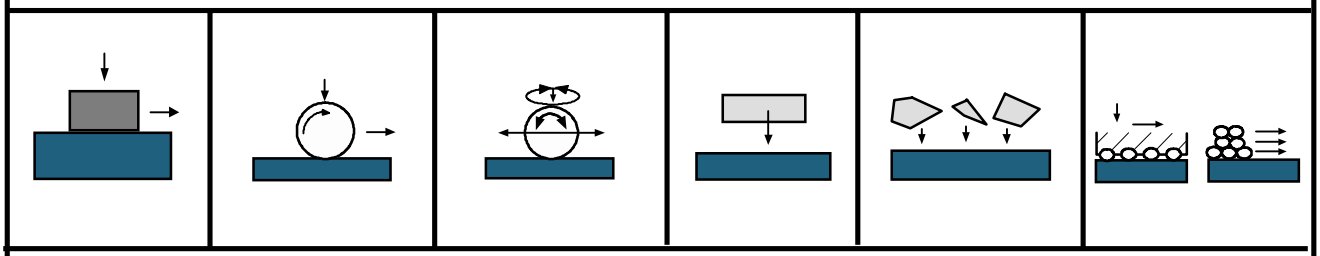
Wolf



ZEDEX 100
und die Tribologie

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Zusammenhänge Seite 3

2. Das Tribologische System Seite 3

3. Reibung Seite 3 - 8
3.1. Aufgaben der Schmierung
3.1.1. Trennung der Gleitpartner
3.1.2. Ableitung von Wärme aus der Gleitfläche
3.1.3. Korrosionsschutz der Gleitpartner
3.1.4. Abdichtung der Lagerstelle
3.1.5. Dämpfung von Stößen und Vibrationen

4. Verschleiß Seite 8-13
4.1. Adhäsion
4.2. Abrasion
4.3. Tribochemische Reaktionen
4.4. Oberflächenzerrüttung

5. Tribologisch relevante Polymere Seite 14
5.1. Duroplaste
5.2. Elastomere
5.3. Thermoplaste

6. Die hauptsächlich im Maschinenbau & in der Feinwerktechnik verwendeten polymeren Grundwerkstoffe sind die teilkristallinen Thermoplaste Seite 14 - 15
6.1. Polyamid PA
6.2. Polyoxymethylen POM
6.3. Polyethylen PE
6.4. Thermoplastische Polyester
6.5. Polytetrafluorethylen PTFE (Teflon)

7. Modifizierung der Grundwerkstoffe Seite 15 - 22
7.1. ZEDEX 100
7.1.1. Eigenschaften von ZEDEX 100
7.1.2. Der Materialaufbau von ZEDEX 100
7.1.3. Warum ist ZEDEX 100 so gut bei Trockenlauf?
7.1.4. Vorteile durch den besonderen Materialaufbau von ZEDEX 100
7.1.4.1. Anpassungsvermögen an fehlerhafter Geometrie
7.1.4.2. Einbettvermögen von abrasiven Fremdkörpern oder Verunreinigungen
7.1.4.3. Starke Schwingungsdämpfung und hohe Vibrationsfestigkeit
7.1.4.4 Höchste Präzision (Lager mit negativem Lagespiel)
7.1.4.5. Korrosionsfestigkeit
7.1.4.6. Hohe Maßhaltigkeit
7.1.4.7. Physiologisch unbedenklich
7.1.4.8. Niedriges Gewicht
7.1.4.9. Geräuscharm
7.1.4.10. Preisgünstig

8. Eigenschaftsvergleich für Gleitführungswerkstoffe Seite 23

Wolf Kunststoff-Gleitlager GmbH
Heisenbergstr. 63-65
D-50169 Kerpen - Türnich
Telefon: +49 (0) 2237 / 97 49 - 0
Telefax: +49 (0) 2237 / 97 49 - 20
email: info@plasticbearings.com
http://www.plasticbearings.com

1. Allgemeine Zusammenhänge

Die Tribologie umfaßt als Sammelbegriff alle Fragen von

Reibung
Verschleiß und
Schmierung.

Im engeren Sinn sollen hierbei die Vorgänge zwischen relativ zueinander bewegten und belasteten Oberflächen verstanden werden, zwischen denen sich eine die Reibung und den Verschleiß beeinflussende Zwischenschicht befinden kann, und die einer den Kontakt beanspruchenden Umgebung ausgesetzt sind.

2. Das Tribologische System

Die Beurteilung des Betriebsverhaltens von Gleitwerkstoffen unterliegt den Verhältnissen des tribologischen Systems. Die Reibung und der Verschleiß von Werkstoffen stellen komplexe Vorgänge dar, an denen eine Vielzahl von Einflußgrößen, Prozessen und Parametern beteiligt sind.
Sie können folglich nicht isoliert gesehen werden, sondern stets in Verbindung mit dem tribologischen System. In Bild 1 ist der Umfang eines tribologischen Systems beispielhaft dargestellt.

Die am Verschleiß unmittelbar beteiligten Bauteile und Stoffe werden als „Elemente“ des Tribosystems bezeichnet. Dies sind der Grundkörper, der Gegenkörper, der Zwischenstoff und das Umgebungsmedium. Sie charakterisieren zusammen mit ihren tribologischen Eigenschaften und Wechselwirkungen die Struktur des Tribosystems. Auf dieses System wirkt von außen ein „Beanspruchungskollektiv“, das durch

a) die Bewegungsform: Gleiten, Rollen, Stoßen oder Strömen
b) den zeitlichen Bewegungsablauf: kontinuierlich, oszillierend oder intermittierend
c) die technisch-physikalischen Beanspruchungsparameter gebildet wird:
Normalkraft Fn, Geschwindigkeit v,Temperatur T Beanspruchungsdauer t

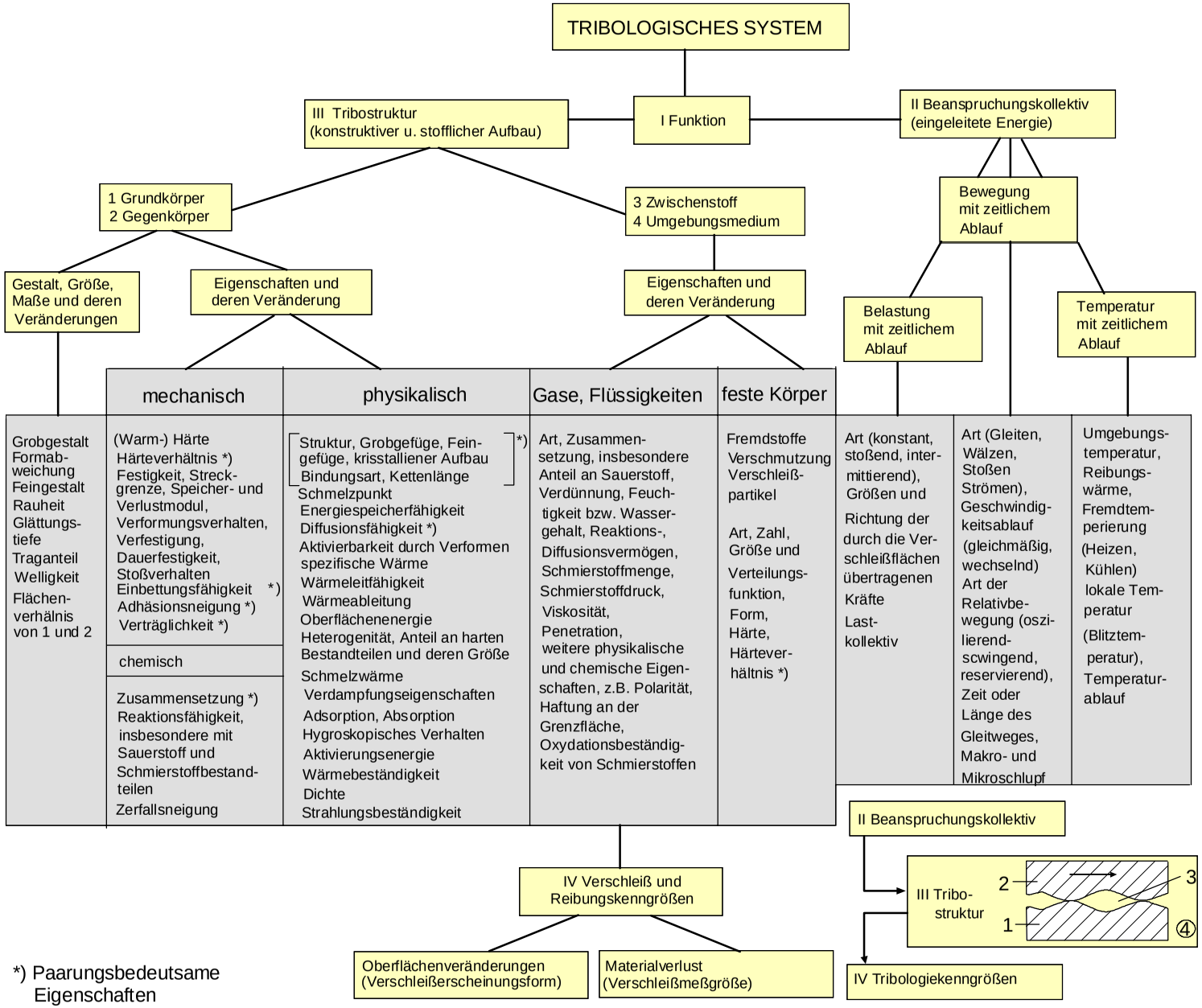
Das Tribosystem reagiert hierauf im allgemeinen mit Oberflächenveränderungen und Materialverlust, den „Verschleißkenngrößen“.

3. Reibung

Nach DIN 50281 ist die Reibung wie folgt definiert:
„Reibung ist diejenige Größe, die einer Relativbewegung sich berührender Oberflächen entgegenwirkt. Als Wirkung dieses Prozesses tritt einerseits eine Energiedissipation auf, wobei in aller Regel der überwiegende Anteil der zur Aufrechterhaltung der Bewegung aufzuwendenden mechanischen Energie in thermische Energie umgewandelt wird. Anderseits verursacht die Reibung besonders im Fall einer Trockenreibung eine Schädigung der Oberflächen, die als Verschleiß in Erscheinung tritt“.
Die Reibkraft Fr ist die Kraft, die infolge der Reibung als mechanischer Widerstand gegen eine Relativbewegung auftritt. Wird die Reibungskraft Fr auf die zugehörige Normalkraft Fn bezogen, so ergibt sich die dimensionslose Reibungszahl μ, die auch Reibungkoeffizient genannt wird. Sie ist eine systembezogene Kenngröße, die von dem Beanspruchungskollektiv und der Struktur eines tribologischen Systems (Gegenkörper, Grundkörper, Zwischenstoff , Umgebungsmedium ,...) abhängig ist.

D V5 05/99

Bild 1 Tribologisches System mit vielfältigen Parametern



*) Paarungsbedeutsame Eigenschaften

3.1. Aufgaben der Schmierung

3.1.1. Trennung der Gleitpartner

Die Trennung der Gleitpartner erfolgt nur dann, wenn ein tragfähiger Schmierfilm aufgebaut werden kann,und auch bei auftretender Flächenpressung bestehen bleibt.
Die Entstehung eines hydrodyn. Schmierfilms ist im wesentlichen von der Gleitgeschwindigkeit abhängig. Man unterscheidet versch. Reibungsarten, die in der Stribekkurve dargestellt sind.

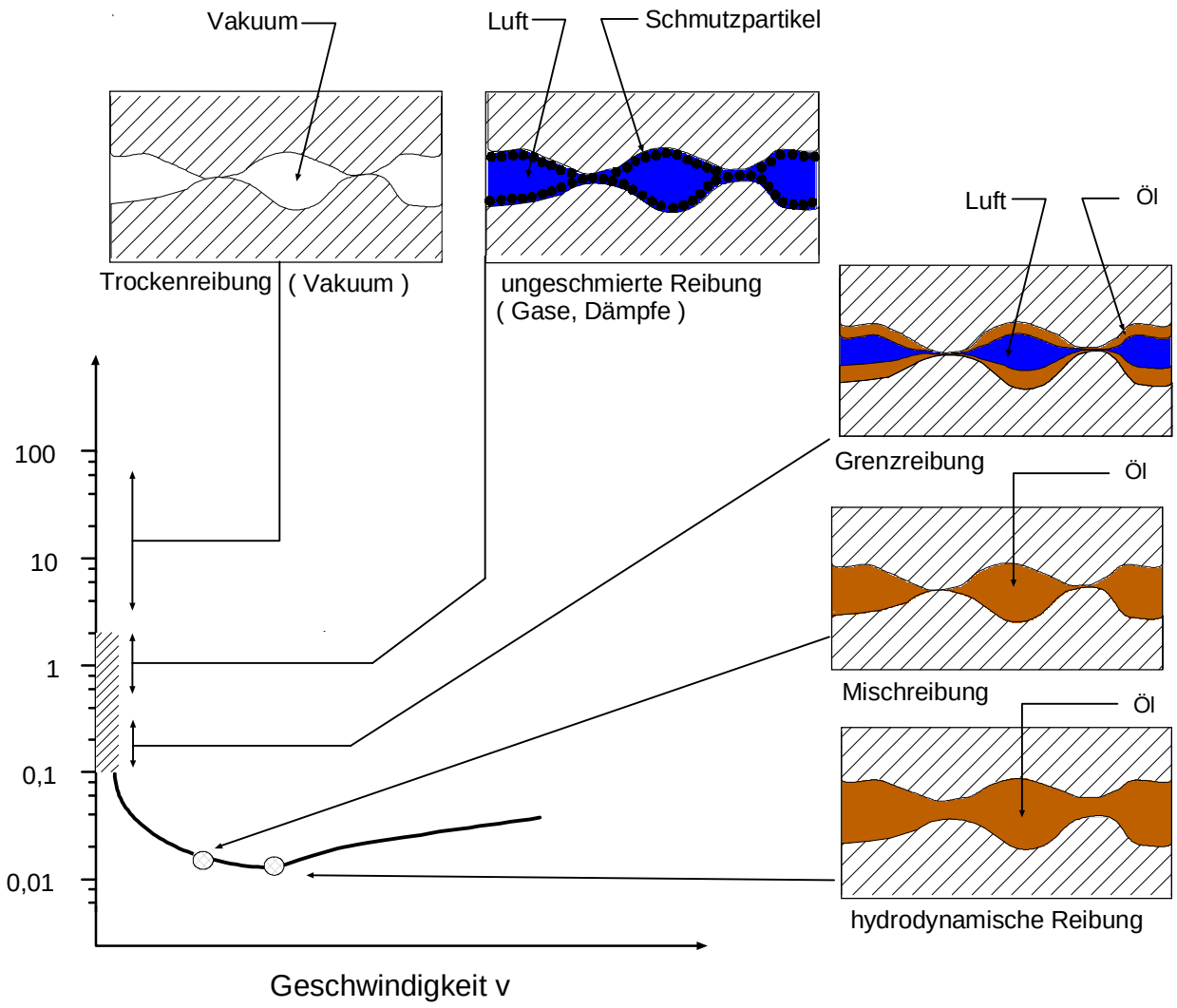


Bild 2 Reibungs- und Schmierbereiche im Stribeck-Diagramm

A. Festkörperreibung (Trockenreibung, Grenzreibung):
Bei kleinen Reibgeschwindigkeiten im Gebiet der Grenzreibung liegt Stoffkontakt zwischen den Gleitbahnoberflächen vor. Für die Größe der Reibung in diesem Gebiet sind im wesentlichen die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Werkstoffpaarung und die Grenzflächenwirkung des Schmiermittels maßgebend.
Bei der Trockenreibung gleiten die Führungsflächen ohne Schmierstoff aufeinander ab, während bei der Grenzreibung die Oberflächen der Reibpartner mit einem vom Schmierstoff stammenden Film bedeckt sind.

B. Mischreibung:
Bei höhereren Gleitgeschwindigkeiten im Gebiet der Mischreibung ist Schmierstoff zwischen den Führungsflächen vorhanden. Mikrohydrodynamische Schmierkeile ermöglichen es, einen kleinen Teil der äußeren Belastungen aufzunehmen. Trotz dieses hydrodynamisch tragenden Schmierfilms zwischen Führungsflächen finden aufgrund des real immer vorhandenen Rauhigkeitsprofils aber bereichsweise noch Berührungen der festen Oberflächen statt.
Dies ist insbesondere bei niedrigen Gleitgeschwindigkeiten und hoher Flächenpressung der Fall.

C. Flüssigkeitsreibung (hydrodynamische Reibung):
Bei der Flüssigkeitsreibung ist ausreichend Schmierstoff zwischen den bewegten Gleitflächen vorhanden. Durch die geschlossene Schmierfilmschicht findet keine Berührung zwischen den festen Oberflächen mehr statt.

Trockene Reibung bzw. Festkörperreibung	> 0,3
Grenzreibung	= 0,1 - 0,3
Mischreibung	= 0,01- 0,1
Flüssigkeitsreibung	= 0,001 - 0,01

Tabelle 1 Reibungskoeffizient mit unterschiedlicher Reibungsart

D.Reibung in der Praxis:
In der Praxis finden Gleitbewegungen überwiegend im Mischreibungsgebiet statt, da sich meist ein hydrodynamischer Schmierfilm nicht aufbauen kann oder wenn er entsteht,oft durch zu hohe Flächenpressung überlastet wird und dadurch wieder abreißt. Weitere Ursachen für die Mischreibung sind in Bild 3 dargestellt.

Die Mischreibung gehört zu den ältesten technisch genutzten Reibungserscheinungen.
Seine wissenschaftliche Erforschung und Beschreibung z.B. mit Hilfe mathematischer Gesetzmäßigkeiten erweist sich aber aufgrund der vielfältigen Einflußfaktoren und der Vielzahl der dabei gleichzeitig ablaufenden Vorgänge als äußerst schwierig.
Um Aussagen über das Verhalten von Werkstoffen und ganzen Reibungssystemen machen zu können, sind bis heute wissenschaftliche Experimente, Prüfstands- und Vergleichsversuche im praktischen Einsatz erfoderlich. Nur auf diese Weise ist es möglich, für das Reibungsverhalten der vielfältigen in der Praxis auftretenden Mischreibungsprobleme verläßliche, übertragbare Aussagen zu machen.

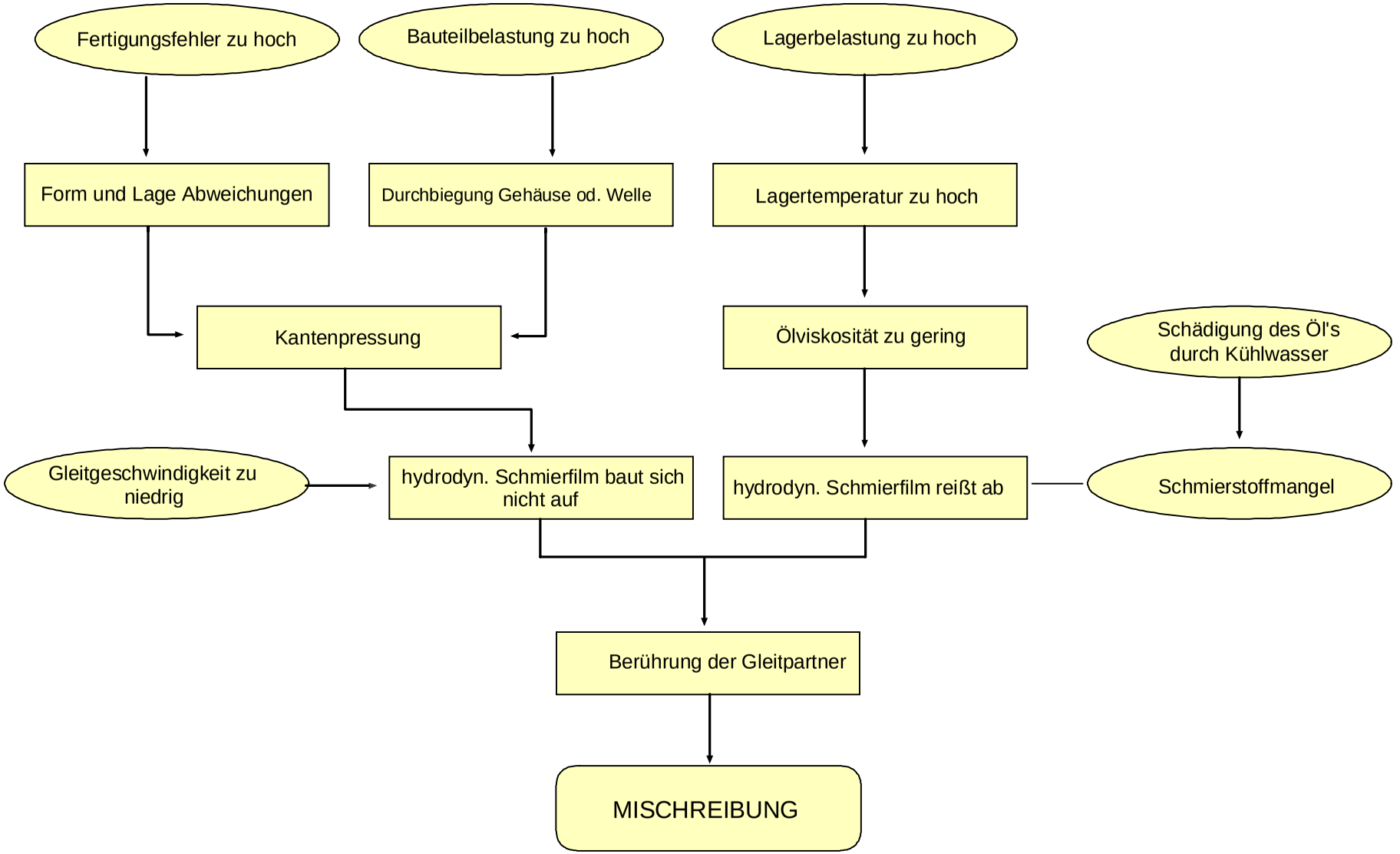


Bild 3 Ursachen der Mischreibung

3.1.2. Ableitung von Wärme aus der Gleitfläche
Durch Schmierung erreicht man, daß sich die entstehende Reibungswärme an den Schmierstoff überträgt und von der Gleitstelle abtransportiert wird.

3.1.3. Korrosionsschutz der Gleitpartner
Der Schmierstoff schützt die metallischen Werkstoffe vor Korrosion, da er die Oberflächen der Metalle benetzt und somit eine Schutzhülle bildet.

3.1.4. Abdichtung der Lagerstelle
In eine geschmierte Lagerstelle können nur schwer Fremdkörper eindringen, da der Bereich des Lagerspaltes mit Schmiermittel gefüllt ist. Durch austretendes Schmiermittel werden Fremdkörper aus der Lagerstelle gespült und die Lagerstelle zusätzlich gereinigt.

3.1.5. Dämpfung von Stößen und Vibrationen
Eine wichtige Aufgabe des Ölfilms ist die Dämpfung von Vibrationen und Stößen.
Die Dämpfung ist von der Schmierfilmdicke und von der Ölviskosität abhängig.

4. Verschleiß

Der Werkstoffverschleiß ist neben der Reibung eine weitere relevante Größe zur Beurteilung der Gleitwerkstoffe. Er bezeichnet den fortschreitenden Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d.h. Kontakt und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers. Im Unterschied zu den Festigkeitseigenschaften wie Zugfestigkeit, Druckfestigkeit usw., die als „stoffbezogene“ Werkstoffkennwerte angesehen werden, resultiert der unter tribologischen Beanspruchungen auftretenden Verschleiß aus dem Zusammenwirken aller am Verschleißvorgang beteiligten Teile einer technischen Konstruktion und kann nur durch „systembezogene“ Verschleißkenngrößen beschrieben werden. Demzufolge kann einem Werkstoff weder ein bestimmter Verschleißwiderstand noch ein bestimmter Reibungskoeffizient zugeordnet werden.
Aufgrund der funktionalen Kopplung sind Reibung und Verschleiß von dem jeweils vorliegendem System abhängig.

Die in der Technik auftretenden vielfältigen Verschleißvorgänge sind gekennzeichnet durch Verschleißarten, Verschleißmechanismen und Verschleißerscheinungsformen.
Im Bild 4 sind einige Verschleißarten dargestellt.
Verschleißarten beschreiben im wesentlichen die Kinematik und die Struktur tribologischer Systeme.
Die Unterscheidung erfolt nach dem physikalischen Zustand des Gegenkörpers, nach der Art der Relativbewegung zwischen Grund- und Gegenkörper und nach der Art des Zwischenmediums.
Unter Verschleißmechanismen sind die energetischen und stofflichen Wechselwirkungen zwischen einzelnen Elementen eines Verschleißsystems zu verstehen. Nach DIN 50320 werden Verschleißmechanismen in vier Hauptgruppen geteilt:

-Adhäsion
-Abrasion
-tribochemische Reaktion und
-Oberflächenzerrüttung.

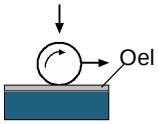
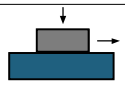
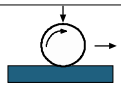
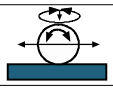
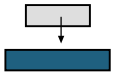
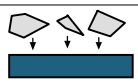
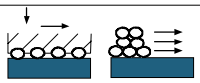
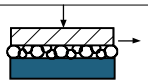
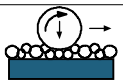
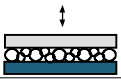
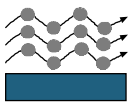
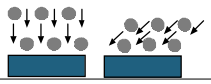
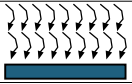
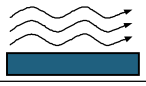
Systemstruktur	Tribologische Beanspruchung	Symbole	Verschleißart		Wirkende Mechanismen (einzeln oder kombiniert) Adhäsion	Abrasion	Oberfl.-zerrüttung	Tribochem. Reaktionen
Festkörper -Zwischenstoff (vollst. Film-trennung) -Festkörper	Gleiten Rollen Wälzen Stoßen		———		●	●	●	●
Festkörper -Festkörper (bei Fest-körperreibung, Grenzreibung, Mischreibung	Gleiten		Gleitverschleiß		●	○	○	●
	Rollen Wälzen		Rollverschleiß Wälzverschleiß		○	○	●	○
	Oszillieren		Schwingungs - verschleiß		●	●	●	●
	Stoßen		Stoß (Prall)-verschleiß		○	○	●	○
Festkörper -Partikel	Stoßen				●	●	●	○
	Gleiten		Abrasiv - Gleitverschleiß		●	●	●	○
Festkörper -Festkörper und Partikel	Gleiten		Fest-körper / Korn / Fest-körper	Gleit- Wälz- Stoß- V.	○	●	●	○
	Wälzen				○	●	●	○
	Stoßen				○	○	●	○
Festkörper -Partikel -Flüssigkeiten	Strömen		Hydroabrasiver Verschleiß	EROSION	○	●	●	○
Festkörper -Partikel (Gas)	Strömen		Gleitstrahl-V.		○	●	●	○
	Strömen		Prallstrahl-Schrägstrahl-V.		○	●	●	○
Festkörper -Flüssigkeiten	Strömen Schwingen		Kavitations - erosion		●	●	●	○
	Stoßen		Tropfenschlag - erosion		●	●	●	○
	Strömen		Flüssigkeits - erosion		●	●	○	●
Festkörper -Gas	Strömen		Gaserosion		●	●	●	●

Bild 4

● nicht wirkend ● hauptsächlich wirkend ○ nebensächlich wirkend

4.1. Adhäsion

Adhäsion beruht auf van der Waalschen Wechselwirkung (Dispersionskräfte, Dipolorientierungskräfte, Induktionskräfte, Wasserstoffbrückenbildung) zwischen Polymer und Gegenstoff in diskreten Kontaktbereichen, und wird durch den molekularen Aufbau der Stoffe, dem aktuellen Zustand sowie dem Aufbau der Grenzschicht, einem möglicherweise vorhandenen Zwischenstoff und die gegenseitige Annäherung bestimmt.
Beispiele für Sekundärbindungsarten sind im Bild 5, und ihre charakteristischen Eigenschaften im Bild 6 dargestellt.

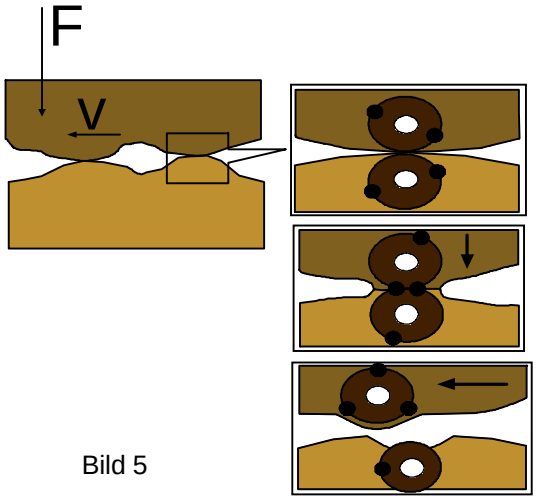


Bild 5

Bei der Adhäsion kommt es zwischen den sich berührenden Oberflächenrauhheiten zu lokalen Kaltverschweißungen, die aufgrund der Relativbewegung der aufeinander gleitenden Werkstoffoberflächen abscheren. Erfolgt die Materialtrennung innerhalb eines oder innerhalb beider Festkörper, so tritt Verschleiß ein. Adhäsionsbrücken bilden sich nur zwischen reinen Werkstoffoberflächen.
Meist sorgen werkstofftrenndende Schmiermittel dafür, daß der gefährliche Adhäsionsverschleiß mit seinen katastrophalen Folgen nur selten auftritt.
Erkenntnisse zur Bildung und Trennung von adhäsiven Haftbrücken wurden von BOWDEN und TABOR erarbeitet.

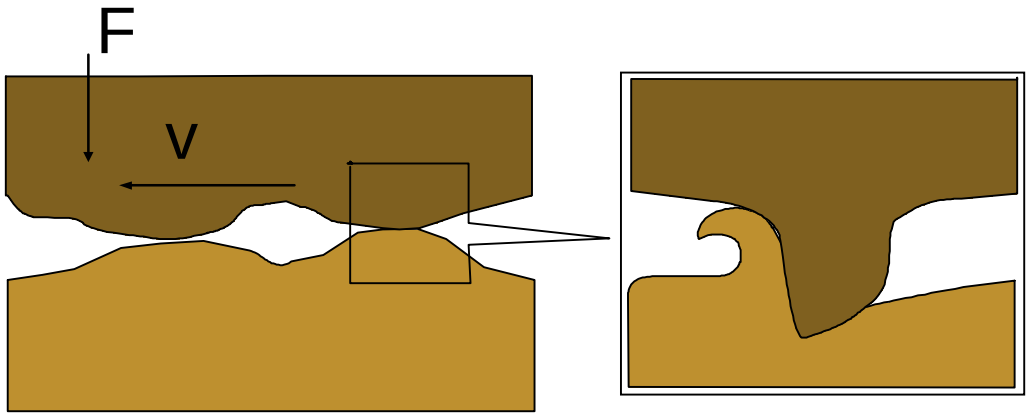


Bild 6

4.2. Abrasion

Der Abrasions- oder Furchungsverschleiß ist charakterisiert durch einen Mikrozerspanungsprozeß.
Er tritt auf, wenn zwei Körper mit unterschiedlicher Härte unter Belastung aufeinandergleiten.
Die Rauhheitsspitzen oder Kanten des härteren Reibpartners dringen in den weichen Reibpartner ein und schneiden beim Gleiten aus diesem Verschleißpartikel (Mikrospäne) heraus.
Es entstehen tiefgreifende Ritzen und Kratzer.

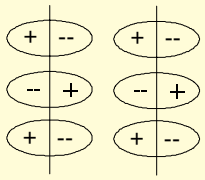
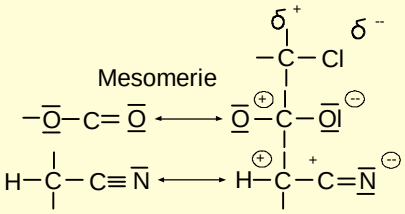
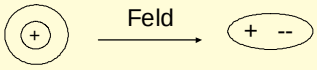
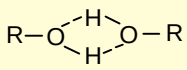
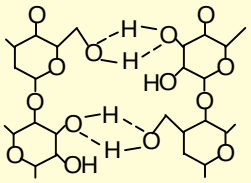
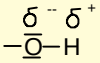
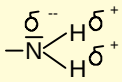
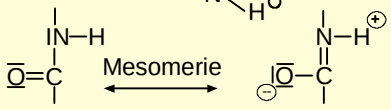
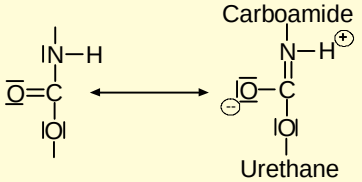
Art der Bindung	Schematische Darstellung	Charakterisierung
Dispersionskräfte (van der Waalsche Kräfte)		In der Materie allgemein wirkende, ungerichtete Anziehungskräfte zwischen Molekülen
Dipol-Orientierungskräfte	 Dipol Beispiel polarer Gruppen : 	gerichtete Anziehungskräfte zwischen Molekülen bei Vorhandensein polarer Gruppen
Induktionskräfte	 polarisier-bare Gruppe — induzierter Dipol	Anziehungskräfte zwischen polarisierten Gruppen von Molekülen, hervorgerufen durch elektrisches Feld (z.B. einen Dipol)
Wasserstoffbrücken	 Beispiel : Zellulose  Beispiele polarisierter H-Atome : Alkohole  Amine   Carboamide  Urethane	starke, gerichtete Anziehungskräfte infolge leichtgebundenen aktiven Wasserstoffs H-Atome sind an elektronegative Atome gebunden, wobei die Aktivierung durch benachbarte, mesomeriefähige Gruppen verstärkt wird

Bild 7

Bindungsart	Bindung (Beispiele)	Bindungs-energie kJ/mol	Bindungs-abstand nm	Bemerkungen
metallische Bindung	- Fe-Fe Li-Li K-K	40 - 800 395 111 55	0,404 0,463	positiv geladenes Metallion von negativ geladenem Elektronengas umgeben
Ionenbindung	- NaCl NaF	400 - 2000 410 447	 0,236 0,185	starke Anziehungskräfte zwischen positiv und negativ geladenen Ionen
konvalente Bindung (Hauptvalenz-bindung)	 C-C(aliphatisch) C-C(aromatisch) C-H C-C C-Cl Si-O	250 - 800 343 - 368 ca.560 413 610 339 444	 0,154 0,140 0,109 0,135 0,177 0,164	gemeinsame Valenz-elektronen (Oktettschale außen wird angestrebt)
Nebenvalenz-bindungen	-	0,2 - 30	0,5 - 0,8	
-Dispersions-kräfte	zwischen unpolaren Molekülen	0,3 - 4		ungerichtet, abstands-abhängig, Wirkung über kurze Entfernungen
-Dipolkräfte	zusätzlich zu Dispersionskr. bei polaren Gruppen	2 - 12		gerichtet, temperatur-abhängig, Wirkung über große Entfernungen
-Induktions-kräfte	-	0,2 - 1,2		gerichtet, Verschiebung von Ladungs-schwerpunkten
-Wasserstoff-brückenbindung	O-H...O N-H...O	3 - 25 < 24		gerichtet, temperatur-abhängig
Ionenbindung	O...Zn...O	2 - 30		

Bild 8

4.3. Tribochemische Reaktionen

Aufgrund der Reibbeanspruchung im Kontaktbereich sich berührender Oberflächenrauhheiten kann die chemische Reaktion mit dem Umgebungsmedium verstärkt werden. Dieses führt dann zu tribochemischen Reaktionen mit der Bildung von Partikeln und Schichten auf oder zwischen den sich berührenden Oberflächen. Durch eine Relativbewegung der Gleitpartner entsteht ein flaches Ritzen an der Oberfläche.

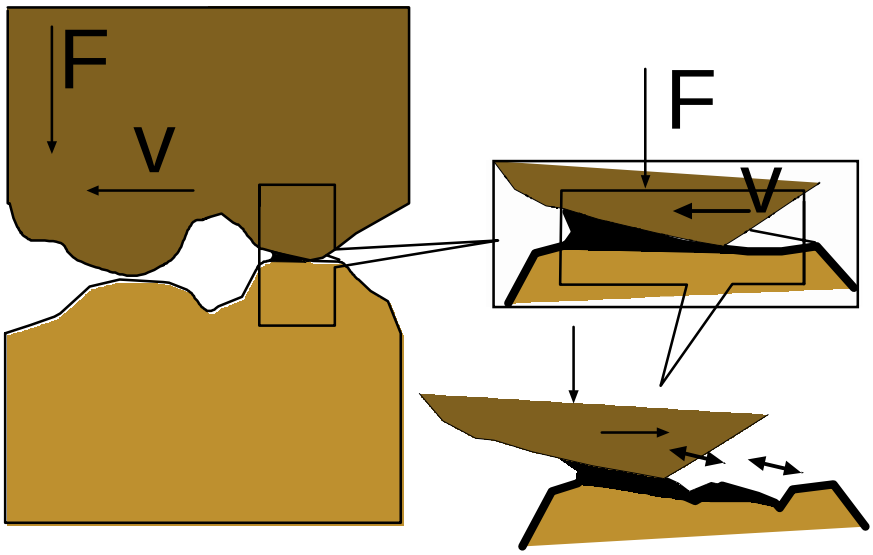


Bild 9

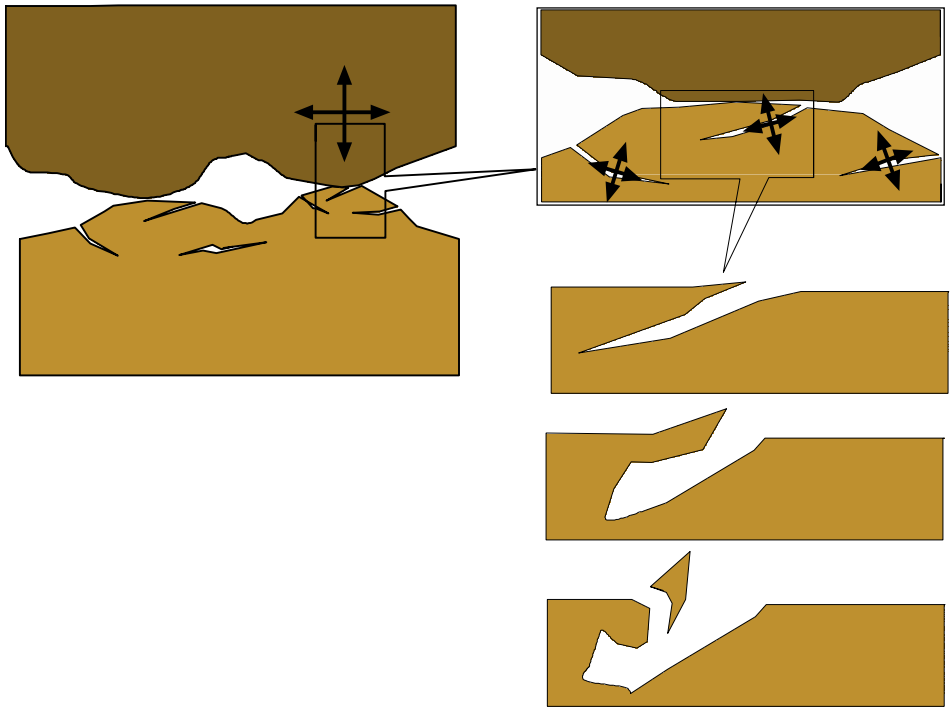


Bild 10

4.4. Oberflächenzerrüttung

Der Vorgang der Oberflächenzerrüttung wird durch eine wechselnde mechanische Beanspruchung in den Festkörperoberflächen und der dadurch bedingten Werkstoffermüdung (Rißentstehung parallel zur Oberfläche) hervorgerufen.
In der Praxis tritt nicht ein einzelner Mechanismus allein, sondern eine Kombination verschiedener Mechanismen auf.

5. Tribologisch relevante Polymere

5.1. Duroplaste

Duroplaste sind Polymerwerkstoffe, deren Kettenmoleküle stark vernetzt sind.
Sie sind daher unlöslich, unschmelzbar und nur schwach quellbar. Bei zu hoher Erwärmung werden die Hauptvalenzbindungen irreversibel zerstört. Die Formgebung erfolgt vor der Vernetzung, d.h. die Aushärtung erfolgt in der Form.

5.2. Elastomere

Elastomere sind Polymerewerstoffe, deren Kettenmoleküle schwach vernetzt sind.
Elastomere können weder gelöst noch geschmolzen werden. Lösungsmittel bewirken ein Quellen.
Bei zu hoher Wärmezufuhr werden die Haupvalenzbindungen irreversibel zerstört.
Elastomere dienen unter anderem als Werkstoff für Antriebsräder oder Kraftfahrzeugreifen, da hoher Reibschluß, hohe Verformungsfrequenzen ohne Materialermüdung gewährleistet sind.

5.3. Thermoplaste

Thermoplaste sind Polymerwerkstoffe, deren Kettenmoleküle unvernetzt sind.
Es bestehen keine Hauptvalenzbindungen zwischen den Molekülen. Sie sind in der Regel löslich und schmelzbar.
Die teilkristallinen Thermoplaste besitzen amorphe und kristalline Gefügebereiche.
Die Gitterebenen kristalliner Werkstoffbereiche streuen einfallendes Licht, wodurch teilkristalline im Gegensatz zu amorphen Bereichen trüb erscheinen.

6. Die hauptsächlich im Maschienenbau und in der Feinwerk technik verwendeten polymeren Grundwerkstoffe sind die teilkristallinen Thermoplaste

6.1. Polyamid PA

Polyamid besitzt generell eine gute Verschleißfestigkeit, jedoch keine niedrigen Reibwerte.
Die erreichbare Präzision ist sehr niedrig wegen sehr hoher Maßveränderung durch Feuchtigkeitsschwankungen im Materialquerschnitt.
Außerdem wird die mech. Belastbarkeit durch Feuchtigkeitsaufnahme erheblich reduziert.
Lagerelemente aus PA verursachen bei Trockenlauf Geräusche, so daß geschmiert werden muß.

6.2. Polyoxymethylen POM

POM besitzt nur eine geringe Feuchtigkeitsaufnahme und gute Gleiteigenschaften.
Neben den thermoplastischen Polyestern haben die Polyacetalharze die höchste Festigkeit.
Es gibt Homopolymere und Copolymere.
Das Homopolymer hat einen um 10 Grad Celsius höheren Schmelzpunkt als das Copolymer, eine höhere Festigkeit sowie ein geringers Kriechverhalten. Das Copolymer verfügt über eine etwas bessere Chemikalienbeständigkeit.

6.3. Polyethylen PE

PE ist sehr gleitfreudig und verschleißfest, jedoch nur sehr niedrig belastbar. Der Kaltfluß ist sehr hoch und die erreichbare Präzision sehr niedrig, weil der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient sehr groß ist.
Lagerelemente aus diesem Kunststoff werden im allgemeinen verwendet bei niedrigen Belastungen, niedriger Temperatur und für Fälle, wo keine hohe Präzision erforderlich ist. PE ist besonders vorteilhaft dort, wo abrasive Partikel in die Lagerstelle eindrigen können.

6.4. Thermoplastische Polyester

Polybutylenterephtelat PBTP und Polyethylenterephtelat PET (PETP)
Diese Werkstoffe besitzten günstige Gleiteigenschaften und eine relativ hohe Verschleißfestigkeit.
Diese wird allerdings nur dann erreicht, wenn die Oberflächenrauhheit des Gegenlaufmaterials extrem niedrig ist. Diese Materialien sind ebenso wie Polyacetalharz sehr hart und spröde und somit für Anwendungsfälle mit hoher Flächenpressung nur bedingt geeignet.

6.5. Polytetrafluorethylen PTFE (Teflon)

Dieser Werkstoff besitzt eine sehr hohe chem. Beständigkeit und sehr geringe Adhäsionsreibung.
Da er sehr weich ist, besitzt er auch Dichtungseigenschaften.
Für hohe Flächenpressungen und Trockenlauf ist er wegen seiner geringen Druck-und Verschleißfestigkeit nicht geeignet.

7. Modifizierung der Grundwerkstoffe

Jeder dieser Grundwerkstoffe besitzt besondere Vorteile aber auch entscheidende Nachteile.
Um diese Nachteile zu entschärfen, versucht man diese Grundwerkstoffe durch Füll- und Verstärkungsstoffe zu modifizieren.

7.1. ZEDEX 100

7.1.1. Eigenschaften von ZEDEX 100

ZEDEX 100 wurde so modifiziert, daß ein All-round Polymerwerkstoff für Trockenlauf entsteht.
Deshalb besitzt ZEDEX 100 keine extrem nachteiligen Eigenschaften, wie sie meist ein Extremwerkstoff besitzt.
Beispielsweise ist PTFE kein Allroundwerkstoff ,sondern ein Extremwerkstoff der wegen seiner extrem niedriegen Reibungswerte eingesetzt wird, und meist wegen seiner extrem niedriegen Druck- und Verschleißfestigkeit versagt.

Da ZEDEX 100 auch keine negativen Extremeigenschaften besitzt, ist bei Nichtbeachten einer Einflußgröße des Tribosystems die Ausfallwahrscheinlichkeit sehr gering.
Deshalb wird ZEDEX 100 auch dann gefahrlos eingesetzt, wenn eine Vielzahl von Einflußgrößen des Tribosystems wirken und nicht hinreichend bekannt sind, um den optimalen Werkstoff auszuwählen.
Dies unterstützt die grundsätzliche Eignung für Trockenlauf, weil bei Trockenlauf eine sehr große Anzahl von Einflußfaktoren wirken und meist nie hinreichend bekannt sind oder beachtet werden.

Das bedeutet, daß bei der Gleitpaarung ZEDEX 100 gegen Stahl keine Schmierung erforderlich ist.
Weiterhin übernimmt ZEDEX 100 bei Umstellung einer geschmierten Lagerstelle auf Trockenlauf die Aufgaben des nun nicht mehr vorhandenen Schmierfilms, wie zum Beispiel Dämpfung oder Schutz der Stahlgleitpartner vor eindringenden Fremdkörpern.

7.1.2. Der Materialaufbau von ZEDEX 100

ZEDEX 100 besitzt eine homogene Materialstruktur.
Es besteht aus zwei Materialkomponenten. Bei der Komponente A, mit einem Anteil von 90% an der Gesamtmasse, handelt es sich um thermoplastisches Polyester. Diese glasartige Materialkomponente zeichnet sich durch hohe Druckfestigkeit, eine geringe Zähigkeit und großer Sprödigkeit aus.
Die zweite Komponente, mit einem Materialanteil von 10%, besitzt einen gummiartigen Charakter mit hoher Elastizität, aber nur geringer Druckfestigkeit.
Beide Materialkomponenten sind chem.so miteinander verbunden, daß das Endprodukt keinen Nachteil des Ausgangsproduktes mehr besitzt.
Der Materialaufbau ist im Bild 11 schematisch dargestellt.Dieser schematische Aufbau spiegelt sich auch in der Realität wieder.
Auf Rasterelektronenmikroskopaufnahmen kann man, bei entsprechender Vergrösserung und Behandlung der Bruchflächen, die eingelagerten elastischen Materialzonen als runde Bälle erkennen.
Siehe Bild 12 und 13.

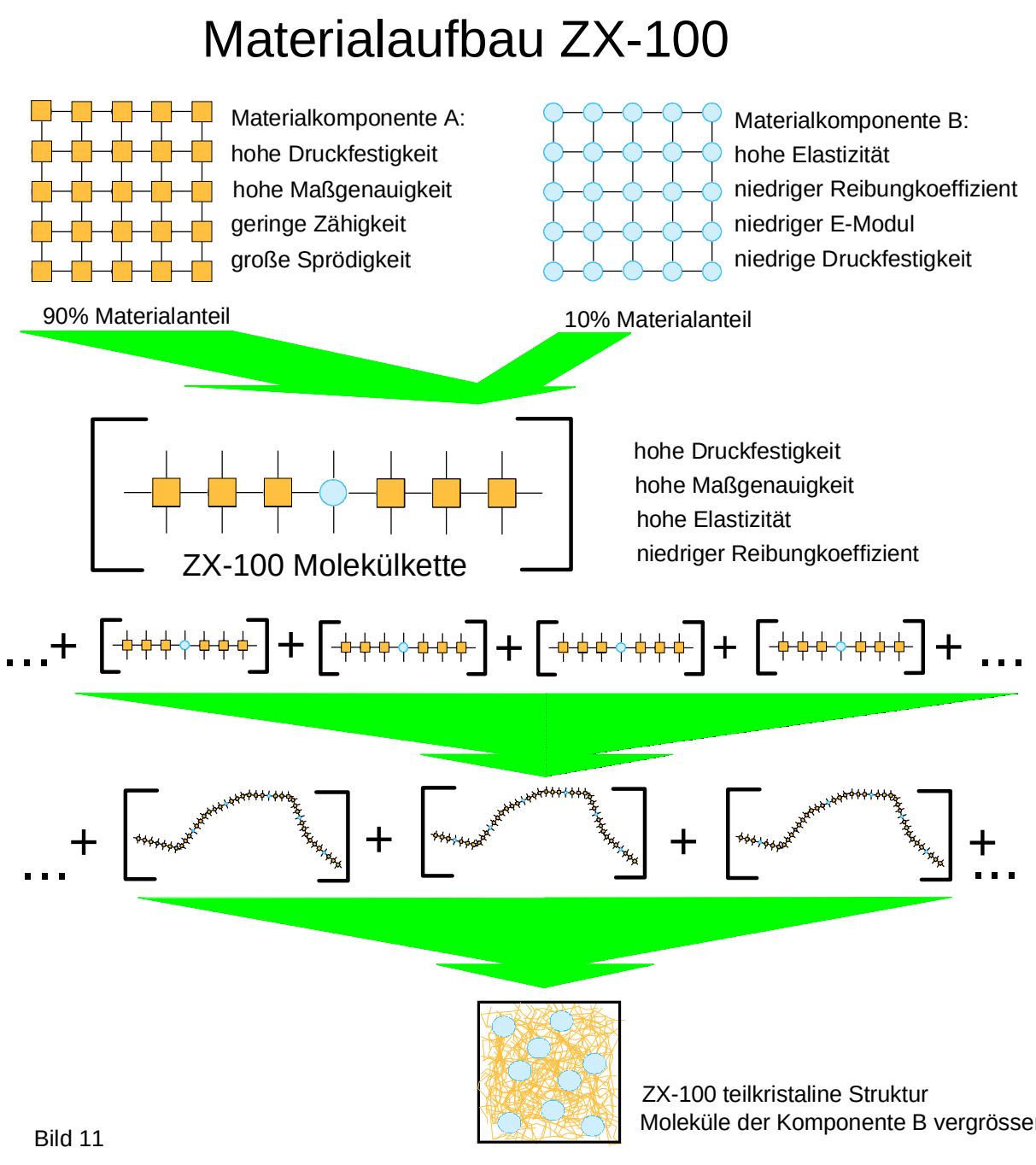


Bild 11

Bild 12

Bruchfläche, mit flüssigem Stickstoff erzeugt, 6.000fach vergrößert

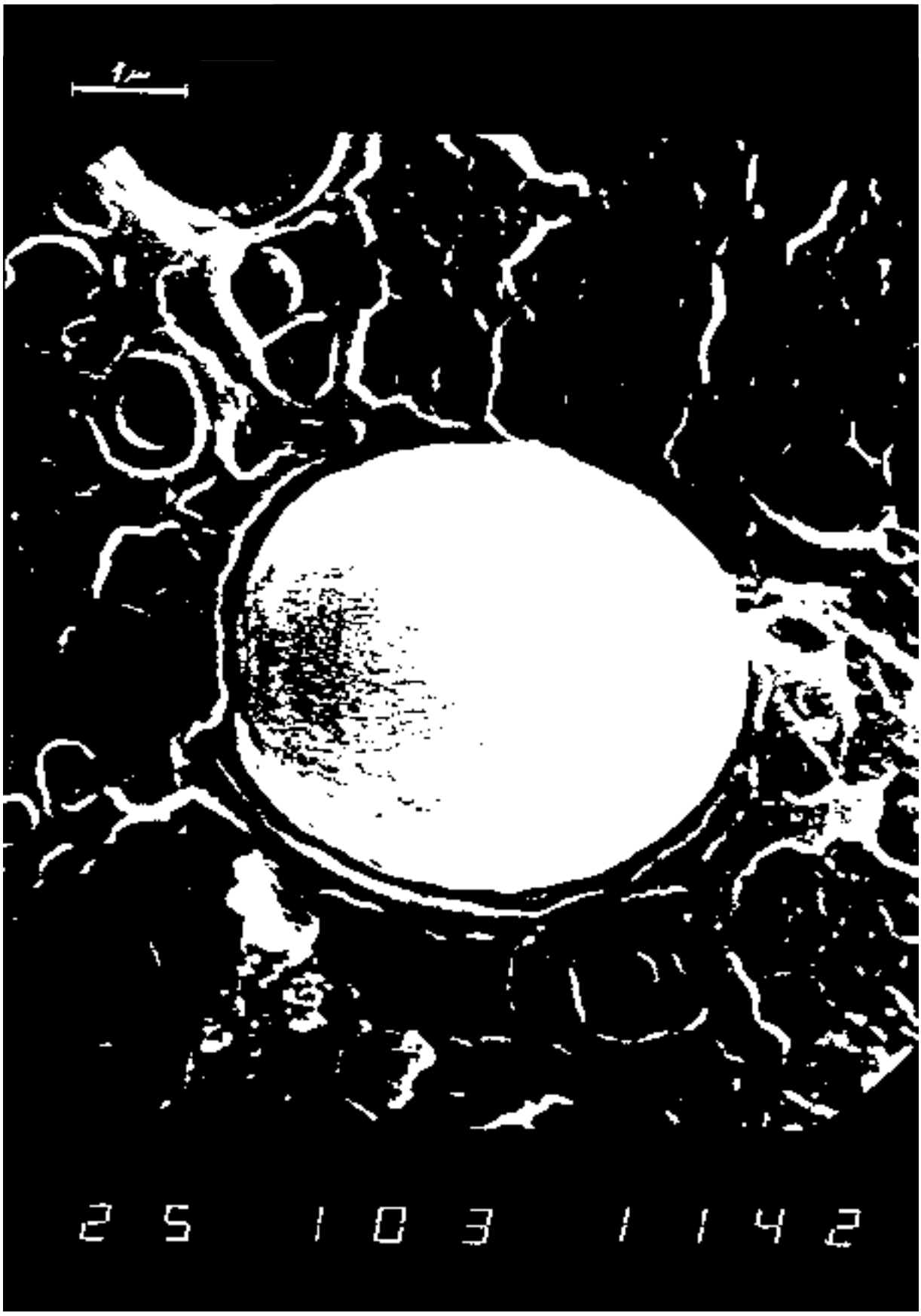


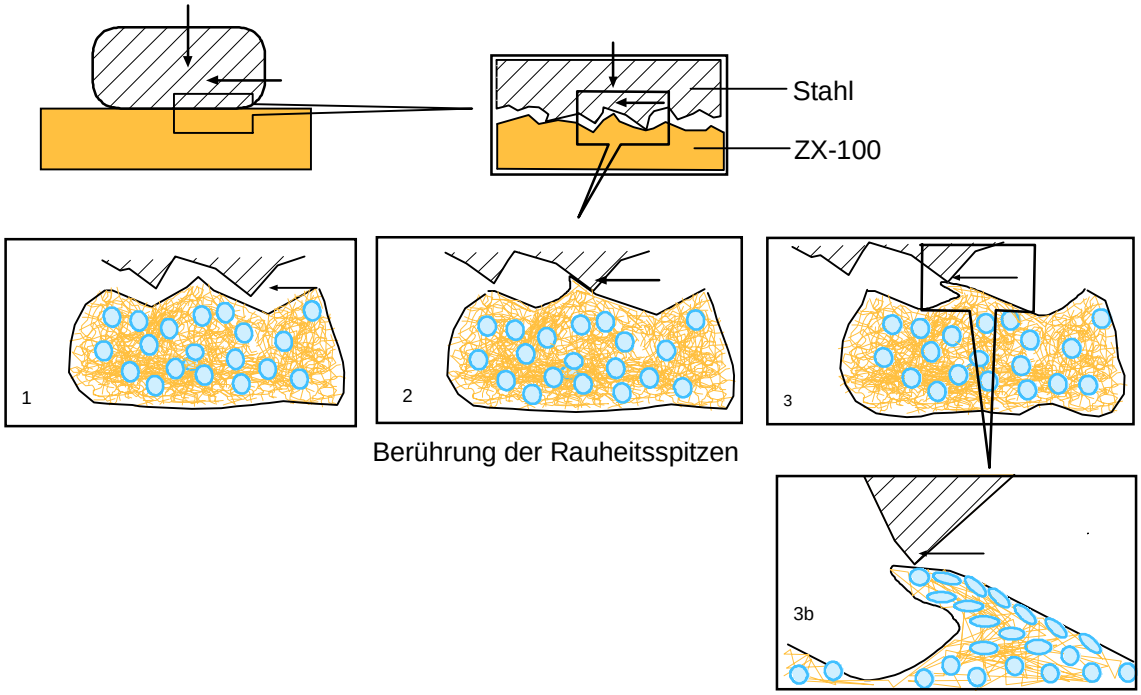
Bild 13

Bruchfläche, in der Nähe von glatter Oberfläche, 10.000fach vergrößert

7.1.3. Warum ist ZEDEX 100 so gut bei Trockenlauf?

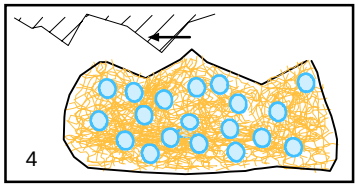
Der Trockenlauf findet im Gebiet der Festkörperreibung statt, im allgemeinen wirken hier die vier Hauptverschleißarten Adhäsion, Abrasion, Oberflächenzerüttung und tribochemische Reaktion.
Bei ZX-100 sind Abrasion und Oberflächenermüdung so gut wie nicht möglich:
Durch den speziellen Materialaufbau des ZX-100 erhält ZX-100 eine extrem zähe und mikroelastische Oberfläche. Diese verhindert abrasiven Verschleiß, da die ZX-100-Oberfläche den Rauhigkeitsspitzen des harten Gegenlaufwerkstoffs ausweichen und nach passieren der Rauhigkeitsspitze in ihre Ausgangslage zurückkehren.(Siehe Bild 14).
Ein abrasiver Werkstoffabtrag ist kaum möglich.

Durch die hohe Elastitztät des ZX-100 ist eine Oberflächenermüdung nur unter Extrembelastungen möglich. Die hohe Widerstandkraft gegen Oberflächenermüdung selbst unter Extremspannung ist durch Gegenbiegung einer dünnen Materialprobe zu beweisen. Bei diesem Test wurde bisher noch keine Materialprobe zerbrochen.



Berührung der Rauheitsspitzen

Die ZX-100 Materialspitze verformt sich elastisch und weicht so der "Schneide" des härteren Gegenlaufmaterials aus.

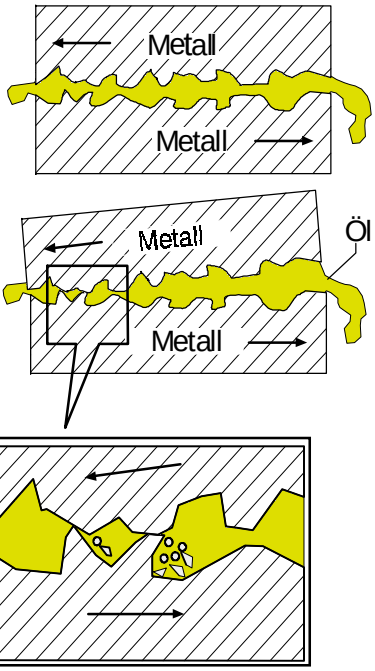


Nach Passieren der "Schneide" nimmt die ZX-100 Spitze wieder ihre ursprüngliche Form ein.
Ein abrasiver Werkstoffabtrag wird so vermieden.

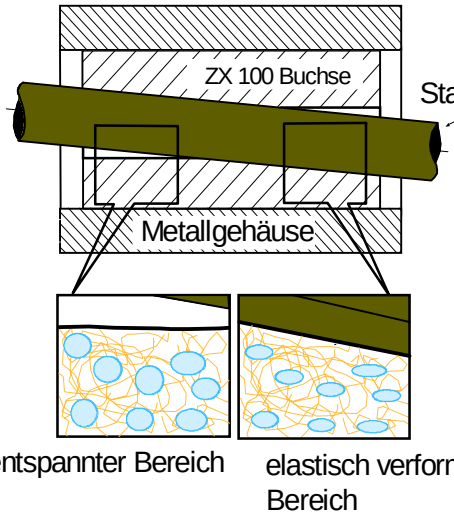
Bild 14

7.1.4. Vorteile durch den besonderen Materialaufbau von ZEDEX 100

7.1.4.1. Anpassungsvermögen an fehlerhafter Geometrie
Da sich in der Praxis fast immer Kantenpressung aufbaut, sind immer Bereiche mit überhöhter Flächenpressung vorhanden. Diese Bereiche sind meist für das Ausfallen eines Lagers verantwortlich.
Durch elastische Verformung des ZX-100 in diesen Bereichen wird die örtliche Flächenpressung durch Vergrösserung des Traganteils stark reduziert. Dadurch wird ein Ausfall des Lagers durch überhöhte Flächenpressung vermieden.



Bei auftretender Kantenpressung fallen Metallgleitlager aus, weil sie sich der örtlich überhöhten Flächenpressung nicht anpassen können.
Eine Lastverteilung findet nicht statt.



Die durch Kantenpressung entstehendeörtlich überhöhte, Flächenpressung wird durch elastische Verformung auf eine größere Fläche vertteilt und so abgebaut.

entspannter Bereich

elastisch verformter Bereich

Bild 15

7.1.4.2. Einbettvermögen von abrasiven Fremdkörpern oder Verunreinigungen
Durch den Aufbau des ZX-100 wird es den Fremdkörpern ermöglicht, sich in das ZX-100 einzulagern und an der Gleitfläche keinen Schaden anzurichten.Das Einbettvermögen ist begrenzt aber sehr hoch.
Je nach Größe der Partikel findet eine elastische Einbettung oder eine plastische Einbettung statt.
Bei kleinen Partikeln werden diese elastisch eingebettet.
Das heißt: Nach dem Eintauchen der belasteten Partikel in das ZX-100 und nach Entlastung werden diese Partikel wieder aus dem ZX-100herausgedrückt, unter Umständen so stark, daß sie von der Gleitfläche fortgeschleudert werden.
Bei größeren Partikeln kommt es zu einer plastischen Einbettung. Die größer belasteten Partikel erzeugen eine Druckspannung, die bei ZX-100 eine plastische Deformation hervorruft.
Nach der plastischen Deformation kann das ZX-100 die Partikel nicht mehr aus seiner Oberfläche herausdrücken.
Die Partikel verbleiben in der Oberfläche und stehen teilweise vor.

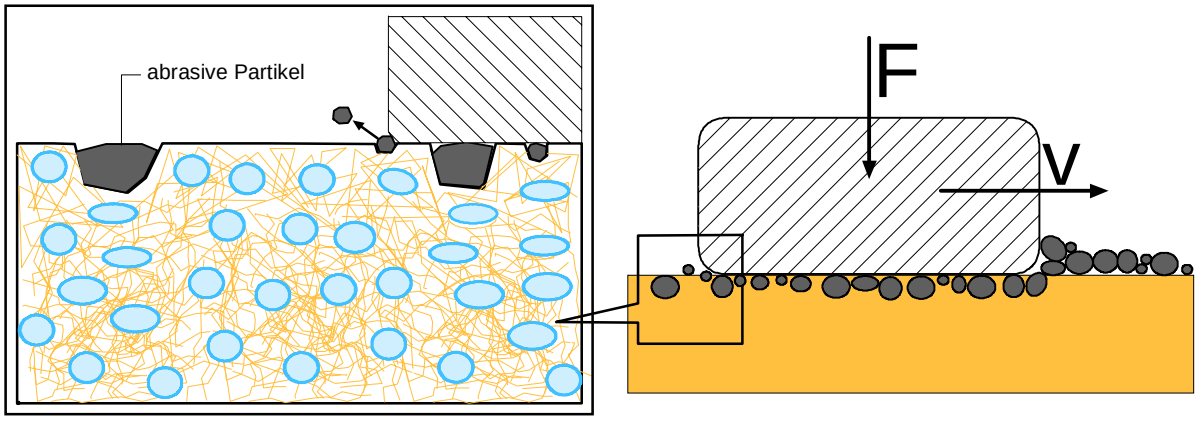
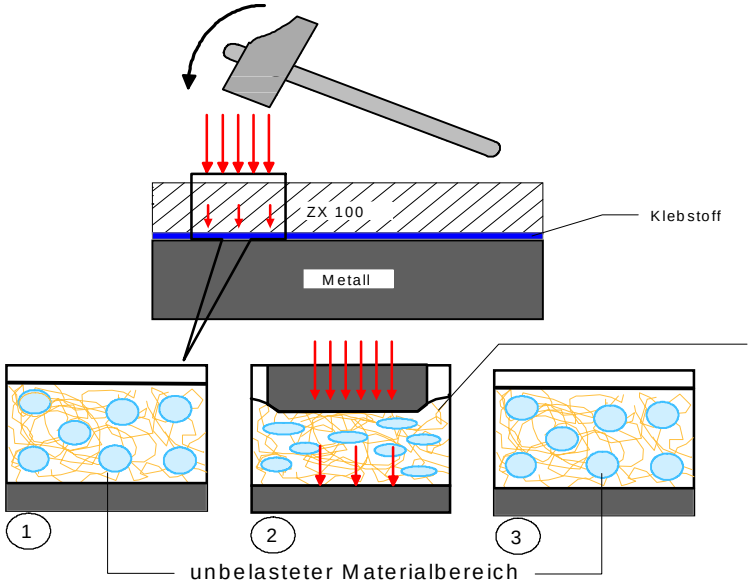


Bild 16

7.1.4.3. Starke Schwingungsdämpfung und hohe Vibrationsfestigkeit
Durch Einlagerung der elastischen Materialanteile besitzt ZX-100 eine hohe Schwingungsdämpfung.



Stöße werden durch den speziellen Aufbau des ZX- 100 gedämpft und nur schwach an den Klebstoff weitergeleitet.

durch Stoßeinwirkung elastisch verformter Bereich

Bild 17

7.1.4.4. Höchste Präzision (Lager mit negativem Lagerspiel)
Negatives Lagerspiel bedeutet, daß die Welle mit Übermaß in die Lagerbuchse eingebaut wird.
Da kein Lagerspalt vorhanden ist, bewegt sich die Reibung in diesem Fall im Festkörperreibungsgebiet (Trockenlauf).
Da ZX-100 elastisch ist und bei Trockenlauf hervorragende Gleit- und Verschleißeigenschaften besitzt, können Lager bedenkenlos mit negativem Lagerspiel und veringerten Relativgeschwindigkeiten ausgeführt werden.

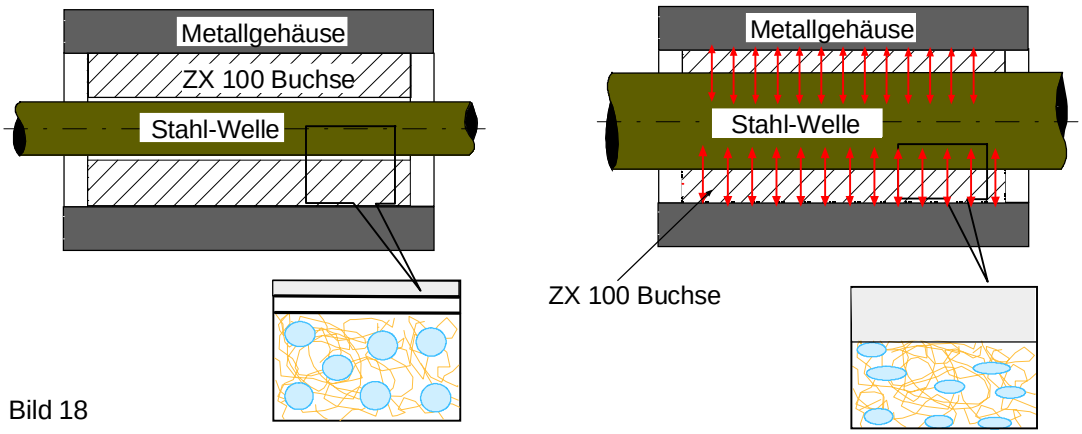


Bild 18

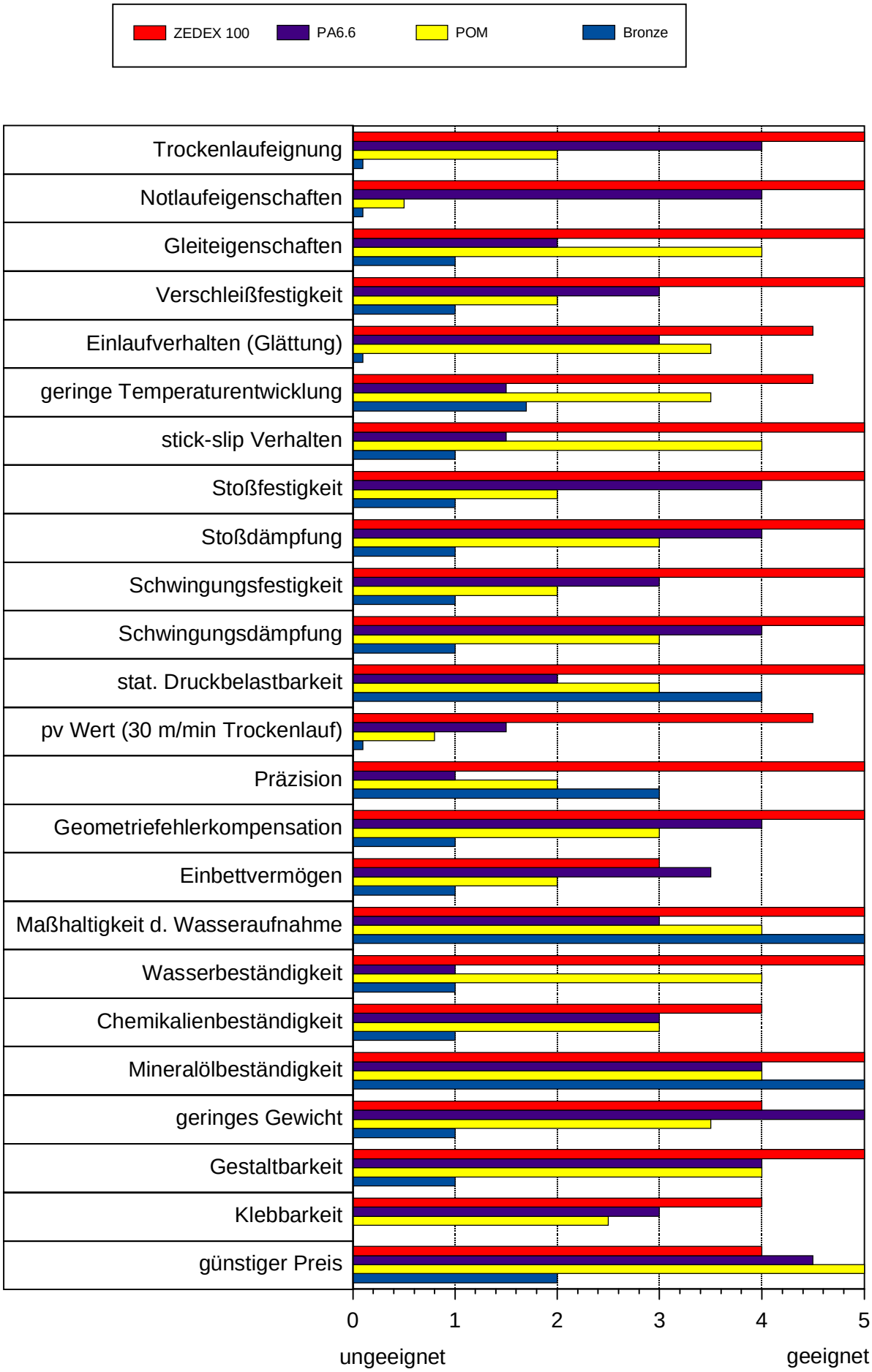
7.1.4.5. Korrosionsfestigkeit (beständig gegen Umwelteinflüsse)
ZX-100 ist beständig gegen Öl,Wasser, Uv-Strahlung,und eine Vielzahl verdünnter Säuren.
Genauere Angaben sind der Chemikalienbeständigkeitsliste zu entnehmen.

7.1.4.6. Hohe Maßhaltigkeit
Geringe Kriechneigung durch wenig plastische Deformation und geringes Quellen.
Genaue Angaben über die platische Deformation und das Quellverhalten entnehmen Sie bitte der „Tabelle der mechanischen Eigenschaften“.

7.1.4.7. Physiologisch unbedenklich
Aufgrund seiner Zusammensetzung ist ZX-100 physiologisch unbedenklich.
Prüfberichte von FDA, BGA und fast allen europäischen Institutionen sind bei uns verfügbar.

7.1.4.8. Niedriges Gewicht
Das spezifische Gewicht beträgt 1.35 kg/dm3

7.1.4.9. Geräuscharm
ZX-100 Lager und Führungen laufen geräuscharm, meist lautlos.

7.1.4.10.Preisgünstig
Der Halbzeugpreis beträgt 17 Euro/kg als dickwandiges Rohr oder Platte (über 20mm).
Der Halbzeugpreis beträgt 18 Euro/kg als dünnwandiges Rohr oder Platte (unter 20mm).

Eigenschaftsvergleich für Gleitführungswerkstoffe