

Reibung und Verschleiss

Die DIN 50281 beschreibt den Begriff „Reibung“ wie folgt: „Das Hindernis, welches in den Berührungsflächen zweier Körper auftritt und damit eine gegenseitige Bewegung beeinträchtigt oder gar unmöglich macht, nennt man Reibung“.

Man unterscheidet zwischen drei Reibungsarten: Der Gleitreibung, Bohrreibung und Rollreibung. Wenn Reibungen entstehen, beginnt der Verschleiß direkt am Material. Deshalb erfordert der Verschleiss an kinetischen Kunstwerken häufig einen Kompromiss zwischen den Anforderungen an den physischen Erhalt des Werkes und der Funktion in Form von Bewegung. Für die Verminderung des Verschleisses bieten sich an Orten mit grossem Materialabtrag Verschleisschichten an, die den materiellen Verlust an beiden Reibpartnern vermindern. Dafür kommen aufgebrachte Festkörper (Kunststoffe, Metalle, Hölzer) in Frage, die als Opfersubstanz den Verlust am originalen Material verhindert. Mit Hilfe von Schmierstoffen wie Fetten, Ölen oder Festschmierstoffen wird dagegen der schon bestehende Reibzustand verbessert.

Fette und Öle in Sammlungen neigen immer einerseits zu einem unkontrollierten Ausbreiten über die Oberflächen und andererseits dazu, Staub anzuziehen. Aus diesen beiden Gründen sollte vor jeder Behandlung mit Ölen und Fetten eine Verschleisschicht mittels Festkörper geprüft werden.

In der Restaurierungsliteratur erwähnt EGGER¹ den Einsatz von Inlays aus Epoxydharz mit beigemischten Eisenfeilspänen bzw. Aluminiumpulver an besonders verschleissträchtigen Orten, wo Stahl auf Stahl reibt und der Verschleiss schon sehr fortgeschritten war. Im Museum Tinguely läuft ein ähnlicher Versuch, wo direkt am Werk eine Schicht Epoxydharz ohne Beimengungen aufgegossen wurde. Dieses gegossene Inlay hielt zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Publikation schon zwei Jahre Ausstellungspraxis stand. Ein weiterer Versuch wird den Beimengungen von Graphit und anderen farb- und festigkeitsverändernden Stoffen gelten.

¹ EGGER 2002, S. 42,43.



Abbildung 1: Verschleisssschicht aus Epoxidharz an einem stark reibenden Pedal nach zwei Jahren Ausstellungsbetrieb.

Im Museum Tinguely wurden weiterhin gute Erfahrungen mit versteckten Auflagern z.B. aus Holz gemacht, die die gesamte Reibkraft aufnehmen.

Beispiel Lola T.

Sollte der Betrieb und die Verminderung des Verschleisses die Anwendung eines Schmierstoffes erfordern, so ist im Folgenden eine Übersicht über die gängigen Stoffe, ihrer Zusammensetzung sowie deren Vor- und Nachteile gegeben. Die Angaben stammen zum grössten Teil aus der Diplomarbeit von Steffen Seidel über Schmierstoffe in der Restaurierung². Rohstoff für die Ölschmierung sind handelsübliche Grundöle wie Mineralöle, Esteröle und Silikonöle. Diesen Ölen werden anwendungstechnisch bedingt Dichtungsmittel wie Lithiumseife, Polyharnstoffe, Kalziumkomplexseife, Aluminiumseife oder Bariumkomplexseife beigelegt, was eine Verdickung des Öls mit sich bringt und zum Fett führt. Anforderungen an Schmiermittel können sein: niedrige Temperaturen bei hoher Drehzahl, gute Dichtwirkung gegen Wasser oder Dampfbeständigkeit und niedrige Temperaturen.

Schmieröle auf Erdölbasis

Zum Alterungsverhalten von Schmierölen auf Erdölbasis gelten nach SEIDEL vereinfacht folgende Zusammenhänge: „Mit steigendem Molekulargewicht der Kohlenwasserstoffe verschiebt sich der

² Steffen Seidel: Schmierstoffe in der Restaurierung von technischem Kulturgut am Beispiel eines Personenkraftwagens des Typs Wanderer W10/II von 1928. Diplomarbeit im Fachbereich 5, Gestaltung, Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. Berlin 2001.

Schmelz- und Siedepunkt in den Bereich der höheren Temperaturen. Somit nehmen mit steigender Kettenlänge die Viskosität und die Stockpunkttemperatur zu. Alle Kohlenwasserstoffe besitzen bei einer sehr geringen Korrosivität eine sehr gute Verträglichkeit mit Metallen. Aufgrund der Tatsache, dass Verbindungen mit Doppelbindungen besser mit Sauerstoff reagieren, als Moleküle mit Einfachbindungen, sind Paraffine und Naphtene oxidationsbeständiger als Olefine und Aromaten. In Bezug auf die Wärmebeständigkeit sind Naphtene und Aromaten am beständigsten, da kettenförmige Kohlenwasserstoffe, wie Paraffine, durch Wärmeeinwirkung stärker in Schwingung versetzt werden, bei der ein Zerfall des Moleküls erfolgen kann.³

„Die Verträglichkeit von Mineralölen mit Dichtungsmaterialien ist abhängig vom Aromatengehalt. Mit steigendem Gehalt nimmt der Angriff zu. Je höher die Viskosität und die Temperatur sind, desto ausgeprägter ist die Quellwirkung. Paraffinische Kohlenwasserstoffe hingegen können Elastomere schrumpfen bzw. verhärten.“⁴

Synthetische Flüssigkeiten

„Im Gegensatz zu den mineralischen Ölen bestehen die synthetischen aus einheitlich aufgebauten, definierten Verbindungen, deren Eigenschaften dem jeweiligen Einsatzgebiet angepasst werden können. Allgemein zeichnen sich Syntheseöle durch eine geringe Temperaturabhängigkeit der Viskosität und ein gutes Kälte-, Wärme- und Verschleissverhalten aus. Es gibt allerdings keine synthetische Flüssigkeit, welche alle Vorteile gegenüber mineralischen Ölen in sich vereint. Vielmehr stehen den Vorteilen immer auch Nachteile gegenüber.“⁵

Synthetische Kohlenwasserstoffe

Laut SEIDEL tritt diese Stoffgruppe vorwiegend als Poly-alpha-olefine auf. „Sie bilden ein ideales Grundöl, welches vorwiegend als Motoren-, Getriebe- und Lageröl Verwendung findet. Aber auch viele auf Langlebigkeit ausgelegte Schmierfette tribologischer Systeme⁶ bauen auf dieses Grundöl auf. Sie gehören zu den Ölen, die Elastomere nicht quellen, sondern eher zur Schrumpfung führen. Weiterhin zeichnen sie sich durch eine ausgezeichnete Oxidationsstabilität und thermische Beständigkeit aus.“⁷

³ SEIDEL 2001: S.60-61.

⁴ SEIDEL 2001: S.62.

⁵ SEIDEL 2001: S.63.

⁶ Tribologie: Teilgebiet der technischen Wissenschaften, das sich mit der Reibung aufeinander wirkender, in Relativbewegung zueinander befindlicher Oberflächen und damit verbundenen Wirkungen wie Verschleiss und Erwärmung befasst.

⁷ SEIDEL 2001: S.64-66.

Polyglykole

Laut SEIDEL besitzen diese Stoffe ein ungünstiges Verhalten gegenüber gebräuchlichen Dichtungswerkstoffen, sind aggressiv gegenüber Einkomponentenlacken und haben eine relativ geringe Oxidationsbeständigkeit, weshalb von ihnen als Schmierstoffen in Sammlungen abzuraten ist.⁸

Ester

Laut SEIDEL werden „Carbonsäureester und Phosphorsäureester in der Luft- und Raumfahrt als Turbinenschmieröle und als schwer entflammbare Schmierstoffe eingesetzt. [...] Sie besitzen eine sehr gute Oxidations- und thermische Beständigkeit. [...] Dicarbonsäureester verhalten sich jedoch gegenüber vielen Metallen und Kunststoffen aggressiv.“⁹ Die verschiedenen Ester sind in ihrer Wechselwirkung mit anderen Materialien schwer einzuschätzen, weshalb von ihrem Einsatz in Museumssammlungen abgeraten wird.

Silikonöle

Laut SEIDEL weisen diese Öle „eine sehr gute Verträglichkeit mit Metallen, Kunststoffen und Gummi auf. [...] Sie besitzen eine sehr gute Chemikalienbeständigkeit, sind wasserunlöslich und zeigen aufgrund ihrer unpolaren Struktur kein reaktives Verhalten. Eine Absorption von UV- und Gammastrahlen ist kaum vorhanden. Silikonöle sind gute Schmiermittel für auf Rollreibung beanspruchte Reibsysteme. Hingegen bei Beanspruchung auf Flächenpressung (Gleitlager) sind Silikonöle, auf Grund ihrer geringen Druckaufnahmefähigkeit (Scherstabilität), nur bedingt einsetzbar. Die Schmierwirkung ist von der vorliegenden Materialpaarung abhängig. Kunststoff-Kunststoff und Kunststoff-Metallkombinationen können sehr gut geschmiert werden. Bei einer Stahl-Stahl Kombination ist der Einsatz auf Grund der schlechten Adsorption und geringen Oberflächenspannung begrenzt. [...]

Silikonöle gelten aufgrund ihrer Reaktionsträgheit als physiologisch unbedenklich. Nachteilig für den Einsatz von Silikonölen ist ihre Neigung zum Breitlaufen bedingt durch ihre geringe Oberflächenspannung, auf der auch die geringe rostschützende Eigenschaft der Silikonöle beruht. Zum Einsatz kommen Silikonöle bei Präzisionsteilen wie Geschwindigkeitsmessern, Uhren, Instrumenten und zur Schmierung von Kunststoffteilen.“¹⁰

Schmierfette

„Schmierfette gehören zur Gruppe der konsistenten Schmierstoffe und sind das Ergebnis der feinsten Verteilung eines Verdickers in einem flüssigen Schmierstoff. Trotz ihrer äusserlich homogenen

⁸ SEIDEL 2001: S.66-67.

⁹ SEIDEL 2001: S.67-69.

¹⁰ SEIDEL 2001: S.70-72.

Erscheinung bestehen sie aus einer Vielzahl verschiedener, überwiegend organischer Verbindungen. Diese lassen sich in drei Hauptbestandteile, nach ihrem Mengenverhältnis, folgendermassen zusammenfassen:¹¹

- Grundöl 65–95 Masseprozent
- Verdicker 5-25 Masseprozent
- Additive 0–10 Masseprozent

Bei den gängigsten klassischen Fetten unterscheidet man zwischen folgenden Fettarten:

- Lithium-Seifenfette sind bedingt wasserabweisend und, sofern mit Zusätzen versehen, auch oxidationshemmend.
- seifenfreie Fette haben anorganische oder organische Quellmittel. Sie werden für extrem aggressive Chemikalien eingesetzt.
- Kalk – Seifenfette sind besonders wasserabweisend, walkstabil und zeichnen sich durch günstiges Kälteverhalten aus.
- Natrium – Seifenfette emulgieren mit Wasser und verhindern Korrosion.

Grundöl

„Die flüssigen Schmierstoffe bilden den Hauptbestandteil der Schmierfette. Hier kommen entsprechend den geforderten Eigenschaften des Fettes sowohl Mineralöle als auch Syntheseöle zum Einsatz. Der Hauptanteil der heute produzierten Schmierfette besitzt Mineralöle als Grundöl. Schmierfette auf der Grundlage von Syntheseöl finden vorwiegend in speziellen Bereichen, die z.B. durch besonders hohe und tiefe Temperaturen gekennzeichnet sind, Anwendung.“¹²

Verdicker

„Die Verdickungsmittel sind der zweitgrösste Bestandteil der Schmierfette und sind wesentlich für die Struktur der Schmierfette verantwortlich. [...] So sind Natriumseifen als Verdicker wegen ihrer Wasserlöslichkeit weniger gut geeignet als Schmierfette mit Lithiumseifen. Letztere sind die heute am meisten verwendeten Schmierfette. Lithiumseifenfette besitzen eine gute wasser- und mechanische Beständigkeit und sind bis zu Temperaturen von 120°C einsetzbar. Sie sind daher typische Mehrzweckfette.“¹³

¹¹ SEIDEL 2001: S.73.

¹² SEIDEL 2001: S.73.

¹³ SEIDEL 2001: S.74.

Additive

Aus Gründen dieses weit verzweigten und komplizierten Gebietes sei hier für mehr Informationen auf die Arbeit von SEIDEL verwiesen. Um einen Eindruck von deren Fülle Additiven zu geben sollen hier lediglich deren verschiedenen Arten aufgezählt werden : Oxidationsinhibitoren, Radikalfänger, Peroxidzersetzer, Korrosions- und Rostschutzadditive, Extreme Pressure / Antiwear-Additive, Detergent-Dispersent Additive sowie Additive zur Peptisierung, Solubilisation, Neutralisation, Viskositätsindex-Verbesserer, Pourpoint-Erniedriger, Friction Modifier und Schauminhibitoren.

Festschmierstoffe

Festschmierstoffe sind eine sinnvolle Ergänzung zu den konventionellen Schmierstoffen wie Fette und Öle. Sie werden dann benötigt, wenn Schmierfette und Schmieröle ihre Funktion nicht mehr erfüllen. Festschmierstoffe verringern Reibung und Verschleiß und schützen zusätzlich vor Korrosion. Die bekanntesten Festschmierstoffe sind Graphit, Molybdändisulfid, Wolframdilsulfid und Polytetrafluoräthylen. Die Grundmaterialien und die beigemengten Additive bestimmen auch das Aussehen der Festschmierstoffe. Graphit oder Molybdän beinhaltende Fette sind immer dunkel oder schwarz. Helle, weiße und cremefarbene Festschmierstoffe enthalten dagegen nur chemisch wirkende Additive.

„Die Festschmierstoffe [...] lassen sich im Wesentlichen in drei Hauptgruppen unterteilen, die reaktionswirksamen, die physikalisch wirksamen und die strukturwirksamen Festschmierstoffe.“¹⁴

Reaktionswirksame Festschmierstoffe

„Zur Gruppe der reaktionswirksamen Festschmierstoffe gehören verschiedene Hydroxide, Carbonate und Phosphate, wie z.B. Calciumdiphosphat, Kupferdiphosphat und Calciumcarbonat. Die Wirksamkeit dieser Stoffe beruht auf der Ausbildung sehr festhaftender Schichten infolge der Reaktion mit Eisen.

Das Auftragen dieser Stoffe kann in Form von Pasten, Suspensionen und Fetten erfolgen.“¹⁵

Physikalisch wirksame Festschmierstoffe

„Der Gruppe der physikalisch wirksamen Festschmierstoffe werden verschiedene Metallverbindungen, -filme und -pulver sowie Polymere zugeordnet. In Form von Metallfilmen können u.a. Blei, Silber, Gold und Kupfer zur Reibminderung eingesetzt werden. Das Aufbringen dieser Schichten erfolgt durch Aufdampfen im Hochvakuum oder galvanisch auf einer harten Metallgrundfläche. Auf Grund der geringeren Scherfestigkeit dieser Materialien kann die Gleiteigenschaft eines Reibsystems verbessert werden. Auch Polymere, wie z.B. Polytetrafluorethylen weisen gute Gleiteigenschaften auf. Die

¹⁴ SEIDEL 2001: S.77.

¹⁵ SEIDEL 2001: S.77.

Einsatzgrenzen dieser Stoffe werden maßgeblich durch ihre thermischen-, mechanischen- und chemischen Eigenschaften vorgegeben.¹⁶

Zu den physikalisch wirksamen Festschmierstoffen zählen die im Handel erhältlichen Gleitlacke. Sie sind eine Alternative bei hoher Flächenpressung und geringer Gleitgeschwindigkeit.

Strukturwirksame Festschmierstoffe

„Die interessanteste Gruppe bilden die strukturwirksamen Festschmierstoffe, zu deren wichtigsten Vertretern Graphit und Molybdändisulfid gehören. Die Schmierwirkung dieser Stoffe beruht auf der Schichtgitterstruktur ihrer Kristalle, die senkrecht zur Schicht eine hohes Druckaufnahmevermögen und in der Ebene der Schichten ein seitliches Verschieben ermöglicht.

Molybdändisulfid

Molybdändisulfid ist plättchenförmig und seine Gitterstruktur besteht aus drei Ebenen, die aus zwei Schwefelebenen und der dazwischen liegenden Molybdänebene gebildet wird. Während zwischen den Schwefel- und Molybdänatomen starke Valenzbindungen (Atombindung) bestehen, sind die Schwefelebenen jeweils durch schwächere Van-der-Waals'sche Kräfte verbunden. Diese unterschiedlichen Bindungskräfte sind entscheidend für die physikalische Wirkungsweise dieses Festschmierstoffes. Molybdändisulfid ist chemisch- und strahlungsstabil, allerdings wirkt es in Gegenwart von Feuchtigkeit korrosiv auf Eisen und Stahl. Mit wachsender Belastung und Geschwindigkeit nehmen die Gleiteigenschaften im tribologischen System ab.

Graphit

Graphit besitzt eine ähnliche Gitterstruktur wie Molybdändisulfid und weist somit gleiche physikalische Eigenschaften auf. Eine gute Schmierwirkung dieses Festschmierstoffes ist allerdings an das Vorhandensein eines absorbierten Gas-, Öl- oder Wasserfilm gebunden. Als Trockenschmierstoff ist die Wirkung nur als mäßig einzustufen.

Graphit ist chemisch stabil und nahezu strahlungsunempfindlich. Mit steigender Temperatur nimmt die Druckfestigkeit zu.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass strukturwirksame Festschmierstoffe, wie Graphit und Molybdändisulfid durch eine sehr gute Alterungsbeständigkeit und weitestgehende Resistenz gegen aggressive Medien gekennzeichnet sind. Die Anwendung von Festschmierstoffen erfolgt vorrangig in Bereichen, wo flüssige Schmierstoffe auf Grund ungünstiger Betriebs- und Umgebungsbedingungen nicht eingesetzt werden können. Die Gitterstruktur und die Glättung von Reiboberflächen, durch die Anlagerung zwischen den Rauheitsspitzen, verleihen den Reibpartnern in tribologischen Systemen gute Notlaufeigenschaften.

¹⁶ SEIDEL 2001: S.78.

Die Schmierung mit Festschmierstoffen kann durch direkte Filmbildung in Form von Pulvern, Gleitlacken und Pasten, oder indirekte Filmbildung als kolloidale Lösung in Ölen und Fetten erfolgen. Nachteilig ist der kontinuierliche Abrieb bei fehlender Nachschmierung, insbesondere bei direkter Filmbildung, höhere Reibungsverluste bei Trockenreibung und fehlender Korrosionsschutz.“¹⁷

Resümee

Wenn der Einsatz von Schmierstoffen an einem Werk unumgänglich ist und eine Auswahl getroffen werden muss, können oben zusammengefasste Informationen einen ersten Überblick über dieses grosse Stoffgebiet geben. Es wird jedoch immer unerlässlich sein, die entsprechenden Produzenten nach den geeigneten Stoffen anzufragen und im Austausch mit ihnen eine Lösung zu finden. „Denn letztlich sind neben der Art des Grundöles die Eigenschaften des fertigen Schmierstoffes in Verbindung mit dem zu erwartenden Betriebszustand von Bedeutung. Es nützt nichts, wenn zum Beispiel bei vorhandener chemischer Verträglichkeit die Viskosität für den gewünschten Einsatz zu niedrig ist.“¹⁸

Quellennachweis

- **EGGER 2002. Diplomarbeit**
- SEIDEL 2001: Steffen Seidel: Schmierstoffe in der Restaurierung von technischem Kulturgut am Beispiel eines Personenkraftwagens des Typs Wanderer W10/II von 1928. Diplomarbeit im Fachbereich 5, Gestaltung, Studiengang Restaurierung/Grabungstechnik der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. Berlin 2001.

¹⁷ SEIDEL 2001: S.78-80.

¹⁸ Freundlicher Hinweis von Steffen Seidel per E-Mail im Januar 2007.