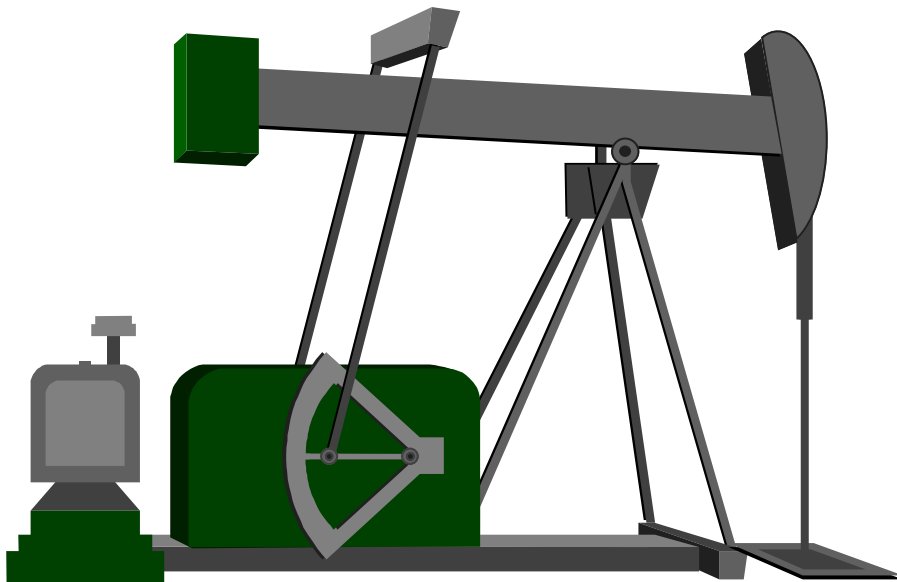


ABC DER SCHMIERUNG



**Aufbau, Verwendung und Eigenschaften
von Schmierstoffen**

Allgemeines über die Schmierung

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.

■ Automotive Schmierstoffe

- Motorenöle
- Getriebeöle
- Bremsflüssigkeiten

■ Industrie-Schmierstoffe

- Hydraulikflüssigkeiten
- Getriebeöle
- Kompressorenöle
- Korrosionsschutzprodukte
- Kühlschmierstoffe
- Isolieröle
- Weissöle
- Prozessöle
- Schmierfette

2. Herstellung von Basisflüssigkeiten

Ausgangsprodukt für alle Schmierstoffe, unabhängig ob mineralölbasisch oder synthetisch, ist das Rohöl. Bild 1 zeigt ein stark vereinfachtes Schema der unterschiedlichen Herstellungsverfahren.

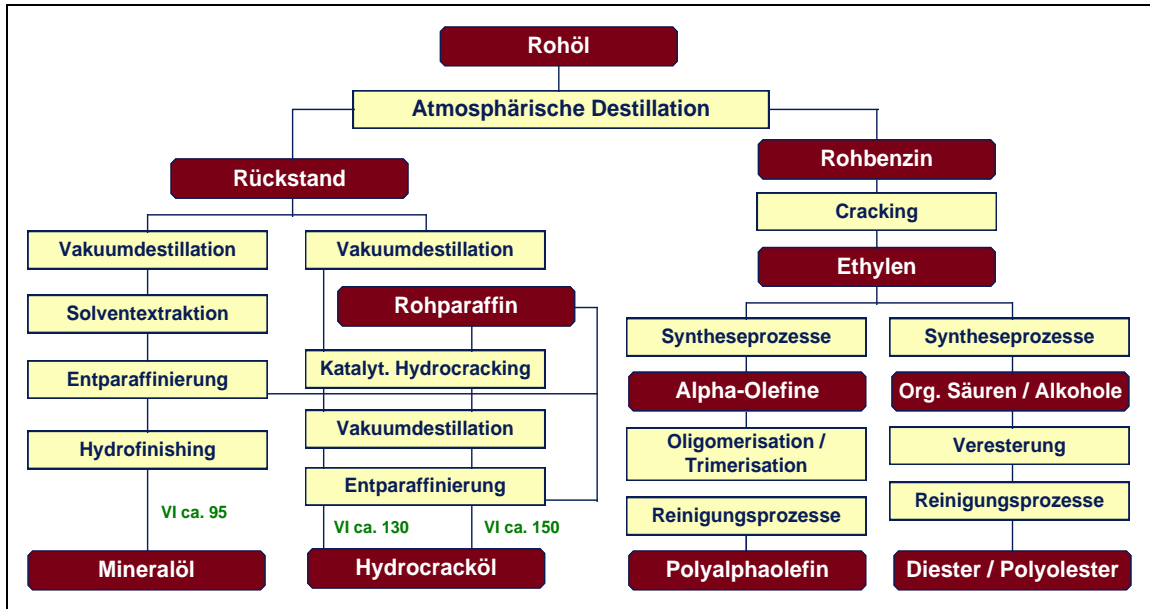


Bild 1: Herstellung von Basisflüssigkeiten (stark vereinfachtes Schema)

Das Rohöl wird zuerst in der atmosphärischen Destillation in unterschiedliche Produkte (Bild 2) 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.

2.1 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).

2.2 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 fehlt 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.

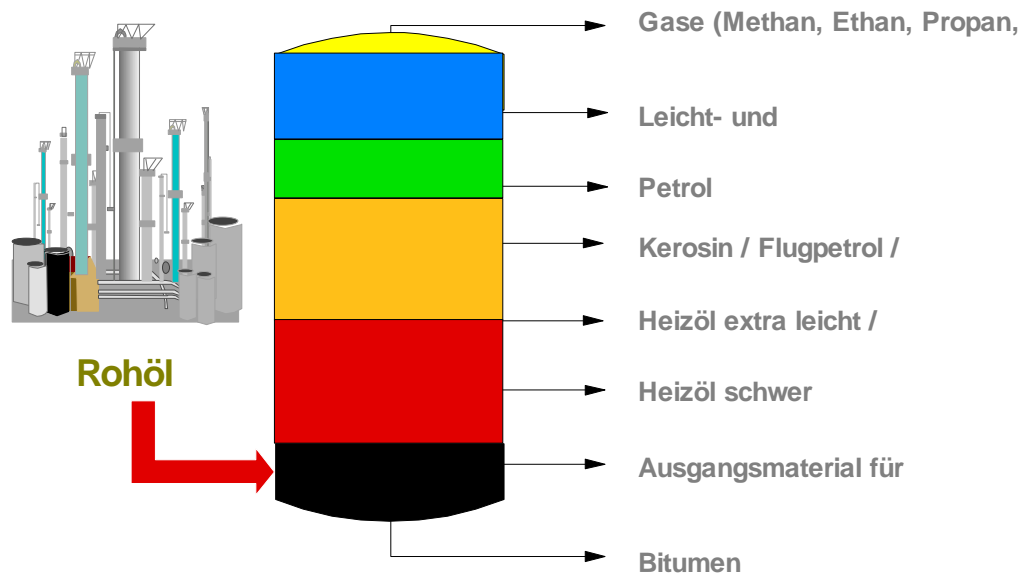


Bild 2: Atmosphärische Destillation von Rohöl

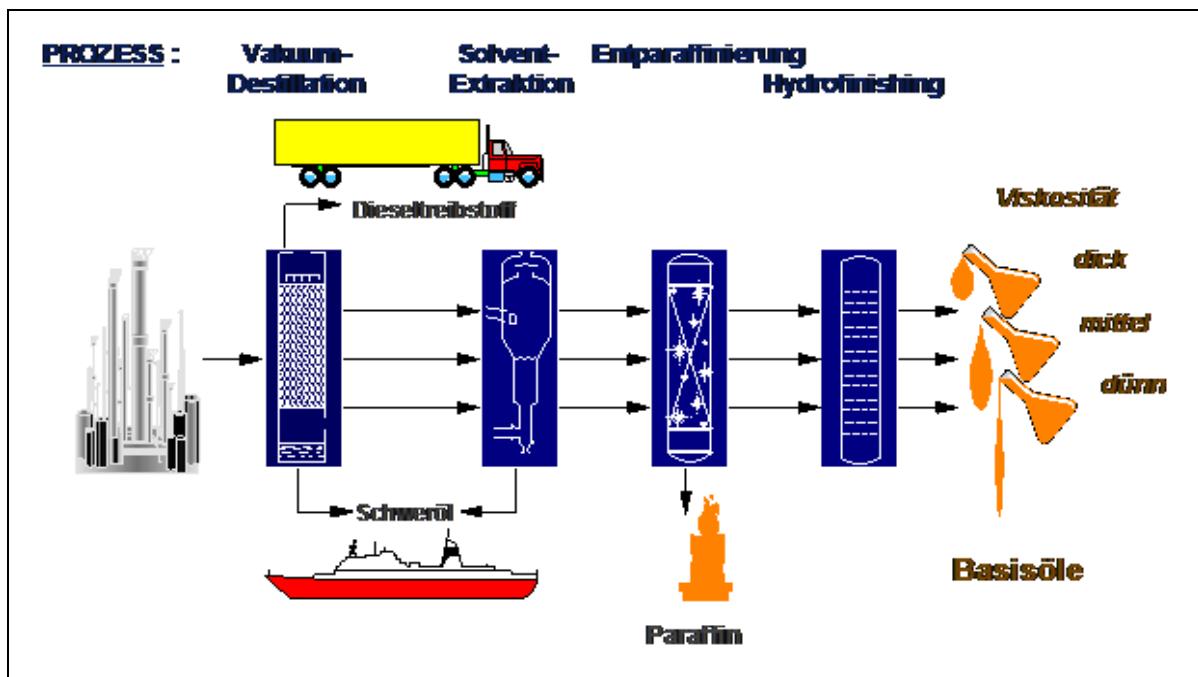


Bild 3 Herstellung von konventionellen Mineralöl-Raffinaten

2.3 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 Synthetikölen kommen hauptsächlich Polyalphaolefine (PAO), auch vielfach als synthetische Kohlenwasserstoffe bezeichnet, oder Ester in Frage.

2.3.1 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.

2.3.2 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.

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 1: Vorteile synthetischer Basisflüssigkeiten

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

3. Kenndaten von Schmierstoffen

3.1 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).

3.1.1 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 2 sind die SAE-Viskositätsklassen für Motorenöle und in Tabelle 3 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 4).

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	3250 bei -30	30'000 bei -35	3,8		
5W	3500 bei -25	30'000 bei -30	3,8		
10W	3500 bei -20	30'000 bei -25	4,1		
15W	3500 bei -15	30'000 bei -20	5,6		
20W	4500 bei -10	30'000 bei -15	5,6		
25W	6000 bei -5	30'000 bei -10	9,3		
20			5,6	unter 9,3	2,6
30			9,3	unter 12,5	2,9
40			12,5	unter 16,8	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 2: SAE-Klassifikation von Motorenölen

SAE Viskositätsklasse	Höchsttemperatur für eine scheinbare Viskosität von 150'000 mPa s bei °C	Kinematische Viskosität bei 100°C in mm ² /s	
		min.	max.
70W	-55	4,1	
75W	-40	4,1	
80W	-26	7,0	
85W	-12	11,0	
90		13,5	< 24,0
140		24,0	< 41,0
250		41,0	

Tabelle 3: SAE-Klassifikation von Fahrzeug-Getriebeölen

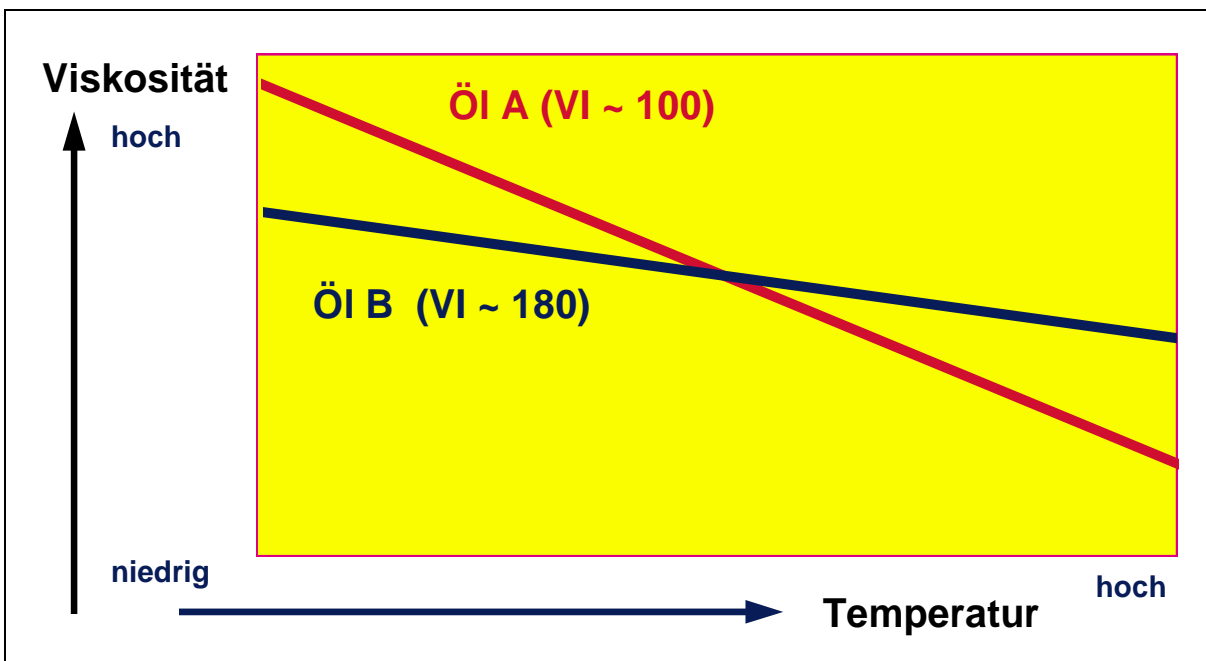
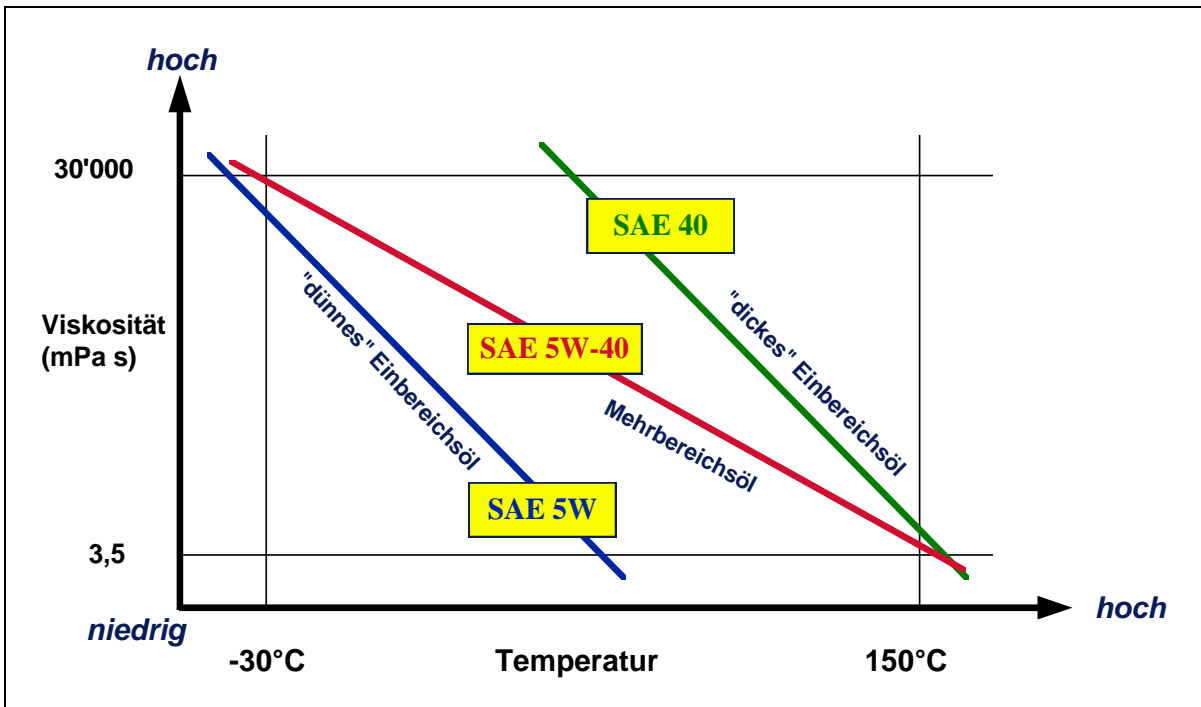


Bild 4: Vergleich zwischen Ein- und Mehrbereichsöl

Bild 5 : Viskositäts-Temperatur-Verhalten

3.1.2 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 4: Viskositätsklassifikation nach ISO 3448

3.2 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 5). 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.

3.3 Viskositäts-Druck-Verhalten

Die Viskosität eines Öles ändert nicht 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.

3.4 Viskosität und Schergefälle

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

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 (Bild 6), 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 6 dargestellt werden.

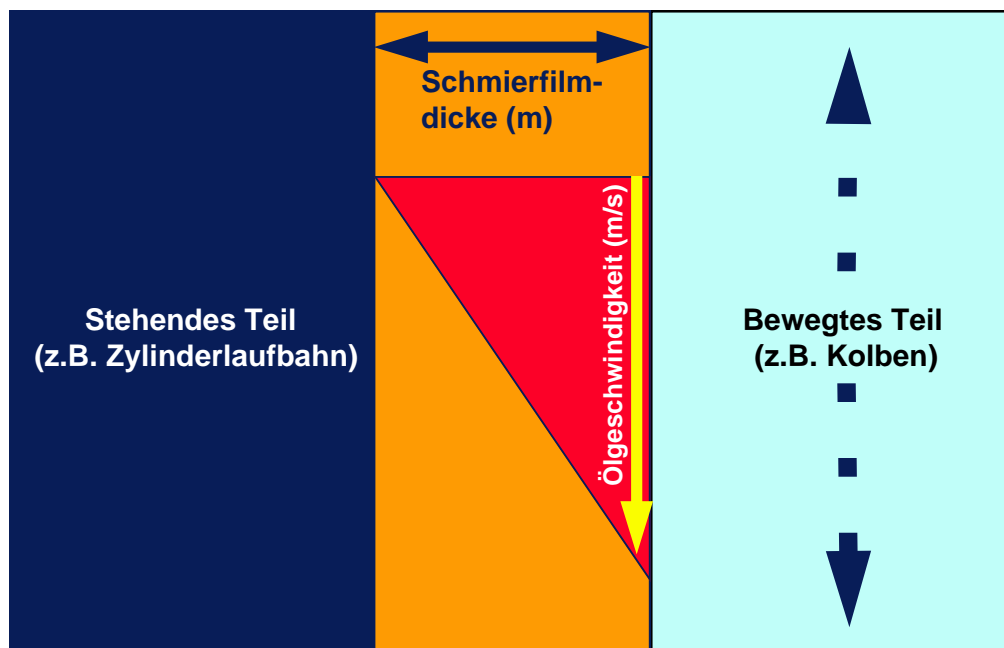


Bild 6: Schergefälle im Schmierpalt (vieltausendfach vergrößert)

Das vorhandene Schergefälle errechnet sich dann nach folgender Formel:

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

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.

3.5 Scherstabilität

Bei Ölen ohne Viskositätsindex-Verbesserer (Einbereichsöle) hat das Geschwindigkeitsgefälle keinen Einfluss auf die Viskosität; man bezeichnet sie als newtonsche Flüssigkeit (Bild 7, 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 Be-

triebsbedingungen immer in der selben SAE-Klasse bleiben und dadurch sehr scherstabil sind, nennt man „Stay-in-grade-Öle“.

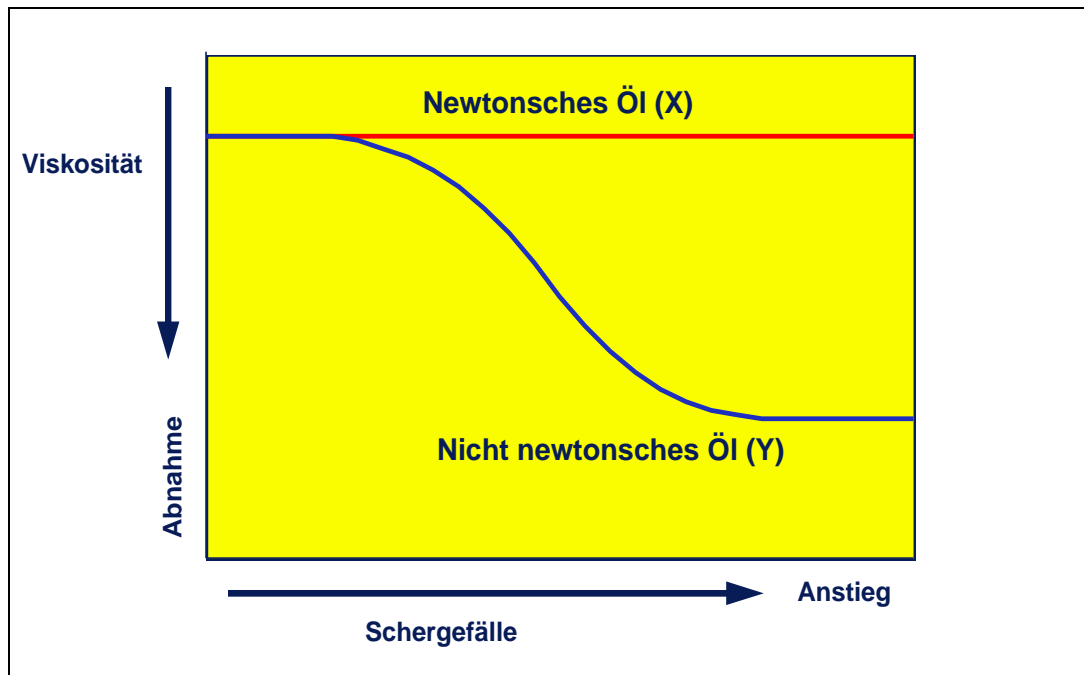


Bild 7: Viskositätsverhalten bei Scherung

3.6 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 Schmier-systems nicht mehr gewährleistet, es kommt zum Ansaugen von Luft und damit zu Verschleiss-schäden. Die Grenzwerte für die Pumpbarkeit bei verschiedenen Temperaturen sind aus Tabelle 2 ersichtlich.

3.7 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.

3.8 Verdampfungsverlust

Der Verdampfungsverlust ist abhängig von der Viskosität und bei den Mineralölen vom Refinationsgrad. 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-% angegeben.

4. 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 (4.1 - 4.5)
- Ölverbessernde Additive (4.6 und 4.7)
- Ölschützende Additive (4.8 und 4.9)

4.1 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 Alkaliität können sie auch saure Produkte, die aus der Verbrennung des Treibstoffs entstehen, neutralisieren.

4.2 Dispersants

Halten ö unlösliche, 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.

4.3 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.

4.4 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.

4.5 Reibwertveränderer (englisch : Friction Modifier)

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

4.6 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.

4.7 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.

4.8 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.

4.9 Antischaummittel

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

5. Motorenöle für Viertaktmotoren

5.1 Einleitung

Die Entwicklungen im Automobilbau und in der Motorentechnik sind mit dem Leistungsvermögen der Motorenöle untrennbar miteinander 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 60'000 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.

5.2 Aufgaben

Die Leistungen eines Motorenöls sind für das menschliche Auge nicht sichtbar, denn alle Funktionsabläufe spielen sich in geschlossenen Motorensystemen 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 Ventilführungen.

■ **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.

5.3 Anforderungen

Sowohl von der Automobilindustrie als auch von der Verbraucher- und Gesetzgeberseite sind Ziele gesetzt worden, welche die Anforderungen an die Motorenschmierstoffe 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.

5.4 Aufbau von Motorenölen

Motorenöle bestehen aus Basisflüssigkeiten und Additiven. Einzelheiten zu diesen Produkten sind in den Kapiteln 2 und 4 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 Viskositätsverbessers.

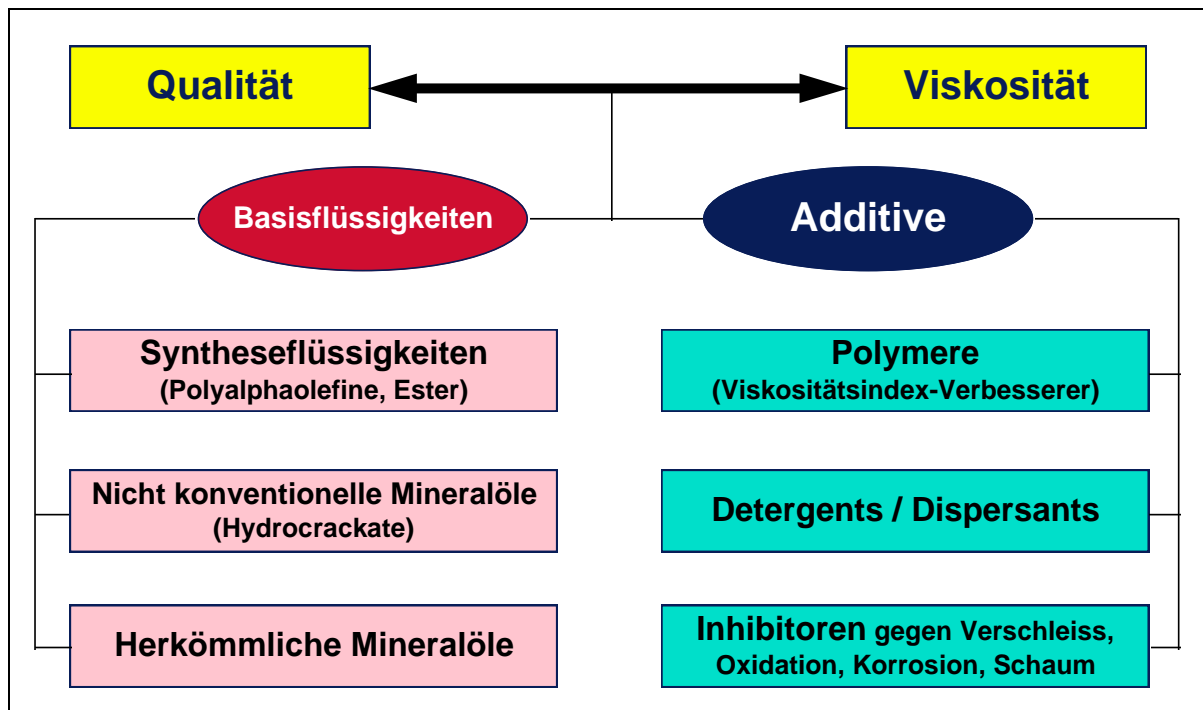


Bild 8: Schematischer Aufbau von Motorenölen

■ Schmierung von 4-Takt Motorrädern

Speziell für 4-Takt Motorräder entwickelte Motorenöle differieren in ihrer Zusammensetzung in einigen Punkten von Fahrzeug-Motorenölen, um eine optimale Schmierung dieses Aggregats zu ermöglichen. Die Unterschiede können wie folgt zusammengefasst werden :

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

5.5 Klassifikation nach Leistungsvermögen

Motorenöle werden nicht nach ihrer chemischen Zusammensetzung unterschieden, sondern danach, wie sie sich in Motorentests verhalten oder 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, Venttrieb / Ventildeckel, Ölwanne) werden auf verschiedene Kriterien wie Sauberkeit, Schlamm bildung, Verschleiss und Spiegelflächenbildung beurteilt. Im Laboratorium werden die Gebrauchtöle auf Viskositätsan-

stieg 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. 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 zuerst im CCMC (Comité des Construc-teurs Européens du Marché Commun) und ab 1993 in der ACEA (Association des Construc-teurs Européens d'Automobiles) zusammengeschlossen, um die Anforderungen der europäischen Motorenhersteller in den CCMC- und ACEA-Testsequenzen festzulegen.

API-Spezifikationen (USA)			
Benzinmotoren	Dieselmotoren in LKW, Bussen		Dieselmotoren in Baumaschinen u.ä.
	Viertakt	Zweitakt	
SH (1993) ⁽¹⁾	CG-4 (1995)		CF (1993)
SG (1988) ⁽¹⁾	CF-4 (1990)	CF-2 (1993)	
SF (1980)	CE (1983)		
SE (1972)	CD (vor 1971)	CD-II (1985)	
SD (vor 1972)	CC (vor 1971)		
(1)	Die API-Spezifikationen SH und SG haben das gleiche Leistungsvermögen, unterschiedlich sind die Prüfvorschriften		
Hinweis	Die Angaben in Klammern stehen für das Einführungsjahr der jeweiligen API-Spezifikation		

Tabelle 5: API-Klassifikation von Motorenölen

Darüber hinaus enthalten die "Haus-Spezifikationen" einiger Automobilfirmen wie Volkswagen, Mercedes-Benz und MAN 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 500 00 Für Benzin- und Saugdieselmotoren. Leichtlauföle SAE 0W-30, 5W-30, 10W-30, 5W-40, 10W-40.

VW 501 01 Für Benzin- und Saugdieselmotoren. Mehrbereichsöle mit Viskositäten ausserhalb VW-Norm 500 00

VW 505 00 Für Turbo- und Saugdieselmotoren. Mehrbereichsöle, für Turbodiesel Motoren zwingend vorgeschrieben.

ACEA-Testsequenzen (Europa)

		Personenwagen / Leichte Nutzfahrzeuge		Nutzfahrzeuge
		Benzin	Diesel	Diesel
Ab 1.1.1996 gültig		A1, A2, A3 ⁽¹⁾	B1, B2, B3 ⁽²⁾	E1, E2, E3 ⁽³⁾
Bis 1995 gültig		G4, G5	PD2	D4, D5
Bis 1989 gültig		G1, G2, G3	PD1	D1, D2, D3
(1)	A1	Mehrbereichsöle XW-20, XW-30, XW-40 für PKW-Benzinmotoren. HTHS-Viskosität 2,9 - 3,5 bei 150°C. Performance ansonsten wie Kategorie A2.		
	A2	Mehrbereichsöle SAE XW-30, XW-40, XW-50 für PKW-Benzinmotoren. HTHS-Viskosität min. 3,5 mPa s bei 150°C. Minimale Anforderungen bezüglich Schutz vor Alterung, Schlamm und Verschleiss. HTHS-Viskosität min. 3,5 mPa s bei 150°C.		
	A3	Motorenöle mit hohem Leistungsvermögen für PKW-Benzinmotoren. HTHS-Viskosität min. 3,5 mPa s bei 150°C. Deutlich verschärfte Anforderungen bezüglich Ölalterung, Ablagerungsbildung, Scherstabilität (stay-in-grade), Verdampfungsverlust.		
(2)	B1	Mehrbereichsöle XW-20, XW-30, XW-40 für Saug- und Turbodieselmotoren in PKW's und leichten Nutzfahrzeugen. HTHS-Viskosität 2,9 - 3,5 mPa s bei 150°C. Performance ansonsten wie Kategorie B2.		
	B2	Mehrbereichsöle SAE XW-30, XW-40, XW-50 für Saug- und Turbodieselmotoren in PKW's und leichten Nutzfahrzeugen. HTHS-Viskosität min. 3,5 mPa s bei 150°C. Minimale Anforderungen bezüglich Schutz vor Ringstecken, Sauberkeit, Dispergierverhalten und Verschleiss.		
	B3	Motorenöle mit hohem Leistungsvermögen für Saug- und Turbodieselmotoren in PKW's und leichten Nutzfahrzeugen. HTHS-Viskosität min. 3,5 mPa s bei 150°C. Deutlich verschärfte Anforderungen bezüglich Dispergierverhalten, Scherstabilität (stay-in-grade), Verdampfungsverlust.		
(3)	E1	Ein- und Mehrbereichsöle normaler Leistung bezüglich Spiegelflächenbildung, Kolbensauberkeit, Verschleiss, Schlamm, Ölverbrauch. Für aufgeladene Motoren nur im Ausnahmefall und nur bei kurzen Ölwechselintervallen.		
	E2	Ein- und Mehrbereichsöle erhöhter Leistung bezüglich Spiegelflächenbildung, Kolbensauberkeit, Verschleiss, Schlamm, Ölverbrauch und Russ-Dispergiervermögen. Für aufgeladene Motoren (vor Euro II). Verlängerte Ölwechselintervalle sind - je nach Betriebsbedingungen - möglich.		
	E3	Ein- und Mehrbereichsöle mit hoher Leistung bezüglich Spiegelflächenbildung, Kolbensauberkeit, Verschleiss, Schlamm, Ölverbrauch und Russ-Dispergiervermögen. Für Euro II-Motoren mit verlängerten Ölwechselintervallen.		

Tabelle 6: ACEA-Testsequenzen von Motorenölen

■ MAN-Werknorm und Richtlinie

270 / 271 Ein- und Mehrbereichsöle für Nutzfahrzeuge normaler Leistung.

QC-13017 Höchstleistungsöle für Nutzfahrzeuge. Von MAN generell empfohlen.

■ Mercedes-Benz Betriebsvorschriften

Blatt 226.0 Einbereichsöle für Nutzfahrzeug-Saugmotoren bei niedriger Belastung.

Blatt 227.0 / Blatt 227.1	Ein- und Mehrbereichsöle normaler Leistung für Nutzfahrzeug -Saugmotoren. Für aufgeladene Motoren nur im Ausnahmefall und bei kurzen Ölwechselintervallen.	
Blatt 228.0 / Blatt 228/1	Ein- und Mehrbereichsöle erhöhter Leistung für Nutzfahrzeuge. Ölwechselintervalle - je nach Betriebsbedingungen - bis 30'000 km.	
Blatt 228.2 / 228/3	Ein- und Mehrbereichs-Höchstleistungsöle für Nutzfahrzeuge. Ölwechselintervalle - je nach Betriebsbedingungen - bis 45'000 km.	Blatt

5.6 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 dieser Reibungsminderung 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 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 Schlammbildung 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 Motoröls 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 Mangelschmierung 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 Benzinmotoren oft eine nied-

rigere 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. Gebrauchtöl 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 Ölfüllstand, 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 Ventildeckel 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 Nuttengrund, 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 Nuttengrundbereich 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-Ölfilter 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 (Filterpapieroberfläche) 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 Ölfilter-Wechselintervalle nicht überschritten werden, weil sonst wegen der nicht herausfiltrierten Fremdstoffe gravierende Motorschäden eintreten können.

Bei Nebenstrom-Ölfiltern, wie sie oft auf dem Zubehörmarkt für den nachträglichen Einbau angeboten werden, wird nur ein Teilstrom von 5-10 % der Motorenöl-Umlaufmenge pro Um-

wälzung filtriert. Sie sind meist weiter vom Motor weg eingebaut, daher werden sie thermisch nicht so hoch belastet wie Hauptstrom-Ölfilter. 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 mm, sie ermöglichen eine feinere Ölfiltrierung als Hauptstrom-Ölfilter. Ausserdem vergrössern Nebenstrom-Ölfilter das Ölvolumen 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-Ölfiltern 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 Ottomotoren 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:

„Inbesondere 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 in Benzinmotoren mit dem Ziel einer Verlängerung des Ölwechselintervalls ist daher abzuraten.

■ Motorenöl-Zusatzmittel

Im Handel gibt es die verschiedensten Zusatzmittel für Motorenöle. Mineralölfirmen 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.

6. Motorenöle für Zweitaktmotoren

6.1 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 Zylinderlaufflächen 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 Zweitakttaggregates sind ganz spezielle Öle erforderlich.

6.2 Aufgaben

Die Aufgaben und Anforderungen die an ein Zweitakt-Motorenöl gestellt werden sind aus Bild 9 ersichtlich.

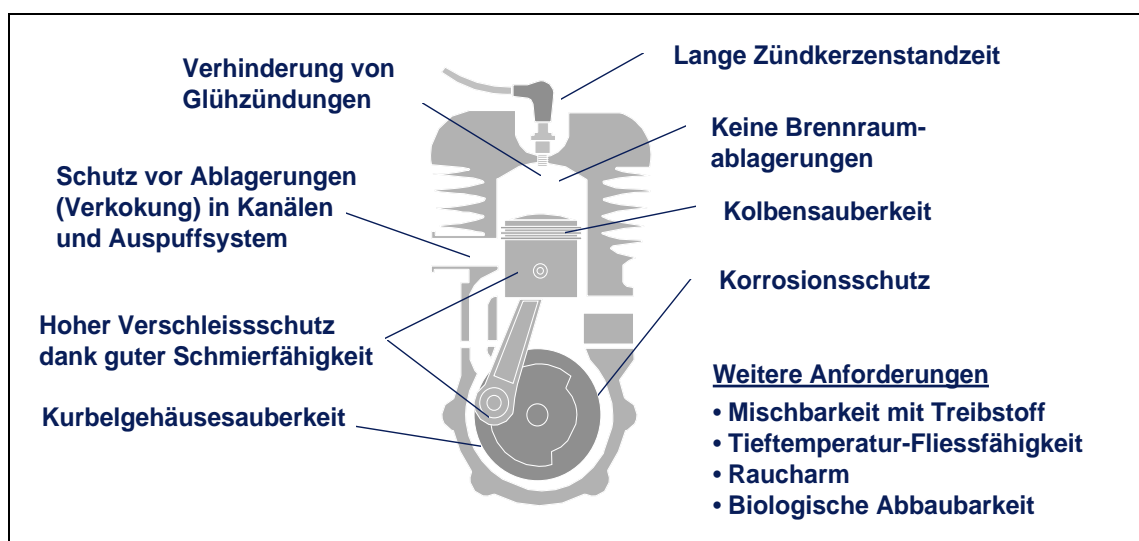


Bild 9 : Aufgaben / Anforderungen an ein Zweitakt-Motorenöl

6.3 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 Aussenbordmotoren (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.

6.4 Viskositätsklassen

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

6.5 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 Global-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 Global-Kategorien für Zweitaktmotorenöle, wie sie in Tabelle 7 zusammengestellt sind.

JASO-Kategorie	Global-Kategorie	Anforderung
FA		leicht
FB	GB	mittel
FC	GC	hoch + raucharm
	GD	sehr hoch + raucharm

Tabelle 7: Leistungsklassen von Zweitaktölen

Für Aussenbordmotorenöle haben weder JASO- noch Global-Klassen ihre Gültigkeit. Diese werden in der Spezifikation NMMA 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.

7. Fahrzeug-Getriebeöle

7.1 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.

7.2 Aufgaben

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

7.3 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.

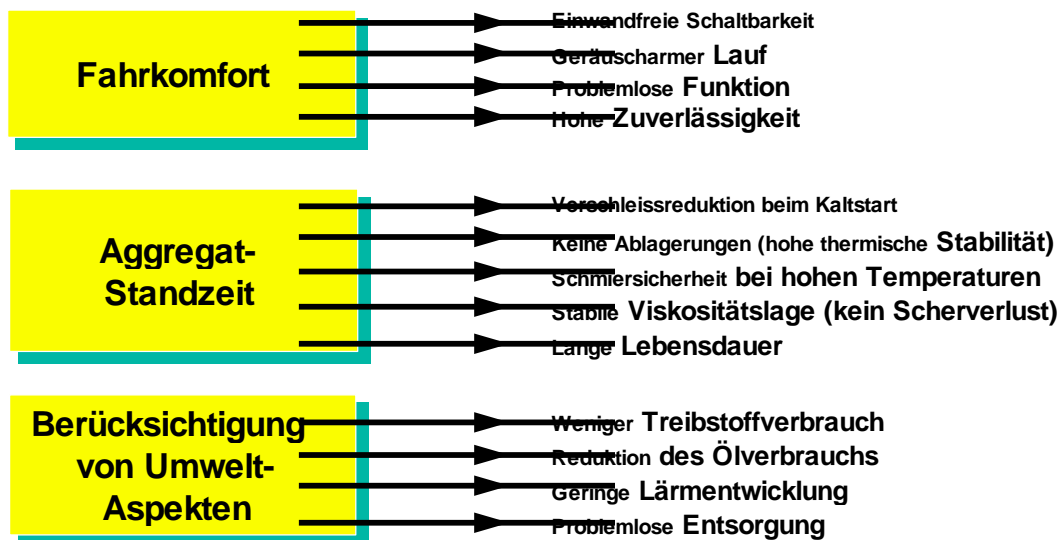


Bild 10: Anforderungen an Schalt- und Achsgetriebeöle

7.4 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, schrumpfen oder verspröden

7.5 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 anderen 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.

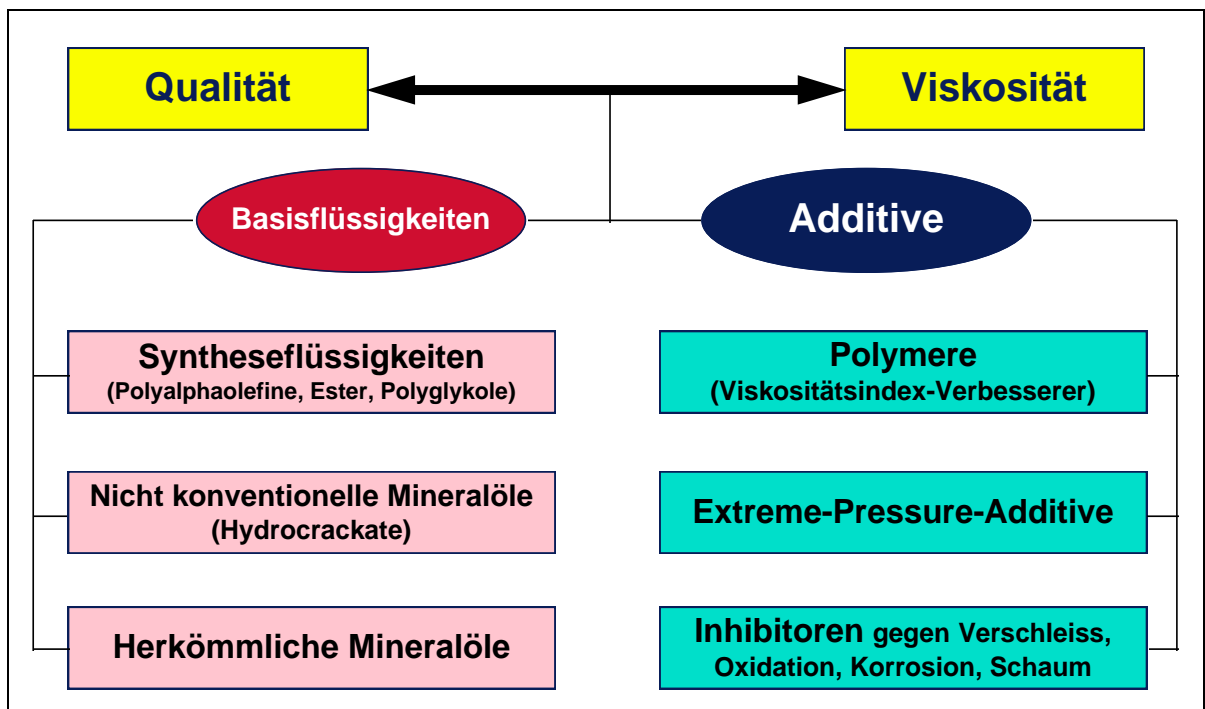


Bild 11: Schematischer Aufbau von Getriebeölen

7.6 Leistungsklassen

Das Leistungsvermögen von Fahrzeug-Getriebeölen wird durch die API-Klassifikation beschrieben (Tabelle 8). 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.

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 8: API-Leistungsklassen

8. Bremsflüssigkeiten

8.1 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.

8.2 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.

8.3 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.

8.4 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.

8.4.1 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 Siedepunkt 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 :

8.4.2 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.

8.4.3 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.

8.4.4 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.

8.5 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 9 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 9: Unterscheidungsmerkmale von Bremsflüssigkeiten

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

8.6 Praxishinweise

n 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.

n 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.

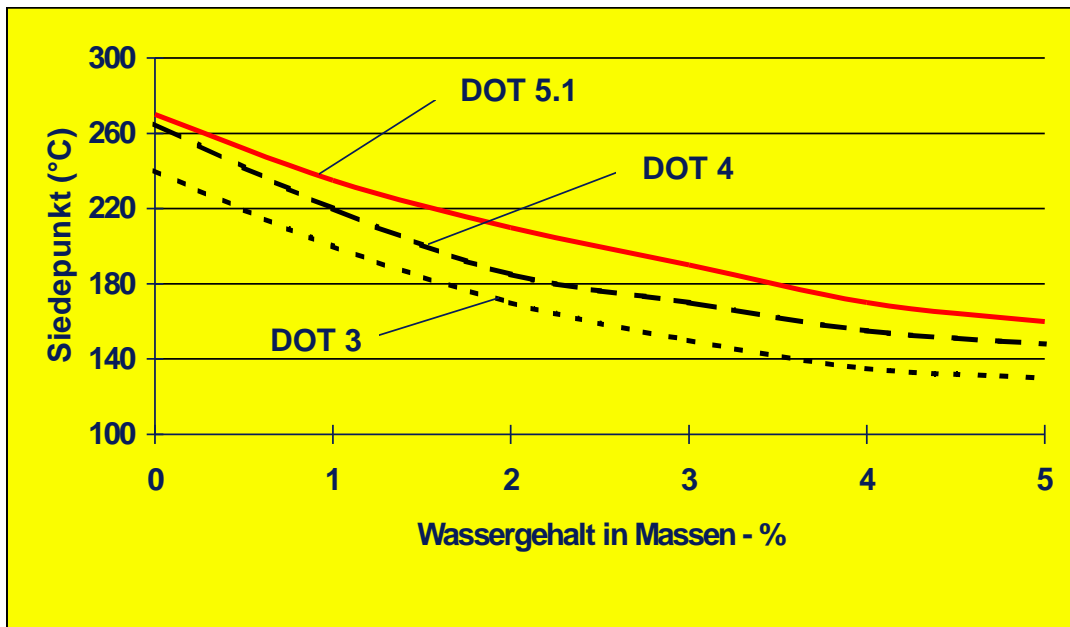
n Haltbarkeit

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

n 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 Funktionstüchtigkeit der Bremsflüssigkeit zu gefährden. Durch Verwendung qualitativ besserer Bremsflüssigkeiten, wie z.B. einer DOT 5.1, wird diese Gefahr erheblich vermindert. Bild 12 zeigt den Siedepunkt in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

Bild 12: Siedepunkt verschiedener Bremsflüssigkeiten in Abhängigkeit des Wassergehalts



9. Hydraulikflüssigkeiten

9.1 Einleitung

Die Übertragung von Energie und Kraft von der einen Einheit zur anderen ist von höchster Bedeutung in der modernen Industriegewelt. 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.

9.2 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

9.3. 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

9.4 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 Hydraulikfluiden 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 10 gibt Auskunft über die wichtigsten Additive und deren Funktion, welche für die Herstellung von Hydraulikflüssigkeiten herangezogen werden.

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

- Mineralölbasierte 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 paraffinbasierten Hydraulikölen herunter
Viskositätsindex-Verbesserer	Verringern die Viskositäts-Temperatur-Abhängigkeit

Tabelle 10: Additive für Hydraulikflüssigkeiten

9.5.1 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, wurden in den Normen DIN 51502 und ISO 6743 Teil 4 verschiedene Qualitätsgruppen zusammengefasst gemäss der Einteilung in Tabelle 11 :

Produktgruppe	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 11: Einteilung der mineralölbasischen Hydrauliköle

9.5.2 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.

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.

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.

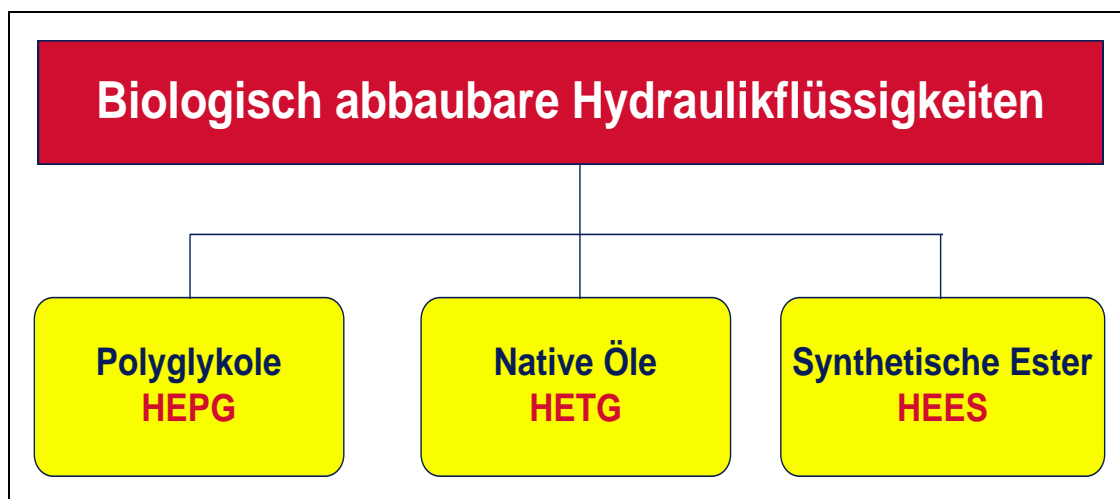


Bild 13: Einteilung biologisch abbaubarer Hydraulikflüssigkeiten

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.

9.6 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 14 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 14: Hersteller-Spezifikationen für Hydraulikflüssigkeiten

10. Industrie-Getrieböle

10.1 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 Fresssicherheit, abhängig von den Verzahnungsdaten, Zahnradwerkstoff, Schmierstoff und Betriebsbedingungen

10.2 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.

10.3 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
- Haftschnierstoffe

10.4 Klassifikation und Spezifikation

10.4.1 DIN-Normen

In den deutschen Normen sind acht Schmierstofftypen aufgeführt, worin die Anforderungen an die Schmierung von Industriegetrieben festgelegt sind (Tabelle 12).

Viskosität / Penetration	Qualität der Schmierstoffe							
	ohne EP-Additive					mit EP-Additiven		
Viskositätsklassen 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	Schmierfette K DIN 51825	Schmierfette 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 12: Anforderungen an Industrie-Schmierstoffe

10.4.2 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

11. Kühlschmierstoffe

11.1 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.

11.2 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.

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

11.3 Aufbau und Klassifikation

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

- Nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe (Metallbearbeitungsöle, Neat Oils)
- Wassermischbare Kühlschmierstoffe (Soluble Fluids)

Die weitere (feinere) Unterteilung ist aus Bild 15 ersichtlich.

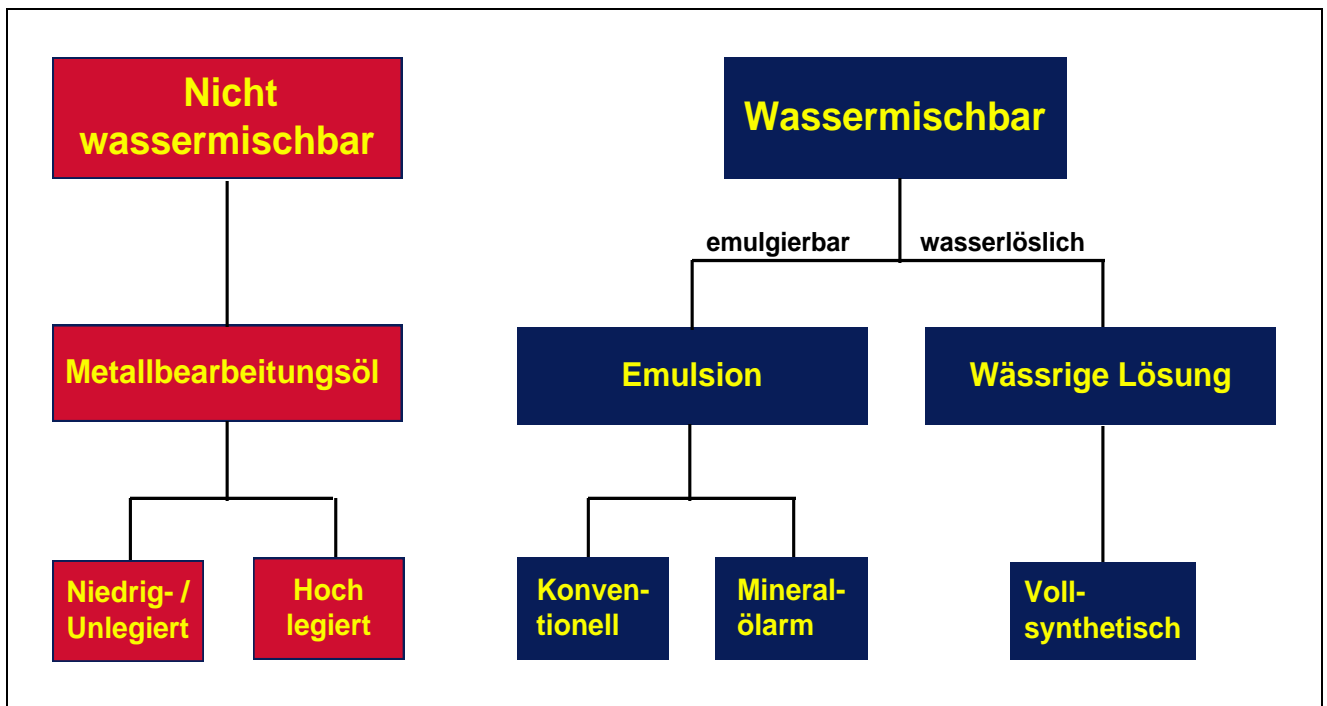


Bild 15: Unterteilung von Kühlschmierstoffen

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)

11.3.1 Nicht wassermischbaren 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.

11.3.2 Wassermischbare Kühlschmierstoffe

Diese sind wesentlich komplexer zusammengesetzt als die Metallbearbeitungsöle. Sie sind so konzipiert, dass sie vor der Verwendung dem Wasser zugegeben werden müssen.

Vielfach enthalten wassermischbare Schmierstoffe keine EP-Additive, aber sonst eine Vielfalt von anderen Additiven. Dazu zählen insbesondere :

- Emulgatoren
- Korrosionsinhibitoren
- Stabilisatoren
- Lösungsvermittler
- Antischaummittel
- Bakterizide / Fungizide
- Geruchsüberdecker
- Farbstoffe

Insbesondere der Emulgator spielt 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 13. 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	> 50 %
Mineralölarme Kühlschmier-Emulsion	5 - 50 %
Synthetische Kühlschmier-Lösung	0

Tabelle 13: 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 anderen 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 mineralölararm 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, wel-

che vollständig auf wasserlöslichen Chemikalien, inklusive synthetischen oder anderen Estern zur Gewährleistung der Schmierung, aufgebaut sind.

11.4 Anforderungen an Kühlschmierstoffe

Die Anforderungen an Kühlschmierstoffe sind in DIN-Normen festgelegt. In der DIN 51520 sind diejenigen für nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe und in der DIN 51521 diejenigen für wassermischbare Kühlschmierstoffe festgehalten. Auch die VDI-Richtlinie 3397, Blätter 1-3 gibt diesbezüglich wertvolle Hinweise.

An wassermischbare Kühlschmierstoffe werden - im Vergleich zu nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen) - eine Reihe zusätzlicher Anforderungen gestellt (Bild 16).

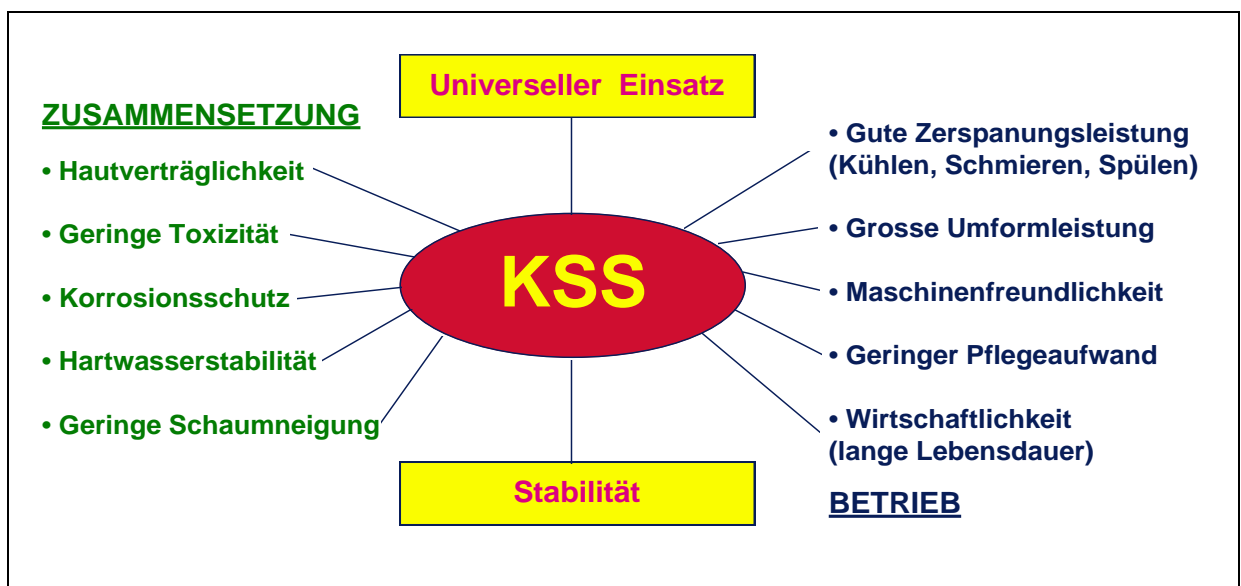


Bild 16: Anforderungen und Eigenschaften an wassergemischte Kühlschmierstoffe

12. Fette

12.1 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 mineralöhlhaltige Schmierstoffe. Sie werden hergestellt in einem weiten Konsistenz- bzw. Penetrationsbereich von flüssig über pastenförmig bis talgartig-fest.

12.2 Definition

Für die Definition von Schmierfetten existieren verschiedene Versionen. Die gebräuchlichsten sind in Bild 17 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 17: Definition von Schmierfetten

12.3 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

12.4 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-Hydroxystearinsäure 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.

12.5 Einteilung

In der Praxis werden die Schmierfette nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt.

n Nach dem **Typ des Verdickers** in

- | „einfache“ Natrium, Calcium- und Lithiumfette
- | Natrium-, Calcium- und Lithiumkomplexfette
- | Bentonit- und Polyharnstoff-Fette

n Nach den zu schmierenden **Maschinenelementen** in

- | Wälz-, Gleit- und Radlagerfette
- | Gelenk- und Getriebefette
- | Chassisfette

n Nach der **Anwendung** in

- | Tief- Normal- und Hochtemperaturfette
- | Mehrzweck-, Normal- und Sonderschmierfette
- | Schmierfette mit Hochdruckeigenschaften

n Nach der **Konsistenz** in neun sogenannte NLGI -Klassen gemäss Tabelle .

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 14: Konsistenz-Einteilung von Schmierfetten

12.6 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 einen 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

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

n **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
- n **Verdicker** beeinflussen Penetration
Tropfpunkt
Eindickungsvermögen
Verhalten gegenüber Wasser
- n **Additive** verbessern Oxidationsstabilität
Korrosionsschutz
Wasserbeständigkeit
Haftvermögen
Verschleisschutz

Typische Kenndaten verschiedener Schmierfette sind in Tabelle 15 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 15: Typische Kenndaten verschiedener Schmierfette

13. Aufgaben eines Motorenöles

Im wesentlichen hat ein Motorenöl die Aufgabe, zu "schmieren" und zu "kühlen". Unter Schmierung versteht man in der Technik die Anwendung eines Schmierstoffes zur Herabsetzung der Reibung und Verminderung bzw. Minimierung des Verschleißes. Da beim Betrieb eines Motors dieser, aber auch das Schmiermittel, thermisch belastet wird, muß das Motorenöl auch gut kühlen, um die Wärme von den Motorteilen abzuleiten. Neben den oben erwähnten Eigenschaften soll ein Motorenöl im Motor eine Dichtfunktion wahrnehmen und vor Korrosion schützen.

13.1 Aufbau eines Motorenöles

Jedes Motorenöl besteht zunächst aus einer oder mehreren Basiskomponenten und chemisch-sowie physikalisch-wirkenden Additiven.

Als Basiskomponenten werden eingesetzt:

- * mineralische Grundöle
- * synthetische Grundöle

Grundöle bzw. Basisöle verleihen modernen Hochleistungsschmierstoffen elementare Eigenschaften, die letztendlich die Qualität des Fertigproduktes deutlich beeinflussen.

Die wichtigsten Unterschiede der Basisöle für Motorenschmierstoffe sind:

13.2 Synthese-Basis

- * Ausgezeichnetes Viskositäts-Temperaturverhalten.
Das bedeutet: Der Viskositätsbereich bleibt zwischen den Ölwechseln erhalten und garantiert optimales Verhalten beim Kaltstart und im Hochtemperaturbereich.
- * Hervorragendes Kälteverhalten.
Das bedeutet: Sofortige Schmierung beim Kaltstart und dadurch weniger Verschleiß. (Es ist bewiesen, daß nicht die schnelle Fahrt auf der Autobahn, sondern der Kaltstart den größten Verschleiß bewirkt.)
- * Geringe Verdampfungsverluste bei hohen Temperaturen.
Das bedeutet: Weniger Ölverbrauch.
- * Hohe Oxidations- und Alterungsbeständigkeit.
Das bedeutet: Sicherheit bezüglich der Verschlammung von Motoren.

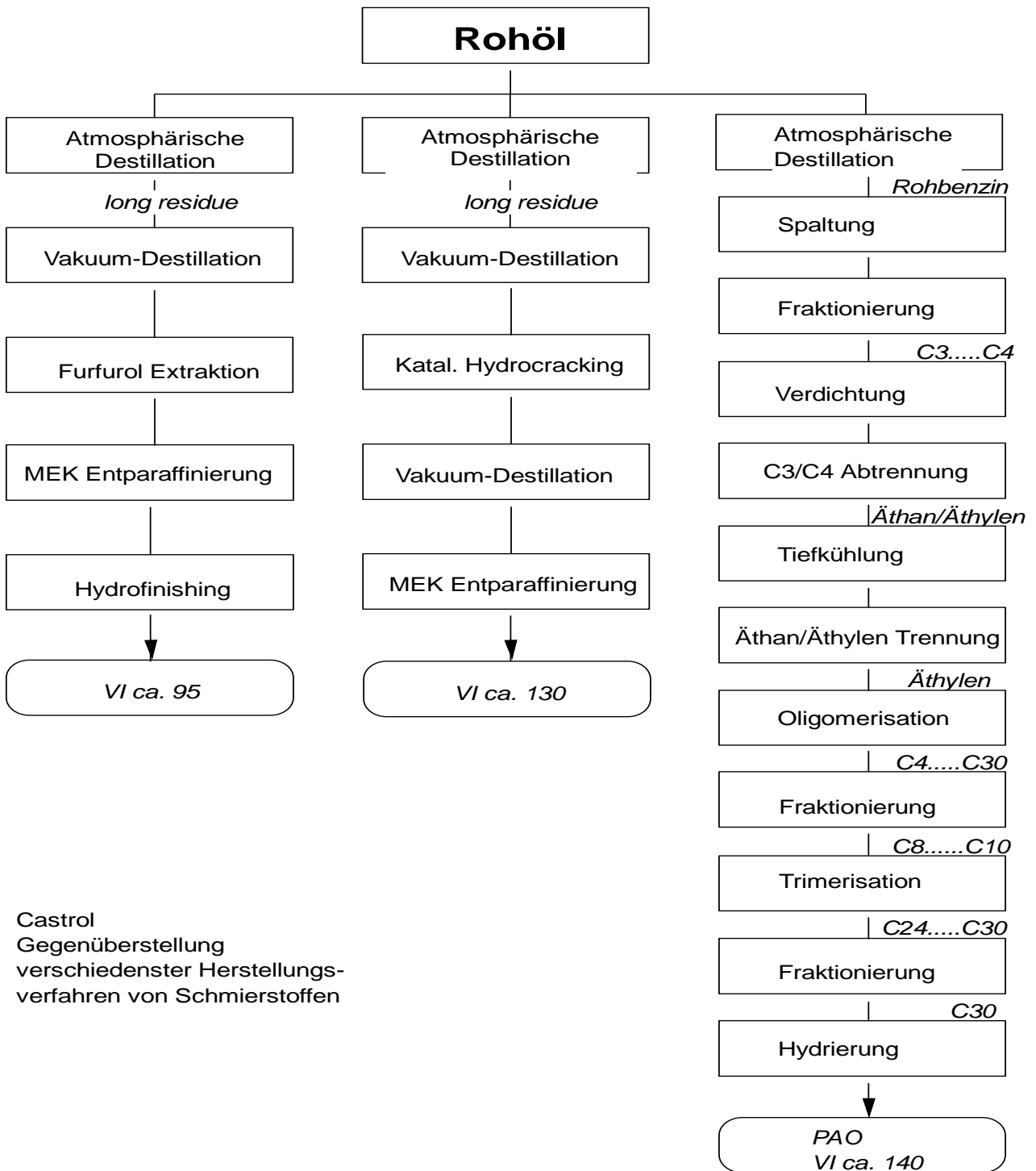
13.3 Mineralöl-Basis

- * Nur durch den Einsatz von VI-Verbesserern wird das erforderliche Viskositäts-Temperaturverhalten erreicht.
Das bedeutet: Bei extremen Belastungen können diese Öle auf niedrigere Viskositätsklassen abgeschert werden. Damit höhere Verschleißgefahr.
- * In der Regel kein gleichwertiges Kältefließverhalten möglich.
Das bedeutet: Schlechteres Starten und damit höherer Startverschleiß.

* Neigen bei hohen Temperaturen zu stärkeren Verdampfungsverlusten.
Das bedeutet: Erhöhter Ölverbrauch.

* Neigen eher zur Alterung durch den Einfluß von Luftsauerstoff.
Das bedeutet: Größere Anfälligkeit bei der Verschlammung von Motoren.

Ausgangspunkt für jedes Basis- oder Grundöl ist das Rohöl. Durch Destillation und Raffination bzw. weitere Verfahren werden die jeweiligen Grundöle hergestellt. Das Schaubild gibt eine Gegenüberstellung der verschiedenen Herstellungsverfahren.



Castrol
Gegenüberstellung
verschiedenster Herstellungsverfahren
von Schmierstoffen

Die **Kolonne links** zeigt das Herstellungsverfahren für Mineralöl-Raffinate mit einem VI (Viskositätsindex) von ca. 95. Sie bilden die Ausgangsprodukte für alle herkömmlichen Einbereichs- und Mehrbereichsmotorenöle.

Die **mittlere Kolonne** zeigt das Herstellungsverfahren für sogenannte "Super Raffinate". Man nennt diese Basisöle auch "Hydrocrack-Raffinate". Dieses Verfahren ist aufwendiger und die Ausbeute geringer als bei normalen Raffinaten. Ihr Viskositäts-Temperaturverhalten (VI ca. 130) macht es möglich, Mehrbereichs-Motorenöle SAE 10W-30 ohne Zugabe von VI-Verbesserern zu formulieren.

Syntheseöle (rechte Kolonne) haben zwar auch als Basis das **Rohöl**. Sie werden jedoch nicht in Mineralöl-Raffinerien, sondern in petrochemischen Fabriken hergestellt. Ihre Ausgangsprodukte sind Erdgas bzw. Äthan/Äthylen, also reine Kohlenwasserstoffe, aus denen die Petrochemiker jedes gewünschte Syntheseöl "quasi Maßschneidern" können. Es liegt auf der Hand, daß dieses Verfahren noch wesentlich teurer ist als die Herstellung der Super-Raffinate. Endprodukt der synthetischen Basisöle in der rechten Kolonne ist das Polyalphaolefin (PAO) mit einem Viskositätsindex von ca. 140, das z.B. Ausgangsbasis für unsere Spitzengrade Castrol Formula SLX 0w-30, Castrol TXT SOFTEC+ SAE 5W-40 und Castrol Formula RS Racing Syntec 10W-60 ist.

Wie eingangs bereits erwähnt, wird das jeweilige Grundöl mit Additiven (Wirkstoffen und Zusätzen) weiterbehandelt, um gewünschte, für die Motorenschmierung notwendige Eigenschaften zu erzielen. Zu den wichtigsten Additiven zählen:

13.4 Chemisch-wirkende Additive

Antioxydantien

Sie sollen das Grundöl vor Sauerstoffangriff - und damit vor frühzeitiger Alterung - schützen.

Korrosions-Inhibitoren

Sie sollen im Motor Rost und andere Korrosionen verhindern.

Zinkdithiophosphat

Hierbei handelt es sich um eine Hochdruck- und Verschleißschutzkomponente, die Zink, Schwefel und Phosphor enthält.

Detergentien

sind waschaktive Wirkstoffe, die Verbrennungsrückstände und andere motorische Verunreinigungen lösen und mittels der

Dispersanten

"dispergieren", d.h. daß diese Verunreinigungen sich nicht absetzen, sondern im Öl in Schwebe gehalten werden.

13.5 Physikalisch-wirkende Additive

VI-Verbesserer

Der VI (Viskositätsindex) ist ein Maß für das Viskositätstemperaturverhalten eines Motorenöles. Je höher der VI, desto besser das VT-Verhalten eines Öles. Mehrbereichsmotorenöle können z.B. über 10 % VI-Verbesserer enthalten die also nur den SAE-Bereich erweitern, ohne jedoch die Schmiereigenschaften eines Öles zu verbessern.

Stockpunkterniedriger

Dieses Additiv senkt den Erstarrungspunkt mineralischer Grundöle ab.

Antischaumzusätze

Je nach Herstellungsverfahren oder Provenienz (Herkunft) neigen manche Grundöle zum Schäumen. Der Antischaumzusatz soll diese negative Erscheinung kontrollieren.

14. Anforderung an Motorenöle

Verschleißschutz

Für eine möglichst hohe Laufstrecke des Motors, ohne Leistungsverlust oder erhöhten Ölverbrauch, muß mechanischer und korrosiver Verschleiß weitgehend vermieden werden. Dies gilt vor allem für die Zylinderlaufbahnen, Kolben, Kolbenringe und die Ventilsteuerung (Nocken, Stößel, Schwing- oder Kipphebel, Ketten usw.). In vielen Fällen sind die Gleitlager das lebensdauerbegrenzende Motorenelement, die deshalb ganz besonders vor Verschleiß zu schützen sind.

Oxidationsstabilität (Alterungsstabilität)

Da bei den hohen Temperaturen im Motorraum stets Sauerstoff anwesend ist, muß das Öl auch oxidationsstabil sein. Es darf seine vorteilhaften Eigenschaften nicht verlieren und keine öleigenen Oxidationsprodukte bzw. Rückstände bilden. Diese würde zur Ölversäuerung und Öleindickung führen.

Dispergiervermögen

Die bei der Verbrennung anfallenden ö unlöslichen Rückstände sowie die öleigenen Rückstände müssen fein verteilt in Schwebelage gehalten werden, d.h. sie dürfen sich nicht an den Motorenbauteilen ablagern.

Detergentwirkung

Das Motorenöl muß die Fähigkeit haben, bereits vorhandene Ablagerungen in gewissem Umfang wieder "abzuwaschen", um so eine reinigende Wirkung auszuüben.

Korrosionsschutz

Alle metallischen Motorenbauteile müssen auch über längere Standzeiten hinweg zuverlässig vor Korrosion geschützt werden. Diese Forderung gilt für alle Motorenöle, besonders natürlich für Erstbetriebsöle.

Verträglichkeit mit Elastomeren (Dichtungen)

Die geforderte Verträglichkeit mit den Elastomeren (Dichtungen) ist sehr wesentlich; die Motoren müssen absolut dicht sein. Das beste Motorenöl nützt nichts, wenn es nicht mehr im Motor ist. Ölflecke werden nirgends gern gesehen. Dichtungen dürfen unter dem Einfluß des Öls auf keinen Fall schrumpfen oder spröde und rissig werden. Eine leichte Quellung wird meist toleriert. Die Festigkeitseigenschaften müssen erhalten bleiben. Wenn ein neues Motorenöl auf den Markt kommt, muß es mit allen Dichtungen, die in Motoren eingebaut sind, verträglich sein.

Schaumverhinderung

Das Öl wird im Kurbelgehäuse erheblich durchgewirbelt und es besteht die Möglichkeit der Luftaufnahme, vor allem bei höheren Drehzahlen. Diese Luftaufnahme muß jedoch möglichst gering sein, um Schaumbildung weitgehendst zu vermeiden. Ölschaum kann verständlicherweise nicht die erforderlichen Schmierfilme bilden, es kommt zu Verschleißschäden.

Luftabgabevermögen

Wenn sich aber schon Schaum gebildet hat, so muß die aufgenommene Luft sofort wieder abgegeben werden, d.h. die eingeschlossene Luft darf nicht zurückgehalten werden.

Neutralisationsvermögen

Otto- und vor allem Dieseldieselkraftstoffe enthalten Schwefel. Bei der Verbrennung dieser Schwefelanteile könnte, zusammen mit dem aus dem Kraftstoff stammenden Verbrennungswasser, schwefelige Säure oder Schwefelsäure entstehen. Dies darf auf keinen Fall geschehen. Darum sind diese Säuren stets sofort zu neutralisieren. Das Motorenöl muß also alkalisch sein: Diese Alkalität wird zwar teilweise abgebaut, eine gewisse Restalkalität muß jedoch auch noch bis zum Ölwechsel vorhanden sein.

Verringerung des Kraftstoffverbrauches

Da die Einsparung von Energie in den Mittelpunkt des Interesses gerückt ist, müssen auch die Motorenöle ihren Teil dazu beitragen, den Kraftstoffverbrauch weiter zu verringern. Durch Absenkung der Viskosität ist, insbesondere während der Anwärmeperiode, d.h. in der Zeit zwischen Kaltstart und Erreichen der Betriebstemperatur, eine gewisse Verbrauchseinsparung möglich. Durch Auswahl geeigneter Additive ist eine positive Beeinflussung der Reibungsverhältnisse erreichbar. Bei der Entwicklung und Anwendung derartiger Öle, die grundsätzlich zu begrüßen sind, ist jedoch sehr darauf zu achten, daß keinerlei Nachteile, insbesondere bezüglich der Motorenlebensdauer, auftreten. Für den einzelnen Autofahrer und die Volkswirtschaft sollten diese Öle natürlich insgesamt einen finanziellen und energetischen Vorteil bringen.

Haftvermögen

Wenn der Motor aus Vollastbetrieb bei hohen Temperaturen abgestellt wird, muß ein Restölfilm an den Schmierstellen haften bleiben, damit es beim späteren Anfahren im kalten Zustand nicht zu Schäden infolge "Trockenlaufens" kommt.

Scherstabilität

Mehrbereichsöle können die Forderungen der geringen, temperaturabhängigen Viskositätsänderungen erfüllen. Wenn diese jedoch mit VI-Verbessern hergestellt werden, so ist darauf zu achten, daß diese mechanisch, thermisch und oxidativ scherstabil sind. Das bedeutet, daß die Viskosität des Frischöles möglichst erhalten bleiben muß und nicht vor dem vorgesehenen Ölwechsel abgebaut werden darf.

Thermische Stabilität

Das Motorenöl muß bei allen auftretenden Temperaturen thermisch stabil sein; es darf sich nicht nachteilig verändern.

Geringe Flüchtigkeit

Jeder Verbrennungsmotor hat einen gewissen Ölverbrauch. Das dadurch notwendig werdende Nachfüllen von Frischöl ist auch für den qualitativen Zustand der Ölfüllung und die Sauberkeit des Motors von Vorteil. Es darf sich jedoch kein öleigener, von der Ölzusammensetzung abhängiger Ölverbrauch allein aufgrund der hohen Temperaturen ergeben. Die Flüchtigkeit, d.h. die Verdampfungsneigung der Öle muß also gering sein. Dies ist vor allem bei Mehrbereichsölen und bei Ölen mit niedriger Viskosität wichtig.

Schlammenschutz

Das Motorenöl wird durch moderne Motorkonstruktionen in Verbindung mit modernen Zünd- und Einspritzsystemen erheblich belastet. Kraftstoffsparende und schadstoffarme Motoren erzeugen große Mengen an Stickoxyden, die in Verbindung mit Kraftstoffbestandteilen das Motorenöl stark belasten. Um den Motor vor Schlamm zu schützen, ist der Einsatz "schlammverhindernder Motoröle" erforderlich.

Katalysatorschutz

Phosphor, das in allen Motorenölen in Verbindung mit Zink enthalten ist, schädigt ebenso wie Blei den Katalysator. Der Einsatz von im Phosphorgehalt reduzierter Motorenöle ist daher dringend zu empfehlen.

Verträglichkeit/Mischbarkeit

Motorenöle, auch verschiedener Hersteller und unterschiedlicher SAE-Bereiche, müssen unter-einander mischbar und absolut verträglich sein. Darüber hinaus muß die Mischung in jedem Mischungsverhältnis ebenfalls alle an das Motorenöl gestellte Aufgaben erfüllen. Der Hinweis auf Mischbarkeit allein ist also nicht ausreichend.

Bei Mischungen verschiedener SAE-Klassen stellt sich eine unbekannte Mischviskosität ein, die den Anwendungsbereich dieser Öle begrenzt.

Bauteilverträglichkeit

Es ist klar, daß die Motorenöle mit allen im Motorenbau vorkommenden Metallen verträglich sein müssen und diese nicht beeinträchtigen dürfen. Hier gab es jedoch schon lange keine Schwierigkeiten mehr.

Das Motorenöl muß auch mit allen zur Karosserielackierung verwendeten Lacken absolut verträglich sein, d.h. es darf diese Lacke in keiner Weise beeinträchtigen. Teilweise werden Motorenbauteile auch innen lackiert, z.B. Kurbelgehäuse. Auch diese Lacke dürfen vom Motoröl natürlich nicht angegriffen werden.

Ein Problem hat sich in der letzten Zeit - ab ca. Mitte der achtziger Jahre - in Zusammenhang mit der Motorschmierung ergeben:

Schwarzschlamm

Die Verschlammung moderner Benzinmotoren ist nach wie vor eine hochaktuelle und viel-diskutierte Thematik, mit der sich nicht nur die Mineralölgesellschaften und die Automobil-Hersteller, sondern letztlich auch die Verbraucher, d.h. die Autofahrer, auseinandersetzen. Operiert wird mit Begriffen wie "Schwarzschlamm" bzw. "Ölschlamm" - Schlagworte, die aus Veröffentlichungen seitens der Presse und den Medien hinreichend bekannt sind.

Die Schadensfälle konzentrieren sich im wesentlichen auf die BRD, und man spricht in diesem Zusammenhang häufig auch von "German Sludge", obwohl auch im Ausland Fälle von verschlammten Benzinmotoren bekannt sind.

Wer ist betroffen?

Vom "Schwarzschlamm" sind nahezu alle Hersteller von Ottomotoren betroffen.

Beschreibung "Schwarzschlamm"

In der Praxis kann "Schwarzschlamm" in verschiedenen Entwicklungsstufen auftreten. Es kann sich hier um eine schwarze, teer- bzw. asphaltähnliche Masse, teils zähfester und klebriger Natur bis hin zu harten Ablagerungen, handeln. Diese Art der Rückstandsbildungen ist weder öl- noch benzinlöslich. Im fortgeschrittenen Stadium einer Verschlammung ist selbst eine "Freispülung" durch Einsatz synthetischer Motorenöle, die in der Vergangenheit oftmals Abhilfe geschaffen haben, nicht mehr möglich.

Die Ablagerungen treten in der Regel an folgenden Bauteilen im Motor auf:

- * Ölwanne
- * Ventildeckel
- * Ventiltrieb
- * Ölzuführungsbohrungen

- * Ölfilter
- * Steuerkasten (Räderkasten)

Die Folgen einer Verschlammung sind Verstopfungen der Versorgungssysteme, wie Ölfilter, Ölzuführungsbohrungen etc., sowie ein Verkleben beweglicher Motorenteile. Dies führt zwangsläufig zu einem frühzeitigen kompletten Ausfall der Motoren durch mangelnde Ölversorgung.

Einflußfaktoren auf die Bildung von Schwarzschlamm

Auf die Bildung von "Schwarzschlamm" nehmen folgende Faktoren Einfluß:

- * Kraftstoffqualität
- * Stickoxidbelastung (NO_x)
- * Motoren-Konstruktionen
- * Betriebsbedingungen
- * Ölfüllmenge
- * Ölwechsel-Intervalle
- * Motorenölqualität

Die Kraftstoffqualität und die Stickoxidbelastung aus den Verbrennungssystemen moderner Motoren üben hierbei den größten Einfluß auf die Bildung von "Schwarzschlamm" aus.

Wenn wir den Parameter "Motoren-Konstruktionen" separat betrachten, so hat sich speziell im Automobilbau in den vergangenen Jahren eine rasante Entwicklung vollzogen, die entscheidend durch die beiden Forderungen, den Kraftstoffbedarf und die Schadstoff-Emissionen zu reduzieren, beeinflußt wurde.

Die Entwicklungskonzepte heutiger moderner Motoren lassen sich dahingehend wie folgt zusammenfassen:

- * schadstoffarmer Betrieb
- * wirtschaftliche Arbeitsweise
- * leicht/kompakte Bauweise
- * hohe Literleistung
- * Einsatz elektronischer Steuerungen

Mit der Bildung von "Schwarzschlamm" stehen einige konstruktive Maßnahmen, die sich aus der Durchführung dieser Entwicklungskonzepte ergeben haben, in Verbindung.

Bei den schadstoffarmen Konstruktionen konnte eine Verbesserung der Abgaswerte durch Einsatz von Katalysatoren und Abgasrückführsysteme, verbunden mit elektronisch gesteuerten Zünd- und Einspritzsystemen, erzielt werden.

Automobile, die mit geregelterm 3-Weg-Katalysator (Lambda-Sonde) ausgerüstet sind, regeln das Luft/Kraftstoffgemisch bei der Verbrennung im stöchiometrischen Verhältnis, d.h. bei Lambda 1,0. In diesem durch die Lambda-Sonde sehr eng geregelten Bereich hat die Stickoxidproduktion (NO_x) nahezu ihr Maximum, während Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid in weitaus geringerer Konzentration im Abgas vorliegen.

Durch Abgasrückführsysteme werden die ausgestoßenen Restgase nochmals der Verbrennung zugeführt. Auch dadurch erhöht sich die Belastung des Motorenöles.

Die Reduzierung der Kraftstoffverbräuche wurde im wesentlichen durch Verbrennungssysteme, die nach dem "Mager-Konzept" arbeiten, erreicht. Heutige Motoren arbeiten in der Regel in einem Bereich von Lambda 1,0 bis 1,2. Auch hier liegen die NO_x-Konzentrationen in einem sehr hohen Bereich.

Als weitere Erschwernis muß noch die leichte und kompakte Bauweise heutiger moderner Konstruktionen angeführt werden, die letztlich eine Reduzierung der Ölfüllungen zur Folge hatte.

Schwarzschlamm - Reaktionsablauf im Motor

Als wichtigste Einflußfaktoren auf die Bildung von "Schwarzschlamm" werden Kraftstoff und Stickstoffoxide angesehen, die in Wechselwirkung treten und folgenden Reaktionsprozeß bewirken:

Die im Verbrennungsprozeß gebildeten Stickoxide reagieren im Motor mit Sauerstoff und Anteilen aus dem Kraftstoff und führen zur Bildung sog. "organischer Nitrate" bzw. saurer organischer Verbindungen, die das Motorenöl belasten und zu einer frühzeitigen Alterung (Oxidation durch Stickoxide) des Schmierstoffes führen. Wasser oder Wasserdampf können den Reaktionsprozeß beeinflussen - welchen Anteil die einzelnen Einflußgrößen am Reaktionsprozeß haben, ist bis heute noch nicht vollständig erforscht.

Die Folge des vorab beschriebenen Reaktionsablaufes ist eine hohe Belastung der Motorenöle. Es kommt zur Bildung von "Schlammkeimen", die mit den Additiv-Systemen der Öle reagieren und zu deren frühzeitigem Abbau führen. Es kann bei diesem Prozeß zu Ausfällungen kommen. In den Rückständen finden sich Öladditiv und Kraftstoffbestandteile sowie eine Anreicherung von Stickstoffverbindungen.

Einen besonderen Stellenwert unter den heutigen Motorenölen nehmen zweifellos die Leichtlauf-Motorenöle ein.

Der gravierende Unterschied zu konventionellem Motoröl ergibt sich aus der Tatsache, daß Leichtlauföle meist auf Synthese aufgebaut sind und in Verbindung mit der entsprechenden Additivierung folgende Vorteile, wie z.B. Castrol Formula SLX 0w-30, Castrol Formula RS Racing Syntec 10W-60 und Castrol TXT Softec+ 5W-40 bieten:

- * Reduzierung der inneren Motorreibung bis zu 10 %
- * Erhöhung der Leistung bis zu 5 %
- * Betriebsleistungserhöhung von Katalysator und Turbo
- * Optimaler Schutz der Lambdasonde
- * Bessere Kaltstarteigenschaften bis unter -30°C
- * Ausgezeichnetes Viskositäts-Temperaturenverhalten für einen problemlosen Ganzjahreseinsatz
- * Treibstoffeinsparung bis zu 4 %.

Aufgrund der Vorteile von Leichtlauf-Motorenölen ist der Einsatz solcher in modernen Fahrzeugen als das aus heutiger Sicht Bestmögliche anzusehen. Viele namhafte KFZ-Hersteller empfehlen bzw. schreiben den Einsatz von Leichtlauf-Motorenölen vor.