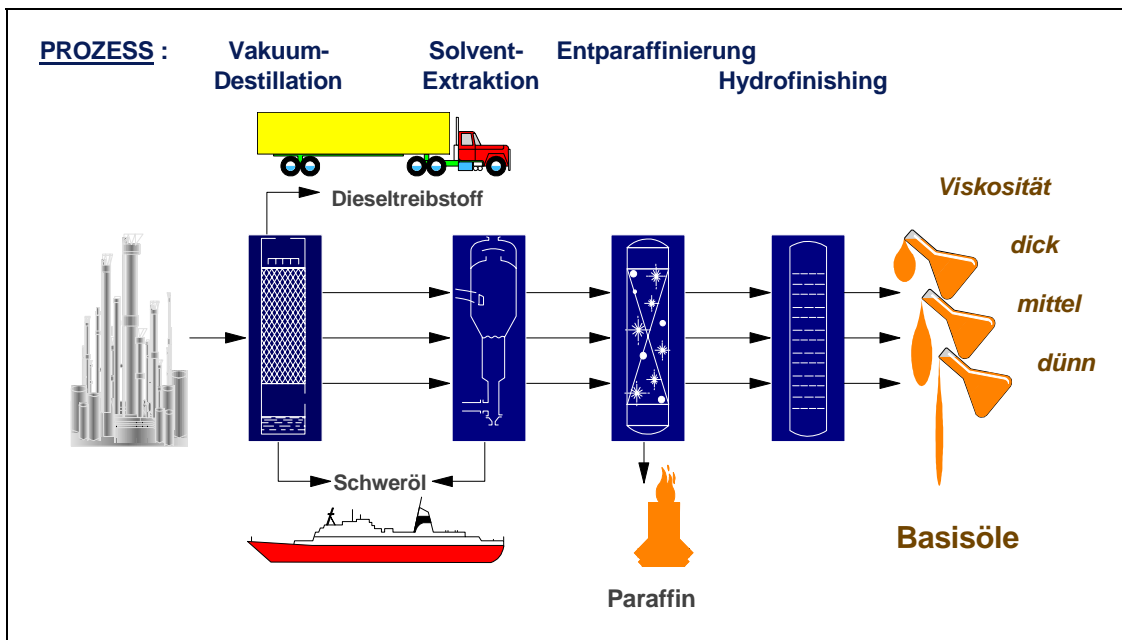


Bild 10 : Herstellung von konventionellen Mineralöl-Raffinaten

3.2 Hydrocracköle

Eine zweite Gruppe stellen die Hydrocracköle dar, deren Ausgangsprodukt entweder Rohparaffin aus der Entparaffinierung der Mineralöl-Raffinate oder Vakuumgasöl ist. Man nennt sie auch HC-Syntheseöle, obwohl der Begriff Synthese streng genommen bei diesem Herstellungsverfahren fehl am Platze ist. Die Hydrocracköle zeichnen sich gegenüber den Mineralölraffinaten durch einen deutlichen höheren Viskositätsindex (120 bis 150, je nach Herstellungsprozess) und ein verbessertes Kälteverhalten (Pour Point bis -21 Grad C) aus.

3.3 Synthetische Basisflüssigkeiten (Polyalphaolefine, Ester)

Synthetische Öle werden auf chemischem Wege durch Verknüpfung spezieller Kohlenwasserstoffmoleküle im Zug eines mehrstufigen Prozesses hergestellt. Daraus kann ein Produkt beliebiger Molekularstruktur und Kettenlänge mit hervorragenden und immer gleichbleibenden Eigenschaften zusammengesetzt werden. Bei Syntheseölen kommen hauptsächlich Polyalphaolefine (PAO), auch vielfach als synthetische Kohlenwasserstoffe bezeichnet, oder Ester in Frage.

3.3.1 Polyalphaolefine

Unter dieser Verbindungsklasse versteht man paraffinähnliche, flüssige Substanzen, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen und infolge der Kettenlänge, des Verzweigungsgrades und der Position der Verzweigungen eine bestimmte Viskosität, einen hohen Viskositätsindex und einen tiefen Pour Point besitzen.

3.3.2 Ester

Ester enthalten im Gegensatz zu den Polyalphaolefinen noch Sauerstoff und werden durch die Reaktion eines Alkohols mit einer organischen Säure gewonnen. Zur Herstellung von Schmierstoffen werden vor allem Carbonsäureester verwendet, die man aufgrund ihrer chemischen Struktur wiederum in Diester oder Polyolester unterscheiden kann. Die Eigenschaften dieser Ester sind deshalb auch unterschiedlich, aber im allgemeinen verfügen beiden Typen über ein gutes Viskositäts-Temperaturverhalten, einen niedrigen Pour Point und eine ausgezeichnete Alterungsbeständigkeit.

In der Praxis besitzen synthetische Flüssigkeiten gegenüber den Mineralölen eine Reihe gewichtiger Vorteile (Tabelle 1). Der einzige Nachteil ist lediglich der höhere Preis, welcher durch die aufwendigere Herstellung der synthetischen Basisflüssigkeiten bedingt ist.

Diese vier Ausgangsprodukte werden sowohl pur als auch in unterschiedlichen Mischungen untereinander als Basisflüssigkeiten zur Herstellung von Schmierstoffen eingesetzt.

Eigenschaften	Auswirkungen
Höhere Filmstärke (hohe Viskosität bei hohen Temperaturen)	Besserer Verschleisschutz (Lager, Kolbenringe, Ventiltrieb)
Enthält keine instabilen Komponenten	Bessere Oxidations- und thermische Stabilität
Weniger Viskositätsindex-Verbesserer nötig	Verbesserte Scherstabilität
Geringe Flüchtigkeit und niedriger Verdampfungsverlust	Weniger Ölverbrauch
Sehr gutes Tieftemperaturverhalten	Verbesserter Kaltstart und schnelle Durchölung der Motoren = weniger Verschleiss
Treibstoffverbrauchssenkung ohne höheren Ölverbrauch	Niedrigviskose Öle (vor allem 0W & 5W) führen zu deutlich geringerer Reibung im Motor
Höhere thermische Widerstandsfähigkeit, d.h. weniger anfällig für Schmutzablagerungen	Bessere Motorensauberkeit und verlängerte Ölwechselintervalle

Tabelle 6: Vorteile synthetischer Basisflüssigkeiten

4. Kenndaten von Schmierstoffen

4.1 Viskosität

Die Viskosität ist die bekannteste Eigenschaft von Schmierölen. Sie ist das Mass für die innere Reibung eines Öles beim Fliessen. Die Viskosität ist eine temperaturabhängige Grösse. Ist die Temperatur niedrig, das Öl also kalt, so ist die innere Reibung gross und die Viskosität hoch. Je wärmer das Öl wird, um so geringer wird die innere Reibung und die Viskosität niedriger.

Man unterscheidet zwischen der kinematischen und der dynamischen Viskosität. Die Umrechnung erfolgt mittels der Dichte des Öles und nach der unten angegebenen Formel.

$$\text{Kinematische Viskosität} = \text{Dynamische Viskosität} / \text{Dichte}$$

Die Dimension (Einheit) für die kinematische Viskosität ist mm^2/s , früher cSt (centi Stoke); diejenige für die dynamische Viskosität ist mPa s , früher cP (centi Poise).

Die kinematische Viskosität wird in Kapillarviskosimetern gemessen, die dynamische Viskosität meistens in Rotationsviskosimetern (speziell für die Tieftemperaturviskosität).

4.1.1 SAE-Viskositätsklassen

Die Schmierstoffe für Fahrzeuge (Motoren- und Getriebeöle) werden mit SAE-Klassen (SAE = Society of Automotive Engineers) beschrieben. Hierin sind festgelegt:

- Temperaturen für die Viskositätsmessungen
- Viskositätsgrenzwerte
- Klassenzuordnungen

Im heissen Betriebsbereich wird für Motoren- und Getriebeöle die Viskosität einheitlich für alle SAE-Klassen bei 100°C bestimmt. Dies ist bei Motorenölen nicht praxisgerecht genug. Aus diesem Grund wird hier zusätzlich die HTHS (High Temperature High Shear)-Viskosität bei 150°C und einem Geschwindigkeitsgefälle (auch Schergefälle genannt) von 10^6 s^{-1} bestimmt.

Im kalten Betriebsbereich sind, je nach SAE-Klasse, unterschiedliche Messtemperaturen vorgeschrieben. Öle, für die Viskositätsgrenzwerte im kalten Zustand bestehen, haben zusätzlich zum Zahlenwert der jeweiligen SAE-Klasse den Buchstaben „W“.

In Tabelle 7 sind die SAE-Viskositätsklassen für Motorenöle und in Tabelle 7 die SAE-Viskositätsklassen für Getriebeöle zusammengestellt.

■ Einbereichs- / Mehrbereichsöl

Erfüllt ein Öl nur die Anforderung einer SAE-Klasse, so ist es ein Einbereichsöl (englisch Monograde), z.B. SAE 10W oder SAE 30 bei Motorenölen, ein SAE 80W oder SAE 140 bei Getriebeölen (Bild 11).

Werden im kalten Zustand die Anforderungen einer W-Klasse und bei 100°C bzw. 150°C die einer Klasse ohne „W“ erfüllt, so ist es ein Mehrbereichsöl (englisch Multigrade), z.B. SAE 0W-30 oder SAE 5W-40 bei Motorenölen, SAE 75W-90 oder SAE 80W-140 bei Getriebeölen.

SAE Viskositätsklasse	Maximale Viskosität in mPa s bei einer Temperatur von ... °C		Viskosität bei 100°C in mm ² /s		Hochtemperaturviskosität (150°C) bei hohem Schergefälle (10 ⁶ s ⁻¹) in mPa s
	Anlassen / Starten	Pumpbarkeit	min.	max.	
0W	6200 bei -35	60'000 bei -40	3,8		
5W	6600 bei -30	60'000 bei -35	3,8		
10W	7000 bei -25	60'000 bei -30	4,1		
15W	7000 bei -20	60'000 bei -25	5,6		
20W	9500 bei -15	60'000 bei -20	5,6		
25W	13000 bei -10	60'000 bei -15	9,3		
20			5,6	unter 9,3	2,6
30			9,3	unter 12,5	2,9
40			12,5	unter 16,3	2,9 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40			12,5	unter 16,3	3,7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40)
50			16,3	unter 21,9	3,7
60			21,9	unter 26,1	3,7

Tabelle 7: SAE-Klassifikation von Motorenölen (Dez.99)

SAE Viskositäts-klasse	Höchsttemperatur für Viskosität von 150'000 mPa s (nach ASTM D 2983) bei °C	Kinematische Viskosität bei 100°C in mm ² /s	
		min. auch nach 20h Scher-test	max.
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	--

Tabelle 8 : SAE-Klassifikation von Fahrzeug-Getriebeölen (2005)

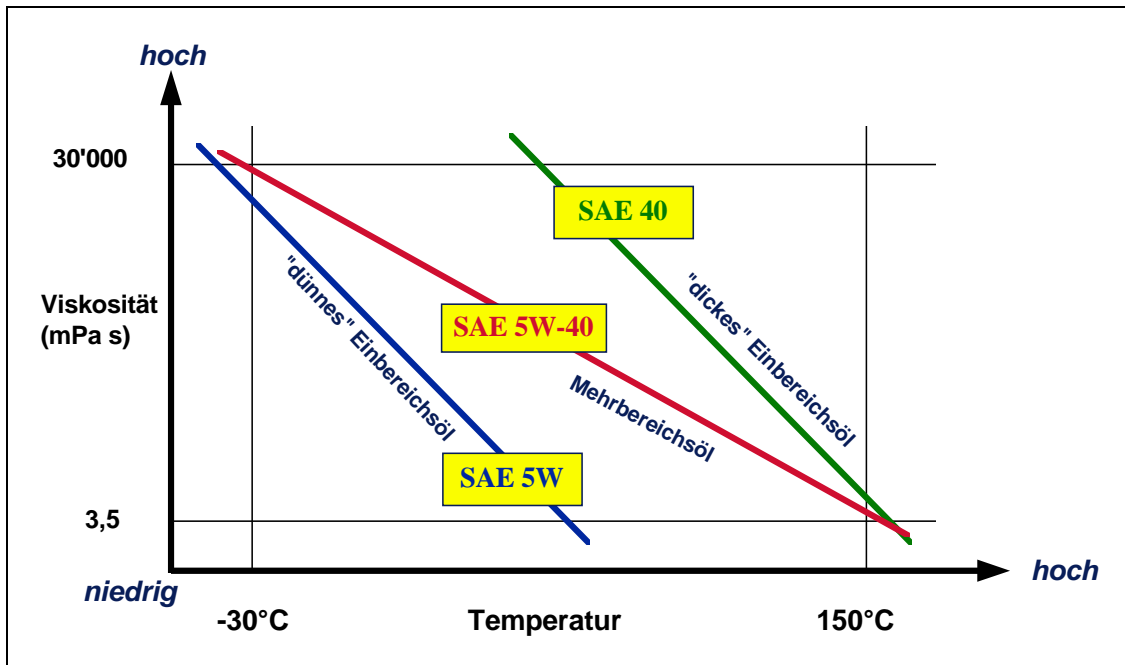


Bild 11: Vergleich zwischen Ein- und Mehrbereichsöl

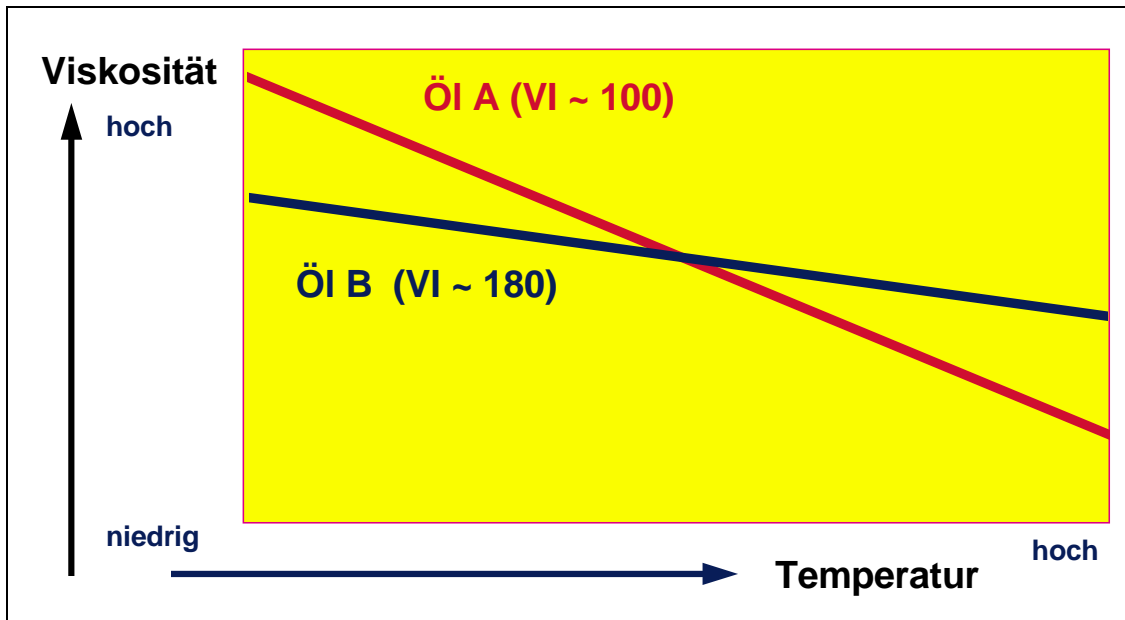


Bild 12 : Viskositäts-Temperatur-Verhalten

4.1.2 Viskositätsklassifikation nach ISO 3448

Mit Ausnahme der in den SAE-Klassen beschriebenen Fahrzeug-Motoren- und Getriebeölen werden alle anderen Schmieröle gemäss der ISO-Viskositätsklassifikation eingeteilt. In dieser ISO-VG (International Organisation for Standardization - Viscosity Grade) sind 18 Viskositätsklassen von $2 \text{ mm}^2/\text{s}$ bis $1500 \text{ mm}^2/\text{s}$ genormt. Es ist nur eine sogenannte Mittelpunktsviskosität bei 40°C vorgeschrieben, die in einer Viskositätsklasse um 10%

nach oben und unten abweichen darf. Ein Hydrauliköl der ISO VG 46 muss also zwischen 41,4 mm²/s (untere Limite) und 50,6 mm²/s (obere Limite) liegen.

Viskositätsklasse ISO	Mittelpunkts-Viskosität bei 40,0°C mm ² /s (cSt)	Grenzen der kinematischen Viskosität bei 40,0°C mm ² /s (cSt)	
		min.	max.
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,00
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

Tabelle 9 : Viskositätsklassifikation nach ISO 3448

4.2 Viskositäts-Temperatur-Verhalten (Viskositätsindex)

Die Änderung der Viskosität infolge steigender oder fallender Temperatur kann von Öl zu Öl unterschiedlich sein. Für die Praxis geeignet ist ein Öl, das bei Temperaturschwankungen seine Viskosität möglichst wenig ändert (Öl B, Bild 12). Hierdurch wird sowohl ein einwandfreier Kaltstart als auch ein ausreichendes Tragevermögen des Schmierfilms bei hoher Temperatur gewährleistet. Für das Viskositäts-Temperatur-Verhalten gibt es eine dimensionslose Kennzahl, den Viskositätsindex (VI). Je höher der Viskositätsindex, desto geringer ist der Viskositätsabfall bei Temperaturzunahme. Einbereichsöle haben einen VI um 100, bei Mehrbereichs-Motorenölen kann er bis zu 180 betragen.

4.3 Viskositäts-Druck-Verhalten

Die Viskosität eines Öles ändert sich nicht nur mit der Temperatur, sondern auch mit dem auf den Schmierfilm ausgeübten Druck. Diese Eigenschaft ist für tribotechnische Berechnungen oft sehr wichtig, wenn Öle verschiedener Basisflüssigkeiten zur Verfügung stehen.

4.4 Viskosität und Schergefälle

Bei Mehrbereichsölen, die Viskositätsindex-Verbesserer enthalten, ist die Viskosität ausser von der Temperatur und vom Druck auch noch vom Schergefälle abhängig.

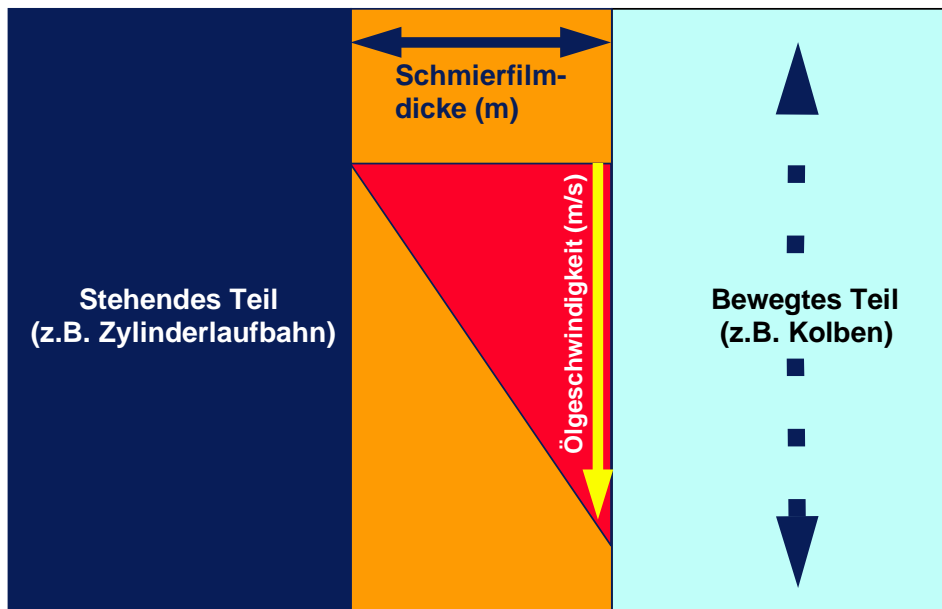


Bild 13: Schergefälle im Schmierpalt (vieltausendfach vergrössert)

Im Schmierpalt wird das Öl je nach Drehzahl und Schmierfilmdicke unterschiedlichen Scherbelastungen ausgesetzt. Stellt man sich den Schmierpalt und damit auch den Schmierfilm vieltausendfach vergrössert vor, so werden die direkt am nicht bewegten Teil (z.B. Lagerschale oder Zylinderlaufbahn) befindlichen Ölteilchen die Geschwindigkeit 0 haben. Dagegen werden die am bewegten Teil anliegenden Ölteilchen die Geschwindigkeit dieses Bauteils (z.B. die Umfangsgeschwindigkeit des Lagerzapfens der Kurbelwelle oder die Kolbengeschwindigkeit) annehmen. Dieser Vorgang soll theoretisch durch das Geschwindigkeitsdreieck in Bild 13 dargestellt werden.

Das vorhandene Schergefälle errechnet sich dann nach folgender Formel:

$$\text{Geschwindigkeit am bewegten Bauteil (m/s)} / \text{Schmierfilmdicke(m)}$$

Dies führt dann zu der Einheit von s^{-1} für das Schergefälle. Es liegt in Verbrennungsmotoren im Bereich Hauptlager sowie Kolben und Zylinderlaufbahn bei ca. $10^5 s^{-1}$, bei Leerlaufdrehzahl bis zu ca. $10^6 s^{-1}$ bei maximaler Drehzahl.

4.5 Scherstabilität

Bei Ölen ohne Viskositätsindex-Verbesserer (Einbereichsöle) hat das Geschwindigkeitsgefälle keinen Einfluss auf die Viskosität; man bezeichnet sie als newtonsche Flüssigkeit (Bild 14, Öl X). Enthält das Schmieröl VI-Verbesserer (ist bei vielen Mehrbereichsölen der Fall), so nimmt bei gleicher Temperatur, aber grösser werdendem Schergefälle (steigende Drehzahl) je nach Typ (Chemie) und Menge des VI-Verbesserers die Viskosität mehr oder weniger stark ab. Das sind dann nicht newtonsche Flüssigkeiten (Bild 7, Öl Y). Je geringer die Viskositätsabnahme desto besser die Scherstabilität. Motorenöle, die auch unter härtesten Betriebsbedingungen immer in der selben SAE-Klasse bleiben und dadurch sehr scherstabil sind, nennt man „Stay-in-grade-Öle“.

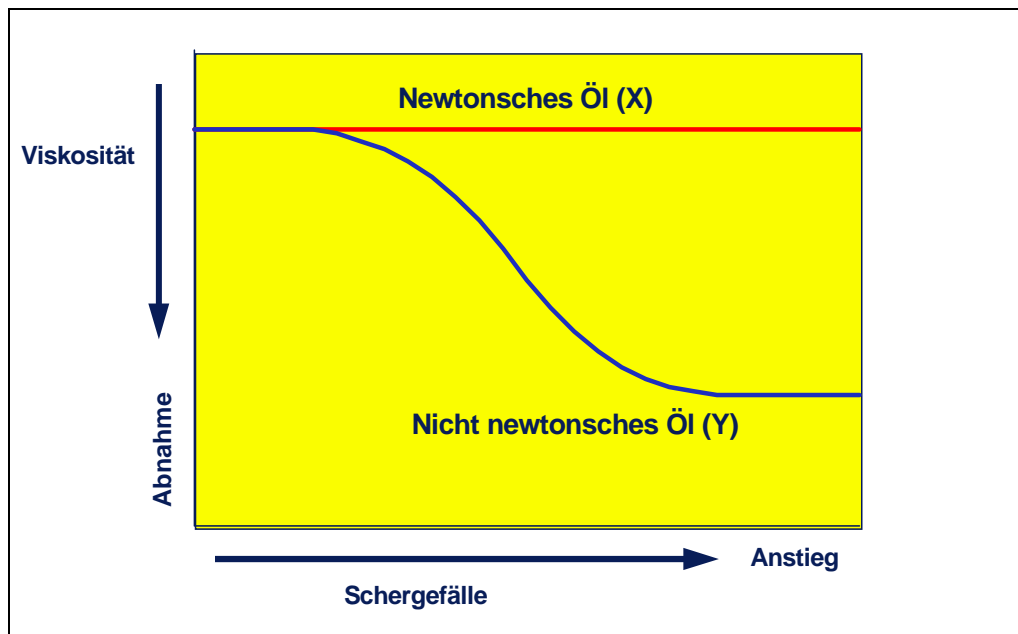


Bild 14: Viskositätsverhalten bei Scherung

4.6 Pumpbarkeit bei tiefen Temperaturen (Grenzumpbarkeit)

Hiermit werden die Einsatzgrenzen für das Durchölungsverhalten der Motorenöle nach einem Kaltstart beschrieben. Bis zur Grenzumpbarkeit fließt dem Ölsieb bzw. der Ölpumpe genügend Öl zu, unterhalb dieser Grenze ist eine ausreichende Ölversorgung des Schmiersystems nicht mehr gewährleistet, es kommt zum Ansaugen von Luft und damit zu Verschleisschäden. Die Grenzwerte für die Pumpbarkeit bei verschiedenen Temperaturen sind aus Tabelle 7 ersichtlich.

4.7 Pour Point

Früher wurde das Kälteverhalten eines Schmieröls durch den Stockpunkt, d.h. die Temperatur bei der Öl erstarrt, beschrieben. Heute wird die sogenannte Fließgrenze, ausgedrückt durch den Pour Point, angegeben. Für die Bestimmung des Pour Points wird nach wie vor der Stockpunkt ermittelt und dann 3°C hinzugezählt. Bei einem Stockpunkt von -36°C beträgt der Pour Point demnach -33°C.

4.8 Verdampfungsverlust

Der Verdampfungsverlust ist abhängig von der Viskosität und bei den Mineralölen vom Raffinationsgrad. Hydrocracköle zeigen einen geringeren Verdampfungsverlust als konventionelle Mineralöle. Hohe Verdampfungsverluste können in der Praxis zu erhöhtem Ölverbrauch und verstärkter Ölkohleablagerung auf Kolben und Einlassventilen führen. Der Verdampfungsverlust nach Noack wird bei 250°C ermittelt und in Massen-% (% m/m) angegeben.

5. Additive

Die hohen Anforderungen an Schmierstoffe können nur durch Öle oder Fette mit speziellen Zusätzen (Additiven) erfüllt werden. Additive werden den Schmierstoffen beigegeben, um deren natürliche Eigenschaften zu verändern oder zu verbessern bzw. ihnen Eigenschaften zu verleihen, die sie von Natur aus nicht haben. Art und Menge der jeweiligen Additive müssen auf den jeweiligen Anwendungsfall genau abgestimmt sein. Der Additivanteil kann von weniger als 1% bis zu 30% betragen.

Im nachfolgenden sind die wichtigsten Additive kurz beschrieben. Betrachtet man ihre Wirkungsweise kann man diese Zusätze in drei Gruppen unterteilen.

- Oberflächenschützende Additive (5.1 - 5.5)
- Ölverbessernde Additive (5.6 und 5.7)
- Ölschützende Additive (5.8 und 5.9)

5.1 Detergents

Halten heisse Oberflächen weitestgehend frei von Ablagerungen (z.B. an Kolben). Feste Schmutzpartikel werden mikroskopisch kleinst umhüllt, im Öl in Schwebelage gehalten und können sich so kaum ablagern. Weiche Ablagerungen werden wieder abgewaschen. Durch ihre Alkalinität können sie auch saure Produkte, die aus der Verbrennung des Treibstoffs entstehen, neutralisieren.

5.2 Dispersants

Halten öllösliche, flüssige Verunreinigungen, die sich vorwiegend während der Warmlaufphase im Motor bilden, im Öl in Schwebelage. Die Additive verhindern das Zusammenballen (Agglomerieren) der Schmutzpartikel und damit die Schlamm- und Festschlamm-Bildung.

5.3 Hochdruck- und Verschleisschutz-Additive

Diese Zusätze werden im englischen als Extreme Pressure (EP) - bzw. Anti Wear (AW) - Additive bezeichnet. Sie reduzieren Reibung und Verschleiss und schützen vor metallischer Berührung (z.B. Nocken / Nockenwelle, Kolbenringe / Zylinder, Zahnflanken). Durch chemische Reaktion mit bzw. Adhäsion an der Metalloberfläche werden Gleitschichten aufgebaut, die den Metall-Metall-Kontakt verhindern.

5.4 Korrosions- / Rostschutzadditive

Schützen blanke Metallteile, die mit Schmierstoffen Kontakt haben, vor Korrosion und Rost. Polare Additive bauen auf den Metalloberflächen pelzartige Schutzfilme auf, zusätzlich werden korrosiv wirkende Säuren neutralisiert.

5.5 Reibwertveränderer (englisch : Friction Modifier)

Diese oberflächenaktiven Zusätze vermindern die Reibung an geschmierten Metalloberflächen durch Adsorption.

5.6 Viskositätsindex-Verbesserer

Sie verbessern das Viskositäts-Temperatur-Verhalten eines Öles durch Reduktion des Viskositätsabfalls bei Temperaturanstieg. Bei tiefen Temperaturen wirken sie kaum, bei hohen Temperaturen ist durch ihre eindickende Wirkung der Viskositätsabfall geringer. Öle, welche VI-Verbesserer enthalten, verfügen über einen höheren Viskositätsindex als die eingesetzten Basisflüssigkeiten.

5.7 Pour Point - Verbesserer

Sie ermöglichen das Fließen des Öles auch noch bei tiefen Temperaturen durch Verzögerung der Bildung von Paraffinkristallen. Die sich bei der Abkühlung des Öles bildenden kleinen Paraffinkristalle werden durch das Additiv umhüllt und können nicht zusammenwachsen, wodurch das Öl länger fließfähig bleibt.

5.8 Alterungsschutzadditive

Diese Zusätze werden in der Fachsprache mit Oxidationsinhibitoren bezeichnet. Sie verlangsamen die Ölalterung, ausgelöst durch Sauerstoffzutritt aus der Luft, hohen Temperaturen und katalytisch wirkenden Metallen. Sie zersetzen Ölalterungsprodukte (z.B. Schlamm) und beenden schädliche Reaktionen.

5.9 Antischaummittel

Diese Zusätze verhindern die Bildung von stabilem Oberflächenschaum im Öl. Sie verändern die Oberflächenspannung, hierdurch erfolgt ein schneller Schaumzerfall.

6. Motorenöle für Viertaktmotoren

6.1 Einleitung

Die Entwicklungen im Automobilbau und in der Motorentechnik sind mit dem Leistungsvermögen der Motorenöle untrennbar verbunden. Je komplizierter die Motoren gebaut werden, je höher die Leistung und die Verbrauchsoptimierung sind, desto mehr wird das Motorenöl gefordert und muss bis an die Grenze seiner Leistungsfähigkeit gehen. Höhere Verdichtung im Motor, höhere Kolbentemperaturen (vor allem im Bereich des obersten Kolbenrings) moderne wartungsfreie Ventiltriebe mit hydraulischen Stößeln und höhere Temperaturen im Motorenraum belasten die Schmierstoffe für moderne Motoren weit mehr als noch vor 10 Jahren.

Benzin- und Dieselmotoren sind in Kraftfahrzeugen eingebaut. Sie können als Saug- oder Turboladernmotoren arbeiten. Ihre Betriebsbedingungen beinhalten sowohl extremen Kurzstreckenbetrieb (80% aller Personenwagen in Westeuropa fahren weniger als 12 km) als auch Langstreckenbetrieb mit jährlichen Fahrleistungen bis zu 300'000 km. Hinzu kommen Ölwechselintervalle zwischen 5000 km in einigen kleinen Dieselmotoren und bis zu 100'000 km in modernen Nutzfahrzeug-Dieselmotoren. Dies stellt zum Teil kontroverse Anforderungen an das Motorenöl. Daher können nicht alle Anwendungsfälle mit einem Schmierstoff abgedeckt werden. Die Motorenhersteller legen die einzusetzende Ölqualität und den zulässigen Ölwechselintervall fest. Die Mineralölindustrie bietet ein umfassendes Sortenprogramm an, welche alle Anwendungsfälle abdeckt.

6.2 Aufgaben

Die Leistungen eines Motorenöls sind für das menschliche Auge nicht sichtbar, denn alle Funktionsabläufe spielen sich in geschlossenen Motorsystemen ab. Die Aufgaben von Motorenölen sind vielfältig und deren Leistung bemerkenswert. Die fünf Hauptaufgaben sind nachstehend zusammengefasst :

■ **Schmierung**

Das Schmieren von aufeinander gleitenden Teilen ist von entscheidender Bedeutung. Dadurch wird Reibung und Verschleiss vermindert. Je besser dies gelingt, desto leichter läuft der Motor, und es kann Treibstoff eingespart werden.

■ **Kühlung**

Kühlen des Motors von innen durch Wärmeabführung aus Kolben, Zylindern, Kurbelwellenlagern, Nockenwelle etc. zum Kurbelgehäuse oder durch Einbau eines separaten Ölkühlers.

■ **Abdichtung**

Abdichten des Ringspalts zwischen Kolben und Zylinder und bei Ventildführungen.

■ **Korrosionsschutz**

Die Bildung von Rost verhindern durch Neutralisation saurer Verbrennungsprodukte, welche die Metallteile angreifen können.

■ **Druckübertragung**

Übertragen des Verbrennungsdruckes vom Kolben über den Pleuel auf die Kurbelwelle.

6.3 Anforderungen

Sowohl von der Automobilindustrie als auch von der Verbraucher- und Gesetzgeberseite sind Ziele gesetzt worden, welche die Anforderungen an die Motorschmierstoffe entscheidend beeinflussen, wie dies nachstehend gezeigt wird.

■ Reduzierung von Verschleiss

Motorenöle müssen dazu beitragen, den Verschleiss an allen Motorenteilen (Kolben, Zylinder, Ventiltrieb, Lager etc.) bei allen Einsatzbedingungen, insbesondere aber beim Kaltstart (optimales Kältefließverhalten) und bei hohen Temperaturen (Schmiersicherheit) so weit als möglich zu reduzieren.

■ Motorensauberkeit

Von den Motorenölen wird eine hohe thermische Stabilität gefordert, damit auf den Motorenteilen keine Ablagerungen entstehen können. Heutige Anforderungen gehen so weit, dass die Motoren auch nach 100'000 km Fahrstrecke „wie neu“ (englisch : blue print condition) aussehen. Nur mit solchen Ölen können auch verlängerte Ölwechselfristen angestrebt werden.

■ Stabile Viskositätslage

Optimales Viskositäts-Temperaturverhalten für einwandfreie Funktion im kalten und heissen Zustand. Dies beinhaltet auch eine gute Scherstabilität des Öles.

■ Russdispergiervermögen

Bei Nutzfahrzeug-Dieselmotoren ab Euro II - Norm ist ein extrem gutes Dispergiervermögen des gebildeten Russes von enormer Wichtigkeit, um eine Eindickung des Motorenöls zu verhindern.

■ Dichtungsverträglichkeit

Um ein einwandfreies Funktionieren des Motors zu gewährleisten, müssen die Motorenöle mit den verwendeten Elastomeren verträglich sein, damit diese weder zu stark quellen, schrumpfen oder verspröden.

■ Berücksichtigung von Umweltaspekten

Motorenöle können dazu beitragen, die Umwelt weniger zu belasten. Dazu gehören

- die Reduzierung des Treibstoff- und Ölverbrauchs, wodurch auch die CO₂-Emissionen (Treibhauseffekt) gemindert werden
- die Verminderung der Abgasemissionen, indem die Öle so formuliert werden, dass der Katalysator über seine gesamte Lebensdauer voll funktionsfähig bleibt
- die Vermeidung der Verwendung toxischer Additive, wodurch die Entsorgung, sei es durch Wiederaufbereitung oder Verbrennung, problemloser wird

Mercedes Benz schreibt in seinen Betriebsvorschriften 56 einzelne Anforderungen an Motorenöle vor, die in der obigen Zusammenfassung zum grossen Teil miteinbezogen sind.

6.4 Aufbau von Motorenölen

Motorenöle bestehen aus Basisflüssigkeiten und Additiven. Einzelheiten zu diesen Produkten sind in den Kapiteln 3 und 5 nachzulesen. Die Formulierung richtet sich nach den Anforderungen, die an das Motorenöl gestellt werden. Hochwertige Produkte enthalten höhere Anteile an Hydrocrackölen, synthetischen Basisflüssigkeiten und Additiven als qualitativ durchschnittliche Öle, welche nach wie vor hohe Mengen an konventionellen Mineralölen und geringere Additivanteile enthalten.

Die Viskosität bzw. die SAE-Klassifikation des Motorenöls ergibt sich in erster Linie durch die Wahl und Kombination der Basisflüssigkeiten sowie der Menge und des Typs des Viskositätsverbesserers.

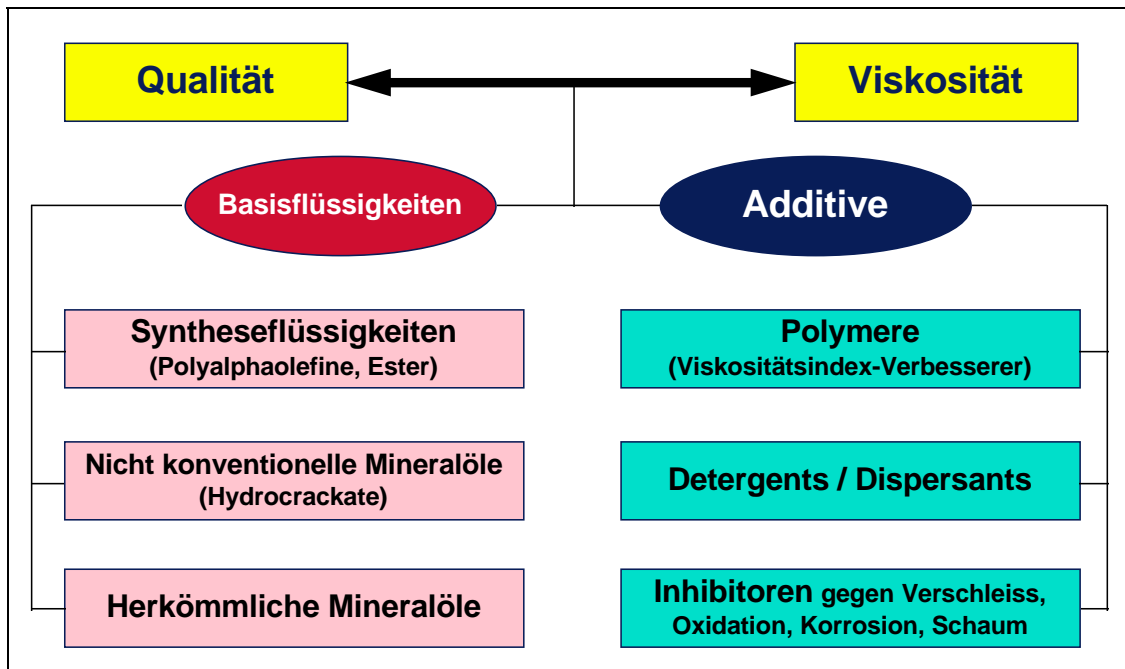


Bild 15: Schematischer Aufbau von Motorenölen

■ Schmierung von 4-Takt Motorrädern

Um eine optimale Schmierung dieser Aggregate zu ermöglichen, sollten für 4-Takt Motorräder speziell entwickelte Motorenöle eingesetzt werden, denn die Anforderungen sind unterschiedlich von denen eines Automobil-Schmierstoffs. Motorradmotoren erreichen meist extrem hohe Literleistungen und benötigen dafür weitaus höhere Drehzahlen als PKW-Triebwerke. Besonders die luftgekühlten Motoren belasten das Öl thermisch weitaus stärker als die fast ausschliesslich wassergekühlten Automotoren. Ausserdem muss das Öl bei fast allen Motorrädern Getriebe und Kupplung mitversorgen. Die Marken-Schmierstoffhersteller gehen deshalb bei der Auswahl der Additive auf diese Unterschiede ein, so dass die Zusammensetzung der Motorradöle in einigen Punkten von den PKW-Motorenölen abweicht. Die Unterschiede können wie folgt zusammengefasst werden :

- Keine Reibwert-Veränderer, um Kupplungsrutschen zu verhindern
- Geringe Flüchtigkeit, um die Verdampfung des Öls in die Verbrennungskammer zu reduzieren
- Niedriger Aschegehalt (< 1%), damit keine Frühzündung eintritt
- Hohe Scherstabilität, um eine zu starke Viskositätsabnahme zu vermeiden

6.5 Klassifikation nach Leistungsvermögen (Performance)

Motorenöle werden nicht nach ihrer chemischen Zusammensetzung unterschieden, sondern danach, wie sie sich in Motorentests verhalten, d.h. man beurteilt die Performance in Praxisversuchen und nicht nur im Laboratorium. Zur Prüfung werden Fahrzeugmotoren und Einzylinder-Prüfmotoren herangezogen. Sie werden auf Prüfständen nach genau festgelegten Bedingungen gefahren. Nach den Prüfläufen werden die Motoren zerlegt und alle wichtigen Bauteile (z.B. Kolben, Zylinderlaufbahn, Lager, Ventiltrieb / Ventildeck, Ölwanne) werden auf verschiedene Kriterien wie Sauberkeit, Schlamm- und Verschleissbildung, Spiegelflächenbildung beurteilt. Im Laboratorium werden die Gebrauchtöle auf Viskositätsanstieg und Oxidationsverhalten untersucht. Diese motorischen Prüfungen werden im Coordinating European Council (CEC) in Zusammenarbeit zwischen den Automobilherstellern und den Öl- und Additivlieferanten entwickelt.

Jahrzehntelang waren die weltweit verbreiteten API - (American Petroleum Institute) Spezifikationen das Mass aller Dinge. Es wurden dadurch die wesentlichsten motorischen Anforderungen abgedeckt und die Motorenöle in ein grobes Raster unterteilt, welches dem Verbraucher gewisse Rückschlüsse für einen Einsatz in Benzin- oder Dieselmotoren erlaubt. Die Tabellen 10a und b geben eine Darstellung der derzeit gültigen API-Spezifikationen (Ausgabe Juli 2001).

Da die API-Spezifikationen aber im wesentlichen auf den amerikanischen Markt ausgerichtet sind und sich somit nicht vollständig auf die europäischen Verhältnisse übertragen lassen, haben sich die europäischen Motorenbauer in der ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) zusammengeschlossen. In dieser ACEA gibt es ein Gremium (Fuels & Lubricants Committee) welches in regelmässigen Abständen die Anforderungen der europäischen Motorenhersteller an die Motorenbetriebsstoffe überprüft und für die Motorenöle in den ACEA-Testsequenzen festlegt. Die Tabellen 11a/b/c und 12 geben eine Darstellung der derzeit gültigen ACEA-Testsequenzen (Ausgabe Februar 2007). Eine detaillierte Übersicht der Qualitäts-Unterschiede bei den verschiedenen ACEA-Testsequenzen in Labor- und Motorentesten. kann bei der Abteilung Technik der Castrol (Switzerland) AG angefordert werden.

API-Spezifikationen für Motorenöle (USA)

Benzinmotoren		
Kategorie	Status	Beschreibung
SM	Aktuell	Für Motoren ab 2005. API SM Öle zeichnen sich aus durch verbesserte Oxidationsstabilität, geringere Ablagerungsneigung, besseren Verschleisschutz und höhere treibstoffsparende Eigenschaften.
SL	Aktuell	Für Motoren mit Jahrgang ab 2001.
SJ	Aktuell	Für Motoren mit Jahrgang ab 1997.
SH	Veraltet	1994. Nur Änderungen bei Motorentests.
SG	Veraltet	Für Motoren mit Jahrgang ab 1989.
SF	Veraltet	Für Motoren mit Jahrgang ab 1980.
SE	Veraltet	Für Motoren mit Jahrgang ab 1972.
SD	Veraltet	Für Motoren mit Jahrgang ab 1968
SC	Veraltet	Für Motoren mit Jahrgang ab 1964.
SB	Veraltet	Minimale Verschleisschutzanforderungen
SA	Veraltet	Keine Performance Anforderungen. Nicht addivierte Mineralöle.

Tabelle 10a :
API-Klassifikation von Benzinmotorenölen

Dieselmotoren		
Kategorie	Status	Beschreibung
CJ-4	Aktuell	Eingeführt Oktober 2002 Für hochdrehende 4-Takt-Motoren mit den ab 2007 geltenden Emissionsgrenzwerten. CJ-4 Öle sind geeignet für Motoren mit Partikelfiltern und modernen Abgasnachbehandlungssystemen. Für die Verwendung von Dieseltreibstoff mit S-Gehalt bis 0.05% m/m. Kann anstelle von CI-4, CH-4, CG-4 und CF-4 Ölen eingesetzt werden.
CI-4	Aktuell	Eingeführt September 2002. Für hochdrehende 4-Takt-Motoren mit den 2002 eingeführten Emissionsgrenzwerten welche ab 2004 gültig sind. CI-4 Öle sind für Motoren mit Abgasrückführung und langer Lebensdauer konzipiert. Für die Verwendung von Dieseltreibstoff mit S-Gehalt bis 0.5% m/m. Kann anstelle von CD-, CE-, CF-4, CG-4 und CH-4 Ölen eingesetzt werden.
CH-4	Aktuell	Eingeführt Dezember 1998. Für hochdrehende 4-Takt-Motoren mit '98-er Emissionsgrenzwerten. Für die Verwendung von Dieseltreibstoff mit S-Gehalt bis 0.5% m/m. Kann anstelle von CD-, CE-, CF-4 und CG-4 Ölen eingesetzt werden.
CG-4	Aktuell	Eingeführt 1995. Für hochbelastete, hochdrehende 4-Takt-Motoren mit '94-er Emissionsgrenzwerten. Für die Verwendung von Dieseltreibstoff mit S-Gehalt unter 0.5% m/m. Kann anstelle von CD-, CE- und CF-4 Ölen eingesetzt werden.
CF-4	Aktuell	Eingeführt 1990. Für hochdrehende 4-Takt- Saug- und Turbomotoren. Kann anstelle von CD- und CE-Ölen eingesetzt werden.
CF-2	Aktuell	Eingeführt 1994. Für hochbelastete 2-Takt-Motoren. Kann anstelle von CDII-Ölen eingesetzt werden.
CF	Aktuell	Eingeführt 1994. Für off-road, indirekt eingespritzte und andere Dieselmotoren, inklusive solcher, welche Treibstoff mit einem Schwefelgehalt über 0.5 % m/m benutzen. Kann anstelle von CD-Ölen eingesetzt werden.
CE	Veraltet	Eingeführt 1987.
CD-II	Veraltet	Eingeführt 1987. Für 2-Takt-Motoren.
CD	Veraltet	Eingeführt 1955. Für Saug- und Turbomotoren.
CC	Veraltet	Für Motoren ab 1961.
CB	Veraltet	Für mittelbelastete Motoren gebaut zwischen 1949 bis 1960.
CA	Veraltet	Für leichtbelastete Motoren der '40-er und '50-er Jahre.

Tabelle 10b:
API-Klassifikation von Dieselmotorenölen

ACEA Motorenölstandards (Europa) – Stand 2007

Übersicht

Einsatz	Anwendung	ACEA-Kategorie
Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge	Wartungsöle für Benzin- und Dieselmotoren	A1/B1, A3/B3, A3/B4, A5/B5
	Wartungsöle (low SAPS) für Benzin- und Dieselmotoren mit Abgasnachbehandlungssystemen	C1, C2, C3, C4
Schwere Nutzfahrzeuge	Wartungsöle für Heavy Duty Dieselmotoren	E2, E4, E6, E7

Detailbeschreibung

A1/B1	Mehrbereichs-Motorenöle XW-20, XW-30, XW-40 für Benzin- und Dieselmotoren in Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen. Geeignet für die Verwendung reibungsarmer, niedrigviskoser Öle mit einer HTHS-Viskosität von 2.6 bis 3.5 mPa s bei 150°C. Diese Öle können für einige Motoren ungeeignet sein. Einsatz nur bei entsprechender Herstellerfreigabe.
A3/B3	Scherstabile, stay-in-grade Motorenöle für Benzin- und Dieselmotoren mit hoher Leistung in Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen. Geeignet für verlängerte Ölwechselintervalle wenn vom Hersteller vorgeschrieben. HTHS-Viskosität min. 3.5 mPa s bei 150°C. Niedrigviskose Ganzjahresöle für erschwerte Einsatzbedingungen gemäss Herstellervorschrift.
A3/B4	Scherstabile, stay-in-grade Motorenöle für Benzin- und direkteingespritzte Dieselmotoren mit hoher Leistung. Auch geeignet für Einsätze wie unter A3/B3 beschrieben.
A5/B5	Scherstabile, stay-in-grade Motorenöle für verlängerte Ölwechselintervalle in Benzin- und Dieselmotoren mit hoher Leistung in Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen. Die Motoren sind geeignet für die Verwendung reibungsarmer und niedrigviskoser Öle mit einer HTHS-Viskosität von 2.9 bis 3.5 mPa s bei 150°C. Diese Öle können für einige Motoren ungeeignet sein. Einsatz nur bei entsprechender Herstellerfreigabe.

Tabelle 11a : ACEA-Spezifikationen für Benzin- und Dieselmotorenöle in Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen

C1	<p>Scherstabile, stay-in-grade Motorenöle für Benzin- und Dieselmotoren mit hoher Leistung in Personwagen und leichten Nutzfahrzeugen welche mit DPF und KAT ausgerüstet sind. Die Motoren sind ausgelegt für die Verwendung reibungsarmer, niedrigviskoser, low SAPS Öle mit einer HTHS-Viskosität von min. 2.9 mPa s bei 150°C. Solche Öle erhöhen die Lebensdauer von DPF und KAT und halten die Treibstoffeinsparung des Fahrzeugs bei.</p> <p>Warnung: Solche Öle weisen die niedrigsten SAPS-Limiten (Low SAPS) auf und können ohne entsprechende Herstellervorschrift nicht eingesetzt werden.</p>
C2	<p>Scherstabile, stay-in-grade Motorenöle für Benzin- und Dieselmotoren mit hoher Leistung in Personwagen und leichten Nutzfahrzeugen welche mit DPF und KAT ausgerüstet sind. Die Motoren sind geeignet für die Verwendung reibungsarmer und niedrigviskoser Öle mit einer HTHS-Viskosität von min. 2.9 mPa s bei 150°C. Solche Öle erhöhen die Lebensdauer von DPF und KAT und halten die Treibstoffeinsparung des Fahrzeugs bei.</p> <p>Warnung: Diese Öle können für einige Motoren ungeeignet sein. Einsatz nur bei entsprechender Herstellerfreigabe.</p>
C3	<p>Scherstabile, stay-in-grade Motorenöle für Benzin- und Dieselmotoren mit hoher Leistung in Personwagen und leichten Nutzfahrzeugen welche mit DPF und KAT ausgerüstet sind. Solche Öle erhöhen die Lebensdauer von DPF und KAT.</p> <p>Warnung: Diese Öle können für einige Motoren ungeeignet sein. Einsatz nur bei entsprechender Herstellerfreigabe.</p>
C4	<p>Scherstabile, stay-in-grade Motorenöle für Benzin- und Dieselmotoren mit hoher Leistung in Personwagen und leichten Nutzfahrzeugen welche mit DPF und KAT ausgerüstet sind und ein Low SAPS mit einer HTHS-Viskosität über 3.5 mPa s bei 150°C verlangen. Solche Öle erhöhen die Lebensdauer von DPF und KAT.</p> <p>Warnung: Diese Öle können für einige Motoren ungeeignet sein. Einsatz nur bei entsprechender Herstellerfreigabe.</p>

Tabelle 11b : ACEA-Spezifikationen für Benzin- und Dieselmotorenöle in Personwagen und leichten Nutzfahrzeugen ausgerüstet mit Abgasnachbehandlungssystemen

ACEA Spezifikation	Sulfatasche (% m/m)	Phosphor (% m/m)	Schwefel (% m/m)	Min. HTHS (mPa s)	Verdampfungsverlust (% m/m)	Total Base Number (mg KOH/g)	Fuel Economy (% v/s 15W-40)
A1/B1-04	≤ 1.3	Angeben	Angeben	(1)	≤ 15	--	≥ 2.5
A3/B3-04	≤ 1.5	Angeben	Angeben	≥ 3.5	≤ 13	--	--
A3/B4-04	≤ 1.6	Angeben	Angeben	≥ 3.5	≤ 13	--	--
A5/B5-04	≤ 1.6	Angeben	Angeben	2.9 - 3.5	≤ 13	--	≥ 2.5
C1-04	≤ 0.5	≤ 0.05	≤ 0.2	≥ 2.9	≤ 13	--	≥ 2.5
C2-04	≤ 0.8	0.07-0.09	≤ 0.3	≥ 2.9	≤ 13	--	≥ 2.5
C3-04	≤ 0.8	0.07-0.09	≤ 0.3	≥ 3.5	≤ 13	≥ 6.0	≥ 1.0 (XW-30)
C4-07	≤ 0.5	≤ 0.05	≤ 0.2	≥ 3.5	≤ 11	≥ 6.0	≥ 1.0 (XW-30)

Tabelle 11c : Darstellung der unterschiedliche Anforderungen zwischen den ACEA-Spezifikationen für Benzin- und Dieselmotorenöle in Personwagen und leichten Nutzfahrzeugen

- (1) 2.6 - 3.5 mPa s für SAE XW-20
 2.9 - 3.5 mPa s für alle anderen SAE-Klassen

Verwendete Abkürzungen

Low/Mid SAPS	Niedriger Gehalt an <u>S</u> ulfat <u>A</u> sche, <u>P</u> hosphor, <u>S</u> chwefel
DPF	Dieselpartikelfilter
KAT	Dreiwegkatalysator
HTHS	Viskosität bei hoher <u>T</u> emperatur (150°C) und <u>h</u> ohem <u>S</u> chergefälle

E2	Motorenöle für den Einsatz in Saug- und Turbodieselmotoren schwerer Nutzfahrzeuge mit mittlerer bis schwerer Belastung und meist regulären Ölwechselintervallen.
E4	Scherstabile Motorenöle mit exzellenter Leistung bezüglich Kolbensauberkeit, Verschleisschutz, Russ-Dispergiervermögen und Hochtemperaturstabilität. Empfohlen für hochbeanspruchte Dieselmotoren mit Euro 1-, Euro 2, Euro 3- und Euro 4-Emissionsanforderungen und betrieben bei sehr schwierigen Einsatzbedingungen, z.B. mit signifikant verlängerten Ölwechselintervallen gemäss Hersteller-Empfehlung. Geeignet für Motoren ohne Partikelfilter, für Motoren mit Abgasrückführung und solche welche mit SCR/NO _x -Reduktionssystem ausgerüstet sind. Die Empfehlungen schwanken zwischen den einzelnen Motorenherstellern; deshalb ist im Zweifelsfall die Bedienungsanleitung zu beachten.
E6	Scherstabile Motorenöle mit exzellenter Leistung bezüglich Kolbensauberkeit, Verschleisschutz, Russ-Dispergiervermögen und Hochtemperaturstabilität. Empfohlen für hochbeanspruchte Dieselmotoren mit Euro 1-, Euro 2, Euro 3- und Euro 4-Emissionsanforderungen und betrieben bei sehr schwierigen Einsatzbedingungen, z.B. mit signifikant verlängerten Ölwechselintervallen gemäss Hersteller-Empfehlung. Geeignet für Motoren mit Abgasrückführung, mit und ohne Partikelfilter, und für solche welche mit SCR/NO _x -Reduktionssystem ausgerüstet sind. E6-Öle werden sehr empfohlen für Motoren welche mit Partikelfiltern ausgerüstet sind, auch in Kombination mit Dieseltreibstoff mit niedrigem Schwefelgehalt (max. 50 mg/kg). Die Empfehlungen schwanken zwischen den einzelnen Motorenherstellern; deshalb ist im Zweifelsfall die Bedienungsanleitung zu beachten.
E7	Scherstabile Motorenöle mit exzellenter Leistung bezüglich Kolbensauberkeit, Bore Polishing, Verschleisschutz, Russ-Dispergiervermögen, Turboladerablagerungs-Kontrolle und Hochtemperaturstabilität. Empfohlen für hochbeanspruchte Dieselmotoren mit Euro 1-, Euro 2, Euro 3- und Euro 4-Emissionsanforderungen und betrieben bei schwierigen Einsatzbedingungen, z.B. mit verlängerten Ölwechselintervallen gemäss Hersteller-Empfehlung. Geeignet für Motoren ohne Partikelfilter, für Motoren mit Abgasrückführung und solche welche mit SCR/NO _x -Reduktionssystem ausgerüstet sind. Die Empfehlungen schwanken zwischen den einzelnen Motorenherstellern; deshalb ist im Zweifelsfall die Bedienungsanleitung zu beachten.

Tabelle 12 : ACEA-Spezifikationen für Dieselmotorenölen in schweren Nutzfahrzeugen

Darüber hinaus enthalten die "Haus-Spezifikationen" einiger Automobilfirmen wie Volkswagen, MAN und DaimlerChrysler noch sogenannte "in house-Tests", die Problembereiche ansprechen, die den jeweiligen Automobilherstellern besonders wichtig erscheinen. Diese sind z.T. noch anspruchsvoller als die offiziellen API- oder ACEA-Spezifikationen.

■ Volkswagen-Normen

- VW 502 00** Motorenöl für Benzinmotoren. Anforderungen bezüglich Sulfatasche- und Phosphorgehalt, HTHS-Viskosität, Scherstabilität, Verdampfungsverlust, Oxidationsstabilität, Schlamm- und Nocken- und Stößelverschleiß sowie Fluorelastomer-Verträglichkeit. Ölwechselintervall 15'000 km.
- VW 503 00** Motorenöl SAE 0W-30 für Benzinmotoren mit hohen treibstoffsparenden Eigenschaften (Viskosität bei 150°C: 3.0 mPa s / 10⁶ s⁻¹) für verlängerte Ölwechselintervalle bis 30'000 km.
- VW 503 01** Motorenöl für Benzinmotoren mit treibstoffsparenden Eigenschaften (Viskosität bei 150°C: min. 3.5 mPa s / 10⁶ s⁻¹) für verlängerte Ölwechselintervalle bis 30'000 km.
- VW 504 00** Mid SAPS Motorenöl SAE 5W-30 mit geringem Schwefel-, Phosphor- und Sulfatascheanteil für Benzinmotoren mit hohen treibstoffsparenden Eigenschaften. Speziell für die Modelle mit WIV für verlängerte Ölwechselintervalle bis 30'000 km.
- VW 505 00** Für Saugdieselmotoren und Dieselmotoren mit Abgasturbolader. Anforderungen bezüglich Phosphorgehalt, HTHS-Viskosität, Scherstabilität, Verdampfungsverlust, Kolbensauberkeit, Nocken- und Stößelverschleiß sowie Fluorelastomer-Verträglichkeit. Ölwechselintervall 15'000 km.
- VW 505 01** Motorenöl für Pumpe-Düse-Dieselmotoren mit hohem Verschleisschutz. Ölwechselintervall 15'000 km.
- VW 506 00** Motorenöl SAE 0W-30 für Dieselmotoren mit hohen treibstoffsparenden Eigenschaften (Viskosität bei 150°C: 3.0 mPa s / 10⁶ s⁻¹) für verlängerte Ölwechselintervalle bis 50'000 km.
- VW 506 01** Motorenöl SAE 0W-30 für Pumpe-Düse-Dieselmotoren mit hohen treibstoffsparenden Eigenschaften (Viskosität bei 150°C: 3.0 mPa s / 10⁶ s⁻¹) für verlängerte Ölwechselintervalle bis 50'000 km.
- VW 507 00** Mid SAPS Motorenöl SAE 5W-30 mit geringem Schwefel-, Phosphor- und Sulfatascheanteil für Dieselmotoren mit Partikelfilter und hohen treibstoffsparenden Eigenschaften. Speziell für die Modelle mit WIV für verlängerte Ölwechselintervalle bis 50'000 km.

■ MAN-Werknorm und Richtlinie

- 270 / 271** Ein- und Mehrbereichsöle für Nutzfahrzeuge normaler Leistung. Basis ACEA E2.
- M 3275** Hochleistungsdieselmotorenöle für Motoren mit verlängerten Ölwechselintervallen. Basis ACEA E3.
- M 3277** Hochleistungsdieselmotorenöle für Motoren mit längsten Ölwechselintervallen. Basis ACEA E4.
- M 3277** Hochleistungsdieselmotorenöl aschereduziert für Motoren mit CRT™-Partikelfilter-Systemen
- M 3477** Hochleistungs-Dieselmotorenöle für Motoren mit Abgasnachbehandlung bis Euro IV. Basis ACEA E6.

■ Mercedes-Benz Betriebsstoff-Vorschriften

- Blatt 228.0 /1** Ein- und Mehrbereichsöle für bestimmte Dieselmotoren gemäss Blatt 223.2. Basisanforderungen gemäss ACEA E2.
- Blatt 228.2/3** Ein- und Mehrbereichsöle für bestimmte Dieselmotoren gemäss Blatt 223.2. Für Basisanforderungen gemäss ACEA E7.
- Blatt 228.5** Mehrbereichsöle für bestimmte Dieselmotoren gemäss Blatt 223.2. Diese Öle werden von DC besonders empfohlen. Mit diesen Leichtlauf-Motorenölen sind bei NFZ-Dieselmotoren die längsten Ölwechselintervalle möglich. Basisanforderungen gemäss ACEA E4.
- Blatt 228.51** "Low SPAsh"-Mehrbereichsöle für bestimmte Dieselmotoren gemäss Blatt 223.2. Diese "Low SPAsh"-Motorenöle stellen die zur Zeit höchste Öl-Qualitätsstufe mit niedrigem Schwefelgehalt, niedrigem Phosphorgehalt und niedrigem Gehalt an aschebildenden Bestandteilen (low ash) für Dieselmotoren dar, mit den entsprechend weitestgehenden Anforderungen. Basisanforderungen gemäss ACEA E6.
- Blatt 229.1** Mehrbereichsöle für bestimmte PKW-Motoren, Nfz-Motoren aus dem PKW-Bereich und Industriemotoren aus dem PKW-Bereich gemäss Blatt 223.2. Basisanforderungen gemäss ACEA A3/B3.
- Blatt 229.3** Leichtlauf-Mehrbereichsöle für bestimmte PKW-Motoren, NFZ-Motoren aus dem PKW-Bereich und Industriemotoren aus dem PKW-Bereich gemäss Blatt 223.2. Freigaben sind für die SAE-Klassen 0W-X, 5W-X und 10W-X möglich. Basisanforderungen gemäss ACEA A3/B4.

- Blatt 229.31** Diese "Low SPAsh"-Leichtlauf-Motorenöle sind für bestimmte PKW-Motoren, NFZ-Motoren aus dem PKW-Bereich und Industriemotoren aus dem PKW-Bereich freigegeben. Für PKW-Dieselmotoren, bzw. PKW-Dieselfahrzeuge, die mit Dieselpartikelfilter ausgerüstet sind, sind diese Low SPAsh-Motorenöle zwingend vorgeschrieben! Verwendung siehe Blatt 223.2. Basisanforderungen gemäss ACEA A3/B4 und C3.
- Blatt 229.5** Leichtlauf-Mehrbereichsöle für bestimmte PKW-Motoren, NFZ-Motoren aus dem PKW-Bereich und Industriemotoren aus dem PKW-Bereich gemäss Blatt 223.2. Basisanforderungen gemäss ACEA A3/B4. Höchste Qualität bezüglich Verschleiss und Sauberkeit, Treibstoffeinsparung und Potenzial für verlängerte Ölwechselintervalle (in Verbindung mit neuen Ölfiltereinsätzen).
- Blatt 229.51** PKW-Motorenölspezifikation für „Low SPAsh“-Leichtlauf-Motorenöle mit einem Leistungsvermögen wie für Blatt 229.5, d.h.mit den schärfsten Grenzwerten hinsichtlich Verschleiss, Schwarzschlammabbildung, Sauberkeit und Ablagerungsbildung. Erhöhtes Treibstoffeinsparungspotenzial sowie weiter verbesserte Umweltverträglichkeit. Basisanforderungen gemäss ACEA A3/B4 und C3.

Darüber hinaus gibt es für alle diese Motoren-Spezifikationen weitergehende Anforderungen der DaimlerChrysler AG.

6.6 Praxishinweise

■ Leichtlauföle

Für Öle, welche die Reibung in Motoren und Maschinen niedrig halten und dadurch Energie- bzw. Treibstoff-Einsparung ermöglichen, hat sich die Bezeichnung „Leichtlauföle“ eingebürgert. Optimale Wirksamkeit erreichen die Leichtlauföle durch Reibungsminderung sowohl im Flüssigkeits- als auch im Mischreibungsgebiet. Die Herabsetzung der Reibung kann wie folgt erreicht werden:

- Durch niedrige Viskosität bis ca. 80°C und gleichzeitig geringe Verdampfungsneigung durch Verwendung von Synthese- oder Hydrocrackölen, oder
- Senkung der Mischreibung durch Verwendung von Reibwertveränderern. Leichtlauföle unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung erheblich von ihren konventionellen Konkurrenten, z.B. einem Öl der SAE-Klasse 15W-40 oder 20W-50, und sind dadurch teurer. Eingehende praktische Versuche haben aber gezeigt, dass mit Leichtlaufölen eine Senkung des Treibstoffverbrauchs möglich ist, wodurch wiederum ein Beitrag an die Energieeinsparung und zur Reduktion des Treibhauseffektes infolge geringeren CO₂-Ausstoss geleistet wird.

■ Motorenöl-Wechselintervalle

Der Ölwechselintervall wird von den Motorenherstellern festgelegt. Waren früher noch Intervalle von 5'000 km vorgeschrieben, wurden diese, dank der verbesserten Motorentechnik und Ölqualitäten, von den Motorenbauern verlängert. Ölwechselintervalle von 15'000 km werden heute von vielen Konstrukteuren vorgeschrieben, mit dem Vorbehalt allerdings, das Öl mindestens 1 x jährlich zu wechseln, wenn die vorgegebene Kilometerleistung unterschritten wird. Bei ungünstigen Bedingungen, z.B. bei häufigen Kurzstreckenfahrten oder Dauerbetrieb im Gebirge wird ein zweimaliger jährlicher Wechsel empfohlen. Bei Kurzstreckenbetrieb wird das Motorenöl durch Treibstoffkondensat, Feuchtigkeit und Schlamm Bildung weit stärker belastet als bei idealen Betriebsbedingungen. Zusammengefasst gilt folgendes:

- Das Motorenöl muss so oft gewechselt werden, dass alle dem Verschleiss unterworfenen Motorenteile, sofern sie mit dem Motorenöl in Berührung kommen, wenigstens 200'000 km ohne Funktionsstörungen ihren Dienst tun.
- Das Motorenöl muss so oft gewechselt werden, dass die Gesamtverschmutzung im Motor, im Filter und im Öl in zufriedenstellenden Grenzen bleibt.

Ein Motorenöl, das nie gewechselt wird, kann die von ihm verlangten Aufgaben nicht unbeschränkt erfüllen, da die im Öl enthaltenen Additive abgebaut werden und dadurch ihre Leistung verlieren. Folgen sind erhöhter Verschleiss und starke Verschlammung, was zu einer verminderten Leistung des Motors in seinem weiteren Leben führen wird.

■ Ölverbrauch

Jeder Motor verbraucht Öl - auch moderne schadstoffarme und treibstoffsparende Triebwerke - eine Tatsache, die unvermeidbar ist und sowohl in der Konstruktion der Motoren als auch in der Schmierstofftechnik begründet liegt. Ein geringer Ölverbrauch ist immer

vorhanden. Bei modernen Motoren liegt der Ölverbrauch heute in der Regel bei < 0,5 L pro 1000 km. Der Ölverbrauch eines Motors hängt von folgenden Faktoren ab:

- Passung der Kolbenringe in den Kolbenringnuten
- Form und Anpressdruck der Kolbenringe
- Dichtheit der Ventilführungen
- Öldichtheit des Motors nach aussen
- Verdampfungsverlust des Motorenöls bei hoher Öltemperatur

■ **Verdampfungsverlust des Motorenöls bei hoher Temperatur**

Der Verdampfungsverlust eines Motorenöls hängt eng mit der Viskosität und der Qualität des eingesetzten Grundöls zusammen. Allgemein gilt:

- Je dünner das Grundöl ist, um so höher ist der Verdampfungsverlust bei Betriebstemperatur des Motors.

Allerdings haben Hydrocracköle und insbesondere synthetische Kohlenwasserstoffe bei gleicher Viskosität deutlich niedrigere Verdampfungsverluste als die konventionellen Mineralöl-Raffinate.

■ **Motorenöl-Verdünnung**

Beim Start eines kalten Ottomotors verdampft nur ein kleiner Teil des Benzins - die sogenannten „Leichtsieder“ - in der Ansaugluft. Dies kann zu Kaltstartproblemen führen, da das Kraftstoff-Luft-Gemisch nun zu mager ist. Deshalb haben alle Ottomotoren Kaltstarthilfen, entweder manuell betätigt und allgemein „Choke“ genannt oder elektrisch bzw. elektronisch gesteuert („Startautomatik“). Diese Regelorgane führen dem kalten Motor je nach Temperatur eine zusätzliche Menge Benzin zu, so dass überhaupt ein zündfähiges Kraftstoff-Luft-Gemisch entstehen kann. Nicht verdampftes Benzin verlässt grösstenteils als unverbrannter Kohlenwasserstoff den Auspuff. Ein kleiner Teil kondensiert an den noch kalten Zylinderwänden und kann dort den Schmierfilm zum Teil abwaschen. Bei Motoren mit häufigen Kaltstarts kann es zu erheblicher Motorenölverdünnung kommen. Das vermindert die Viskosität und die Schmierfähigkeit des Motorenöls, erhöhter Verschleiss kann die Folge sein.

Auch wird ein vorhandener normaler Motorenölverbrauch durch das Ansammeln von Benzin im Motorenöl überdeckt. Erreicht das Motorenöl dann wieder Betriebstemperatur, was aber erst nach ca. 15 bis 20 km Fahrt der Fall ist, so dampft das Benzin grösstenteils aus dem Motorenöl wieder aus. Das geschieht jedoch sehr langsam, nach etwa 2 Stunden Fahrt sind allenfalls 80 bis 85 % des Benzins ausgedampft. Die höhersiedenden Benzinanteile verbleiben im Motorenöl.

Wird der Motor während der Ausdampfphase durch forcierte Fahrweise höher belastet, sind oft Lagerschäden die Folge, wofür es zunächst keine einleuchtende Erklärung gibt. Auch kann wegen des Ausdampfens des Benzinanteils aus dem Motorenöl plötzlich ein sprunghaft erhöhter vermeintlicher Ölverbrauch auftreten, der in Extremfällen Mangel-schmierung zur Folge hat. Benzinanteile von 5 Vol.-% im Motorenöl sind bei Ottomotoren häufig anzutreffen; aber auch Werte von 10 Vol.-% und mehr sind bei ungünstigen Betriebsbedingungen keine Seltenheit. Das erklärt, warum das Gebrauchtöl aus Benzinmoto-

ren oft eine niedrigere Viskosität als das Frischöl aufweist. Das ist jedoch nicht einer mangelhaften Motorenölqualität anzulasten, sondern den ungünstigen Betriebsbedingungen.

■ **Motorenöl-Eindickung**

Sie tritt überwiegend in Dieselmotoren durch Russaufnahme des Motorenöles, aber auch in Ottomotoren bei extremer thermischer Belastung auf.

Im Dieselmotor liegt das am Verbrennungsablauf, der wiederum vom Einspritzverfahren, der Motorbelastung und dem mechanischen Zustand der Einspritzanlage abhängt. Während der Russ vorwiegend über den Auspuff den Motor verlässt, gelangt mit dem Durchblasegas ein geringer Teil Russ in die Ölwanne und kann hier zur Motorenöleindickung führen. Diese sorgt insbesondere in der kalten Jahreszeit für Kaltstartschwierigkeiten und macht einen Zwischenölwechsel erforderlich. Gebrauchttöl aus Dieselmotoren hat im Regelfall eine höhere Viskosität als das Frischöl.

In Ottomotoren kann dagegen bei thermischer Ueberlastung des Motorenöls (lang anhaltende forcierte Fahrt bei geringem Öfüllstand, defektbedingte Überhitzung) eine thermisch-oxidative Alterung zur Eindickung des Motorenöls führen.

Ein Kühlmittelzutritt (Wasser und Kühlerfrostschutz) zum Motorenöl bei einem undichten Motorkühlsystem kann ebenfalls zur Eindickung des Motorenöls - bis hin zum Motorschaden - führen.

■ **Motorenöl-Verschlammung**

Seit Anfang der 80er Jahre wird in Ottomotoren eine Entwicklung beobachtet, die eine Verschlammung - besonders von Ventildeck und Ölwanne - hervorruft und die man als „Schwarzschlamm“ bezeichnet. Besonders kritisch wird es, wenn der Schlamm das Ölsieb der Ölpumpe und die Ölleitungen ganz oder teilweise zusetzt. Der Motor kann dann durch Mangelschmierung zerstört werden.

Automobilhersteller und Mineralölindustrie haben lange Zeit gemeinsam nach den Ursachen für dieses Phänomen gesucht. Aus heutiger Sicht können die auslösenden Faktoren wie folgt beschrieben werden:

- Durch extrem verlängerte Motorenöl-Wechselintervalle bei unveränderter oder sogar verringerter Füllmenge wird das Motorenöl spezifisch stärker belastet.
- Der Motorenöl-Verbrauch wurde deutlich abgesenkt. Dies führt häufig dazu, dass das Motorenöl während des bereits extrem langen Wechselintervalls kaum noch durch Nachfüllmengen aufgefrischt wird, obwohl gegen Ende des Intervalls dazu eine dringende Notwendigkeit besteht.
- Treibstoff und zu einem geringen Teil auch Motorenöl werden im Brennraum verbrannt. Die Reaktionsprodukte aus der Verbrennung gelangen mit dem Durchblasegas in das Motorenöl und belasten es zusätzlich, wenn ungeeignete Komponenten aus den Betriebsstoffen mitverbrennen.
- Moderne Motoren sind Magerkonzepte, bei denen zwar der Kohlenmonoxid-Gehalt im Abgas drastisch reduziert wird, allerdings zwangsläufig der Anteil an Stickoxiden im Abgas und im Durchblasegas sich erhöht. Die Stickoxide gelangen zusammen mit anderen Reaktionsprodukten aus der Verbrennung mit dem Durchblasegas ins Kurbelgehäuse. Dort kommen sie mit dem Motorenöl in innige

Berührung und können mit ihm reagieren. Es bilden sich zusätzlich ö unlösliche Oxidationsprodukte sowie organische Nitrate. Letztere können zusammen mit dem Verbrennungswasser Salpetersäure bilden, was wiederum zur vorzeitigen Erschöpfung der alkalischen Reserve der Motorenöle führen kann.

Alle Faktoren zusammen können das Motorenöl derart überlasten, dass ö unlösliche Reaktionsprodukte in Form von Schlamm im Motor ausfallen können.

■ Sulfataschegehalt

Die meisten Additive enthalten zwar hoch wirksame sogenannte metallorganische Verbindungen, die aber im Bereich des Brennraumes durch die hier herrschenden Temperaturen zu Asche umgesetzt werden. Diese Asche kann sich sowohl auf dem Kolbenboden als auch im Zylinderkopf absetzen und im Betrieb mehr oder weniger stark glühen. Im Dieselmotor stört das nicht, im Ottomotor aber kann es zu Glühzündungen kommen und damit zu Motorschäden führen. Daher ist in den ACEA-Testsequenzen der Sulfataschegehalt für Benzinmotorenöle auf 1,5 Massen-% begrenzt.

■ Spiegelflächenbildung (Bore Polishing)

Die Entwicklung von Dieselmotoren hoher Leistung unter voller Ausnutzung der durch Turbolader gegebenen Möglichkeiten der Leistungssteigerung verlangt qualitativ entsprechend angepasste Motorenöle. Moderne Dieselmotoren sollen eine sehr lange Lebensdauer unter hohen Belastungen bei sehr langen Motorenöl-Wechselintervallen erreichen.

Anfang der 70er Jahre wurde erstmalig in Nordeuropa Spiegelflächenbildung auf Zylinderlaufflächen von hochaufgeladenen Dieselmotoren in Nutzfahrzeugen beobachtet. Hierbei handelt es sich um eine Verschleisserscheinung an der Zylinderwandung mit glatter, spiegelnder Oberfläche (daher Spiegelflächenbildung). Die ausserordentlich glatt wirkende Oberfläche weist eine sehr geringe Rauigkeit auf und täuscht wegen des Fehlens von Bearbeitungsspuren eine sehr gut eingelaufene Oberfläche vor. In Wirklichkeit aber ist es ungleichmässiger Glättungsverschleiss der Zylinderlaufbahn, verursacht durch die schleifende Wirkung von Ölkohleablagerungen an der Kolbenkrone. Auch Ölkohleablagerungen im Nutengrund, die zu „Kolbenringreiten“ führen, können Spiegelflächenbildung hervorrufen. Als Folge davon steigt zunächst der Durchblasegas-Anteil an. Der schnell steigende Motorenöl-Verbrauch verursacht Mangelschmierung, die auch zu Kolbenfressern führen kann.

Die für die Spiegelflächenbildung verantwortliche Ölkohlebildung im Feuersteg- und Nutengrundbereich kann durch besonders hoch- und speziallegierte Motorenöle verhindert bzw. stark eingeschränkt werden. Solche Motorenöle werden als SHPD-Öle bezeichnet.

■ Motorenöl-Filtrierung

Verschleisspartikel, Russ aus unvollkommener Verbrennung, Strassenstaub, saure Verbrennungsprodukte, Treibstoffkondensate und Wasser verunreinigen das Motorenöl. Es ist wichtig, zumindest die festen Bestandteile aus dem umlaufenden Motorenöl herauszufiltrieren, damit sie nicht den Verschleiss erhöhen oder die Ölleitungen verstopfen. Hauptstrom-Ölfiler filtrieren zuverlässig bei warmem Motor ständig das gesamte Motorenöl. Dieses System findet man deshalb heute an jedem modernen Verbrennungsmotor. Die übliche Porengrösse dieser Filter liegt bei 5-35 μm . Während des Betriebes werden alle festen Verunreinigungen, die grösser als die Poren des Filterpapiers sind, aus dem Motorenöl herausfiltriert. Sie setzen sich dabei langsam zu, wobei die Filtergrösse (Filterpapier-Oberfläche) der Länge der Motorenöl-Wechselintervalle angepasst ist. Diese Filter sind meist direkt am Motor angebaut und während des Betriebes hoher thermischer Belastung ausgesetzt. Das kann wiederum zum Verspröden des Filterpapiers und zur Gefahr von Rissbildung führen. Aus den vorgenannten Gründen dürfen daher die zulässigen Ölfiler-Wechselintervalle nicht überschritten werden, weil sonst wegen der nicht herausfiltrierten Fremdstoffe gravierende Motorschäden eintreten können.

Bei Nebenstrom-Ölfilern, wie sie oft auf dem Zubehörmarkt für den nachträglichen Einbau angeboten werden, wird nur ein Teilstrom von 5-10 % der Motorenöl-Umlaufmenge pro Umwälzung filtriert. Sie sind meist weiter vom Motor weg eingebaut, daher werden sie thermisch nicht so hoch belastet wie Hauptstrom-Ölfiler. Wegen der höheren Viskosität des kalten Motorenöls und des hohen Durchflusswiderstandes des Filters sind sie jedoch über längere Phasen praktisch wirkungslos. Die Porengrösse dieses Filtertyps liegt bei 5-10 μm und sie ermöglichen eine feinere Ölfiltrierung als Hauptstrom-Ölfiler. Ausserdem vergrössern Nebenstrom-Ölfiler das Ölvolument eines Motors je nach Filterbauart bis zum Doppelten. Deshalb wird das Motorenöl allgemein geringer belastet, und es bleibt kühler. Aus den vorgenannten Gründen kann in Nutzfahrzeug-Dieselmotoren bei nachträglichem Einbau von Nebenstrom-Ölfilern eine gewisse Verlängerung der Motorenöl-Wechselintervalle erreicht werden, da die Motorenöl-Verschmutzung durch verbesserte Filtrierung geringer sein kann. Dies sollte aber unbedingt mit dem Fahrzeughersteller abgestimmt werden.

In Benzin- und Dieselmotoren ist jedoch die Additiv-Erschöpfung des Motorenöls der entscheidende Faktor für die Länge eines Ölwechselintervalls. Additiv-Erschöpfung und Anwesenheit von aggressiven Verbrennungsprodukten kann von Nebenstromfiltern nicht beeinflusst werden.

Ein Motorenölfilter, gleichgültig ob im Haupt- oder Nebenstrom angeordnet, kann nie:

- die verbrauchten Additive des Motorenöls ersetzen,
- Treibstoffkondensat herausfiltrieren,
- Wasser und Säuren herausfiltrieren. Beide führen zum Aufquellen des Filterpapiers. Das behindert den Öldurchfluss und verkleinert die wirksame Filteroberfläche.

Ein grosser deutscher Automobilhersteller nimmt zum Thema Nebenstromfilter auszugsweise wie folgt Stellung:

„Insbesondere können wir auch bei Einbau einer Zusatzfilteranlage einer Verlängerung der Ölwechselintervalle nicht zustimmen, da die Additivwirksamkeit bzw. das Leistungsvermögen der Additive im Öl dadurch nicht verbessert wird. Eine Kosteneinsparung ist durch einen zusätzlich eingebauten Nebenstrom-Ölfilter nicht möglich. Die Werbung von Hersteller und Lieferanten von Zusatzfilteranlagen mit extrem langen Ölwechselabständen beim Einbau ihrer Zusatzfilteranlagen halten wir für sehr bedenklich.“

Vom Einsatz von zusätzlichen Filtern in Benzin- und Dieselmotoren mit dem Ziel einer Verlängerung des Ölwechselintervalls ist daher abzuraten.

■ **Motorenöl-Zusatzmittel**

Im Handel gibt es die verschiedensten Zusatzmittel für Motorenöle. Mineralölfirmer bieten in ihrem Verkaufsprogramm solche Mittel jedoch nicht an.

Der schon im vorigen Abschnitt zitierte Automobilhersteller nimmt hierzu auszugsweise wie folgt Stellung:

„Zur Herstellung hochwertiger Schmierstoffe sind langwierige und kostspielige Versuche im Labor, auf Prüfständen und in Fahrzeugen notwendig, um die Wirkungsmechanismen der Additive zu erproben und die günstigsten Kombinationen der Grundöle und Additive zu ermitteln. Wir sind daher der Ansicht, dass es ausschliesslich Aufgabe der Schmierstoffindustrie ist, in Zusammenarbeit mit der Kraftfahrzeugindustrie Schmieröle bester Qualität zu entwickeln und diese auf den Markt zu bringen.“

Die Praxis hat gezeigt, dass der Verbraucher nur selten aus eigener Erfahrung einwandfrei erkennen und beurteilen kann, ob und wie ein Sonderzusatz wirkt, und ob er etwa bestimmte Qualitäten des Schmierstoffes teilweise oder ganz aufhebt.“

Motorenöle von Marken Anbietern werden so entwickelt, dass eine Verwendung von weiteren Zusätzen nicht nötig ist und nur stören würde. Nachteilige qualitative Veränderungen in der sehr fein abgestimmten Additivrezeptur können durchaus die Folge sein. Eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit eines Motorenöls ist durch unkontrollierte Zugaben teilweise unbekannter Substanzen nicht zu erreichen.

■ **Warum Synthese- und nicht Mineralöl**

Synthetische Motorenöle leisten mehr - ihr Einsatz ist vorteilhaft, zeitgemäss und wird vermehrt von den Motorenherstellern gefordert um den Anforderungen an verlängerte Ölwechselintervalle gerecht zu werden. Beachtung verdienen insbesondere synthetische Leichtlauföle der SAE-Klassen 0W-X und 5W-X (z.Bsp. SAE 0W-30 und SAE 5W-40).

Die Synthesöle bestehen aus gezielt zusammengesetzten Molekülstrukturen (siehe auch Kapitel 3) welche beispielsweise synthetischen Leichtlaufmotorenölen deutliche Vorteile gegenüber mineralölbasischen Motorenölen verschaffen. Dies sei anhand der Zusammenstellung auf der nächsten Seite verdeutlicht.

Synthetische Flüssigkeiten weisen gegenüber Mineralölen die folgenden vorteilhaften Eigenschaften auf :

(1)	Besseres Fließverhalten innerhalb des Temperatureinsatzbereiches (synthetische Öle dünnen mit zunehmender Temperatur weniger aus)
(2)	Besseres Kältefließverhalten
(3)	Höhere Alterungsstabilität
(4)	Geringere Flüchtigkeit und Verdampfungsneigung
(5)	Höhere Produktstabilität bei hohen Temperaturen
(6)	Bessere reibungsvermindernde Eigenschaften verbunden mit sehr hohem Druckaufnahmevermögen (Ester)
(7)	Höhere Ölfilmstärke (höhere Viskosität bei hohen Temperaturen)
(8)	Besseres Ansprechverhalten der Additive (gezielte Additivierung möglich, abgestimmt auf den Typ der Basisflüssigkeit)

Aus diesen Eigenschaften ergeben sich eine Reihe überzeugender Argumente, welche die Vorteile beim Einsatz synthetischer Motorenöle verdeutlichen.

(1)(2)	Problemloser Kaltstart bei allen Temperaturen, auch weiter unter 0°C - spürbar weicherer Lauf der Motoren
(1)(2)(5)	Schnellere Versorgung der Motorenbauteile nach dem Start - messbar geringerer Verschleiss
(1)(2)(6)	Messbare Treibstoffeinsparung bei allen Betriebsbedingungen
(4)	Kein feststellbarer Ölverbrauch - reduzierte Ölnachfüllmengen
(3)(5)	Höherer Schutz vor Ablagerungen bei hohen Temperaturen - lange Lebensdauer der Motoren (Blueprint condition)
(5)(6)(7)	Höhere Schmierreserven im Hochtemperaturbereich - optimaler Verschleisschutz auch unter kritischen Bedingungen
(3)(8)	Verbesserte Prävention gegen Schlamm- und Sinterbildung bei ungünstigen Betriebsbedingungen
(3)(5)(8)	Höhere Leistungsreserven speziell bei verlängerten Ölwechselintervallen

7. Motorenöle für Zweitaktmotoren

7.1 Einleitung

Der Zweitaktmotor nimmt schmierungstechnisch eine Sonderstellung ein. Ein Ölsumpf - wie im Viertaktmotor - ist hier nicht vorhanden, daher kann nicht durch eine normale Ölpumpe unter Druck Motorenöl an die Lager geführt werden. Also wird das Motorenöl entweder dem Treibstoff zugemischt (Getrenntschmierung) oder über eine Öldosierpumpe in das Treibstoff-Luft-Gemisch eingespritzt (Frischölschmierung). Im Kurbelgehäuse trennt es sich vom vergasenden Treibstoff und schmiert als Ölnebel Lager, Kolben, Kolbenringe und Zylinder. So lassen sich zwar die Zylinderlauflächen bzw. die Kolben und Kolbenringe zuverlässig schmieren, in den Lagern aber kann kaum eine hydrodynamische Schmierung aufgebaut werden. Deshalb verwendet man in Zweitaktmotoren auch keine Gleitlager, sondern Wälzlager, die einen geringeren Ölbedarf haben. Der Ölnebel kann dort eindringen und reicht zur Schmierung aus.

Die Haupteinsatzbereiche für Zweitaktmotoren sind heute Zweiräder (Motorräder, Mopeds, Scooter), Boots-Aussenbordmotoren, Kettensägen und Gartengeräte wie beispielsweise Rasenmäher. Zum Betrieb eines Zweitaktaggregates sind ganz spezielle Öle erforderlich.

7.2 Aufgaben

Die Aufgaben und Anforderungen die an ein Zweitakt-Motorenöl gestellt werden sind aus Bild 16 ersichtlich.

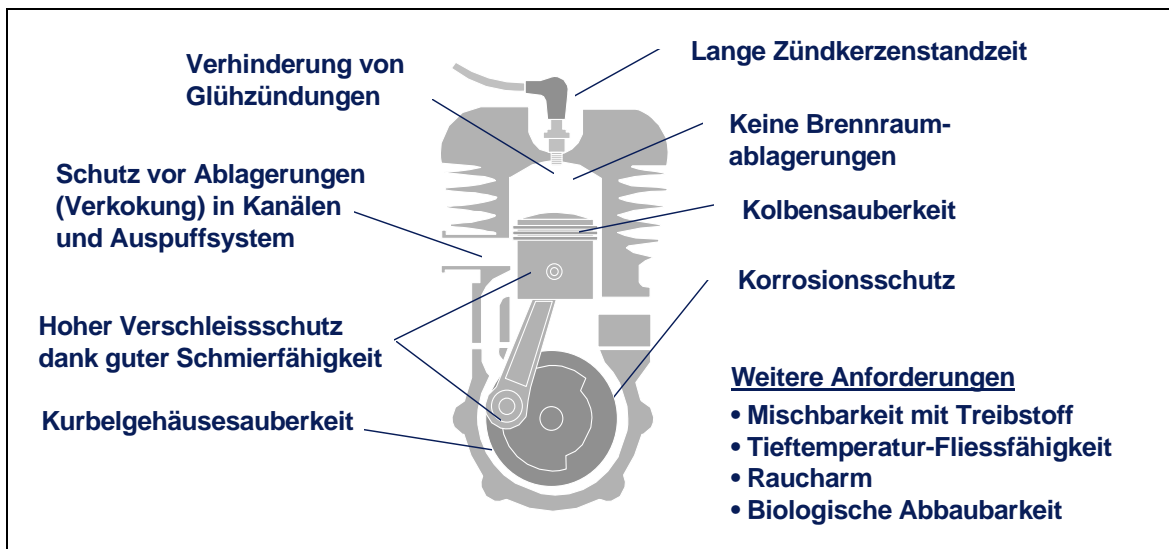


Bild 16 : Aufgaben / Anforderungen an ein Zweitakt-Motorenöl

7.3 Aufbau

Als Grundöle werden hauptsächlich Mineralöl-Raffinate eingesetzt. Für qualitativ hochwertige Zweitaktöle wird aber auch auf synthetische Grundflüssigkeiten wie Polyalphaolefine und Ester zurückgegriffen. Für modernste, raucharme Formulierungen werden zusätzlich Polybutene verwendet. Bei biologisch schnell abbaubaren Zweitaktmotorenölen für Ausenbordmotoren (über 80% nach CEC-Methode L-33-A-93) gelangen ausschliesslich synthetische Ester zum Einsatz.

Als Additive werden hauptsächlich Detergents, Dispersants und Korrosionsschutz- / Rostschutzadditive verwendet.

7.4 Viskositätsklassen

Viskositätsvorschriften für Zweitaktmotorenöle gibt es nicht. Meistens sind es Öle der SAE-Klassen 20, 30 oder 40.

7.5 Leistungsklassen

Ähnlich wie bei den Viertakt-Motorenölen gibt es auch in diesem Bereich verschiedene, genormte motorische Prüfläufe, um die Performance dieser Schmierstoffe zu bewerten.

Bis vor kurzem wurden ebenfalls API-Klassen zur Beurteilung des Leistungsvermögens von Zweitakt-Motorenölen herangezogen. Dieses System wurde jedoch durch die JASO-Spezifikation abgelöst. JASO ist die Abkürzung für „Japanese Automotive Standards Organisation“, ihr gehören alle wichtigen japanischen Motorenhersteller an. Die JASO-Spezifikation wurde für luft- und wassergekühlte Zweitaktmotoren in Motorrädern entwickelt. Es werden folgende Kriterien beurteilt :

- **Schmierfähigkeit** (Kolben- und Ringverschleiss, Kaltstartverhalten)
- **Detergierverhalten** (Sauberkeit von Kolben, Ringnut, Brennraum, Zündkerzen, kein Ringstecken)
- **Blockierung des Auspuffsystems** (Aufbau von Kohle)
- **Auspuffrauch** (Verhinderung der Rauchbildung)

Zusätzlich zu den JASO-Klassen haben die europäischen Zweitaktmotoren-Hersteller eine globale ISO-Spezifikation erarbeitet, da das motorische Leistungsvermögen der JASO-Klassen für anspruchsvolle Zweitaktmotoren, wie sie z.B. in Kettensägen eingesetzt werden, nicht genügt. Es gibt drei je JASO- und ISO-Kategorien für Zweitaktmotorenöle, wie sie in Tabelle 13 zusammengestellt sind.

JASO-Kategorie	Global-Kategorie	Anforderung
FA		leicht
FB	EGB	mittel
FC	EGC	hoch + raucharm
	EGD	sehr hoch + raucharm

Tabelle 13: Leistungsklassen von Zweitaktölen

Für Aussenbordmotorenöle haben weder JASO- noch ISO-Klassen ihre Gültigkeit. Diese werden in der Spezifikation NMMA Recertified TC-W3 beschrieben, da an diese Öle infolge der hohen Leistungsdichte der Aussenbordmotoren spezielle Anforderungen gestellt werden. Die motorischen Prüfverfahren sind hierauf genau abgestimmt. Die NMMA ist die Abkürzung für „National Marine Manufacturers Association“, die Vereinigung amerikanischer Hersteller von Marinemotoren.

8. Fahrzeug-Getriebeöle

8.1 Einleitung

Getriebe im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen sollen zwischen der Motordrehzahl und der Raddrehzahl optimale Anpassungsverhältnisse ermöglichen. Dies wird erreicht durch Schalt- oder Automatikgetriebe und Achsantriebe. Bei längs eingebauten Motoren muss ausserdem der Kraftfluss um 90° umgelenkt werden. Dies wird erreicht durch Teller- und Kegelrad im Achsgetriebe. Ausgleichsgetriebe oder Differential (in den Achsantrieb integriert) gleichen unterschiedliche Raddrehzahlen bei Kurvenfahrt aus.

8.2 Aufgaben

- **Schmierung** von aufeinander gleitenden / abrollenden Teilen
- **Kühlung** durch Wärmeabfuhr zum Getriebegehäuse
- **Kraftübertragung** an den Zahnflanken
- **Korrosionsschutz**
- **Hydraulische Steuerung** der Schaltvorgänge (bei Automatikgetriebeölen)

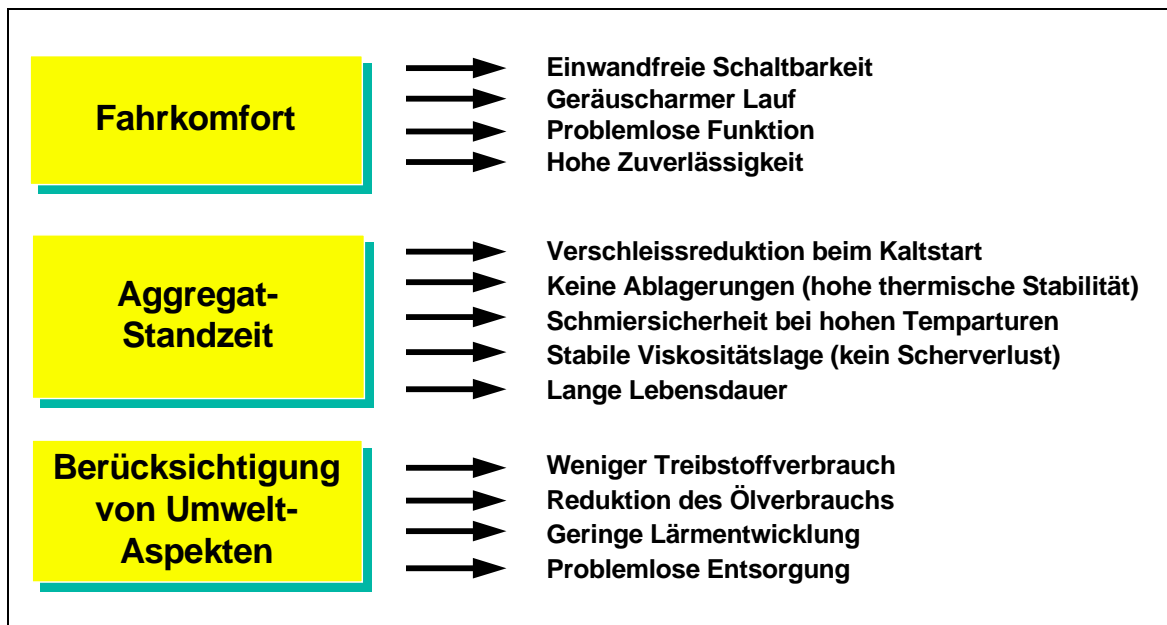


Bild 17: Anforderungen an Schalt- und Achsgetriebeöle

8.3 Anforderungen an Schalt- und Achsgetriebeöle

Die Anforderungen an Getriebeöle kann man unter den Begriffen Fahrkomfort, Aggregat-Standzeit und der Berücksichtigung von Umweltaspekten zusammenfassen. Daraus ergeben sich die einzelnen Kriterien, welche für die einwandfreie Funktion eines Getriebes notwendig sind (Bild 17).

8.4 Anforderungen an Automatikgetriebeöle (Automatic Transmission Fluids, ATF)

Bedingt durch ihre Verwendung stellen sich für die ATF's ganz spezifische Anforderungen, welche sich gemäss den Spezifikationen General Motors Dexron und Ford Mercon wie folgt ableiten lassen:

- **Hohe Reibwertkonstanz** über die gesamte Verweilzeit für optimales Schalten
- **Exzellente Alterungsstabilität** für lange Ölwechselintervalle
- **Gutes Viskositäts-Temperatur-Verhalten**, um eine einwandfreie Funktion bei heissem und kalten Zustand zu gewährleisten
- **Genügende Dichtungsverträglichkeit** mit verschiedenen Elastomeren, damit diese weder quellen noch schrumpfen oder verspröden

8.5 Aufbau

Als Basisflüssigkeiten können Mineralöl-Raffinate, Hydrocracköle oder Syntheseflüssigkeiten, seien es nun Polyalphaolefine oder Ester verwendet werden. In Einzelfällen gelangen auch Polyglykole zum Einsatz, die aber den grossen Nachteil haben, dass sie mit den andern genannten Basisflüssigkeiten nicht mischbar sind.

Um ein genügendes Leistungsvermögen zu erzielen, müssen auch die Getriebeöle, je nach Qualitätsansprüchen, optimal additiviert werden. Der Unterschied zu den Motorenölen bei der Auswahl betrifft vor allem die Hochdruck- (Extreme-Pressure-) Additive, welche in Motorenölen kaum oder nur in sehr geringen Mengen vorhanden sind. Auf der anderen Seite fehlen dafür bei den Getriebeölen die Detergent / Dispersant - Additive.

Die Viskosität eines Getriebeöles richtet sich im allgemeinen nach dem Einsatz. Die niedrigste Viskosität weisen die Automatikgetriebeöle auf (vergleichbar etwa 70W), gefolgt von den Schaltgetriebeölen, während die Hinterachsgetriebeöle bei Betriebstemperatur deutlich höher viskos sind.

8.6 Leistungsklassen

Das Leistungsvermögen von Fahrzeug-Getriebeölen wird durch die API-Klassifikation beschrieben (Tabelle 14). Die europäischen Hersteller konnten sich bisher noch nicht auf eine gemeinsame Leistungsbeschreibung einigen, und so existieren denn in diesem Bereich auch wieder verschiedene Hausspezifikationen so u.a. von Ford, MAN, Mercedes-Benz, Volkswagen, Volvo und ZF.

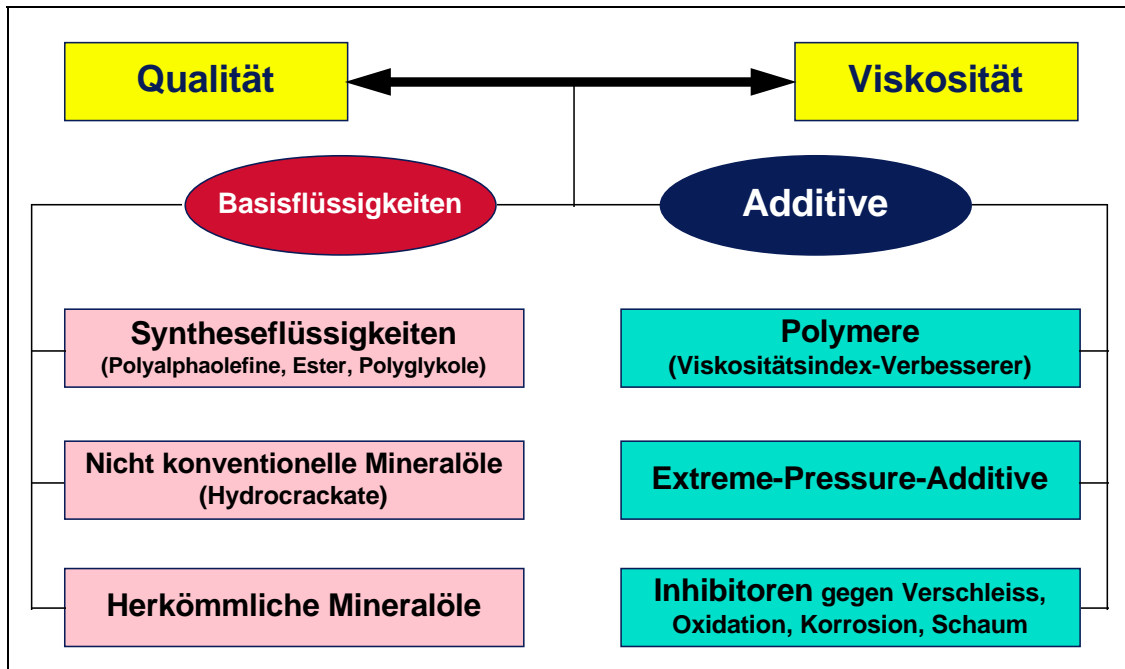


Bild 18 : Schematischer Aufbau von Getriebeölen

API-Klasse	Einsatzbedingungen	Einsatzart	Additivierung
GL-1	leicht	Gering belastete Schaltgetriebe	unlegiert
GL-2	mittel	Industriegetriebe und Schneckengetriebe	speziell
GL-3	mittel	Normal belastete Schaltgetriebe	mild EP
GL-4	mittel bis schwer	Hoch belastete Schaltgetriebe Gering belastete Hypoidgetriebe	mässig EP
GL-5	schwer	Hoch belastete Hypoidgetriebe Schaltgetriebe wenn vorgeschrieben oder zugelassen	stark EP

Tabelle 14 : API-Leistungsklassen

9. Bremsflüssigkeiten

9.1 Einleitung

Der Arbeitsweise des Bremssystems liegt das Prinzip der Druckübertragung durch ein flüssiges Medium zugrunde. Das Medium heisst „hydraulische Bremsflüssigkeit“. Die Bremsflüssigkeit ist die einzige wirksame Verbindung zwischen dem Fuss auf dem Bremspedal in einem Fahrzeug und dem Bremsaggregat an jedem Rad.

9.2 Aufgaben

Die Bremsflüssigkeit übernimmt die Übertragung der in den Hauptbremszylinder eingeleiteten Kräfte auf den Radbremszylinder bzw. die Bremssättel. Die Bremsflüssigkeit ist ein wichtiges Konstruktionselement für das Kraftfahrzeug, und ihre Eigenschaften sind für die Auslegung der Bremsanlage von wesentlicher Bedeutung. Sie muss deshalb eine Vielzahl von Forderungen erfüllen, wenn sie sich in der Praxis bewähren soll.

9.3 Anforderungen

Die folgende Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es sind diejenigen Punkte erwähnt, die dem Anwender im praktischen Betrieb als besonders wichtig auffallen.

- **Siedepunkt**

Der Siedepunkt sollte möglichst hoch sein, um bei den im Bremssystem auftretenden Temperaturen Dampfblasenbildung - und damit den Ausfall der Bremse - zu verhindern. Der Siedepunkt sollte über die Gebrauchsdauer der im System befindlichen Flüssigkeit möglichst konstant bleiben, d.h. durch atmosphärische Einflüsse bzw. die herrschenden Betriebsbedingungen nicht verändert werden.

- **Viskosität**

Die Viskosität sollte in der Kälte möglichst gering und in der Wärme möglichst hoch sein. Es ist also ein möglichst günstiges Viskositäts-Temperatur-Verhalten (hoher Viskositätsindex) gefordert.

- **Korrosionsschutz**

Ein guter Korrosionsschutz gegenüber den metallischen Bauteilen der Bremsanlage ist besonders wichtig, da deren Lebensdauer dadurch entscheidend beeinflusst wird.

- **Schmiereigenschaften**

Gute Schmiereigenschaften sind notwendig, um die im Bremssystem gegeneinander bewegten Teile - insbesondere Dichtungen - vor Verschleiss zu schützen.

- **Elastomerverträglichkeit**

Eine definierte Wechselwirkung mit den Elastomerteilen in der Bremsanlage ist gefordert, die unter dem Einfluss der Bremsflüssigkeit (insbesondere bei Langzeitwirkung) nur wenig quellen, unter keinen Umständen aber schrumpfen dürfen.

- **Kompressibilität**

Die Kompressibilität sollte gering und möglichst wenig temperatur- und druckabhängig sein.

- **Oxidationsstabilität**

Die Bremsflüssigkeit sollte bei allen im Bremssystem herrschenden Temperaturen und Einflüssen nicht altern, nicht verdampfen und möglichst stabil bleiben.

9.4 Aufbau

Die chemische Zusammensetzung einer Bremsflüssigkeit muss so gewählt werden, dass optimale Leistung und Sicherheit gewährleistet sind. Art und Menge der verschiedenen Komponenten bestimmen die gewünschten Eigenschaften einer Flüssigkeit.

9.4.1 Basisflüssigkeiten

Weltweit haben sich vier Stoffgruppen etabliert, welche zur Herstellung von Bremsflüssigkeiten herangezogen werden und in erster Linie als Schmiermittel dienen. Dazu gehören :

- Polyglykolether mit /ohne Boratester
- Mineralöle
- Siliziumester
- Silikonöle

Weitaus den grössten Anteil am Weltmarkt besitzen die Bremsflüssigkeiten auf Basis von Polyglykolethern und deren Abkömmlinge, den Boratestern. Einzelne Bremssysteme verlangen immer noch Mineralöle. Die Siliziumester werden dank ihres hohen Siedepunktes vorwiegend im Rennsport eingesetzt. Die Verbreitung von Silikonölen beschränkt sich hauptsächlich auf die USA, wo diese Produkte in vielen Militärfahrzeugen eingesetzt werden.

Zur Herstellung der Polyglykolether-Bremsflüssigkeiten werden noch die folgenden drei Komponenten eingesetzt :

9.4.2 Lösungsmittel-Verdünner

Ein Bremssystem, welches nur Polyglykolether mit oder ohne Boratester enthielte, würde bei tiefen Temperaturen wegen der zu hohen Viskosität nicht mehr funktionieren. Deshalb ist es notwendig, das Schmiermittel mit einem niederviskosen Produkt zu verdünnen. Dieses Verdünnungsmittel muss zudem alle weiteren Komponenten auflösen, so dass bei allen Temperaturen ein Einphasensystem gegeben ist. Glykolether sind die meistverwendeten Lösungsmittelverdünner.

9.4.3 Modifiziermittel

Wie bereits in Kapitel 8.3 erwähnt, ist ein bestimmtes Mass an Gummiquellung notwendig. Da der Lösungsmittel-Verdünner eine ausgesprochene Neigung zur Gummiquellung besitzt, müssen Modifiziermittel beigegeben werden, um diese Erscheinung zu kontrollieren. Zu diesem Zweck werden Glykole eingesetzt. Glykole können auch als Lösungsvermittler bezeichnet werden, weil sie die Auflösung von Inhibitoren (siehe unten) erleichtern, als Lösungsmittel für das Schmiermittel wirken und die Wasserverträglichkeit der Bremsflüssigkeit verbessern.

9.4.4 Inhibitoren

In einer Bremsflüssigkeit müssen diese Inhibitoren nicht nur die Korrosion der Metalle im Bremssystem, sondern auch die Oxidation der Bremsflüssigkeit selbst verhindern. Für eine langfristig zufriedenstellende Leistung und Stabilität im hydraulischen Bremssystem sind beide Typen von Inhibitoren unerlässlich.

9.5 Spezifikationen

Zur Beschreibung der synthetischen Bremsflüssigkeiten und der Silikonöle gibt es verschiedene Spezifikationen, welche alle von der amerikanischen SAE-Norm J 1703 abgeleitet sind. Das Department of Transport (DOT) der USA hat eine Bundesnorm herausgegeben, worin die Mindestleistung von Bremsflüssigkeiten, deren Verpackung und auch die Beschriftung der Behälter vorgeschrieben sind. Diese Bundesnorm heisst „Federal Motor Vehicle Safety Standard 116“ und erlaubt den Gebrauch der folgenden synthetischen Bremsflüssigkeiten und Silikonöle :

- DOT 3 Basis Polyglykoether
- DOT 4 Basis Polyglykoether / Boratester oder Siliziumester
- DOT 5 Silikonöle
- DOT 5.1 Basis Polyglykoether / Boratester oder Siliziumester

Sowohl die SAE-Vorschriften wie auch die verschiedenen DOT-Spezifikationen enthalten die verschiedenen Anforderungen und Prüfmethode, welche an die Bremsflüssigkeiten gestellt werden. Die Unterscheidungsmerkmale der drei synthetischen Bremsflüssigkeiten auf Polyglykoetherbasis sind in Tabelle 15 zusammengestellt.

Anforderung / Spezifikation	DOT 3	DOT 4	DOT 5.1
Trocken-Siedepunkt (°C)	min. 205	min. 230	min. 260
Nass-Siedepunkt (°C)	min. 140	min. 155	min. 180
Viskosität bei -40°C (mm ² /s)	max. 1500	max. 1800	max. 900

Tabelle 15 : Unterscheidungsmerkmale von Bremsflüssigkeiten

Mindestanforderungen / Spezifikationen für mineralölbasische Bremsflüssigkeiten werden von den jeweiligen Fahrzeugherstellern, z.B. Citroen, Jaguar, Rolls Royce, herausgegeben.

9.6 Praxishinweise

■ Mischbarkeit

Bremsflüssigkeiten DOT 3, 4 und 5.1 sind mit jeder anderen Bremsflüssigkeit, die derselben Kategorie angehört, vollständig mischbar, weil die DOT-Normen eine Verträglichkeitsklausel enthalten. Mischt man eine Bremsflüssigkeit mit einem hohen Siedepunkt, mit einer solchen mit einem niedrigeren Siedepunkt, werden die Eigenschaften und Leistungen der qualitativ höheren Bremsflüssigkeit vermindert.

Mischungen zwischen Polyglykoether-Bremsflüssigkeiten und solchen auf Mineralölbasis oder Silikonölen sind nicht zulässig. Mineralöle und Silikonöle sind ebenfalls nicht mischbar. Auch Mischungen von mineralölbasischen Bremsflüssigkeiten verschiedener Fahrzeug-Hersteller werden nicht empfohlen.

■ Farbe

Die natürliche Farbe einer Bremsflüssigkeit ist meist gelb. Die Zugabe von Farbstoffen mit dem Zweck, die Flüssigkeit rot, grün, blau etc. zu färben, hat lediglich verkaufstechnischen Wert, hauptsächlich den, eine Marke von der anderen unterscheiden zu können. Die Farbe einer Bremsflüssigkeit gibt keinerlei Aufschluss über ihre Qualität.

■ Haltbarkeit

Bremsflüssigkeiten sollten in verschlossenen Originalgebinden bis zu 5 Jahre gelagert werden können.

■ Wassereinfluss, Hygroskopizität

Unter Hygroskopizität versteht man die Eigenschaft einer Flüssigkeit, die in der Umgebung enthaltene Feuchtigkeit anzuziehen. Dies führt dazu, dass sich die Bremsflüssigkeit immer weiter mit Wasser anreichert, was zu einer Erniedrigung des Siedepunkts führt. Die Erfahrung zeigt, dass der Siedepunkt nicht unter 155°C liegen sollte, um die Funktionsfähigkeit der Bremsflüssigkeit zu gefährden. Durch Verwendung qualitativ besserer Bremsflüssigkeiten, wie z.B. einer DOT 5.1, wird diese Gefahr erheblich vermindert. Bild 19 zeigt den Siedepunkt in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

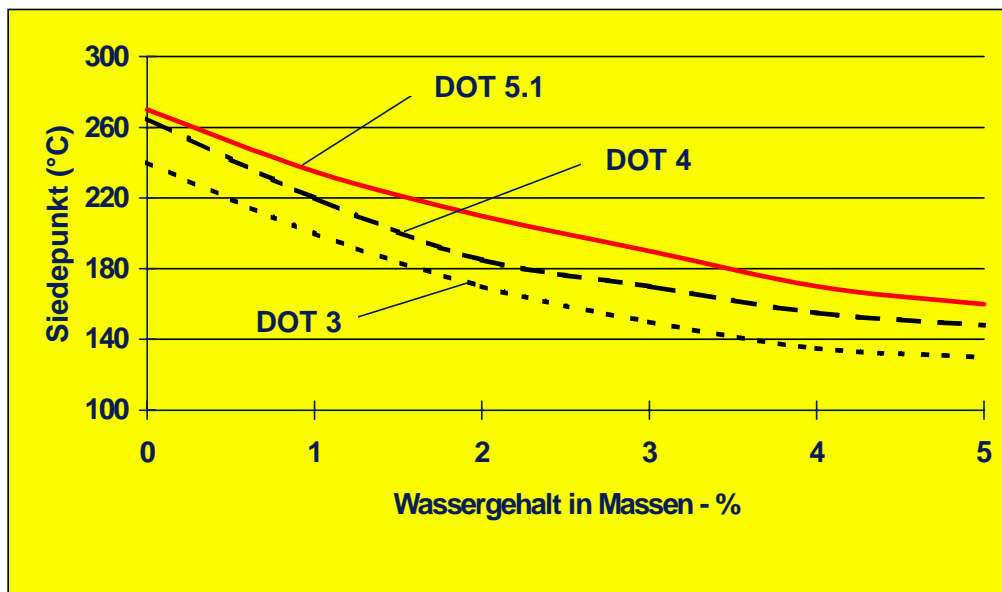


Bild 19 : Siedepunkt verschiedener Bremsflüssigkeiten in Abhängigkeit des Wassergehalts

10. Hydraulikflüssigkeiten

10.1 Einleitung

Die Übertragung von Energie und Kraft von der einen Einheit zur anderen ist von höchster Bedeutung in der modernen Industrielwelt. In technischen Bereichen werden deshalb die verschiedensten Aufgaben mit Hilfe hydraulischer Anlagen gelöst. Ein lebenswichtiges Element dieser Anlagen ist die Hydraulikflüssigkeit. Ihre Eigenschaften und ihr Zustand vor und während des Einsatzes sind mitentscheidend für die lange Lebensdauer und den optimalen Wirkungsgrad der Hydraulikflüssigkeit.

Die Hydraulik spielt im heutigen Maschinenbau eine wesentliche Rolle. Der Grund hierzu liegt in ihren grossen Vorteilen wie einfache Bedienung, gute Regelmöglichkeit, einfache Umwandlung einer geraden in eine drehende Bewegung und stossfreie Kraftübertragung.

Nicht zu vergessen sind auch die enorme Kraftentfaltung auf vergleichsweise kleinem Raum, die in Bruchteilen von Sekunden, praktisch ohne Anlaufphase bewirkt werden kann, sowie die ausserordentliche Zuverlässigkeit solcher Anlagen.

10.2 Aufgaben

Als Betriebsflüssigkeiten für hydrostatische und hydrodynamische Kraftübertragung gelangen auch heute noch hauptsächlich Mineralöle zur Anwendung. Nur in speziellen Fällen werden bei besonderen Anforderungen, z.B. bei der Überdeckung eines weiten Temperaturbereichs, aus Gründen des Umweltschutzes oder bei einer Forderung nach Schwerentflammbarkeit andere Flüssigkeiten eingesetzt.

Zur Anpassung an die jeweiligen Betriebszustände, -verhältnisse und -bedingungen werden - wie oben erwähnt - überwiegend Mineralöle unterschiedlicher Struktur und Viskosität mit Additiven verwendet, die folgende Aufgaben und Forderungen erfüllen müssen :

- Druck- und Bewegungsübertragung bei geringsten Verlusten und ohne ihr Volumen unter Druck zu ändern
- Erzielung eines guten Lasttragevermögens zwischen den bewegten Gleitelementen und dadurch Verminderung von Reibung und Verschleiss
- Schutz geschmierter Metalloberflächen - auch während langen Stillstandzeiten der Anlage gegen korrosiven Angriff und Zersetzung
- Abführung der bei der Energieumwandlung anfallenden Wärme
- Abdichtung zwischen den Maschinenelementen

10.3 Anforderungen

Als Grundlage für die Anforderungen an Hydraulikflüssigkeiten gilt - zumindest im europäischen Raum - die Norm DIN 51524 mit den Blättern 1, 2 und 3. Damit die Hydraulikflüssigkeiten die vielfältigen Aufgaben in der Praxis erfüllen können, benötigen sie folgende Eigenschaften:

- Einsetzbar über einen weiten Temperaturbereich (gutes Kälteverhalten, genügender Viskositätsindex)
- Unempfindlichkeit gegenüber Oxidation (Alterung), so dass das Schmiervermögen über eine längere Gebrauchsdauer erhalten bleibt
- Gute Volumenbeständigkeit, d.h. Unterdrückung der Schaumbildung, ohne dass das Luftabscheidevermögen beeinträchtigt wird
- Neutral gegenüber allen Werkstoffen - keine Aggressivität gegenüber Metallen und Elastomeren
- Rasche Trennung der Feuchtigkeit oder des eingedrungenen Wassers von der Hydraulikflüssigkeit, so dass keine unerwünschte Emulsionsbildung eintritt
- Gutes Reinigungsvermögen, damit die in den gebrauchten Hydraulikflüssigkeiten enthaltenen Verunreinigungen sich nicht an den Steuer- und Regelorganen usw. ablagern

10.4 Aufbau

Hydraulikflüssigkeiten sind auf Grund- oder Basisflüssigkeiten und Zusätzen, den sogenannten Additiven, aufgebaut. Die Wahl der Basisflüssigkeit (Typ) und die der Additive (Typ und Menge) richtet sich direkt nach den unterschiedlichen Anforderungen an die Betriebsflüssigkeiten, welche auf das zu schmierende Hydraulikaggregat abgestimmt sein müssen.

Die folgenden Typen von Grundflüssigkeiten stehen für die Herstellung von Hydraulikflüssigkeiten zur Verfügung :

- Paraffinbasierte Mineralöle mit einem Viskositätsindex von ca. 100
- Naphtenbasierte Mineralöle mit hervorragendem Tieftemperaturverhalten
- Hydrocracköle mit einem Viskositätsindex bis 145
- Natürliche Ester (Vegetabile Öle - Triglyceride)
- Polyalphaolefine (synthetische Kohlenwasserstoffe)
- Synthetische Ester
- Polyglykole

Bei den Additiven ist die Auswahl noch grösser. Die Wirkung der Additive ist zum einen abhängig von der Konzentration, andererseits aber auch von der Kombination untereinander (synergistische Wirkung). Es besteht aber auch die Gefahr, dass sich gewisse Additiv-Typen miteinander nicht vertragen (antagonistische Wirkung), was bei der Entwicklung in Betracht gezogen werden muss. Tabelle 16 gibt Auskunft über die wichtigsten Additive und deren Funktion, welche für die Herstellung von Hydraulikflüssigkeiten herangezogen werden.

10.5 Einteilung

Die Einteilung der Hydraulikflüssigkeiten kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Zum Beispiel nach Stoffgruppen, nach Anwendungsgebieten, unter Aspekten der Schwerentflammbarkeit oder nach ökologischen Begriffen wie der biologischen Abbau-

barkeit oder der Wassergefährdungsklasse. Die heute gebräuchlichste Einteilung geschieht nach folgendem Schema :

- Mineralölbasische Hydraulikflüssigkeiten
- Schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten (in der Schweiz ohne Bedeutung, deshalb nicht behandelt)
- Biologisch abbaubare Hydraulikflüssigkeiten

Additiv - Typ	Funktion
Oxidationsinhibitoren	Verringern und verzögern die Alterung
Korrosionsschutz-Additive	Verhindern / Verringern die Korrosion und Rostbildung auf metallischen Oberflächen
Buntmetallinhibitoren	Verringern die Korrosion kupferhaltiger Werkstoffe
Verschleisschutz- (Anti-Wear)-Additive	Verringern abrasiven Verschleiss bei mässig schweren Bedingungen, vor allem bei stationären Beanspruchungen
Hochdruck - (Extreme Pressure) Additive	Verringern Verschleiss und Fressen bei schweren Bedingungen, vor allem auch bei Stossbelastungen
Reibungsveränderer	Verringern die Reibung bei Mischreibungsbedingungen
Detergents / Dispersants	Halten feste Verunreinigungen und Wasser feinstverteilt in Schwebe
Schauminhibitoren	Verringern Oberflächenschaum
Pour Point - Erniedriger	Setzen den Pour Point bei paraffinbasischen Hydraulikölen herunter
Viskositätsindex-Verbesserer	Verringern die Viskositäts-Temperatur-Abhängigkeit

Tabelle 16 : Additive für Hydraulikflüssigkeiten

10.5.1 Mineralölbasische Hydraulikflüssigkeiten

Hydraulikflüssigkeiten auf Mineralölbasis, allgemein als Hydrauliköle bezeichnet, sind aufgrund ihrer universellen Einsetzbarkeit und dem vergleichsweise günstigen Preis die am weitest verbreitete Gruppe.

Um die Auswahl der Hydrauliköle in qualitativer Hinsicht zu erleichtern, wurde in den Normen DIN 51502 und ISO 6743 Teil 4 verschiedene Qualitätsgruppen zusammengefasst gemäss der Einteilung in Tabelle 17.

10.5.2 Biologisch abbaubare Hydraulikflüssigkeiten

Die ständig zunehmende Mobilität und der fortschreitende Einsatz von Maschinen führen zu einer immer grösseren Belastung für die Umwelt. Diese Erkenntnis hat sich inzwischen bei allen Beteiligten, den Herstellern wie den Verbrauchern von Schmierstoffen, durchgesetzt.

Produktegruppe	Kurzzeichen DIN 51502	Kurzzeichen ISO 6743 Teil 4
Hydrauliköle ohne Additive	H	HH
Hydrauliköle mit Oxidationsinhibitoren und Korrosionsschutz-Additiven	HL	HL
Hydrauliköle HL mit zusätzlichen Verschleisschutz-Additiven	HLP	HM
Hydrauliköle HLP/HM mit zusätzlichen Viskositätsindex-Verbesserern	HVLP	HV

Tabelle 17: Einteilung der mineralölbasischen Hydrauliköle

Die Entwicklung von Schmierstoffen, welche die Umwelt weniger belasten, darunter insbesondere der Hydraulikflüssigkeiten, hat seit einigen Jahren kräftig zugenommen. Staatliche Vorschriften, wie z.B. in Oesterreich, wo biologisch abbaubare Kettensägeöle zwingend vorgeschrieben sind, können in diesem Bereich helfen. Es ist grundsätzlich zu empfehlen, in kritischen Einsatzgebieten (Wasserschutzgebiete u.ä.) konventionelle Schmierstoffe durch biologisch abbaubare Produkte zu ersetzen. Die heute gebräuchlichste Einteilung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten zeigt Abbildung 20.

Es muss jedoch klar und deutlich gesagt werden, dass auch biologisch abbaubare Flüssigkeiten nicht umweltfreundlich sind; sie belasten die Umwelt nur in geringerem Umfang als beispielsweise die Mineralöle. Sie müssen ebenso vorschriftsgemäss entsorgt werden wie alle anderen Schmierstoffe auch. Auch bei einem Ölunfall muss wie bei einem Mineralöl verfahren werden: die ausgelaufene Flüssigkeit muss wieder eingesammelt werden und die zuständige Behörde ist zu benachrichtigen.

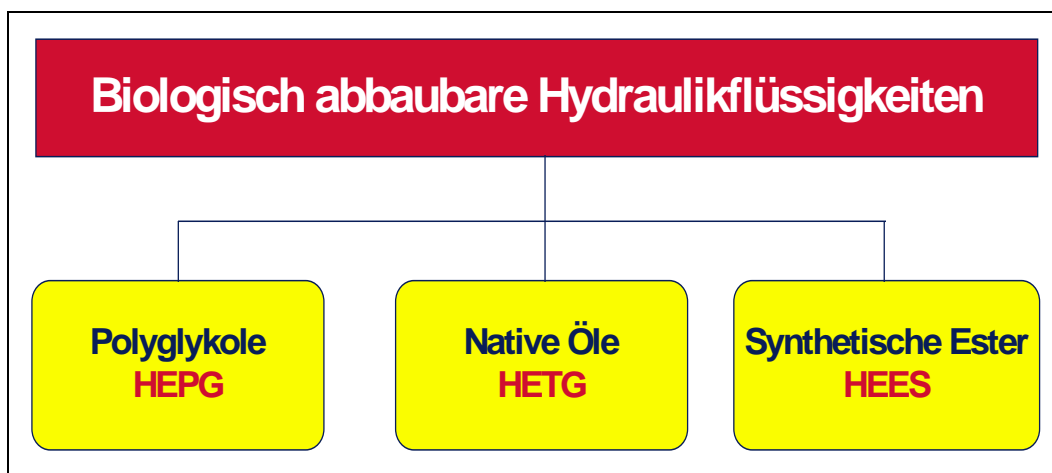


Bild 20 : Einteilung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

Die Mindest-Anforderungen an biologisch abbaubare Hydraulikflüssigkeiten sind im VDMA-Einheitsblatt 24568 und in den Vorschlägen der ÖNorm C 2027 Teil 4 und Teil 5 festgelegt.

10.6 Spezifikationen

Um sicherzustellen, dass ein Hydraulikaggregat ohne Probleme und zuverlässig während der gesamten Einsatzdauer geschmiert wird und dadurch seine Aufgaben erfüllen kann, sind verschiedene Spezifikationen geschaffen worden. Neben der bereits in Kapitel 9.3 erwähnten DIN-Norm 51 524 haben auch verschiedene Hersteller ihre eigenen Vorschriften herausgegeben, welche summarisch in Bild 21 wiedergegeben sind.

- **Cincinnati Milacron P-68, P-69 und P-70**
- **Denison HF-0, HF-1 und HF-2**
- **US Steel 127 und 136**
- **Vickers I-286-S und M-2950-S**

Bild 21: Hersteller-Spezifikationen für Hydraulikflüssigkeiten

11. Industrie-Getrieböle

11.1 Einleitung

Zur Übertragung und Wandlung von Drehzahlen und Drehmomenten dienen Zahnrad-, Ketten-, Riemen- und Reibradgetriebe. Gelegentlich finden auch hydrodynamische und elektrische Wandler sowie pneumatische Getriebe Verwendung. Weitaus am häufigsten werden jedoch Zahnradgetriebe verwendet. Zahnradgetriebe bestehen aus mindestens 2 Wellen, mindestens 2 miteinander im Eingriff stehenden Zahnrädern und den erforderlichen Lagern und Dichtelementen. Die Wellen sind - meist in einem Gehäuse - durch Rahmen oder Steg miteinander verbunden.

Die Lebensdauer einer Verzahnung wird durch 4 Faktoren beeinflusst, nämlich

- die Verschleissicherheit, bestimmt durch Zahnradwerkstoff, Oberflächenrauigkeit, Schmierstoff und Verunreinigungen im System
- die Bruchsicherheit als Funktion von Zahnradwerkstoff, Verzahnungsdaten und übertragenen Kräften
- die Grübchensicherheit (Pitting), beeinflussbar durch die Härte der Zahnräder und in gewissen Grenzen durch den Schmierstoff
- die Fressicherheit, abhängig von den Verzahnungsdaten, Zahnradwerkstoff, Schmierstoff und Betriebsbedingungen

11.2 Aufgaben

Die Hauptaufgaben des Schmierstoffes sind :

- Reibung und Verschleiss an den Zahnflanken weitestgehend zu mindern
- Verhinderung der Pittingbildung
- Abführung der entstehenden Reibungswärme

Diese Aufgaben werden dadurch verschärft, dass die Schmierstoffe auch unter extremen Temperatureinflüssen die Betriebssicherheit der Maschinen gewährleisten müssen.

11.3 Auswahl

Ausgehend von den Aufgaben ist es wichtig, bei der Getriebeschmierstoffauswahl einerseits die „Umweltbedingungen“ zu kennen, unter denen das Getriebe arbeitet und andererseits die auftretenden Bewegungsabläufe und Belastungen an der Zahnflanke zu kennen.

Die Auswahl von Schmierstoffen für Zahnradgetriebe im industriellen Einsatz ist in der DIN 51509 Teil 1 „Schmieröle“ und in der DIN 51509 Teil 2 „Plastische Schmierstoffe“ (Fette und Haftschnierstoffe) festgelegt und dort nachzulesen.

Für den sicheren Betrieb von Zahnradgetrieben stehen sechs unterschiedliche Getriebeschmierstofftypen mit unterschiedlicher Additivierung (keine/mild/stark) zur Verfügung, nämlich

- Mineralöle
- Syntheseöle
- Einlaufflüssigkeiten
- Mineralölbasische Fette
- Synthetische Fette
- Haftschrnierstoffe

11.4 Klassifikation und Spezifikation

11.4.1 DIN-Normen

In den deutschen Normen sind acht Schmierstofftypen aufgeführt, worin die Anforderungen an die Schmierung von Industriegetrieben festgelegt sind (Tabelle 18).

11.4.2 Verbands- und Firmenspezifikationen

Verschiedene Hersteller von Industriegetrieben und die AGMA (American Gear Manufacturers Association) haben ebenfalls eigene Spezifikationen festgelegt. Dazu gehören insbesondere

- AGMA 250.04 (geschlossene Getriebe)
- AGMA 251.02 (offene Getriebe)
- US Steel 224
- Cincinnati Milacron (P-59 (C-320))
- David Brown SL.53.101

Viskosität / Penetration	Qualität der Schmierstoffe							
	ohne EP-Additive					mit EP-Additiven		
Viskositäts- klassen nach ISO 3448 / NLGI- Klassen nach DIN 51818	Schmieröle L-AN DIN 51 501	Schmieröle Z DIN 51510	Schmieröle B DIN 51513	Schmieröle L-TD DIN 51 515	Schmieröle C & C-L DIN 51517 Teil 1 & 2	Schmieröle C-LP DIN 51 517 Teil 3	Schmier- fette K DIN 51825	Schmier- fette G DIN 51826
VG 5	•				•			
VG 7	•				•			
VG 10	•				•			
VG 15			•					
VG 22	•		•		•			
VG 32	•		•	•	•			
VG 46	•		•	•	•	•		
VG 68	•		•	•	•	•		
VG 100	•		•	•	•	•		
VG 150	•				•	•		
VG 220	•		•		•	•		
VG 320	•		•		•	•		
VG 460			•		•	•		
VG 680	•	•			•	•		
VG 1000		•						
VG 1500		•						
NLGI 000								•
NLGI 00								•
NLGI 0							•	•
NLGI 1							•	•
NLGI 2							•	
NLGI 3							•	
NLGI 4							•	

Tabelle 18: Anforderungen an Industrie-Schmierstoffe

12. Kühlschmierstoffe

12.1 Einleitung

Kühlschmierstoffe werden sowohl bei der spanabhebenden als auch bei der spanlosen Formgebung von Metallen eingesetzt. Eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst dabei die Wirtschaftlichkeit der Metallbearbeitung.

Neben den Einflüssen die vom Material des Werkstücks, des Werkzeugs und der Werkzeugmaschine ausgehen, bewirken Kühlschmierstoffe in vielen Fällen eine wesentlich günstigere Rentabilität der Fertigungsprozesse. Es hängt natürlich immer von der richtigen Auswahl und der richtigen Anwendung ab, inwieweit die Fertigungszeit und die Fertigungskosten gesenkt werden können. So ist es von entscheidender Bedeutung, den wirtschaftlichen Wert eines Kühlschmierstoffes neben den gewiss wichtigen, technischen Eigenschaften in die Rentabilitätskalkulation miteinzubeziehen.

12.2 Aufgaben

Neben dem Abtransport der Späne (Spüleffekt) und dem temporären Korrosionsschutz besteht die Hauptaufgabe der Kühlschmierstoffe darin, die Schneidentemperaturen der Werkzeuge unter Kontrolle zu halten. Daher hat ein Kühlschmierstoff in der Kontaktzone zwei Hauptaufgaben :

- **Kühlen und Schmieren**

Kühlen, um die entstehende Wärme abzuführen, und Schmieren, um die Reibung zu vermindern. Alle Wirkungen zusammen bilden die Grundlage für den Einsatz von Kühlschmierstoffen (Bild 22).

Daraus ergibt sich, dass bei abzuführenden sehr grossen Wärmemengen, wie sie bei hohen Schnittgeschwindigkeiten entstehen, zweckmässig wassergemischte Kühlschmierstoffe eingesetzt werden.

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe werden bei schwerer, langsamer Bearbeitung verwendet, bei der es hauptsächlich auf Schmierung und Reibungsverminderung ankommt.

Die Beurteilung, ob ein Kühlschmierstoff seine Aufgaben bei einem Fertigungsprozess optimal erfüllt, erfolgt im allgemeinen

- nach Werkzeugstandzeiten und
- nach Oberflächengüte sowie Massgenauigkeit der bearbeiteten Werkstücke

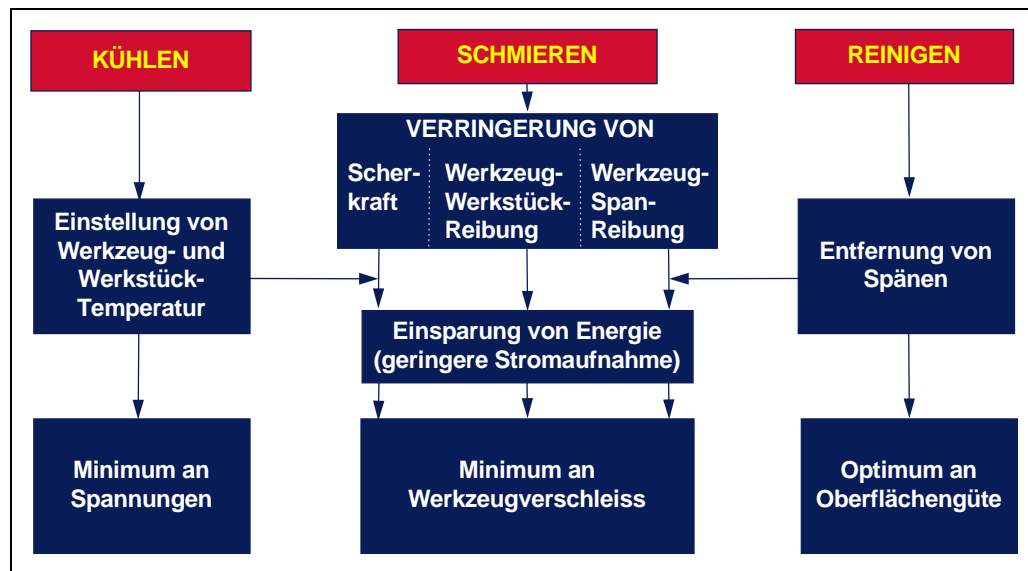


Bild 22 : Aufgaben von Kühlschmierstoffen

12.3 Aufbau

Für die Herstellung von Kühlschmierstoffen können die verschiedensten Basisflüssigkeiten eingesetzt werden, entweder einzeln oder in Kombination untereinander. Es sind dies

- Konventionelle Mineralöle
- Hydrocracköle
- Pflanzliche und tierische Öle
- Synthetische Flüssigkeiten (Polyalphaolefine, Ester, Polyglykole)

Diese Basisflüssigkeiten können in vielen Fällen den Anforderungen der Praxis, insbesondere beim Zerspanungsprozess, allein nicht gerecht werden. Um die Leistung zu verbessern, werden deshalb Additive zugesetzt. Die Auswahl der Additive richtet sich nach dem Einsatzzweck. Tabelle 19 gibt einen Überblick über die in nichtwassermischbaren und wassermischbaren Kühlschmierstoffen verwendeten Additiv-Gruppen. Insgesamt kann man davon ausgehen, dass mehr als 300 Einzelsubstanzen in Kühlschmierstoffen verwendet werden.

Bei der Auswahl der Komponenten (Basisflüssigkeiten und Additive) spielen toxikologische und ökologische Anforderungen und Vorschriften eine zunehmende Rolle. Jeder Hersteller von Kühlschmierstoffen trägt diesbezüglich eine grosse Verantwortung, dass nur Komponenten eingesetzt werden, welche die Gesundheit nicht gefährden. Verschiedene Stoffe (Mineralöle mit zu hohem Gehalt an polycyclischen Aromaten, Phenole, Chlorparaffine, sekundäre Amine, Nitrit) werden deshalb nicht mehr oder kaum mehr eingesetzt. Diese Stoffe können heute in fast allen Fällen durch verbesserte oder andere Produkte ersetzt werden, ohne nachteilige Eigenschaften in der Praxis.

Additiv-Typ	Nichtwassermischbarer Kühlschmierstoff	Wassermischbarer Kühlschmierstoff
Hochdruck (EP) - Additive	X	X
Verschleisschutz-Additive	X	X
Schmierfähigkeitsverbesserer (polare Wirkstoffe)	X	X
Oxidationsinhibitoren	X	
Korrosionsinhibitoren	X	X
Anti-Nebelzusätze	X	
Antischaummittel	X	X
Stabilisatoren / Lösungsver- mittler		X
Emulgatoren		X
Bakterizide / Fungizide		X
Geruchsüberdecker	X	
Farbstoffe	X	X

Tabelle 19 : Additive in Kühlschmierstoffen

12.3.1 Nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe

Die Zusammensetzung der nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffe richtet sich nach der Schwere der vorzunehmenden Operation. Unterschiedlichen Anforderungen kann mit verschiedenen Massnahmen begegnet werden. Dies kann einerseits über die Viskosität gesteuert werden oder dann durch die Zugabe von Additiven.

Für einfache Bearbeitungsvorgänge werden meist Öle ohne Zusätze eingesetzt. Für mittelschwere Operationen - wie z.B. auf Automaten-Drehbänken - finden Öle mit Fettstoffen Verwendung. Schwere Bearbeitungsvorgänge wie z.B. Räumen erfordern ein niederviskoses, stark additiviertes Öl mit Hochdruckzusätzen auf der Basis von Chlor-, Phosphor- oder Schwefelverbindungen. Niederviskose Öle mit geringeren Anteilen an Additiven werden benötigt für das Schleifen oder Honen. Neben diesen sogenannten Hochdruckzusätzen (englisch als Extreme Pressure- oder abgekürzt EP-Additive bezeichnet), welche für eine genügende Leistung (Performance) des Metallbearbeitungsöls besorgt sind, werden aber auch noch Additive zum Alterungsschutz (Oxidationsinhibitoren), gegen Korrosion, Schaum- und Nebelbildung sowie allenfalls gegen einen zu starken Geruch verwendet.

12.3.2 Wassermischbare Kühlschmierstoffe

Diese sind wesentlich komplexer zusammengesetzt als die Metallbearbeitungsöle; insbesondere Hochleistungsprodukte enthalten wesentlich mehr verschiedene Additive, damit die an sie gestellten Anforderungen erfüllen können. Sie sind so konzipiert, dass sie vor der Verwendung dem Wasser zugegeben werden müssen.

Dabei spielt insbesondere der Emulgator bei diesen Produkten eine wichtige Rolle. Da sich Öl und Wasser bekanntlich nicht mischen lassen, ist dieser Stoff quasi der Heiratsvermittler und sorgt für eine homogene Verbindung. Eine Emulsion besteht aus Öltröpfchen (Konzentrat), welche im Wasser suspendiert sind. Die Art bzw. der Typus der Emulsion ist ein kritischer Faktor bei der Beurteilung der Leistung einer Emulsion. Die Unterscheidung der wassergemischten Kühlschmierstoffe beruht deshalb hauptsächlich auf dem Ölgehalt gemäss Tabelle 20. Dabei finden keine genormten Begriffe Verwendung, sondern Ausdrücke, wie sie sich in der Anwendungstechnik und beim Verbraucher in den letzten Jahren durchgesetzt haben.

Kühlschmierstofftyp	Mineralölgehalt
Konventionelle Kühlschmier-Emulsion (Mineral- oder Pflanzenöl)	> 50 %
Mineralölarme Kühlschmier-Emulsion	5 - 50 %
Synthetische Kühlschmier-Lösung	0

Tabelle 20 : Unterscheidung wassergemischter Kühlschmierstoffe

- **Konventionelle wassergemischte Kühlschmierstoffe** enthalten in der Regel über 50% Mineralöl. Die Öltröpfchen sind relativ gross - bis zu 5 μm - und diese Struktur führt zu einer milchigen Emulsion. Diese grösseren Tröpfchen bewirken gute Schmiereigenschaften und können auch EP-Additive effizient unterstützen. Auf der andern Seite tendieren solche Emulsionen zu geringerer Stabilität und verlangen eine bessere Überwachung.
- **Mineralölarme wassergemischte Kühlschmierstoffe** sind eine Kombination zwischen einem konventionellen und einem vollsynthetischen Kühlschmierstoff. Diese Konzentrate weisen im allgemeinen Ölgehalte zwischen 5 und 50% auf, und nach dem Ansetzen mit Wasser entsteht eine klare bzw. opaleszierende Emulsion. Das durchscheinende Aussehen erlaubt ein genaues Beobachten präziser Bearbeitungsvorgänge, wie z.B. das Schleifen. Solche Formulierungen tolerieren im allgemeinen eine gewisse

Kontamination mit Lecköl. Einige der als mineralölarms beschriebenen Typen sind eigentliche Mikroemulsionen mit Tröpfchengrößen um 1 µm.

- **Vollsynthetische wassergemischte Kühlschmierstoffe** sind definitionsgemäss chemische Flüssigkeiten, welche kein Mineralöl enthalten. Es sind üblicherweise Lösungen, welche vollständig auf wasserlöslichen Chemikalien, inklusive synthetischen oder anderen Estern zur Gewährleistung der Schmierung, aufgebaut sind.

12.4 Klassifikation

Es stehen drei DIN-Normen zur Verfügung, welche die Begriffe und Mindestanforderungen für Kühlschmierstoffe festlegen.

In der Norm DIN 51385 werden die Begriffe festgelegt, die bei der Anwendung von Kühlschmierstoffen benutzt werden sollen. Die Kühlschmierstoffe werden grob in zwei Gruppen unterteilt :

- Nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe (Metallbearbeitungsöle, Neat Oils) haben die Bezeichnung „SN“
- Wassermischbare Kühlschmierstoffe (Water Soluble Fluids) haben die Bezeichnung „SE“

Die DIN 51520 legt die Mindestanforderungen und Bezeichnungen für nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe fest, die DIN 51521 diejenigen für wassermischbare Kühlschmierstoffe. Die Bilder 23 und 24 zeigen die Unterteilung der Kühlschmierstoffe gemäss den vorgenannten Normen basierend auf der Additivierung.

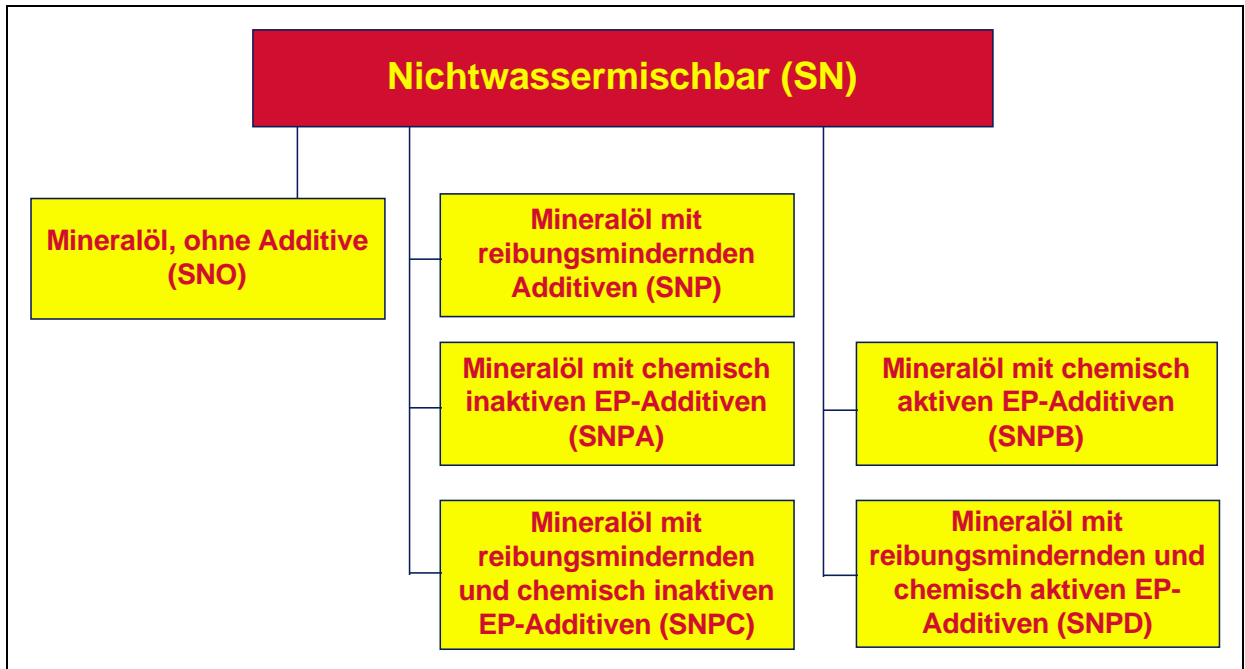


Bild 23 : Bezeichnungen nichtwassermischbarer Kühlschmierstoffe

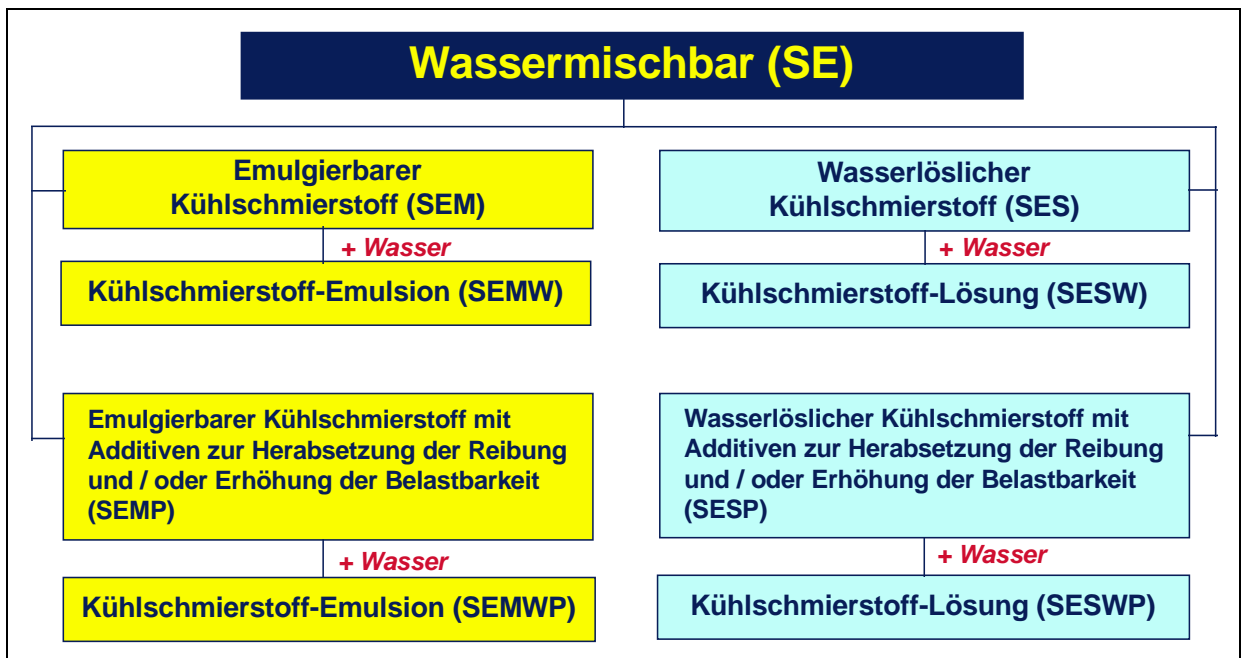


Bild 24 : Bezeichnungen wassermischbarer Kühlschmierstoffe

Die in den Normen DIN 51520 und 51521 festgelegten Mindestanforderungen beruhen auf rein physikalisch-chemischen Labor-Methoden. Welche Prüfungen vorgeschrieben sind, ist in Tabelle 21 wiedergegeben.

Eigenschaften	Nichtwassermisch-bare Kühlschmierstoffe	Wassermischbare Kühl- schmierstoffe	Wassergemischte Kühl- schmierstoffe
Farbe	x		
Dichte bei 20°C	x	x	
Flammpunkt	x		
Viskosität bei 20°C Viskosität bei 40°C Viskosität bei 100°C	wenn KV40 < 10 mm ² /s x x	x	
Neutralisationszahl	x		
Gesamtschwefelgehalt	x		
Chlorgehalt	x	x	
Korrosionswirkung auf Kupfer	x		
Brechzahl		x	
Mineralölgehalt		x	
Wassergehalt		x	
Beständigkeit			x
pH-Wert			x
Mischungsverhältnis			x
Korrosionsschutz			x
Gehalt des mit Säure abscheidbaren Anteils			x
Elektrische Leitfähigkeit			x
Verhalten von Dichtwerk- stoffen			x
Einwirkung auf Kupfer			x
Schaumverhalten			x

Tabelle 21 : Physikalisch-chemische Prüfmethode

13. Fette

13.1 Einleitung

Es gibt zahlreiche Anwendungsfälle, wo sich flüssige Schmierstoffe nicht eignen, weil sie von der Schmierstelle „weglaufen“. Gemeint sind vor allem Wälz- und Gleitlager, offene Getriebe, Drahtseile oder Kettenantriebe. Bei diesen Applikationen kommen Schmierfette zum Zug. Schmierfette sind konsistente, meistens mineralölhaltige Schmierstoffe. Sie werden hergestellt in einem weiten Konsistenz- bzw. Penetrationsbereich von flüssig über pastenförmig bis talgartig-fest.

13.2 Definition

Für die Definition von Schmierfetten existieren verschiedene Versionen. Die gebräuchlichsten sind in Bild 25 zusammengetragen.

Physikalisch betrachtet gehören die Schmierfette zu den Dispersionen, genauer zu den Suspensionen von Festkörpern in Flüssigkeiten. Es existieren die folgenden Definitionen :

- Schmierfette sind konsistente Schmierstoffe, die aus Mineralöl und/oder Syntheseöl sowie einem Dickungsmittel bestehen. Sie können Additive und/oder Festschmierstoffe enthalten (DIN 51825).
- Ein Schmierfett ist ein fester oder halbflüssiger Stoff, der aus der Dispersion eines Dickungsmittels in einem flüssigen Schmierstoff resultiert. Andere Bestandteile, die besondere Eigenschaften vermitteln, können enthalten sein (ASTM D 288).
- Schmierfette sind fixierte, d.h. nicht frei fließende Schmierstoffe und als solche, in einem gewissen Grad beständig gegen formverändernde Kräfte. Schmierfette sind am Weglaufen gehinderte Schmieröle.
- Schmierfette sind physikalisch gesehen kolloidale Suspensionen von geeigneten Verdickern (feste Phase) in Mineralölen und/oder Syntheseölen (flüssige Phase).

Bild 25 : Definition von Schmierfetten

13.3 Aufgaben

Die Aufgaben der Schmierfette können wie folgt zusammengefasst werden :

- Abgabe einer hinreichenden Menge flüssigen Schmierstoffes aus dem Fettverband (Ölabscheidung), um Reibung und Verschleiss über weite Temperaturbereiche und Zeiträume (Lebensdauerschmierung) herabzusetzen.
- Abdichtung gegen Wasser und abrasiven Stoffen, dazu müssen die Fette eine genügende mechanische Stabilität aufweisen.
- Korrosionsschutz
- Schmutzaufnahme ohne Funktionsbeeinträchtigung

13.4 Herstellung und Zusammensetzung

Zum Aufbau bzw. der Herstellung von Schmierfetten werden drei Komponenten benötigt :

• Grundöl (Mineral- bzw. Syntheseöl)	Massenanteil	70 - 95 %
• Verdicker	Massenanteil	3- 30%
• Additive	Massenanteil	0 - 5 %

In den eingesetzten Grundölen werden geeignete feste Stoffe (Verdicker) so dispergiert, dass konsistente Schmierstoffe entstehen.

Die weitaus meisten Schmierfette werden mit Seifen (Metallsalzen von Fettsäuren) als Verdicker zubereitet. Zur Herstellung der Seifenschmierfette wird bei verhältnismässig hoher Temperatur die Fettsäure im Grundöl gelöst und anschliessend das entsprechende Metallhydroxid zugegeben. Nach dem Verkochen des bei der Reaktion entstehenden Wassers lässt man definiert abkühlen, wobei sich der Fettverband bildet. Als Metallverbindungen eignen sich für die Fettherstellung Hydroxide von Natrium, Calcium und Lithium und - in vermindertem Masse - Aluminium, früher auch noch Barium. Die langkettigen Fettsäuren stammen aus pflanzlichen Ölen (z.B. Rizinusöl) oder tierischen Fetten (z.B. Talg, Tran) und können hydriert sein. Der bekannteste Abkömmling dieser Gattung ist die 12-Hydroxistearinsäure aus Rizinolsäure.

Gelegentlich werden neben den langkettigen Fettsäuren auch kurzkettige Säuren, wie Essigsäure, Propionsäure etc. eingesetzt. Es entstehen dann die sogenannten Komplexfette.

Die Seifenverbindungen bilden ein faseriges Gerüst, welches das Schmieröl festhält. Nur die Aluminiumseifen weisen eine kugelige Gelstruktur auf.

Neben den Metallseifen gibt es auch noch anorganische, aschehaltige Verdicker wie z.B. Bentonit, Graphit, Russ und Kieselgel und aschefreie Polyharnstoffe. Diese Verdicker werden meist für Sonderanwendungen, wie z.B. Hochtemperaturfette verwendet.

13.5 Einteilung

In der Praxis werden die Schmierfette nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt.

- Nach dem **Typ des Verdickers** in
 - „einfache“ Natrium, Calcium- und Lithiumfette
 - Natrium-, Calcium- und Lithiumkomplexfette
 - Bentonit- und Polyharnstoff-Fette
- Nach den zu schmierenden **Maschinenelementen** in
 - Wälz-, Gleit- und Radlagerfette
 - Gelenk- und Getriebefette
 - Chassisfette
- Nach der **Anwendung** in
 - Tief- Normal- und Hochtemperaturfette
 - Mehrzweck-, Normal- und Sonderschmierfette
 - Schmierfette mit Hochdruckeigenschaften
- Nach der **Konsistenz** in neun sogenannte NLGI -Klassen gemäss Tabelle 22.

NLGI-Klasse (1)	Walkpenetration nach DIN ISO 2137 in Einheiten (2)
000	445 - 475
00	400 - 430
0	355 - 385
1	310 - 340
2	265 - 295
3	220 - 250
4	175 - 205
5	130 - 160
6	85 - 115

(1) National Lubricating Grease Institute (2) 1 Einheit = 0,1 mm

Tabelle 22 : Konsistenz-Einteilung von Schmierfetten

13.6 Anwendung

Schmierfette werden gezielt für spezielle Applikationen eingesetzt und müssen je nach Einsatzbedingungen unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Einsatzgebiete sind :

- Schmierstellen die gegen den Zutritt von störenden, insbesondere schmirgelnden oder korrosiven Fremdstoffen durch ein Fettpolster geschützt werden sollen
- Schmierstellen bei denen eine Verschmutzung des erzeugten Produktes oder von den Reibpaarungen durch abtropfendes Öl vermieden werden muss
- Offene Schmierstellen aus denen Öl zu schnell abfließen würde oder von denen es stark abgeschleudert wird
- Schmierstellen mit geringem Schmierstoffbedarf, die nur selten geschmiert werden müssen
- Schmierstellen deren Wartungsaufwand gering sein soll
- Schmierstellen mit langsamen Gleitbewegungen, hohen Flächendrücken und / oder stark wechselnden Bewegungen (Stöße / Schock)
- Schmierstellen die geräuscharm laufen sollen

13.7 Gebrauchseigenschaften

Grundsätzlich bestimmen Art und Konzentration der drei Grundkomponenten die Einsatzmöglichkeiten und Eigenschaften von Fetten.

■ Grundöle

- **mit niedriger Viskosität** ermöglichen gute Tieftemperatureigenschaften
ermöglichen gute Förderbarkeit
erlauben hohe Drehzahlen bei Wälzlagern
- **mit hoher Viskosität** ermöglichen hohe Belastungen
erlauben hohe Temperaturen
führen zu geringer Ölabscheidung
führen zu geringem Verdampfungsverlust

■ Verdicker beeinflussen

Penetration
Tropfpunkt
Eindickungsvermögen
Verhalten gegenüber Wasser

■ Additive verbessern

Oxidationsstabilität
Korrosionsschutz
Wasserbeständigkeit
Haftvermögen
Verschleisschutz

Typische Kenndaten verschiedener Schmierfette sind in Tabelle 23 aufgeführt.

Flüssige Phase	Mineralöl	Mineralöl	Mineralöl	Mineralöl	Syntheseöl
Verdicker	Natrium-Seife	Calcium-Seife	Calcium-Komplex	Lithium-Seife	Lithium-Seife
Tropfpunkt, °C	160	100	> 240	190	190
Einsatztemperatur					
• untere, °C	-10	-20	-25	-25	-60
• obere, °C	120	70	130	130	180
Verhalten gegenüber Wasser	ungenügend	sehr gut	sehr gut	gut	gut
Walkbeständigkeit	mässig	gut	gut	sehr gut	sehr gut
Oxidationsstabilität	gut	gut	sehr gut	gut	sehr gut
Preis	+	++	++++	+++	+++++

Tabelle 23 : Typische Kenndaten verschiedener Schmierfette

14 Literatur

ARAL	Ölfibeln 1 und 2
Castrol	ABC der Schmierstoffe (alte Version)
Castrol	Moderne Motoren - Funktion und Schmierung
DEKRA	Betriebsstoffliste 1996
DIN-Taschenbuch 192	Schmierstoffe - Eigenschaften, Anforderungen, Probenahme, Beuth Verlag, 1992
DIN 51520	Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe, Anforderungen
DIN 51521	Wassermischbare Kühlschmierstoffe, Anforderungen
U.J. Möller / U. Boor	Schmierstoffe im Betrieb, VDI-Verlag Düsseldorf
ÖNorm C 2027 (Vorschlag)	Teil 4 : Hydrauliköle HETG - Mindestanforderungen Teil 5 : Hydrauliköle HEES - Mindestanforderungen
VDI 3397 Blatt 1	Kühlschmierstoffe für spanende Verfahren
VDMA 24568	Biologisch schnell abbaubare Druckflüssigkeiten (März 1994)