

HYDAC

TRAINING CENTER

**Druckflüssigkeiten
für stationäre und mobile
Schmier- und
Hydraulikanlagen**

Leseprobe



Druckflüssigkeiten für stationäre und mobile Schmier- und Hydraulikanlagen

Autor

Dipl.-Ing. Martin Reik

Redaktion

Susanne Lingemann, Melanie Gelf

Herausgeber HYDAC Service GmbH
 Training Center
 Hirschbachstraße 2
 D-66125 Dudweiler/Saar
 Email: Training-Center@HYDAC.com
 SAP-Nr.: 3508608

Abbildungen sofern keine abweichenden Quellenangaben vermerkt: HYDAC International GmbH

© 2013 by HYDAC International GmbH
Alle Rechte vorbehalten.

www.HYDAC.com

Haftungsausschluss

Wir haben unser Möglichstes getan, die Richtigkeit des Inhalts dieser Unterlagen zu gewährleisten, dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Deshalb übernehmen wir keine Haftung für Fehler und Mängel in diesem Dokument, auch nicht für Folgeschäden, die daraus entstehen können. Die Angaben in dieser Druckschrift werden regelmäßig überprüft, und notwendige Korrekturen sind in den nachfolgenden Auflagen enthalten. Für Anregungen und Verbesserungsvorschläge sind wir dankbar. Inhaltliche Änderungen dieser Unterlagen behalten wir uns ohne Ankündigung vor. Nachdruck nur mit unserer Genehmigung möglich!

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	7
1.1	Allgemein	7
1.2	Spezielle Anforderungen an Druckflüssigkeiten	10
1.2.1	In Hydraulikanlagen	10
1.2.2	In Schmieranlagen	12
2	Druckflüssigkeiten – ein wichtiges Element in tribologischen Systemen	15
2.1	Allgemein	15
2.2	Reibung	16
2.3	Verschleiß	19
2.3.1	Verschleißmechanismen	19
2.4	Aufgabe der Druckflüssigkeit	20
3	Aufbau und Herstellung von Druckflüssigkeiten	21
3.1	Allgemein	21
3.2	Struktur der Molekülketten	23
3.3	Herstellung von Druckflüssigkeiten	30
3.3.1	Mineralölbasische Druckflüssigkeiten	30
3.3.2	Grundöle	31
3.3.3	Druckflüssigkeiten auf pflanzlicher Basis (Bio-Öl, Typ HETG)	36
3.3.4	Synthetisch hergestellte Druckflüssigkeiten (Bio-Öl, Typ HEPG, HEES, HEPR, PAO)	36
3.3.5	Teilsynthetisch hergestellte Druckflüssigkeiten	37
3.3.6	Eigenschaften der Grundöle	37
3.4	Additive	39
3.4.1	Allgemein	39
3.4.2	Aufbau und Wirkungsweise der wichtigsten Additive	41
3.4.3	Wirkung der wichtigsten Additive	43
3.4.3.1	Alterungs-Schutz-Additive (Oxidationsinhibitoren)	43
3.4.3.2	Korrosions- und Rostschutzadditive	43
3.4.3.3	Antiwear-Additive	44
3.4.3.4	Additive zur Verbesserung des Viskositätsverhaltens	45
3.4.3.5	Detergents/Dispersants-Additive (Schmutzträger)	46
3.4.3.6	Pourpoint-Verbesserer	47
3.4.3.7	Anti-Schaum-Additive	47
3.4.3.8	Zusammenfassung der wichtigsten Additivtypen	47
4	Eigenschaften, Kennwerte und Pflegemaßnahmen von Druckflüssigkeiten	51
4.1	Ermittlung der Kennwerte im Labor	51
4.1.1	Dichte	52
4.1.1.1	Temperaturabhängigkeit (Dichte-Temperatur-Verhalten)	53
4.1.1.2	Druckabhängigkeit (Dichte-Druck-Verhalten)	53
4.1.2	Kompressibilität	54
4.1.3	Viskosität	55
4.1.3.1	Allgemein	55
4.1.3.2	Dynamische Viskosität	56
4.1.3.3	Kinematische Viskosität nach DIN 51562 (auch als Viskositäts-Dichte-Verhältnis einer Druckflüssigkeit bezeichnet)	58
4.1.3.4	Temperaturabhängigkeit	59
4.1.3.5	Viskositätsindex (VI) nach DIN ISO 2909	61
4.1.3.6	Viskositäts-Druck-Verhalten	62
4.1.3.7	Schergefälle D	63
4.1.3.8	Viskositätsklassen	64
4.1.3.9	Praktische Bedeutung von Dichte und Viskosität	70
4.1.4	Fremdstoffe in Druckflüssigkeit	72
4.1.4.1	Luft in der Druckflüssigkeit	73
4.1.4.2	Wasser in der Druckflüssigkeit	79
4.1.4.3	Feststoffe in der Druckflüssigkeit	87
4.1.4.3.1	Allgemein	87
4.1.4.3.2	Ermittlung der Feststoffverschmutzung	90
4.1.4.3.3	Klassifizierung der Feststoffverschmutzung	97
4.1.4.3.4	Reinheitsanforderungen der Schmier- und Hydraulikbauteile	101
4.1.4.3.5	Begrenzung der Feststoffverschmutzung durch den Einsatz von hochwertigen Schmier- oder Hydraulikfiltern	103
4.1.5	Pourpoint nach DIN ISO 3016	108
4.1.6	Cloudpoint	108
4.1.7	Flammpunkt nach DIN ISO 2592	108
4.1.8	Brennpunkt	109
4.1.9	Neutralisationszahl (NZ) DIN 51558	109
4.1.10	Alterung	110
4.1.10.1	Allgemein	110
4.1.10.2	Tests zur Bestimmung der Alterungsbeständigkeit von Druckflüssigkeiten	113
4.1.10.3	Geräte zur Regeneration der Ölalterungsprodukte	116
4.1.11	Korrosionsverhalten	119

4.1.11.1	Allgemein	119
4.1.11.2	Korrosionsschutzeigenschaften gegenüber Stahl/Eisen von wirkstoffhaltigen Dampfturbinen- und Hydraulikölen, DIN 51 585	120
4.1.12	Verschleißschutz (AW/EP)	120
4.1.12.1	VKA-Test (nach DIN 51350)	121
4.1.12.2	Brugger-Test	122
4.1.12.3	FZG-Test (nach DIN 51 354, -1 und -2)	123
4.1.12.4	Vickers-Test (nach DIN 51 389-2)	123
4.1.13	Filtrierbarkeit	123
4.1.13.1	Nachweis der Filtrierbarkeit von Druckflüssigkeiten hinsichtlich Durchströmungsfähigkeit und der Neigung des Filtermaterial zu verblocken	124
4.1.13.2	Nachweis der Filtrierbarkeit von Druckflüssigkeiten hinsichtlich Materialverträglichkeit und Stabilität des Additivsystems	130
4.1.14	Elektrische Leitfähigkeit von Druckmedien (Durchschlagspannung nach DIN EN 60 156)	131
4.1.15	Wärmeleitfähigkeit	135
4.1.16	Infrarot-Spektroskopie (Ermittlung des molekularen Fingerabdruck des Schmierstoffs)	135
4.1.16.1	RULER-Test (Remaining Useful Life Evaluation Routine)	136
4.1.17	Atom-Emissions-Spektroskopie (AES)	138
5	Kurzbeschreibung der Druckflüssigkeiten	145
5.1	Allgemein	145
5.2	Klassifizierung, Eigenschaften und Anforderungen an Hydrauliköle mit dem Kennbuchstaben „H“	146
5.3	Untergruppen der Hydrauliköle mit dem Kennbuchstaben „H“	148
5.3.1	Hydrauliköle auf Mineralölbasis	149
5.3.1.1	Kennbuchstabe, Aufbau, typische Eigenschaften und Anwendungsgebiete	150
5.3.2	Schwer entflammbare Hydrauliköle	154
5.3.2.1	Kennbuchstabe, Aufbau, typische Eigenschaften und Anwendungsgebiete	156
5.3.3	Biologisch schnell abbaubare Hydrauliköle	172
5.3.3.1	Allgemein	172
5.3.3.2	Definition der biologischen Abbaubarkeit	174
5.3.3.3	Wasserhaushaltsgesetz	175
5.3.3.4	Zusammenfassung der Merkmale und Leistungsdaten von biologisch schneller abbaubaren Hydrauliköle	182
5.3.4	Lebensmittelverträgliche Hydrauliköle	185
5.3.5	Traktorenöle	186
5.3.6	Hydraulikflüssigkeiten für Flugzeuge	187
5.3.7	Getriebeöle für hydrokinetische Anwendungen (Automatic Transmission Fluids (ATF))	187
5.3.8	Silikonöl bzw. Weißöl	187
5.3.9	Motoren- und Getriebeöle	188
5.4	Klassifizierung, Eigenschaften und Anforderungen an Schmieröle bzw. Umlauföle mit dem Kennbuchstaben „C“	190
5.4.1	Allgemein	190
5.4.2	Klassifizierung	191
5.4.3	Anforderungen	191
5.4.4	Eigenschaften	191
5.4.5	Anforderungen an Hydraulik- und Schmieröle für besondere Anwendungen	193
5.4.5.1	Turbinenöle (DIN 51515-1 und -2)	193
5.4.5.2	Schmieröle für Ölumlaufschmierung	199
5.4.5.3	Schmieröle für Windkraftanwendungen	200
5.4.5.4	Walzöl	202
6	Der Schmierstoffmarkt	205
7	Schmierstoffauswahl und Projektierungsverhalten	207
7.1	Allgemein	207
7.2	Projektierungshilfen	211
7.2.1	Maßnahmen, die bei einer geplanten Umölung beachtet werden müssen	211
7.2.2	Dichtungen	212
8	Kontrolle und Pflege von Schmier- und Hydraulikölen	215
9	Normung von Schmierfetten	219
9.1	Allgemein	219
9.2	Anforderungen an Schmierfette	220
9.3	Eigenschaften von Schmierfetten	220
9.4	Aufbau von Schmierfetten	220
9.5	Klassifizierung von Schmierfetten nach DIN 51502	223
9.6	Begriffserklärung und Projektierungshinweise	225
	Abbildungsverzeichnis	227

Vorwort

Der sichere und zuverlässige Betrieb von stationären Anlagen, wie z. B. Transferstraßen, Bearbeitungszentren, Pressen, Papiermaschinen, Schwerindustrie und mobilen Anlagen, wie z. B. Bagger, Radlader, Raupen, ist nur durch den Einsatz von Druckflüssigkeiten, die auf den jeweiligen Einsatzfall abgestimmt sind, möglich.

Diese Druckflüssigkeiten sind ein lebenswichtiges Element und stellen ein wichtiges, aber leider oft vernachlässigtes, Konstruktionselement in den Anlagen dar. Ihre Eigenschaften und ihr Zustand sind mit entscheidend für die Lebensdauer und den Wirkungsgrad der im Gerät eingesetzten, meist teureren, Komponenten sowie der Gesamtanlage.

Bei vielen Personen, die eine gewünschte Gerätefunktion festlegen und projektieren, sind die wichtigen und notwendigen Kenntnisse über die Druckflüssigkeiten meist nur oberflächlich vorhanden.

Ebenso können durch unsachgemäße Wartung der Geräte die eingesetzten Druckflüssigkeiten in ihrer Charakteristik negativ beeinflusst werden. Eine zuverlässige und gezielte Pflege der Druckflüssigkeit ermöglicht eine längere Verweilzeit der Flüssigkeit im Gerät bei gleichzeitiger Steigerung der Komponentenlebensdauer. Die Stillstandszeiten für Reparatur und Wartung werden gesenkt.

Dieses Buch soll einen tiefen Einblick in die Thematik bieten. So beschäftigt sich der Verfasser mit dem Aufbau, den Kennwerten und den Normungen der Druckflüssigkeiten und Fetten.

Der Verfasser möchte sich für die fachliche Beratung bei Herrn Bock, Fa. Fuchs, Herrn Spilker, Fa. Total, Herrn Lämmle, Fa. Panolin und Herrn Thieme bedanken.

Martin Reik
HYDAC Filtertechnik

Anmerkungen:

1 Einführung

1.1 Allgemein

Bereits die Ägypter erkannten, dass der Bau von Pyramiden ohne Druckflüssigkeiten nur unter sehr hohen materiellen und körperlichen Verlusten möglich war. Außerdem war die Einhaltung der vom Pharao vorgegebenen Bauzeit, ohne das zum Transport von schweren Steinen und Holzbalken aufgetragene Olivenöl als „Druckflüssigkeit“, nicht möglich.

Bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts wurden Schmierstoffe aus Pflanzen und Tieren wie, z. B. Oliven, Rübsamen, Rizinussamen, Früchte der Ölpalmen, zum Schmieren von Lager und langsam laufenden Maschinen eingesetzt.

Die Erfindung der Dampfmaschine 1765 hatte zur Folge, dass diese organischen, tierischen und pflanzlichen Schmierstoffe nicht mehr ausreichten und durch mineralische Öle ersetzt werden mussten.

Der Nachteil dieser organischen und mineralischen Öle bestand meist darin, dass große Qualitätsunterschiede vorhanden waren. Die Produktion einer gleich bleibenden Qualität war erst mit der Raffination des Grundöls möglich. Dieser Prozess wurde um 1880 entwickelt. Die technologischen Fortschritte zeigten, dass die Qualität dieser in der Raffinerie erzeugten Druckflüssigkeiten nicht ausreichten und Additive zur Qualitätsverbesserung zugegeben werden mussten (ab ca. 1910). Die Erforschung dieser Zusätze (Additive) hat bis zur Gegenwart einen hohen Stellenwert.

Der sichere und zuverlässige Betrieb von stationären Anlagen, wie z. B. Transferstraßen, Bearbeitungszentren, Pressen, Papiermaschinen, Schwerindustrie und mobilen Anlagen, wie z. B. Bagger, Radlader, Raupen ist durch den Einsatz von Druckflüssigkeiten, die auf den jeweiligen Einsatzfall abgestimmt sind, möglich.

Sie finden somit in der Industrie eine breite Anwendung. Die Hauptaufgabe ist die Druckübertragung von Pumpe zum Verbraucher.

Ohne Druckflüssigkeiten würden Anlagen und Maschinen nicht funktionieren, da die Reibung zwischen den Reibpartnern hoch ist und zu einer raschen Zerstörung der betreffenden Bauteile führen würde.

Somit hat die Druckflüssigkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit von Maschinen und Anlagen. Die Kenntnisse über die Druckflüssigkeit, der richtigen Auswahl, der Handhabung und Anwendung sind somit von erheblicher Bedeutung.

Druckflüssigkeiten umfassen ein sehr breites Spektrum verschiedenster Produkte und Qualitäten. Häufig werden sie anhand vorliegender Spezifikationen wie API, ACEA, MIL, DIN oder den Freigaben der Hersteller eingekauft bzw. für Anlagen ausgewählt. Vielleicht ein bequemer Weg, der aber ungenügend die ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkte berücksichtigt. Denn Spezifikationen und Normen beschreiben nur Mindestanforderungen an einen Schmierstoff und treffen somit keine Aussage über z. B. dessen Qualitätsreserve oder Anwendungsbreite. Auch muss bedacht werden, dass es keinen Schmierstoff gibt, der in idealer Form alle technischen, gesundheitlichen und umweltrelevanten Gesichtspunkte vollkommen abdeckt. Bei der Auswahl des bestgeeigneten Schmierstoffes muss deshalb das ganze Umfeld der Schmierung wie z. B. Transport, Lagerung, Handhabung, Anwendung, Toxikologie und Entsorgung berücksichtigt werden. Gegensätzliche Anforderungen müssen sorgfältig miteinander abgewogen werden.

Die Werterhaltung einer Maschine beginnt bei der Auswahl des richtigen Schmierstoffes. Der Schmierstoff hat auch unter ungünstigsten Betriebsbedingungen eine sichere Schmierung zu gewährleisten. Um allen schmierungstechnischen Bedingungen gerecht werden zu können, bedarf es einer Anzahl verschiedener Produkte. Ob vollsynthetisch oder auf Basis mineralischer Produkte.

Leider wird dieses lebenswichtige Element „Druckflüssigkeit“ bei der Konzeption der Maschine oder Anlage meist vernachlässigt und die Entwicklungsziele:

- hohe Zuverlässigkeit der Gesamtanlage
- hohe Lebensdauer der Komponenten
- hoher Wirkungsgrad der Gesamtanlage durch Reduktion der Energiekosten
- größtmögliche Umweltentlastung
- geringe Wartungskosten durch lange Wechselintervalle
- geringe Geräuschentwicklung

werden somit nur bedingt erreicht.

Zustand, Eigenschaften und Pflege der Druckflüssigkeit sind maßgeblich dafür verantwortlich, ob die erwartete Lebensdauer und der Wirkungsgrad der Komponenten und der gesamten Anlage erreicht wird.

Erhöhte Anforderungen an Anlagen, wie z. B.:

- verminderte bzw. keine Leckage
- kompakte Bauweise der Gesamtanlage und der eingesetzten Komponenten
- erhöhte Leistungsdichte
- kleiner Tankinhalt
- längere Wartungsintervalle

steigern die Qualitätsanforderungen an die eingesetzte Druckflüssigkeit ständig.

Je nach Anwendungsfall in den Geräten müssen die Druckflüssigkeiten wichtige Funktionen erfüllen.

Die rasante Weiterentwicklung von Maschinen und Anlagen zwingt die Hersteller von Druckflüssigkeiten, die Produktpalette zu überarbeiten bzw. mit neuen Produkten zu ergänzen.

Steigende Temperaturen und Drücke, größere Leistungsdichten, kleinere Füllmengen und daraus resultierende höhere Umwälzzahlen sind nur einige der ständig wachsenden Belastungen für den Schmierstoff. Da kann der Einkauf eines „billigen“ Schmierstoffes, der z. B. gerade die DIN-, API- oder ACEA-Anforderungen erfüllt, eine teure Entscheidung sein. Denn hoher Verschleiß, häufige Betriebsstörungen und –ausfälle, erheblicher Aufwand für Reparaturen und Ersatzteile,

kurze Gebrauchsdauer der Öfüllungen sowie hohe Entsorgungskosten können das Ergebnis sein. Hinzu kommt, dass die wirtschaftliche Bilanz eines Betriebes kaum negativ durch den Kauf einer hochwertigen Schmierstoffes beeinflusst wird. Denn Erfahrungen haben gezeigt, dass die Schmierstoffkosten an den gesamten beeinflussbaren Betriebskosten weniger als 1 % betragen, während z. B. die Reparatur, Wartung und Pflegekosten fast 50 % betragen.

Nur ein störungsfreier Betrieb leistungsstarker Anlagen und Maschinen rechtfertigt deren hohe Investitionskosten, und ein Schmierstoff mit erheblichen Qualitätsreserven ist eine der Voraussetzungen dafür.

Je nach Anwendungsfall in den Geräten müssen die Druckflüssigkeiten wichtige Funktionen erfüllen.

Diese sind vor allem:

- Druckübertragung
- Schmierung von Bauteilen, damit Reibung und Verschleiß reduziert werden
- Sichere Ausbildung des Schmierfilms auch bei hohen Drücken
- Kühlung der Bauteile, wie z. B. Ventile, Pumpen, Lager
- Dichtungen in ihrer Dichtwirkung unterstützen
- Wasser aufnehmen und bereits entstandene Säuren neutralisieren und somit Komponenten vor Korrosion schützen
- Feststoffverschmutzung in Schweben halten und zum Filter transportieren

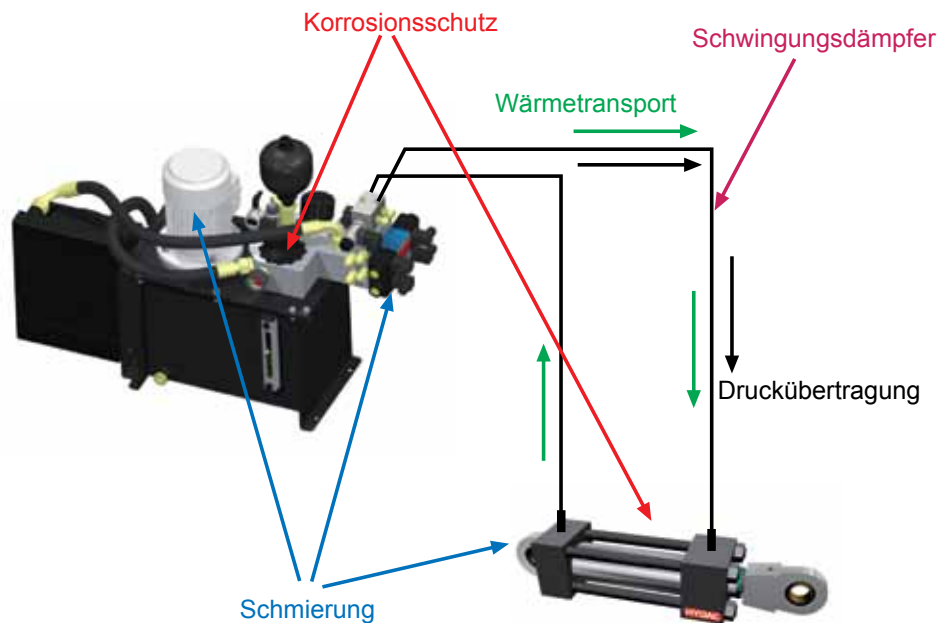


Abb. Druckflüssigkeit als Konstruktionselement

Wie bereits erwähnt, sind die Druckflüssigkeiten ein wichtiges Maschinenelement.

Damit die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer der Komponenten gewährleistet werden, muss der Anlagenbauer:

- die richtige Schmierstoffart,
- das Schmierverfahren und
- zur ausreichenden Schmierfilmbildung die geeignete Viskositätsklasse auswählen.

Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die Druckflüssigkeit:

- in einer ausreichenden Menge und Druck
- mit geringer Verschmutzung dem Schmier- und/oder dem Hydraulikkreis zur Verfügung gestellt wird.

Damit die Druckflüssigkeiten diese Aufgaben erfüllen können, müssen sie bestimmte Anforderungen erfüllen:

- Definiertes Fließverhalten, d. h. optimales Viskositäts-Temperatur-Verhalten
- Einsetzbar über einen weiten Temperaturbereich
- Scherstabil
- Weitgehend alterungsbeständig
- Reibungs- und verschleißmindernd
- Hoher Korrosionsschutz
- Gutes Luftabscheidungsvermögen
- Geringe Schaumbildung
- Dichtungsverträglich
- Physiologisch unbedenklich

- Sicherheit vor Ablagerungen
- Weitgehend inkompressibel
- Schwer entflammbar
- Schnell biologisch abbaubar
- Gut filtrierbar
- Gutes Schmutzlösevermögen
- Gute elektrische Leitfähigkeit
- Gute Wärmeleitfähigkeit

Zur Realisierung dieser Anforderungen werden unterschiedliche Druckflüssigkeiten eingesetzt:

- Mineralöle
- Biologisch schneller abbaubare Öle
- Synthetisch hergestellte Öle
- Schwer entflammbare Flüssigkeiten
- Phosphatester
- Wasser

Die ständig steigenden Ansprüche und Anforderungen an die Druckflüssigkeiten führen zur Entwicklung von High Tech Produkten, die auf einem oder mehreren mineralischen, synthetischen oder teilsynthetischen Grundöl, wie z. B. Ester, Glykole, basieren und unter Beigabe von Additiven auf die gewünschten Eigenschaften abgestimmt werden.

Die am häufigsten eingesetzten Additive sind:

- Oxydationsinhibitoren – verbessern die Alterungsbeständigkeit
- Korrosionsinhibitoren – schützen gegen Korrosion
- Antiwear-Additive – mindern den Verschleiß
- Antischaum-Zusätze – dämpfen die Schaumneigung
- VI-Verbesserer – verbessern das Viskositäts-Temperatur-Verhalten
- Pourpoint-Erniedriger – gewährleisten die Fließfähigkeit auch bei niedrigen Temperaturen
- Spezielle Anwendungsfälle erfordern detergierende und dispergierende Zusätze

1.2 Spezielle Anforderungen an Druckflüssigkeiten

1.2.1 In Hydraulikanlagen

Bei Hydraulikanlagen stellt die Druckübertragung die Hauptaufgabe der Druckflüssigkeit dar. Dabei hat sie die Aufgabe, den von der Pumpe erzeugten Druck an jeder Stelle im System zur Verfügung zu stellen.

Dies basiert auf dem von Pascal bereits im 17. Jahrhundert formulierten Gesetz:

„Jede Druckänderung in einem beliebigen Punkt im Raum einer ruhenden, inkompressiblen Flüssigkeit, die das Gleichgewicht der Flüssigkeit nicht stört, wird ohne Änderung auf alle anderen Punkte der Flüssigkeit übertragen. Überwiegen die Druckkräfte gegenüber den Massekräften, dann ist der Druck in jedem Punkt der Flüssigkeit gleich.“

Der Druck wirkt dabei immer senkrecht auf die Begrenzungsfläche des Behälters. Mit Hilfe des statischen Druckes einer Flüssigkeit ist es also möglich, Kräfte und Leistungen zu übertragen.

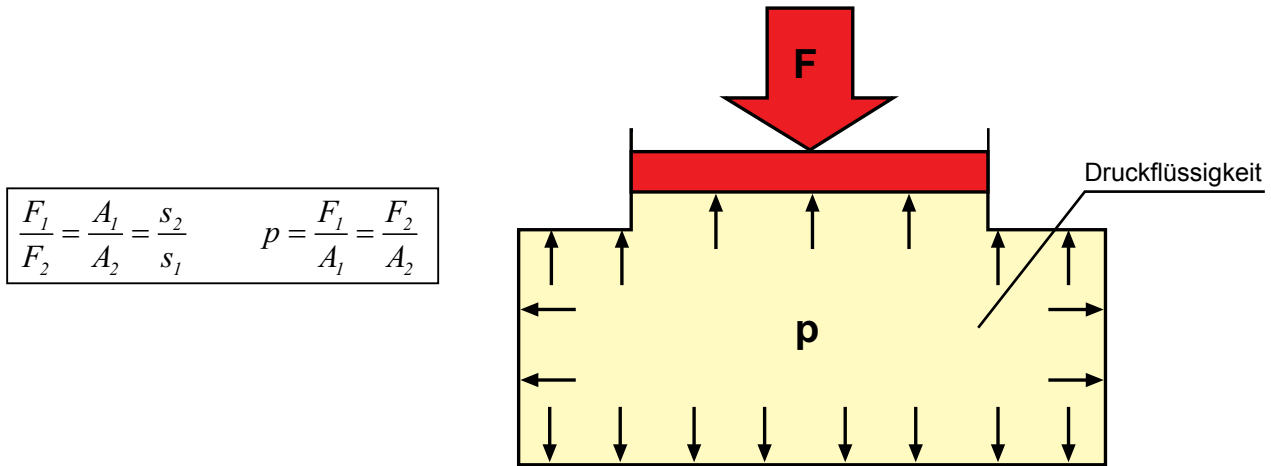


Abb. Hydrostatisches Prinzip nach Pascal (Quelle: Herr Bock, Hydraulik Fluide als Konstruktionselement)

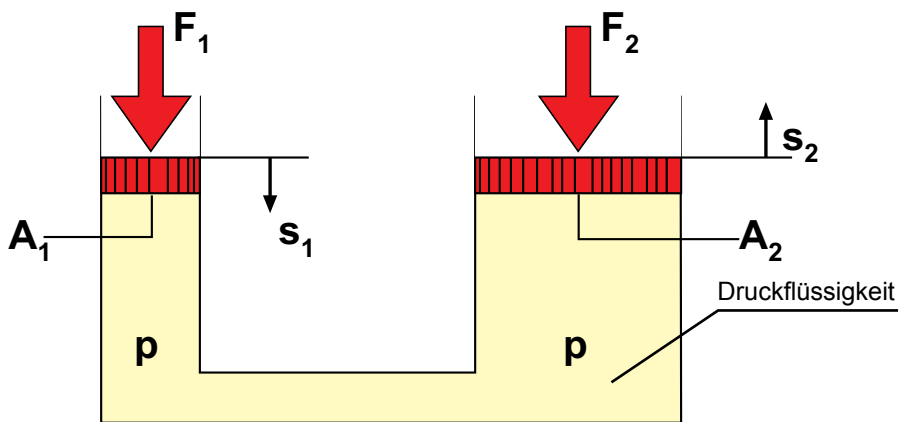


Abb. Prinzip einer hydraulischen Presse (Quelle: Herr Bock, Hydraulik Fluide als Konstruktionselement)

Bei Hydraulikanlagen wird durch eine Pumpe Öl durch eine Leitung gepumpt, an deren Ende ein Kolben durch das Hydrauliköl bewegt wird. Aufgrund des Hebelgesetzes lassen sich so mit vergleichsweise geringer Pumpleistung große Kräfte übertragen. Die folgende Abbildung soll dies veranschaulichen.

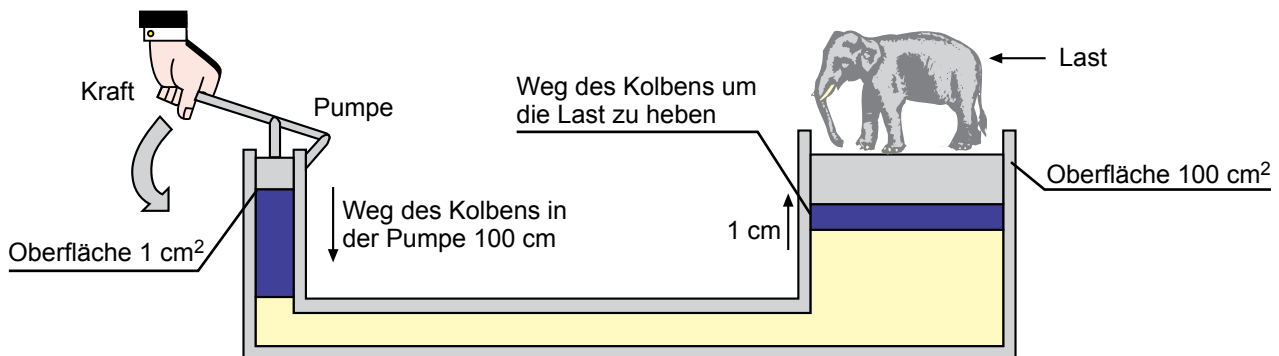


Abb. Prinzipdarstellung einer Hydraulikanlage (Quelle: VSI)

Was zunächst nach einem sehr einfachen Produkt aussieht, entpuppt sich bei näherer Betrachtung als ein sehr aufwendiges Produkt, denn auch Hydraulikanlagen sind natürlich nicht so einfach aufgebaut und stellen daher ganz spezielle Anforderungen an das Hydrauliköl. In der folgenden Abbildung sind die Elemente einer typischen Hydraulikanlage zu sehen. Daneben sind die Anforderungen, die die einzelnen Elemente an das Öl stellen, aufgeführt.

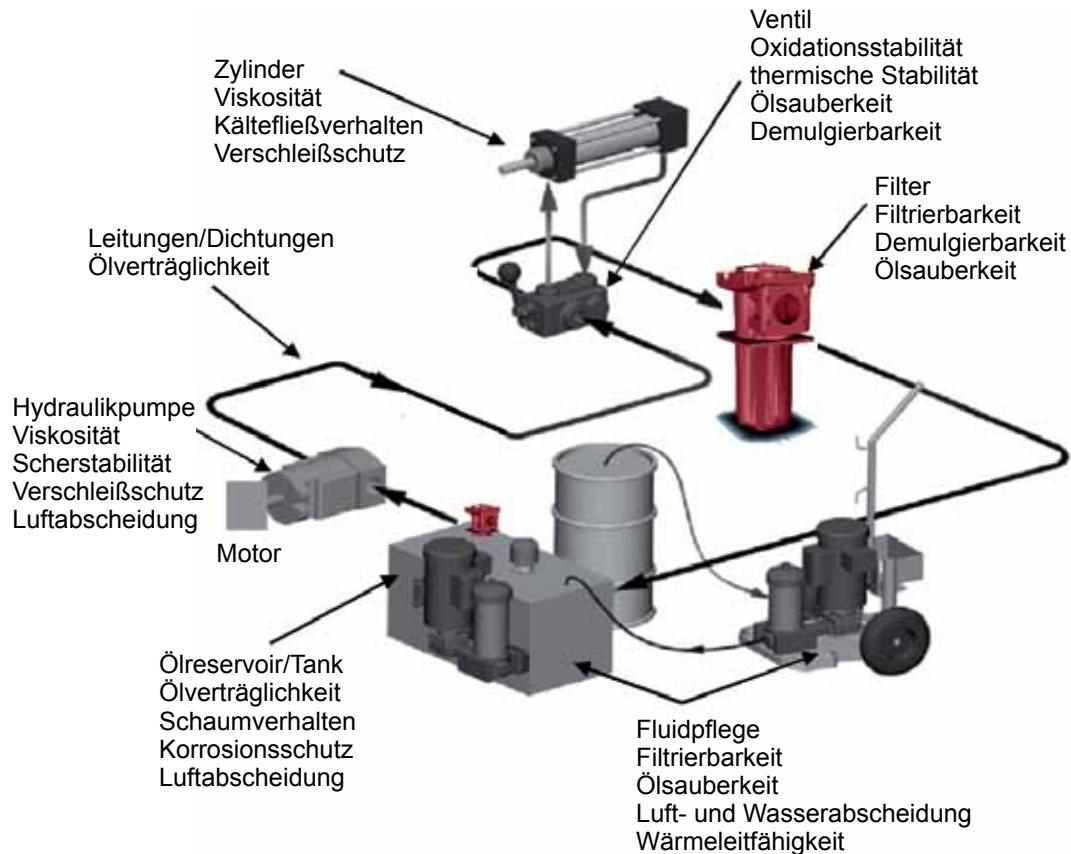


Abb. Anforderungen an das Hydrauliköl

Damit das Hydrauliköl diese Anforderungen erfüllen kann, müssen folgende Eigenschaften und Strömungsvorgänge genauer betrachtet werden:

• **Eigenschaften von Flüssigkeiten:**

- Dichte
- Viskosität (Zähigkeit)
- Elastizität (Kompressibilität und Elastizitätsmodul)
- Spezifische Wärmekapazität
- Oberflächenspannung (Kapillarwirkungen)
- Löslichkeit von Gasen, Luft und Wasser

• **Hydrostatik:**

- Druck
- Auftrieb

• **Theoretische Beschreibung der Strömungsvorgänge:**

- Betrachtung als Kinematik oder Dynamik
- Kontinuitätsbedingung, Massenerhaltung
- Impulssatz
- Bewegungsgleichung (Eulersche Bewegungsgleichung)
- Energiegleichung und einfache Formeln zur Durchflussberechnung (Bernoullische Energiegleichung)
- Gesetz von Hagen-Poiseuille
- Laminare Strömung
- Turbulente Strömung
- Hydromechanische dimensionslose Kennzahlen: Froude-Zahl, Reynolds-Zahl, Euler-Zahl

• **Reale Strömungen:**

- Strömungen in Rohrleitungen und Tanks
- Strömungen in Ventilen und Lagern
- Strömungen in Pumpen und Zylindern

1.2.2 In Schmieranlagen

Bei der Schmierung in Komponenten wie z. B. Wellenlager, Pumpen (Zylinderlaufflächen), Bettbahnen muss die Druckflüssigkeit als Hauptanforderung die Reibung reduzieren.

Dazu ist es notwendig, dass der Schmierstoff eine ausreichende Schmierfilmdicke bildet, die das Berühren der Gleitflächen verhindert.

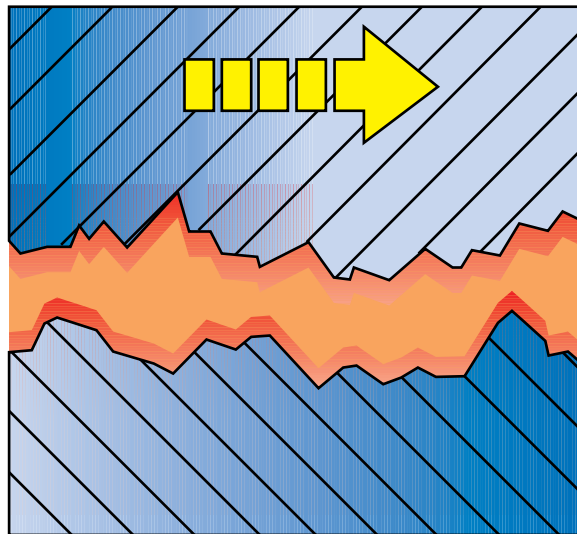


Abb. Flüssigkeitsreibung: Beide Körper sind durch eine Flüssigkeitsschicht vollständig voneinander getrennt, d. h. der eine Körper schwimmt förmlich auf einer Schmierstoffschicht. Es tritt praktisch kein Verschleiß auf. (Quelle: BP)

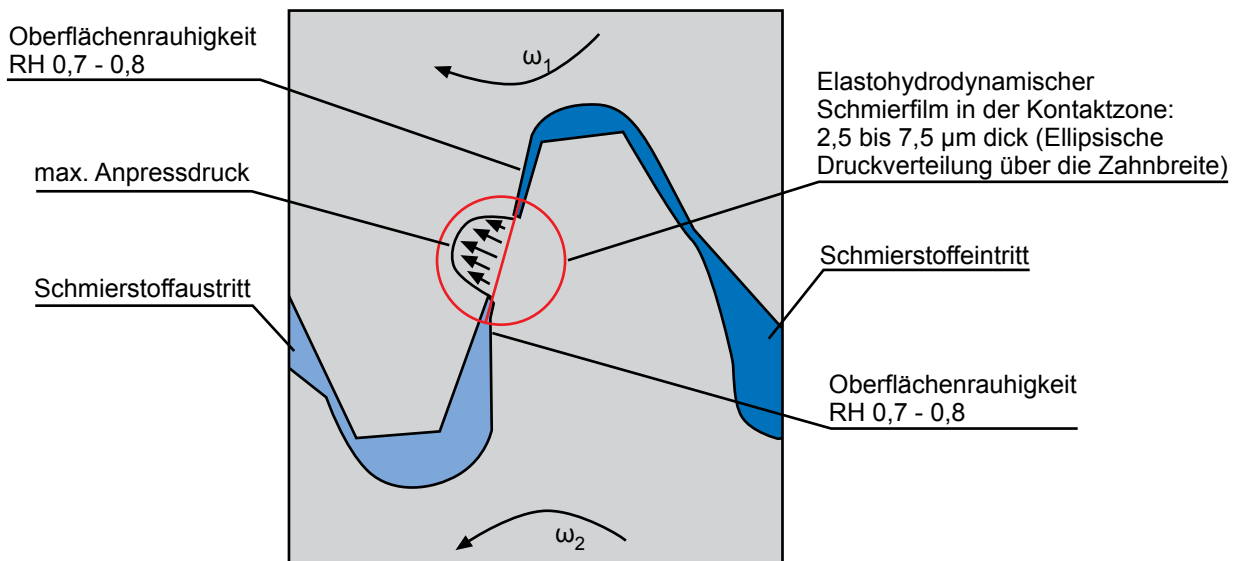


Abb. Schmierung eines Stirnradgetriebes:
Schmierfilm dient zur Kraftübertragung zwischen angetriebenem und abgetriebenem Zahnrad.

Bei der Schmierung wird zwischen folgenden Schmierverfahren unterschieden:

Grenzschichtschmierung:

Dabei dringt der Schmierstoff in den Festkörper ein und bildet eine Reaktionsschicht, die die Rauheitsspitzen der Festkörper nicht bedeckt. Die Belastung wird über die Rauheitsspitzen der Reibpartner übertragen. Die Lebensdauer der Komponente wird stark eingeschränkt. Deshalb muss der Schmierstoff so gestaltet sein, dass dieser Zustand nicht vorkommt.

Teilschmierung:

Die Belastung wird zum einen Teil durch den Schmierfilm und zum anderen Teil durch die sich berührenden Rauheitsspitzen aufgenommen.

Vollschmierung:

Die Belastung wird komplett vom Schmierstoff aufgenommen. Die Kontaktflächen sind getrennt. Die Vollschmierung lässt sich weiter unterteilen in:

- hydrostatische Schmierung
- hydrodynamische Schmierung
- elastohydrodynamische Schmierung

Hydrostatische Schmierung:

Die Trennung der Kontaktflächen erfolgt durch Einpumpen des Schmierstoffes in den Schmierspalt. Diese Form der Schmierung ist technisch sehr aufwendig und konstruktiv sehr anspruchsvoll.

Hydrodynamische Schmierung:

Der Schmierstoff wird durch die Relativbewegung der Kontaktflächen zueinander in den sich verengenden Schmierspalt gefördert. Der Druck im Schmierstoff ist so hoch, dass die Kontaktflächen voneinander abgehoben werden.

Elastohydrodynamische Schmierung (EHD):

Diese Form der Schmierung tritt bei hochbelasteten bewegten Wälzkörpern auf, z. B. bei Zahnrädern und Wälzlagern. Die Theorie der Elastohydrodynamik berücksichtigt neben den hydrodynamischen Grundgleichungen auch die elastische Verformung der in Kontakt stehenden Körper. Charakteristisch für diese Schmierung ist eine Verengung des Schmierspalt am Ende der Kontaktzone. Die EHD-Theorie liefert die Basis zur Berechnung des Schmierungseinflusses auf Zahnrad-schäden wie Grübchen, Fressen oder Graufleckigkeit .

Je nach Anordnung der Schmierstellen und nach der Versorgung dieser Schmierpunkte wird unterschieden zwischen:

Verbrauchsschmierung:

Verbrauchsschmierung bezeichnet das ausschließliche Zuführen von Schmierstoff zur Schmierstelle. Die Zuführung kann manuell, halbautomatisch oder automatisch erfolgen. Nach dem Gebrauch wird der Schmierstoff, sofern er noch vorhanden ist, aus dem Schmierspalt verdrängt.

Umlaufschmierung:

Umlaufschmierung bezeichnet einen Schmierstoffkreislauf. Er besteht aus dem Reservoir, z. B. Ölwanne, der Zuführung zur Reibstelle und der Rückführung. Es empfiehlt sich eine Schmierstoffaufbereitung, z. B. Ölfilter, zwischenzuschalten. Umlaufschmierungen benötigen durch die Wiederverwendung weniger Schmierstoff. Durch das geschlossene System gelangt kein Schmierstoff in die Umwelt.

Lebensdauerschmierung:

Unter Lebensdauerschmierung versteht man das einmalige Ausstatten einer Reibstelle mit Schmierstoff, der bis zum Ende der Benutzung nicht ausgetauscht oder erneuert wird.

Sie wird häufig bei Wälzlagern angewendet, findet aber beispielsweise auch bei Linearführungen ihren Einsatz. Diese Systeme werden meist mit einer Schmierfettfüllung (Schmierölfilm mit speziellen Verdickern) versehen, die durch Dichtringe im Lager bzw. in der Führung gehalten werden.

Einzel schmierung:

Einzel schmierung wird angewendet, wenn nur eine Schmierstelle vorliegt, eine Zentralschmieranlage zu aufwendig ist oder die Schmierstellen von einer Zentralschmieranlage nicht erreicht werden können.

Manuelle Einzel schmierung:

Manuelle Einzel schmierung ist immer eine Verbrauchsschmierung.

Zentralschmierung:

Zentralschmieranlagen bieten sich an, wenn mehrere Schmierstellen versorgt werden müssen. Ein Vorteil besteht in der Verringerung des Wartungsaufwandes. Durch die regelmäßige Schmierung und richtige Dosierung verringern sich Schmierstoffverbrauch und Verschleiß.

Damit der eingesetzte Schmierstoff die Anforderungen:

- Reduktion von Reibung und damit von Verschleiß
- Kraftübertragung
- Kühlung
- Schwingungsdämpfung
- Dichtwirkung
- Korrosionsschutz

erfüllen kann, muss er auf die Einflüsse

- Druck und Scherspannung an der Schmierstelle
- Wärmezu- und -abfuhr
- eventuell chemische Wechselwirkungen mit Stoffen aus dem Reibpartner oder Dichtungen bzw. Stoffen aus der Umgebung
- Schmierstoffalterung abgestimmt sein.

Daraus ergeben sich die wichtigsten physikalischen Kennwerte für Schmierstoffe:

- Dichte
- Viskosität
- Tropfpunkt
- Stockpunkt, Pourpoint
- Flammpunkt, Brennpunkt, Entzündungspunkt

2 Druckflüssigkeiten – ein wichtiges Element in tribologischen Systemen

2.1 Allgemein

Die Tribologie ist die Wissenschaft und die Technik von gegeneinander bewegten, in Kontakt und Wechselwirkung befindlichen Oberflächen und die dazugehörigen Verfahren.

Sie befasst sich somit mit der wissenschaftlichen Beschreibung von Reibung, Verschleiß und Schmierung sowie der Entwicklung von Technologien zur Optimierung von Reibungsvorgängen. Ziel ist es, die Bauteile für Schmier- und Hydraulikanlagen optimal zu gestalten, damit ein möglichst schadensfreier Betrieb der Gesamtanlage sichergestellt wird.

Ein tribologisches System besteht aus zwei Werkstoff-Flächen, deren Reibung durch einen Schmierstoff vermindert wird, und deren Umgebung.

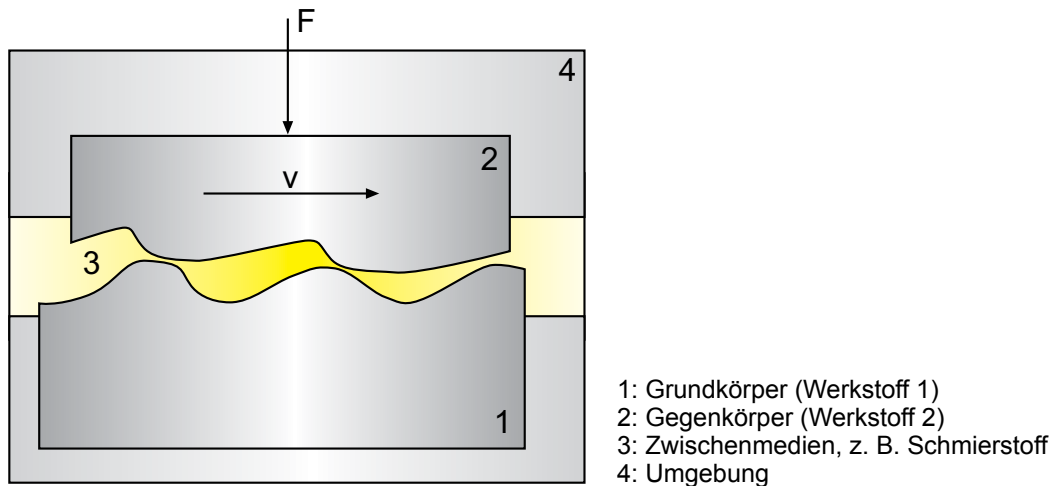


Abb. Tribologisches System – zwei Werkstoffe, Schmierstoff und Umgebung

Die Grundaufgaben eines tribologischen Systems sind:

- die Trennung von Grund- und Gegenkörper durch eine geeignete und auf die jeweilige Anwendung abgestimmte Druckflüssigkeit
- ausreichende Tragfähigkeit der Druckflüssigkeit und somit gute Schmierung zwischen den Körpern
- Vermeidung von Verschleiß an den Körpern (geringer Materialverlust)
- Minimierung der Reibung zwischen den Körpern (geringer Energiebedarf)
- Korrosion verhindern

2.2 Reibung

Reibung ist ein physikalischer Vorgang, der in vielen Einrichtungen auch positive Wirkungen besitzt. Ohne Reibung könnte z. B. keine Schraube befestigt werden. Reibung entsteht bei einer Relativbewegung von Grundkörper zu Gegenkörper. Dies bewirkt Dissipation, was bedeutet, dass die Reibung die Relativbewegung der Grund- zu Gegenkörper bremst.

In den meisten Schmier- und Hydraulikanwendungen treten folgende Reibungszustände auf:

Trockenreibung (auch Haftreibung genannt):

Bei der Trockenreibung berühren sich die aufeinander gleitenden Flächen. Dabei werden Oberflächenerhöhungen eingeebnet (Abrieb oder Verschleiß). Bei ungünstiger Werkstoffpaarung und großer Flächenpressung verschweißen die Oberflächen miteinander (Adhäsion). Festkörperreibung tritt beispielsweise auf, wenn kein Schmierstoff verwendet wird oder die Schmierung versagt.

Diese Reibungsart ist meist bei stehenden Anlagen vorhanden, bei denen der trennende Ölfilm weggedrückt wird. Beim Wiederanfahren der Anlage (z. B. Turbine) führt dieser fehlende Ölfilm zu einem hohen Verschleiß und zur dauerhaften Beschädigung der Komponente.

Mögliche Abhilfe:

- Künstlicher Aufbau eines ausreichenden Ölfilms mittels Hilfsaggregat vor dem Anfahren der Anlage
- Hohe Ölviskosität oder Beimischen von geeigneten Additiven

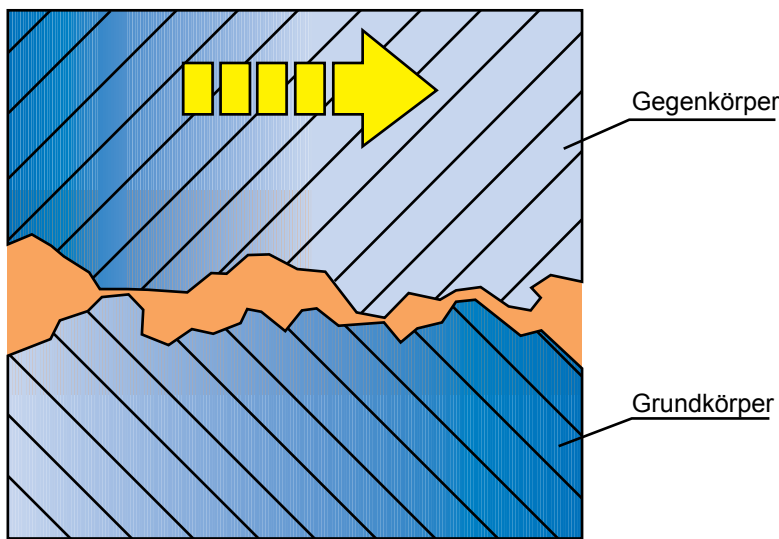


Abb. Trockenreibung (Quelle: BP)

Mischreibung:

Die Mischreibung kann bei unzureichender Schmierung oder zu Beginn der Bewegung, z. B. beim Starten der Anlage, zweier Reibpartner mit Schmierung auftreten. Dabei berühren sich die Gleitflächen punktuell. Die Reibungskraft ist geringer als bei Festkörper- und Flüssigkeitsreibung. Der Verschleiß ist jedoch höher als bei reiner Flüssigkeitsreibung. Dieser Zustand ist daher im Dauerbetrieb stets unerwünscht, ist aber manchmal unvermeidlich oder seine Vermeidung ist so aufwendig, dass die Kosten für Verschleißreparaturen in Kauf genommen werden.

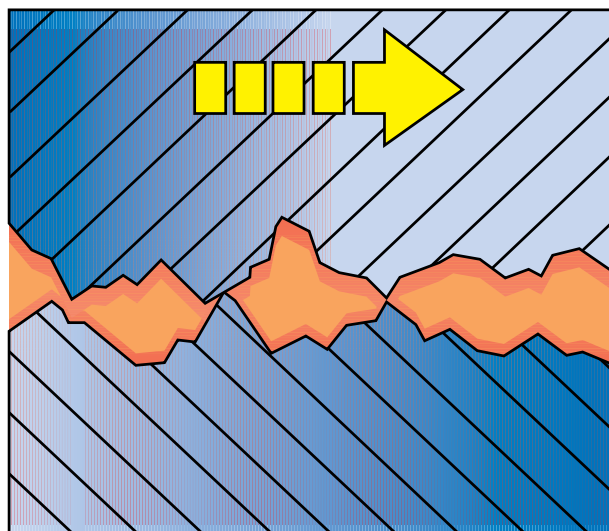


Abb. Mischreibung (Quelle: BP)

Stick-Slip-Effekt:

Der Stick-Slip-Effekt (von engl. stick „haften“ und slip „gleiten“) bezeichnet das „Ruckgleiten“ von gegeneinander bewegten Festkörpern. Dabei üben gedämpft gekoppelte Oberflächenteile eine schnelle Bewegungsfolge aus Haften, Verspannen, Trennen und Abgleiten aus. Dies führt je nach Tribosystem zur Anregung von Schwingungen, die von einer resonanzfähigen Oberfläche als Geräusch abgestrahlt werden. Der Effekt verschwindet zumeist, sobald die Reibpartner durch einen Zwischen- beziehungsweise Schmierstoff getrennt werden.

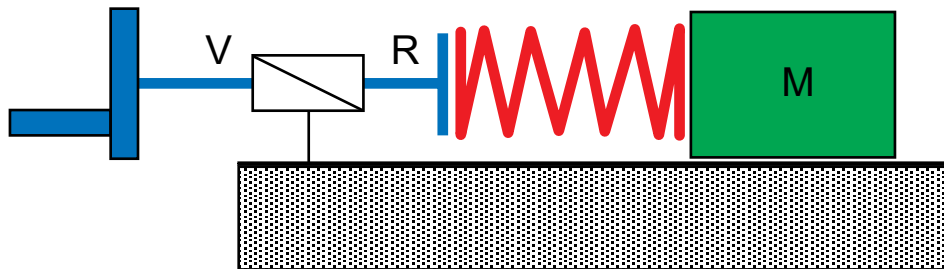


Abb. schematische Darstellung des Stick-Slip-Effektes

Auswirkungen:

Der Stick-Slip-Effekt ist häufig unerwünscht. Negative Einflüsse durch den Stick-Slip-Effekt können u. a. bei Lagern, Führungen in der Lineartechnik oder anderen Maschinenelementen beobachtet werden.

Pitting:

Pitting (zu deutsch: „Grübchenbildung“) ist ein Begriff, der Schäden an den Grund- und Gegenkörpern erklärt. Er wird auch als Materialausbruch und oberflächennahe Mikrorissbildung bei tribologischer Beanspruchung definiert. Dies tritt z. B. bei Wälzlagern und Zahnrädern auf.

Die Pittingbildung bei tribologischer Beanspruchung wird durch lokales Überschreiten der Festigkeit des jeweiligen Materials aufgrund der Hertzchen Pressung zwischen dem Wälzkörper und dem Innen- oder Außenring des Wälzlagers bzw. den Zahnflanken der Zahnräder hervorgerufen. Entscheidend ist dabei die Tatsache, dass bei Hertzscher Flächenpressung das Maximum der Bauteilspannung nicht an der Bauteiloberfläche, sondern in einer charakteristischen Tiefe unterhalb der Oberfläche auftritt.

Weitere Einflussgrößen neben der Hertzchen Pressung sind Oberflächenhärte und Einhärtetiefe, Oberflächenqualität, Flankenformfehler und Umfangsgeschwindigkeit (bei Zahnrädern), Ölviskosität, Temperatur u. ä..

Flüssigkeitsreibung:

Die Flüssigkeitsreibung tritt dann auf, wenn sich zwischen den Gleitflächen ein permanenter Schmierfilm bildet. Die Gleitflächen sind vollständig voneinander getrennt. Die entstehende Reibung beruht darauf, dass die Schmierstoffmoleküle aufeinander gleiten. Damit diese Scherkräfte nur zu einer tragbaren Temperaturerhöhung des Schmierstoffs führen, muss die entstehende Wärme auf geeignete Weise aus dem Schmierpalt abgeführt werden.

Flüssigkeitsreibung ist der gewünschte Zustand in Lagern und Führungen, wenn Dauerhaltbarkeit, hohe Gleitgeschwindigkeit und hohe Belastung benötigt werden.

Der Übergang von der Mischreibung zur Flüssigkeitsreibung wird durch die Stribeck-Kurve dargestellt. Die Flüssigkeitsreibung ist bei laminarer Strömung proportional zur Geschwindigkeit v , bei turbulenter Strömung proportional zur Geschwindigkeit in der 2. Potenz (v^2).

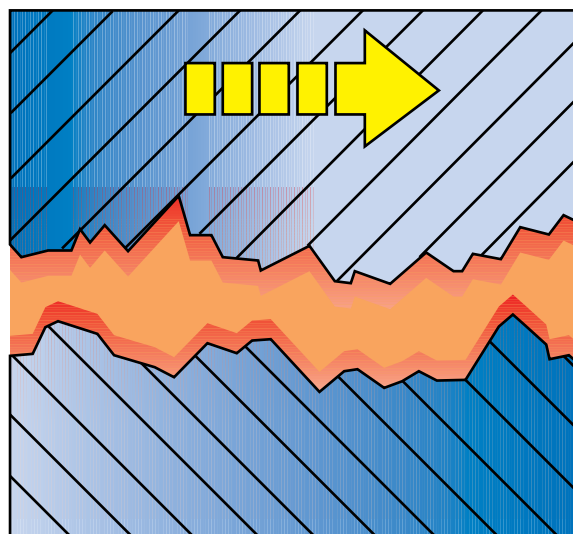


Abb. Flüssigkeitsreibung (Quelle: BP)

Innere Reibung:

Innere Reibung ist ein Energieverzehrer bei der Bewegung von Atomen bzw. Molekülen eines Stoffes gegeneinander, z. B. bei Strömungen innerhalb eines Öles. Es können äußere Kräfte wie die Schwerkraft auf jedes Flüssigkeitsteilchen wirken

und Druckdifferenzen können Beschleunigungen hervorrufen. Innere Reibung bewirkt die Zähigkeit von Materialien bzw. die Viskosität in Flüssigkeiten. Für jedes Flüssigkeitsteilchen müssen sich die äußeren Kräfte, die Druckkräfte, die Reibungskräfte und die Trägheitskräfte das Gleichgewicht halten, wenn das Tribosystem nicht beschleunigt wird.

Stribeckkurve:

Die Stribeckkurve beschreibt den Verlauf der Reibkraft in Abhängigkeit von der Reibgeschwindigkeit im Falle hydrodynamischer Reibung. Sie ist nach dem Forscher Richard Stribeck benannt, der sich u. a. mit Problemen der Werkstoffhärte und der Wellenlager beschäftigte.

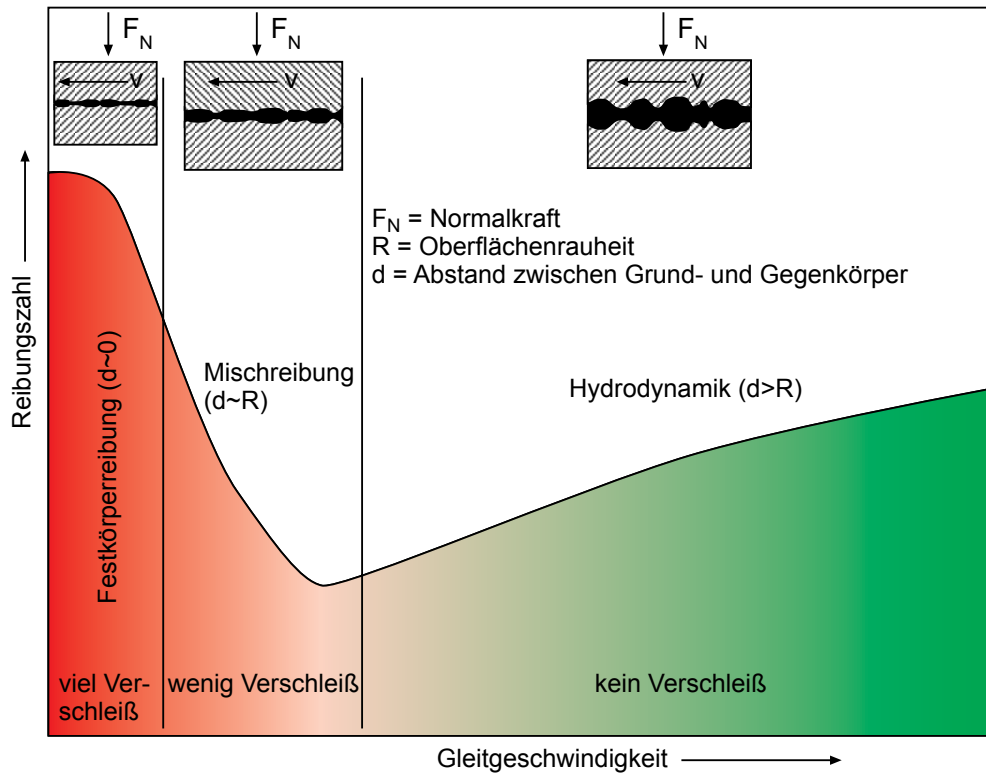


Abb. Stribeckkurve (Quelle: Dr. Tillwich GmbH)

Findet keine Relativbewegung statt, so herrscht Haftreibung. Sobald eine Kraft angreift, die größer als die Haftreibungskraft F_H ist, beginnt die Relativbewegung. Zunächst trennen nur einige Moleküle des Schmierstoffs teilweise den Grundkörper vom Gegenkörper, es herrscht Grenzreibung. Sobald sich ein dünner Schmierfilm bildet und nur noch einige Rauheitshügel von Grund- und Gegenkörper ohne Trennung durch den Schmierstoff aufeinander abgleiten, liegt Mischreibung vor. Der Übergang von der Mischreibung zur Flüssigkeitsreibung (hydrodynamische bzw. elasto-hydrodynamische Reibung), bei der Grund- und Gegenkörper vollständig durch den Schmierstoff getrennt sind, wird als Ausklinkpunkt bezeichnet.

Da mit zunehmender Geschwindigkeit immer mehr Schichten des Schmierstoffs aufeinander abgleiten, steigt die Reibkraft im Bereich der Flüssigkeitsreibung wieder an. Grundsätzlich ist der Verschleiß im Bereich der Flüssigkeitsreibung am geringsten.

2.3 Verschleiß

Der Verschleiß (Abnutzung) ist der Masseverlust (Oberflächenabtrag) einer Stoffoberfläche durch schleifende, rollende, schlagende, kratzende, chemische und thermische Beanspruchung.

Diese, meist unerwünschte, Veränderung der Oberfläche tritt zum Beispiel an Lagern, Kupplungen, Getrieben, Düsen und Bremsen auf. Verschleiß ist einer der Hauptgründe für Bauteilschädigung und dem damit verbundenen Ausfall von Maschinen und Geräten. Die Verringerung von Verschleiß ist darum eine wesentliche Möglichkeit, die Lebensdauer von Maschinen und Geräten zu erhöhen und damit Kosten und Rohstoffe einzusparen.

Definition nach DIN 50320 (Norm wurde 1997 zurückgezogen):

Verschleiß ist der fortschreitende Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers (Grundkörper), hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d. h. Kontakt- und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers.

Einflussgrößen auf Verschleiß:

- Grundkörper (Werkstoff, Form, Oberfläche)
- Zwischenstoff (Art, Teilchengröße u. a.)
- Gegenkörper (Werkstoff, Form, Oberfläche)
- Belastung (Größe, zeitlicher Verlauf)
- Art der Bewegung (Gleiten, Rollen, Stoßen)
- Umgebende Atmosphäre (z. B. Luft, Schutzgas, Vakuum)
- Temperatur (Höhe, zeitlicher Verlauf)

Verschleiß ist immer eine Systemeigenschaft, nicht eine Eigenschaft der beteiligten Komponenten.

2.3.1 Verschleißmechanismen

Verschleiß wird hauptsächlich durch vier unterschiedliche Verschleißmechanismen bestimmt:

Adhäsiver Verschleiß:

Liegen sich berührende Bauteile fest aufeinander, so haften die Berührungsflächen infolge Adhäsion aneinander. Beim Gleiten werden dann Teilchen abgeschert. Es entstehen so Löcher und schuppenartige Materialteilchen, die oft an der Gleitfläche des härteren Partners haften bleiben. Diesen Verschleißmechanismus nennt man adhäsiven Verschleiß oder Haftverschleiß. Adhäsiver Verschleiß tritt bei mangelnder Schmierung auf.

Adhäsiver Verschleiß entsteht, wenn Bauteile ohne Zwischenstoff gegeneinander bewegt werden oder der Zwischenstoff durch hohe Flächenpressung verdrängt wird. Bei adhäsivem Verschleiß werden Randschichtteilchen abgeschert.

Abrasiver Verschleiß:

Wenn harte Teilchen eines Schmierstoffs oder Rauheitsspitzen eines der Reibungspartner in die Randschicht eindringen, so kommt es zu Ritzung und Mikrozerspanung. Man bezeichnet diesen Verschleiß als abrasiven Verschleiß oder Furchverschleiß.

Zur Vermeidung von abrasivem Verschleiß sollten Schmierstoffe überwacht und gegebenenfalls erneuert werden. Grundsätzlich kann schon bei der Konstruktion eines tribologischen Systems abrasivem Verschleiß vorgebeugt werden. Statt metallischer Paarungen sollten Metall-Kunststoff- oder Metall-Keramik-Paarungen bevorzugt werden. Grundsätzlich gilt, dass bei metallischen Paarungen ein günstiges Verhältnis, z. B. harte Carbide in zähem Zwischenstoff, zwischen Festigkeit und Zähigkeit angestrebt werden sollte.

Eine besondere Rolle spielt abrasiver Verschleiß in Anlagen, in denen Medien gefördert werden, die kantige, harte Teilchen enthalten. Beispielsweise spielt abrasiver Verschleiß in Rohrleitungen und Pumpen eine Rolle, durch die Wasser mit Schwebstoffen (Sand), Putz und Beton (Zuschlagstoffe) oder gefüllte Kunststoffmassen (Füllstoffe), etwa in Vergussanlagen, zu fördern sind. In diesen Fällen ist abrasiver Verschleiß eine wesentliche Ursache für die Verkürzung der Lebensdauer von durchflossenen Bauteilen.

Abrasiver Verschleiß kann mit einem mechanischen Prüfverfahren über den so genannten Taber-Abraser nach ISO 9352, ASTM D 1044 oder DIN EN-Norm 438 - 2.6 bestimmt werden. Hierbei werden mit Schleifpapier versehene Räder mit einem definierten Druck gegen die rotierende Oberfläche der Probekörper gepresst. Messgröße ist meist der Masseverlust des Probekörpers nach einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen. Abrasiver Verschleiß ist eine Zerspanung im Mikrobereich.

Oberflächenzerrüttung:

Oberflächenzerrüttung ist ein Verschleißmechanismus, der durch wechselnde mechanische Spannungen hervorgerufen wird. Folge ist eine Zerrüttung der Oberfläche, d. h. es entstehen und wachsen Mikrorisse in den oberflächennahen Werkstoffschichten. Oberflächenzerrüttung tritt zum Beispiel in Wälzlagern durch das ständige Überrollen auf. Dieser Verschleiß, auch Wälzverschleiß genannt, lässt Grübchen oder Pittings entstehen. Da Zugspannungen in der Oberfläche die Oberflächenzerrüttung fördern, können als Gegenmaßnahme Druckspannungen in die Oberfläche eingebracht werden. Geeignete Verfahren sind Nitrieren, Oxidieren oder Kugelstrahlen der Oberflächen.

Tribo-Oxidation:

Die Bildung von Zwischenschichten, z. B. Oxidschichten, infolge chemischer Reaktion und ihre Zerstörung durch Bewegung der Bauteile nennt man Tribo-Oxidation oder Reaktionsschichtverschleiß. Er tritt fast immer zusammen mit adhäsivem Verschleiß auf. Dieser Verschleißmechanismus, der infolge chemischer Reaktion und mechanischer Zerstörung der Reaktionsschicht entsteht, ist eine tribochemische Reaktion. Ein Beispiel für Tribo-Oxidation ist Passungsrost.

2.4 Aufgabe der Druckflüssigkeit

Allgemein:

Druckmedien sind Energieeinsparer durch Reduktion der Reibung und Materialsparer durch Reduktion des Verschleißes in den Baugruppen.

Zusätzlich zu diesen Hauptaufgaben kommen noch viele weitere Aufgaben, die von der Maschine bzw. Umgebung (Einsatzort) vorgegeben werden.

Dazu gehören u. a.:

- Tribosystem kühlen
- Abdichtungen an Zylindern und Pumpen schmieren
- Bauteile vor Korrosion schützen

Schmierfilmdicke:

Die Lebensdauer von Bauteilen in Schmier- und Hydraulikaggregaten wird von dem vorhandenen Schmierfilm beeinflusst.

Die notwendige Schmierfilmdicke wird beeinflusst von:

- der Eigenschaft der Druckflüssigkeit
- den Betriebsbedingungen
- der Geometrie der Berührungsflächen.

Vor allem die Viskosität der Druckflüssigkeit bei allen Betriebstemperaturen hat einen dominierenden Einfluss auf die notwendige Spaltbreite zwischen den bewegten Körpern und auf die Ölfilmdicke. Dies führt dazu, dass bei kalter Umgebung, also bei hoher Viskosität, die Maschine einen hohen Energieverbrauch an den Antrieben der Anlage aufweist und bei hohen Betriebstemperaturen der Ölfilm, wegen zu geringer Viskosität, abreißt und zu gravierenden Schäden an den Bauteilen führt.

Tribologische Eigenschaften:

Die Beigabe von Additiven in das Grundöl hat meist die Aufgabe, die tribologische Eigenschaft der gewählten Druckflüssigkeit zu verbessern.

Aufgabe der Druckmedien:

- Gleitpartner (bewegte Körper) trennen
- Schmierstellen abdichten
- ins System zugeführte Energie abführen und den Kühlsystemen zuführen
- Komponenten schützen

3 Aufbau und Herstellung von Druckflüssigkeiten

3.1 Allgemein

Druckflüssigkeiten werden überwiegend aus Erdöl, auch als Rohöl bezeichnet, hergestellt. Dieses Erdöl, das in vorgeschichtlicher Zeit aus abgestorbenen, einzelligen Kleinstlebewesen unter Sauerstoffabschluß und unter Einwirkungen von hohem Druck und Wärme entstanden ist, muss mit hochwertigen Förderanlagen aus den mehreren tausend Meter tiefen Lagerstätten, z. B. poröser Sandstein, gewonnen werden.

Das in diesem Speichergestein enthaltene Erdöl kann auch mit modernsten Fördermethoden nur bis max. 50 % gewonnen werden. Die Qualität des geförderten Erdöls ist stark von Ort und Gebiet abhängig. Typische Fördergebiete sind in folgender Tabelle dargestellt.

Gebiet Handelsbezeichnung	Libyen Zueitina	Großbritannien Forties	Mittelost Agha Jari	Mittelost Arabian Heavy	Mittelost Safaniya
Gase Benzin	1% 22%	3% 19%	2% 20%	2% 15%	2% 13%
Mitteldestillate (z. B. Heizöl EL)	39%	37%	30%	26%	25%
Rückstand	38%	41%	48%	57%	60%
Dichte g/ml	0,817	0,840	0,855	0,887	0,890
Schwefel Gew.-%	0,21	0,30	1,40	3,00	2,80
Preis			steigend		
Typische Merkmale	reich an Napththenen	niedriger Schwefelgehalt		hoher Schwefelgehalt	hoher Schwefelgehalt

Abb. Typische Fördergebiete und Qualitäten des geförderten Erdöls (Quelle: VSI)

Grundsätzlich setzt sich das Erdöl bzw. Rohöl aus einer Vielzahl von chemischen Verbindungen und Molekülen zusammen.

Die wichtigsten sind:

- Kohlenstoff (C)
- Wasserstoff (H)
- Schwefelverbindungen
- Stickstoffverbindungen
- Sauerstoff
- Verschiedene Spurenelemente

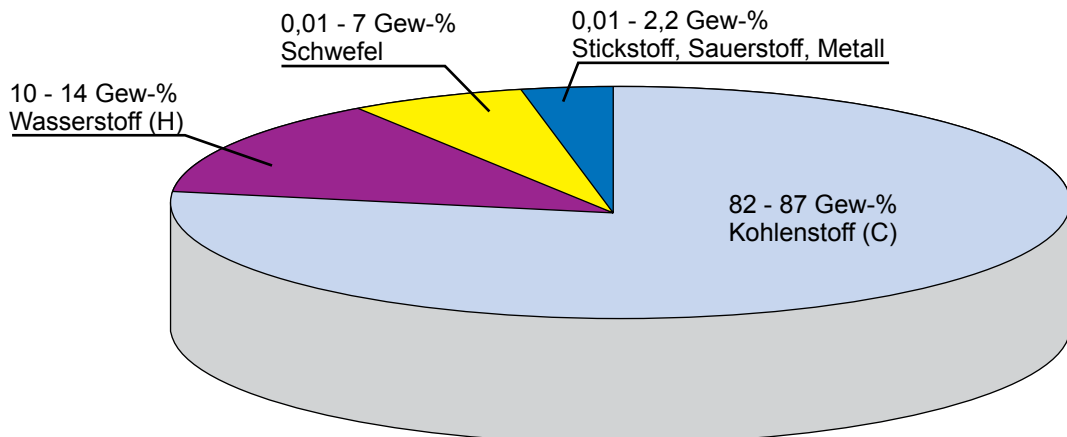


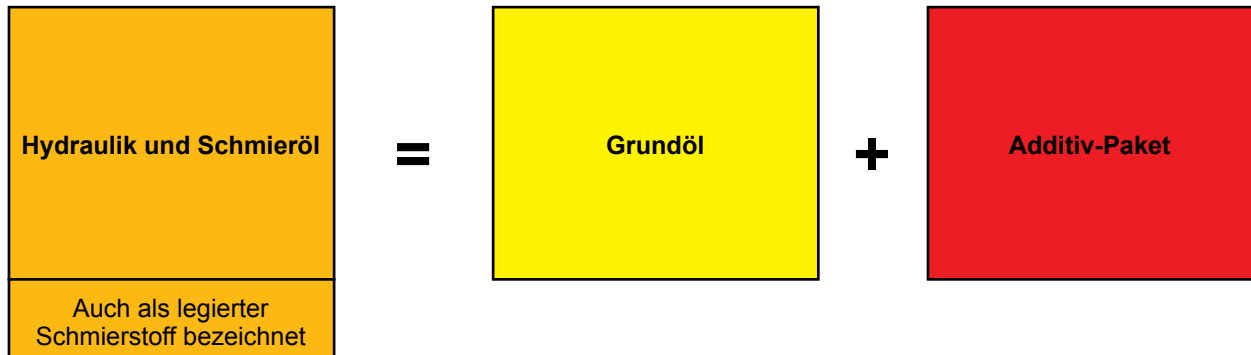
Abb. Zusammensetzung des Erdöls (Quelle: VSI)

Die direkt aus Erdöl gewonnenen Kohlenwasserstoffe bilden zurzeit in erster Linie aus wirtschaftlichen Gründen noch den Hauptanteil der verwendeten Grundöle. Mit Hilfe verschiedener physikalischer (Destillation, Extraktion) und chemischer (Hydrierung) Verfahren werden aus dem Rohöl Grundölfractionen gewonnen, die überwiegend aus gesättigten Kohlenwasserstoffen (Paraffine) von geradkettiger (n-Paraffine), zweikettiger (Isoparaffine) oder zyklischer Struktur (Naphthene) bestehen.

Die Grundöle für Schmier- und Hydrauliköle sind:

- Raffinate
- Hydro-Crack Öle
- Synthese-Öle (Polyalphaolefine, Polyglykole, Ester)
- pflanzliche Öle

Die immer höher werdenden Anforderungen an die Schmier- und Hydrauliköle können Grundöle in ihrer natürlichen Form nicht mehr erfüllen. Durch Zugabe von chemischen Wirkstoffen, den Additiven, lassen sich die Eigenschaften der Druckflüssigkeiten gezielt verändern, so dass heute beinahe jede Druckflüssigkeit oder jedes Schmierfett eine sorgfältig in aufwendigen Versuchen zusammengestellte Wirkstoffkombination, sogenannte Additiv-Pakete, enthält.



Allgemein gilt:

Die Grundöle des Schmier- und Hydrauliköls ist für die Tragfähigkeit des Schmierfilms verantwortlich. Das eingesetzte Additiv-Paket hat die Hauptaufgabe, die Oberfläche der Komponente bzw. der Wirkfläche zu schützen.

3.2 Struktur der Molekülketten

Die Struktur und die Anzahl der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome in den Molekülketten bestimmen die daraus entstehenden Grundprodukte zur Herstellung von Schmier- und Hydraulikölen.

Möglicher Aufbau der Kohlenwasserstoffmoleküle:

Das Wasserstoffatom ist einwertig, auch Valenz genannt. Dies bedeutet, das Wasserstoffatom kann nur ein einziges Atom an sich binden. Das Kohlenstoffatom ist vierwertig, kann also vier Atome an sich binden. Es bildet das Gerüst der Kohlenwasserstoffmoleküle.

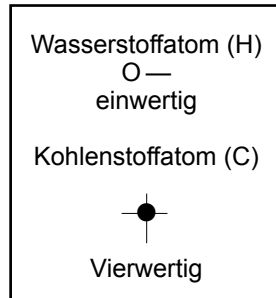
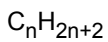


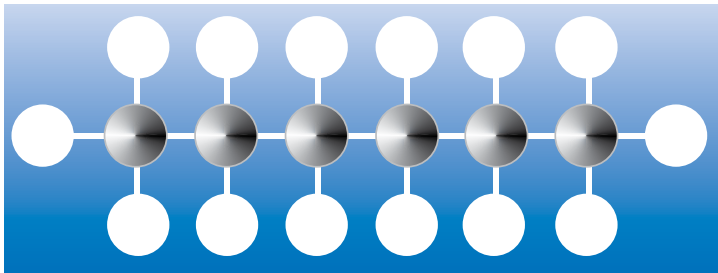
Abb. Wertigkeit der C- und H-Atome

Summenformel:

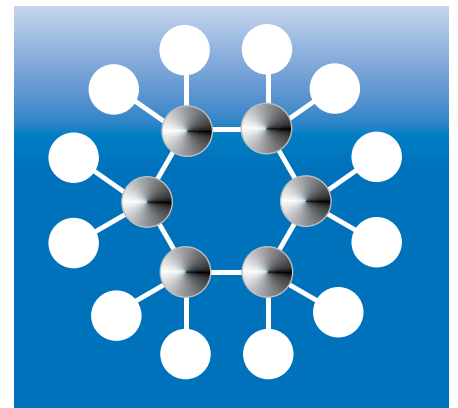


Die Kohlenwasserstoffmoleküle können sich:

- kettenförmig (azyklisch) oder
 - ringförmig (zyklisch)
- aneinander reihen.



kettenförmige Verbindung



ringförmige (zyklische) Verbindung

Abb. Gerüst der Kohlenwasserstoffmoleküle (gesättigt) (Quelle: BP)

Bei der Anbindung der Wasserstoffatome an die Kohlenstoffatome können Einfach- oder Mehrfachverbindungen entstehen.

Bei der Einfachverbindung, auch als gesättigt bezeichnet, entsteht eine reaktionsträge Kohlenwasserstoffverbindung. Diese Verbindungen zeichnen sich durch eine hohe Alterungsstabilität aus und ermöglichen somit lange Ölwechselintervalle ohne gravierende Ölveränderungen.

Die eine oder mehrere Doppelverbindungen, die auch als ungesättigte Kohlenwasserstoffe bezeichnet werden, sind reaktionsfreudig. Durch Eindringen von Sauerstoff brechen diese auf. Eine Bildung von Alterungsprodukten ist die Folge.

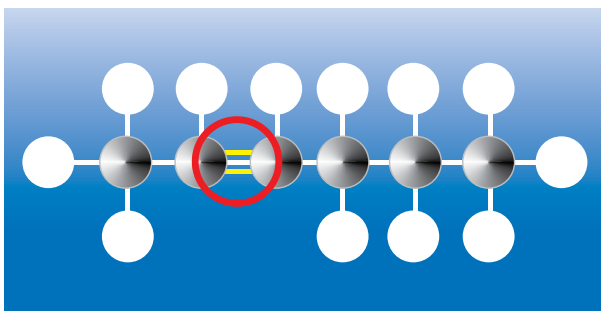


Abb. ungesättigte Dreifachverbindung (Quelle: BP)

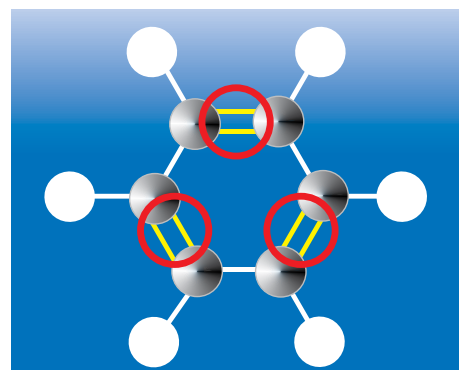


Abb. ungesättigte Doppelverbindung (Quelle: BP)

Molekülstrukturen:

Die verschiedenen Bindungsformen der C-Atome bei den Kohlenwasserstoffen werden in Molekül-Strukturgruppen zusammengefasst. Die Bezeichnung dieser Strukturen ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Bezeichnungen für Molekülstrukturen	
nach IUPAC*	Umgangssprache
Alkane Normalalkane Isoalkane Cykloalkane	Paraffine Normalparaffine Isoparaffine Naphthene (Cykloparaffine)
Alkene Alkadiene	Olefine Diolefine
Alkine	Azetylene
Aromaten	Aromaten

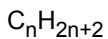
* International Union of Pure and Applied Chemistry

Abb. Molekülstrukturen

Alkane (Paraffine):

In den Molekülen der Alkane sind die Kohlenstoffatome nur durch die gewöhnliche Einfachbindung verknüpft; alle freien Bindungen sind mit Wasserstoffatomen abgesättigt, ihre Moleküle enthalten also keine funktionellen Gruppen, gehören deshalb zu den reaktionsträgsten organischen Verbindungen. Dabei handelt es sich um gesättigte Kohlenwasserstoffe und sind somit reaktionsträge.

Summenformel:



Paraffine werden unterschieden in:

- Normal-Paraffine mit C-Atomen in einer Reihe
- Iso-Paraffine mit C-Atomen in einer Reihe mit Verzweigungen

Zu dieser Gruppe zählen:

- Methan (CH₄) – gasförmig, Hauptbestandteil des Erdgases
 - Ethan (C₂H₆) – gasförmig
 - Propan (C₃H₆) – gasförmig, bei leichtem Druck flüssig
 - Butan (C₄H₁₀) – gasförmig, bei leichtem Druck flüssig
 - Pentan
 - Hexan
 - Heptan
 - Oktan
- } flüssig

Ab 17 C-Atomen sind Paraffine fest.

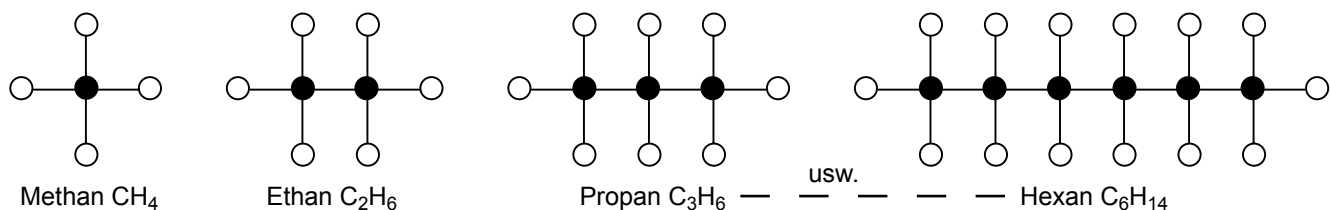
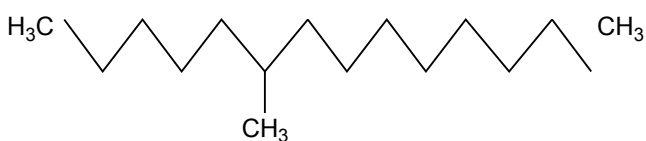


Abb. Aufbau der einzelnen Paraffin (Alkane)-Gruppen gesättigte Kohlenwasserstoffe mit geraden (Normal-Paraffine) und verzweigten (Iso-Paraffine) Ketten (Quelle: BP)

Zeichnerische Darstellung:



Eigenschaften:

- Hoher Pour Point
- Schlechte Temperatureigenschaften
- Viskositätsindex > 90

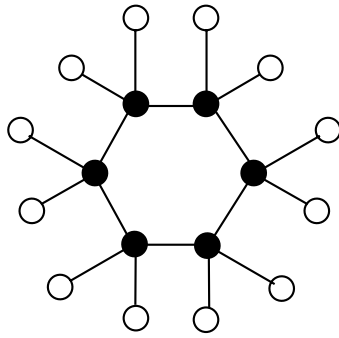


Abb. Naphthene (Cycloalkane)

gesättigte Kohlenwasserstoffe mit Ringen aus meist fünf, sechs oder sieben Kohlenstoffatomen (auch Cyclo-Paraffine genannt), zeichnen sich durch Kältebeständigkeit aus (Quelle: BP) Summenformel: C_nH_{2n}

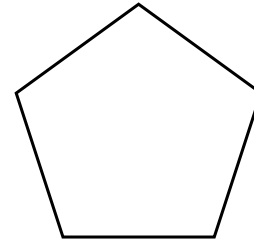


Abb. Naphthene (Cycloalkane)
Zeichnerische Darstellung

Eigenschaften:

- Gute Temperatureigenschaften
- Niedriger Viskositätsindex

Alkene (Doppel- oder Zweifachbindungen):

Dabei handelt es sich um ungesättigte Kohlenwasserstoffe. Sie entstehen meist bei einer örtlichen Überhitzung in Destillationsanlagen. Sie unterscheiden sich deshalb von den Paraffinen durch ihre Reaktionsfreudigkeit. Olefine sind im Erdöl nicht enthalten. Sie entstehen meist bei der Weiterverarbeitung, z. B. beim Crack-Verfahren.

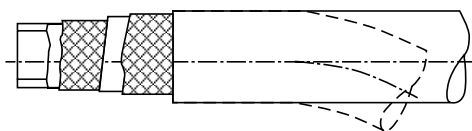
Doppel- und Dreifachverbindungen besitzen die Fähigkeit, andere Atome oder Atomgruppen zu addieren (anzulagern). Verbindungen mit Doppel- und Dreifachverbindungen verhalten sich ungesättigt und sind reaktionsfähiger als die Alkane.

Summenformel:



Zu dieser Gruppe zählen:

- Ethen (auch Ethylen genannt) – gasförmig, wird meist für die Kunststoffherstellung verwendet
- Propen
- Penten
- Hexen



Ethen C_2H_4

Propen C_3H_6

usw.

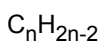
Hexen C_6H_{12}

Abb. Aufbau der einzelnen Olefine-Gruppen
ungesättigte Kohlenwasserstoffe, reaktionsfreudiger als Paraffine und daher Grundstoffe für chemische Weiterverarbeitung (Quelle: BP)

Alkine (Dreifachverbindungen):

Alkine und Alkene sind reaktionsfreudige Verbindungen; ungesättigte Kohlenwasserstoffe.

Summenformel:



Organische Säuren:

Summenformel:



Zeichnerische Darstellung:





Pro.: Speichertechnik DEF 3.000



Prospekt: Filtertechnik DEF 7.000



Pro.: Verfahrenstechnik DEF 7.700



Prospekt: Fluidservice DEF 7.929



Pro.: Compact-Hydraulik DEF 5.300



Prospekt: DEF 4.000



Prospekt: Elektronik DEF 18.000



Prospekt: Kühlsysteme DEF 5.700

Globale Präsenz. Lokale Kompetenz. www.hydac.com



Leseprobe

Stamm-
HYDAC-Gesellschaften
Master und Servicepartner

HYDAC INTERNATIONAL

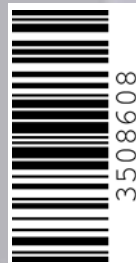
HYDAC Systems & Services GmbH
Training Center

Hirschbachstraße 2
66280 Sulzbach/Saar
Germany

Phone:
+49 (0) 68 97 / 509 -01

Fax:
+49 (0) 68 97 / 509 - 1014

Internet: www.hydac.com
E-Mail: E-learning@hydac.com



3508608