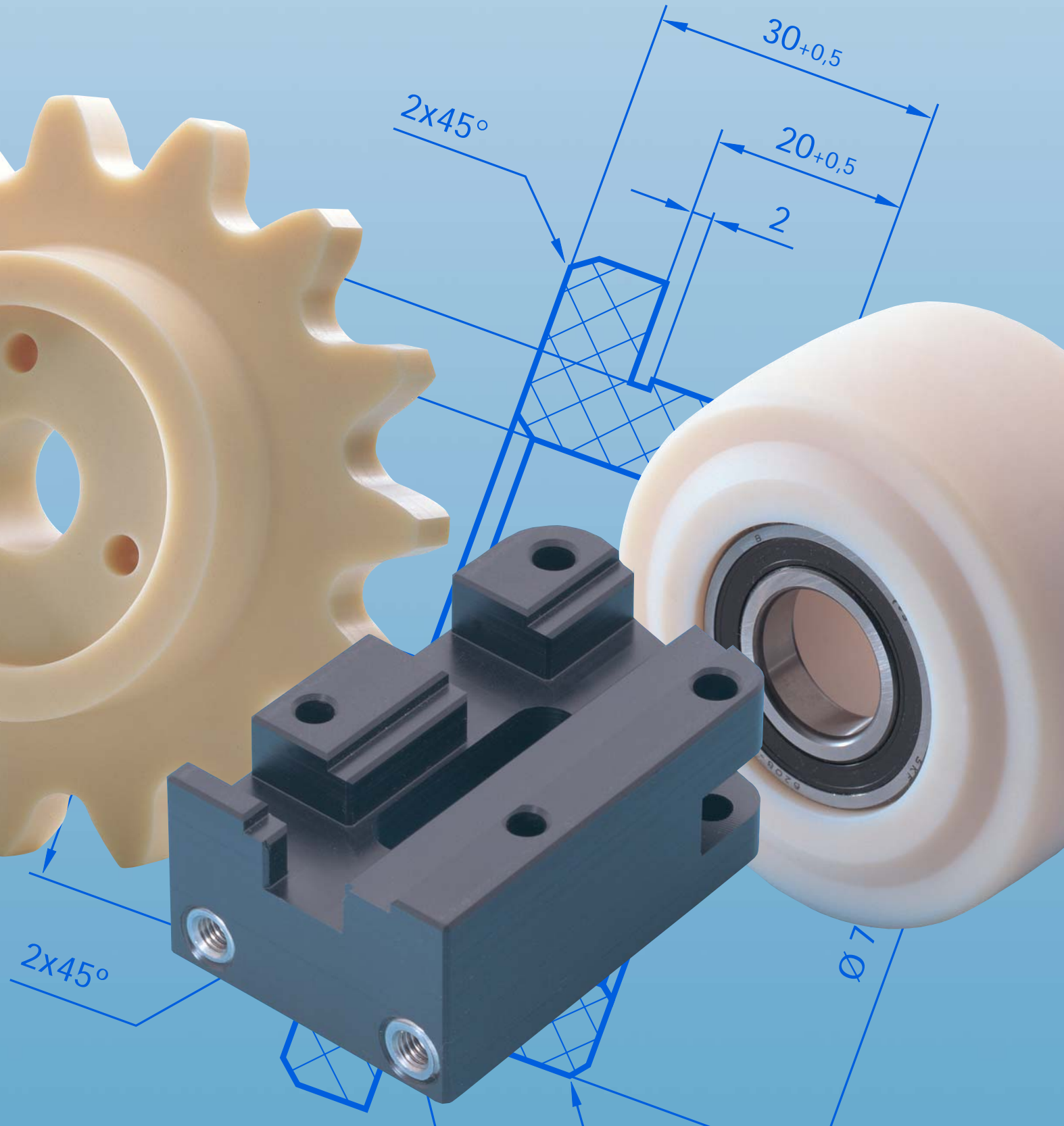


Konstruieren mit technischen Kunststoffen



Gleitlager aus Kunststoff



Gleitlager aus Kunststoff

1. Einsatz von thermoplastischen Kunststoffen als Gleitlagerwerkstoff

Anforderungen an einen Gleitlagerwerkstoff wie z.B.

- gute Gleit – und Notlaufeigenschaften
- Verschleißfestigkeit
- Druckfestigkeit
- lange Lebensdauer
- Wärmeformbeständigkeit

werden durch moderne thermoplastische Kunststoffe ohne Schwierigkeiten erfüllt. Der Einsatz von Kunststoffen erfolgt insbesondere dort, wo

- Trockenlauf oder Mischreibung auftritt
- spezielle kunststoffspezifische Eigenschaften gefordert werden
- geringe Herstellkosten auch bei niedrigen Stückzahlen Vorteile bringen

Dabei werden vor allem

- gute Gleiteigenschaften
- niedrige Reibwerte
- hohe Verschleißfestigkeit
- gutes Dämpfungsvermögen
- geringes Gewicht
- gute Trocken- und Notlaufeigenschaften
- Korrosionsbeständigkeit
- chemische Beständigkeit
- weitgehende Wartungsfreiheit nach einmaliger Einlaufschmierung
- teilweise physiologische Unbedenklichkeit

als kunststoffspezifische Eigenschaften geschätzt.

Nachteile, wie niedrige Wärmeleitfähigkeit, temperaturabhängige Festigkeitswerte, relativ hohe Wärmedehnung, Kriechneigung unter Langzeitbelastung sowie die teilweise Neigung zur Feuchtigkeitsaufnahme sind durch werkstoffgerechtes Gestalten weitgehend zu beherrschen.

1.1 Werkstoffe

Von der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Kunststoffe eignen sich die mit teilkristallinen oder hochkristallinen Molekulargefügen für die Verwendung als Gleitelement. Einige Werkstoffe dieser Gruppe und deren speziell für Gleitanwendung eingestellte Modifikationen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle1: Gleitlagerwerkstoffe mit Eigenschaften

Material	Kurzbezeichnung	Eigenschaft
Polyamid 6 Guss	PA 6 G	hohe Verschleißfestigkeit
Polyamid 6 Guss + Molybdändisulfid	PA 6 G + MoS ₂	höhere Kristallinität als PA 6 G
Oilamid®	PA 6 G + ÖL	höchste Verschleißfestigkeit, niedriger Reibwert
Calamid® 1200	PA 12 G	hohe Verschleißfestigkeit, hohe Tragfähigkeit
Polyamid 6	PA 6	mittlere Verschleißfestigkeit
Polyamid 66	PA 66	hohe Verschleißfestigkeit
Polyacetal (Copolymer)	POM	mittlere Verschleißfestigkeit, druckfest
Polyethylenterephthalat	PET	hohe Verschleißfestigkeit, niedriger Reibwert
Polyethylenterephthalat und Gleitmittel	PET-GL	hohe Verschleißfestigkeit, sehr niedriger Reibwert
Polyethylen UHMW	PE - UHMW	niedriger Reibwert, geringe Festigkeit, säurebeständig
Polytetrafluorethylen	PTFE	sehr gute Gleiteigenschaft, niedrige Festigkeit
Polytetrafluorethylen und Glasfaser	PTFE + Glas	bedingt gute Gleiteigenschaft, gute Festigkeit
Polytetrafluorethylen und Kohle	PTFE + Kohle	sehr gute Gleiteigenschaft, gute Festigkeit
Polyetheretherketon	PEEK	hoher pv-Wert, hohe Belastbarkeit, hoher Preis
Polyetheretherketon modifiziert	PEEK - GL	beste Gleiteigenschaften höchster pv-Wert und höchster Preis

1.2 Herstellung

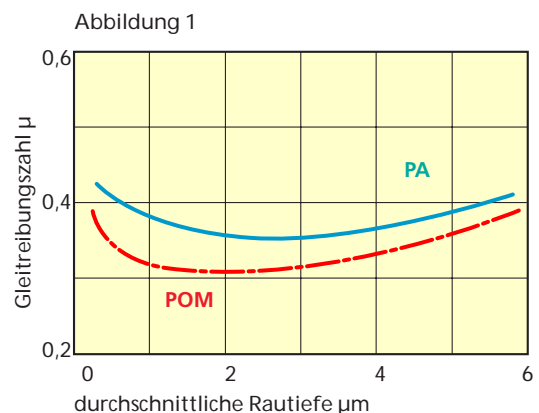
Gleitlager können spanabhebend oder im Spritzgießverfahren hergestellt werden. Im Spritzgussverfahren hergestellte Polyamidlager sind aufgrund ihrer amorphen Anteile im Molekulargefüge weitaus weniger verschleißfest als spanend hergestellte. Das feinkristalline Gefüge des im Gießverfahren spannungsarm hergestellten Polyamid-Halbzeugs garantiert eine optimale Verschleißfestigkeit.

Spanend hergestellte Gleitlager ermöglichen gegenüber spritzgegossenen Gleitlagern eine hohe Maßgenauigkeit. Hohe Zerspanungsleistungen von konventionellen Werkzeugmaschinen, Drehautomaten und CNC-Bearbeitungszentren ermöglichen eine kostengünstige Herstellung sowohl als Einzelteil, wie auch in kleinen und mittleren Losgrößen. Flexible, fast grenzenlos gestalterische Möglichkeiten, insbesondere bei großen Wandstärken sind ein weiterer Vorteil von spanend hergestellten Gleitlagern.

1.3 Gleitverschleiß/ Gleitpaarung

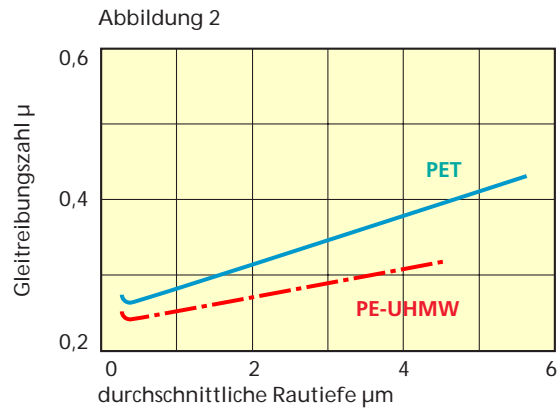
Der Gleitverschleiß ist in erster Linie vom Werkstoff und der Oberflächenbeschaffenheit des Gleitpartners abhängig. Als günstiger Gleitpartner für Kunststoffe hat sich gehärteter Stahl mit einer Mindesthärte von 50 HRC herausgestellt. Werden Oberflächen mit einer geringeren Härte verwendet, besteht die Gefahr, dass Rauheitsspitzen abbrechen und im Gleitlager zu erhöhtem Kunststoff-/Metallabrieb führen.

Der Einfluss der Oberflächenrauheit auf Gleitverschleiß und Gleitreibungszahl ist unterschiedlich zu bewerten. Bei den verschleißfesteren, rauheitsunempfindlicheren Kunststoffen (z.B. PA und POM) lässt sich beobachten, dass bei besonders glatten Oberflächen die Gleitreibungszahl relativ hoch ist (Abbildung 1).



Mit zunehmender Rauheit nimmt sie bis auf ein Minimum ab und steigt dann im weiteren Verlauf wieder an. Der Gleitverschleiß wird dabei mit zunehmender Rauheit größer.

Dagegen zeigen die verschleißanfälligeren Kunststoffe (z. B. PE-UHMW, PTFE) mit zunehmender Rauheit eine stetig steigende Gleitreibungszahl. Der Bereich, in dem sich die Gleitreibungszahl durch zunehmende Rauheit verbessern lässt, ist nur minimal ausgeprägt. Der Gleitverschleiß wird dabei mit zunehmender Rauheit größer.



Die Modellvorstellung zur Erklärung dieses Verhaltens geht davon aus, dass der Abrieb im Gleitlager eine Schmiermittelfunktion übernimmt. Dabei ist zu beobachten, dass günstiges Gleitverhalten dann vorliegt, wenn Menge und Form des Abriebs optimal sind.

Bei den rauheitsunempfindlichen Kunststoffen wirken im niedrigen Rauheitsbereich des Gleitpartners Adhäsionskräfte und Klebebrücken. Bedingt durch die glatte Oberfläche erfolgt kein nennenswerter Abrieb, der Schmierfunktion übernehmen kann. Mit zunehmender Rauheit werden die bewegungshemmenden Kräfte weniger, so dass sich durch den zunehmenden Abrieb die Gleitreibungszahl verbessert. Ab einer bestimmten Rauheit setzt die Zerspanung des Kunststoffs ein, was höhere Bewegungskräfte erforderlich macht. Die Menge des Abriebs übersteigt das Optimum. Bedingt durch diese Mechanismen verschlechtert sich die Gleitreibungszahl.

Da bei den rauheitsempfindlichen Kunststoffen das optimale Abriebvolumen sehr gering ist, haben diese Kunststoffe nur einen sehr engen Bereich, in dem sich eine Verbesserung des Gleitverhaltens durch Abrieb zeigt. Mit zunehmender Rauheit überwiegt der Einfluss der Zerspanungsarbeit. Eine Verbesserung des Gleitverhaltens ist nicht möglich. Umgekehrt stellt sich demzufolge nur bei Gleitpartnern mit extrem glatter Oberfläche aufgrund des fehlenden Abriebs eine Verschlechterung des Gleitverhaltens ein.

Die Oberflächenrauheit der Kunststoffe spielt bei dieser Betrachtung keine Rolle, da sie im Vergleich zu den metallischen Gleitpartnern eher weich sind und sich dem Tragbild dieser schnell anpassen. Maßgeblich für die Auswahl der Oberflächengüte der Stahlgleitfläche ist demzufolge die Frage, ob die Funktionalität des Gleitelements eher durch die Höhe des Gleitverschleiß oder die der Gleitreibungszahl in Frage gestellt wird. Für die Kombination mit Kunststoffgleitlagern können die in der Tabelle 2 genannten Gleitpartner mit den zugehörigen Oberflächengüten empfohlen werden:

Tabelle 2: Empfohlene Oberflächengüten für Gleitpaarungen

		PA 6 G	PA 12 G	PA 6	PA 66	PA 12	POM	PET	PE-UHMW	PTFE
Gleitpartner gehärteter Stahl	Härte HRc min.	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	R _Z [μm]	2 – 4	2 – 4	2 – 4	2 – 4	2 – 4	1 – 3	0,5 – 2	0,5 – 2	0,2 – 1
Gleitpartner Thermoplast	Werkstoff	POM	POM	POM	POM	POM	PA	PA/POM	PA/POM	PA/POM/PET
	R _Z [μm]	10	10	10	10	10	10	10	10	5

Geringere Oberflächenhärten und kleinere/größere Oberflächenrauheiten als die angegebenen fördern den Gleitverschleiß des Lagers und verkürzen somit die Lebensdauer.

Neben den oben genannten Faktoren sind auch die Gleitgeschwindigkeit, Flächenpressung und Temperatur Faktoren, die den Gleitverschleiß beeinflussen. Hohe Gleitgeschwindigkeiten, Flächenpressungen und Temperaturen steigern ebenfalls den Gleitverschleiß. Die nachfolgende Tabelle enthält Richtwerte für den Gleitverschleiß von Kunststoffen.

Tabelle 3: Gleitverschleiß von Kunststoffen

Werkstoff	Gleitverschleiß in $\mu\text{m}/\text{km}$	Werkstoff	Gleitverschleiß in $\mu\text{m}/\text{km}$
Oilamid®	0,05	POM-C	8,9
PA 6 G	0,1	PET	0,35
PA 6	0,23	PET-GL	0,1
PA 66	0,1	PE-UHMW	0,45
PA 12	0,8	PTFE	21,0

Die angegebenen Werte sind vom Gleitsystem abhängig und können sich durch Parameterveränderung des Gleitsystems ebenfalls verändern.

1.4 Schmierung/Trockenlauf

Für Gleitlager, die aus Kunststoff gefertigt sind, existieren zur Zeit noch keine allgemeingültigen Schmiervorschriften. Es können die für Metallgleitlager üblichen Schmiermittel verwendet werden. Die Verwendung von Schmierstoffen empfiehlt sich trotz der guten Trockenlaufeigenschaften von Kunststoffen, da der Schmierstoff zur Verringerung der Reibwerte und somit der entstehenden Reibwärme führt. Des Weiteren trägt eine kontinuierliche Schmierung zur besseren Abfuhr der Lagerwärme bei. Die Schmierung der Gleitlager führt zu höherer Tragfähigkeit sowie geringerem Verschleiß und damit zu längerer Lebensdauer. In stark staubbelasteter Umgebung sollte auf eine Schmierung jedoch verzichtet werden, da die Staubpartikel im Schmierstoff gebunden werden und eine Schleifpaste bilden können, die zu erhöhtem Verschleiß führt. Die in der Tabelle auf Seite 53 empfohlenen Kunststoff-Lagerwerkstoffe sind gegen die heute meist eingesetzten Schmierstoffe beständig.

Eine Alternative zur externen Schmierung stellen Kunststoffe mit Selbstschmiereigenschaften wie z.B. Oilamid oder PET-GL dar. Diese Werkstoffe haben aufgrund des bereits im Kunststoff integrierten Schmierstoffs niedrigste Verschleißraten bei gleichzeitig hervorragenden Trocken- und Notlaufeigenschaften. Wenn es aus konstruktiven Gründen erforderlich ist, besteht jedoch auch die Möglichkeit, Kunststoff – Gleitlager ohne Schmierung zu betreiben.

Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass die Belastungswerte innerhalb der in Tabelle 4 angegebenen p_v – Werte liegen. In jedem Fall sollte, wenn möglich, auch bei vorgesehenem Trockenlauf eine einmalige Schmierung beim Einbau vorgesehen werden. Dadurch wird das Einlaufverhalten beträchtlich verbessert und die Lebensdauer kann gesteigert werden. Eine Nachschmierung in empirisch zu ermittelnden Zeitabständen ist möglich.

1.5 Verschmutzung/Korrosion

Bei Gleitlagern, die im Trockenlauf betrieben werden, besteht die Gefahr, dass durch einwandernde Feuchtigkeit die Stahlwelle korrodiert. Eine durch Korrosion beschädigte Oberfläche des Gleitpartners verursacht erhöhten Gleitverschleiß und kann zu vorzeitigem Versagen des Lagers führen. Dem kann durch Abschotten der Lagerstelle gegen die Feuchtigkeit entgegengewirkt werden. Weitere wirksame Maßnahmen stellen das Verchromen des Gleitpartners bzw. die Fertigung des Gleitpartners aus rostfreiem Stahl dar.

Die Neigung zu Reiboxidation ist bei Kunststoffgleitlagern aufgrund ihrer niedrigen Gleitreibungszahlen wesentlich geringer, als bei metallischen Lagerwerkstoffen. Durch Schmierung kann der Verschleiß durch Reiboxidation noch weiter gesenkt werden. Gegenüber metallischen Lager-

werkstoffen ist der Verschleiß von Kunststoffgleitlager durch Verschmutzungen wie z.B. Staub oder Abrieb wesentlich geringer, da Kunststoffe, speziell die Polyamide, die Eigenschaft haben, Schmutzpartikel einzubetten und so die schmirgelnde Wirkung zu verhindern. Bei Betrieb in Umgebungen mit starker Schmutzbelastung wird empfohlen, die Lagerung mit Schmiernuten zu versehen. Das darin enthaltene Schmiermittel bindet die Schmutzpartikel und hält diese aus der Gleitzone fern.

1.6 Belastungsgrenzen

Belastungsgrenzen für Gleitlager aus thermoplastischen Kunststoffen werden durch die Druckfestigkeit und Lagertemperatur festgelegt. Dabei steht die Lagertemperatur im direkten Zusammenhang mit der Gleitgeschwindigkeit und der Umgebungstemperatur, bei dynamisch belasteten Gleitlagern zusätzlich mit der Einschaltdauer. Aber auch der gewählte Gleitpartner, dessen Oberflächengüte sowie die gewählte Betriebsart (geschmiert oder ungeschmiert) haben Einfluss auf die Lagertemperatur eines thermoplastischen Gleitlagers.

In Tabelle 4 sind Richtwerte für die einzelnen Kunststoffe zusammengestellt. Für statisch belastete Lager bzw. Gleitlager mit sehr niedrigen Gleitgeschwindigkeiten können die Angaben zur Dauerdruckbelastung angewendet werden. Für dynamisch belastete Lager wird üblicherweise der pv-Wert (Produkt aus Flächenpressung und mittleren Gleitgeschwindigkeit) als Kenngröße gewählt. Dabei ist zu beachten, dass dieser Wert keine Werkstoffkenngröße darstellt, da die Belastungsgrenze der Kunststoffe von den oben genannten Größen abhängig ist.

Tabelle 4: Werkstoffrichtwerte

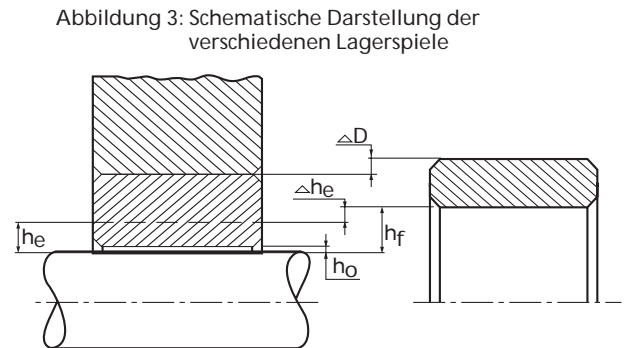
	PA 6 G	Oilamid®	Calauamid®1200	PA 6	PA 66	PA 12	POM-C	PET	PET-GL	PE-UHMW	PTFE	PTFE Kohle	PEEK	PEEK-GL
Dauerdruckbelastung statisch MPa nicht gekammert, Verformung < 2%	23	20	24	15	18	10	22	35	33	5	5	12	57	68
gekammert; Verformung < 2%	70	60	-	50	60	43	74	80	75	20	20	-	105	120
Reibungszahl μ (mittlerer Wert) Trockenlauf auf Stahl	0,36 -	0,18 -	0,40 -	0,38 -	0,35 -	0,32 -	0,30	0,25	0,2	0,29	0,08	0,1	0,30 -	0,38
pv-Richtwert MPa · m/s Trockenlauf/ Einbauschmierung V = 0,1 m/s V = 1,0 m/s kontinuierlich geschmiert	0,13 0,08 0,50	0,23 0,15 0,50	0,12 0,10 0,35	0,11 0,07 0,40	0,13 0,08 0,50	0,08 0,50	0,15 0,10 0,50	0,15 0,10 0,50	0,25 0,15 0,50	0,08 0,05 0,40	0,05 0,40	0,40 0,50	0,34 0,22 1,0	0,66 0,42 1,0
Wärmeausdehnungs- koeffizient +20°C bis +60°C in $10^{-5} \cdot K^{-1}$	8	8	10	9	8	10	10	8	8	18	20	11	5	4,5
Maximal zulässige Lagertemperatur im Dauerbetrieb (RF < 80%)	+90	+90	+90	+80	+90	+80	+90	+80	+90	+50	+160	+200	+250	+250
Feuchtigkeitsaufnahme in % bei 23°C/50% RF bei Sättigung in Wasser	2,2 7,0	1,8 7,0	0,9 1,4	2,1 10	3,1 9	0,8 1,5	0,2 0,8	0,2 0,5	0,2 0,4	0 < 0,01	0 < 0,01	0 < 0,01	0,2 0,45	0,14 0,3

2. Konstruktive Gestaltung

2.1 Lagerspiel

Bei der Gestaltung von Gleitlagern wird zwischen dem Betriebsspiel h_0 , Einbauspiel h_e und Fertigungsspiel h_f unterschieden (siehe Abbildung 3).

- Das Betriebsspiel (Grundspiel oder Mindestspiel) h_0 ist das Spiel, das unter ungünstigsten Bedingungen als Minimalspiel noch vorhanden sein muss, um ein Klemmen des Lagers zu vermeiden.
- Das Einbauspiel h_e ist das im eingebauten, jedoch nicht betriebswarmen Zustand vorhandene Spiel.
- Das Fertigungsspiel h_f ist das Maß, um das der Lagerinnendurchmesser größer als der Wellendurchmesser gefertigt werden muss, damit unter Betriebsbedingungen das Betriebsspiel gewährleistet ist.



Das erforderliche Betriebslagerspiel h_0 kann aus Diagramm 1 entnommen werden. Bei höheren Führungsansprüchen ist es möglich, das Lagerspiel kleiner zu wählen. Die Literatur empfiehlt als Berechnungsgrundlage

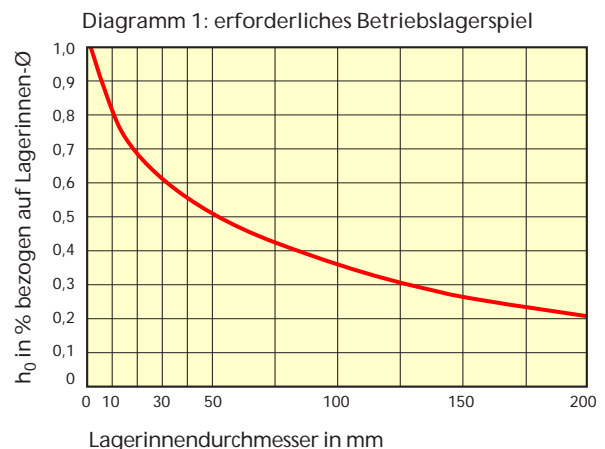
$$h_0 = 0,015\sqrt{d_w}$$

mit

h_0 = Betriebslagerspiel in mm

d_w = Wellendurchmesser in mm

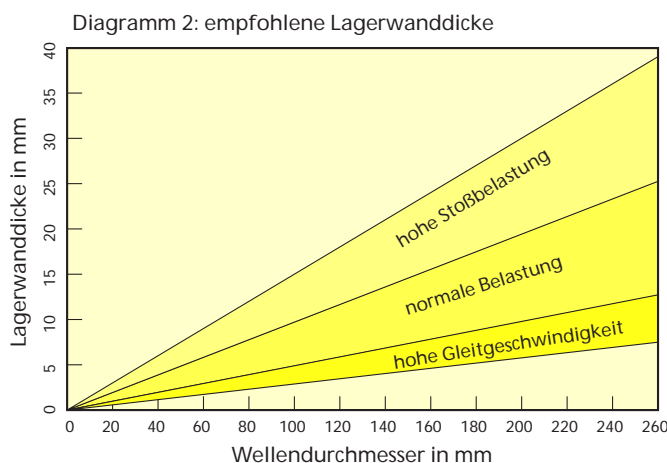
Für die rechnerische Ermittlung sollten jedoch unbedingt die Betriebsbedingungen genau bekannt sein, da sonst der Temperatur- und Feuchteinfluss nicht sicher genug berücksichtigt werden kann.



2.2 Wanddicken/Lagerbreite

Die Wanddicken thermoplastischer Gleitlager sind im Hinblick auf die guten Isoliereigenschaften der Kunststoffe von großer Bedeutung. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Wärmeabfuhr und guten Maßhaltigkeit sollte die Wandstärke des Gleitlagers gering sein. Die Wahl der Lagerwandstärke hängt jedoch auch von der Höhe und Art der Belastung ab. Lager mit hohen Umfangsgeschwindigkeiten und/oder hohen Flächenpressungen sollten dünnwandig, solche mit hohen Stoßbelastungen dickwandiger sein. Die von uns in Abhängigkeit vom Wellendurchmesser und der Belastungsart empfohlenen Lagerwanddicken sind in Diagramm 2 dargestellt.

Dort, wo thermoplastische Gleitlager als Ersatz für Lager aus anderen Werkstoffen zum Einsatz kommen sollen, sind die Wanddicken in der Regel bereits durch die vorhandenen Wellen und Lagergehäuse festgelegt. In diesen Fällen ist darauf zu achten, dass die Mindestwanddicken aus Diagramm 2 nicht unterschritten werden.



Zur Vermeidung eines Wärmestaus in der Gleitlagermitte ist bei der Festlegung der Lagerbreite darauf zu achten, dass diese im Bereich von $1 - 1,5 d_w$ liegt. Erfahrungswerte zeigen, dass eine Lagerbreite von ca. $1,2 d_w$ in Bezug auf die Vermeidung eines Wärmestaus in der Lagermitte als ideal anzusehen ist.

2.3 Zuschläge

Für Gleitlager, die in Umgebungen mit erhöhten Temperaturen eingesetzt werden sollen, ist bei der Dimensionierung eine entsprechende Maßveränderung aufgrund von Wärmedehnung zu berücksichtigen.

Die zu erwartende Maßänderung errechnet sich aus

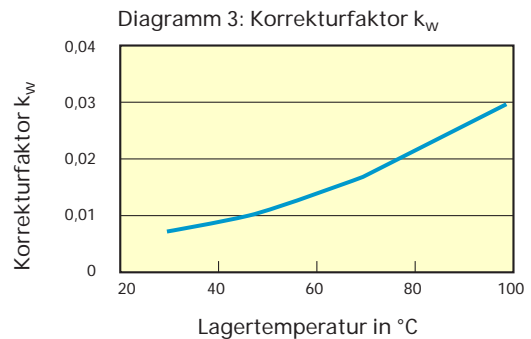
$$\Delta l = s_L \cdot k_W \quad [\text{mm}]$$

mit

Δl = Maßänderung

s_L = Lagerwandstärke

k_W = Korrekturfaktor für Wärmeausdehnung



Der Korrekturfaktor k_W für die jeweilig max. auftretende Umgebungstemperatur wird aus Diagramm 3 abgelesen.

Die so rechnerisch bestimmte Maßänderung muss dem Betriebslagerspiel zugeschlagen werden.

Ist absehbar, dass aus Polyamiden gefertigte Gleitlager dauerhaft unter Bedingungen mit erhöhter Luftfeuchtigkeit oder mit Wasserschmierung eingesetzt werden sollen, ist aufgrund der Feuchteaufnahme eine zusätzliche Maßveränderung zu berücksichtigen.

Die zu erwartende Maßänderung errechnet sich aus

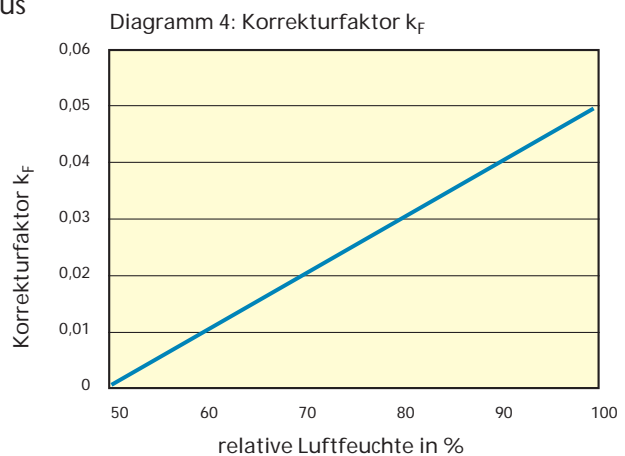
$$\Delta l = s_L \cdot k_F \quad [\text{mm}]$$

mit

Δl = Maßänderung

s_L = Lagerwandstärke

k_F = Korrekturfaktor für Feuchteaufnahme



Der Korrekturfaktor k_F für die jeweilig max. auftretende Luftfeuchtigkeit wird aus Diagramm 4 abgelesen.

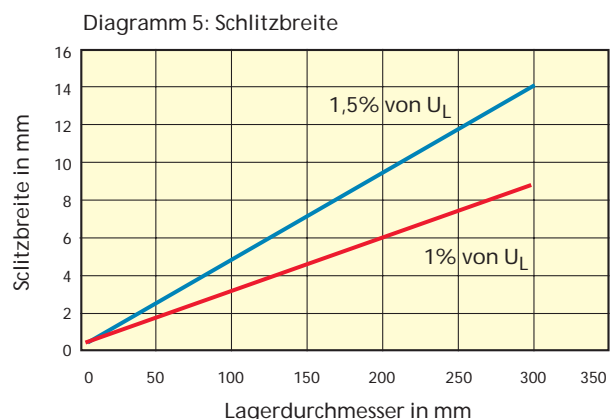
Die so rechnerisch bestimmte Maßänderung muss dem Betriebslagerspiel zugeschlagen werden.

Für Einsatzbedingungen, die eine Korrektur des Betriebslagerspiels aufgrund von Temperatur und Feuchte erfordern, werden beide Werte ermittelt und addiert. Die Summe der Ergebnisse bildet den erforderlichen Zuschlag.

2.4 Gestaltung als geschlitzte Lagerbuchse

Für den Einsatz unter extremen Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen hat sich die Ausführung der Lagerbuchse mit einem zwischen 15° - 30° schräg zur Wellenachse verlaufenden Axialschlitz bewährt.

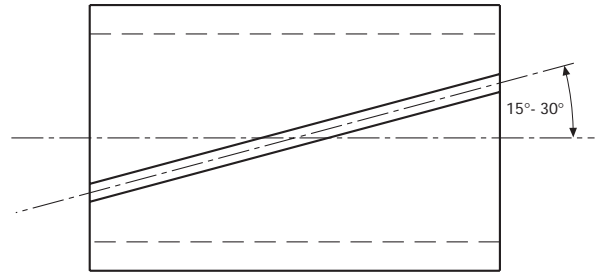
Der Schlitz nimmt dabei die Umfangsausdehnung der Lagerbuchse auf, so dass eine Durchmesseränderung aufgrund von Temperatur- oder Feuchteeinwirkung bei der Lagerspielberechnung nicht berücksichtigt werden muss. Es ist lediglich die Wandstärke



kenänderung in die Berechnung einzubeziehen, wobei diese im Vergleich zur Durchmesseränderung infolge von Umfangslängung nur gering ist.

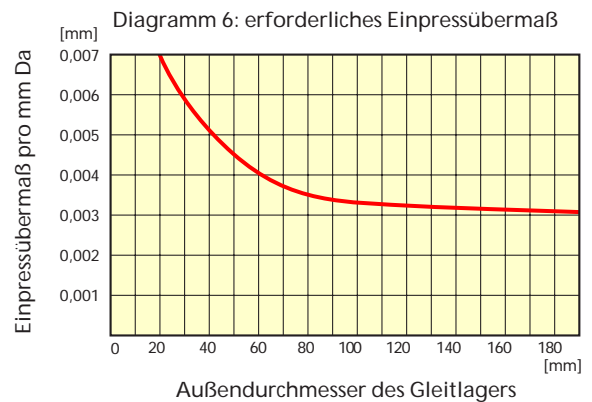
Bei geschmierten Lagern kann der Schlitz zusätzlich die Aufgabe eines Schmiermitteldepots erfüllen und zur Aufnahme von Abriebteilchen dienen.

Die Schlitzbreite ist vom Lagerdurchmesser und den Erfordernissen der Einsatzbedingungen abhängig. Wir empfehlen ca. 1 – 1,5 % des Gleitlagerumfangs als Schlitzbreite.



2.5 Befestigung

In der Praxis hat es sich bewährt, Gleitlager mit Übermaß in Lagerbohrungen einzupressen. Beim Einpressen wird die Lagerbuchse um den Betrag des Übermaßes zusammengedrückt. Daher muss dieses äußere Übermaß als Zuschlag zum Betriebslagerspiel am Innendurchmesser der Buchse berücksichtigt werden. Das erforderliche Übermaß ist aus Diagramm 6 zu entnehmen.



Infolge von Temperaturerhöhungen werden die Spannungen im Lager größer und es besteht nach Abkühlung die Gefahr der Relaxation. Dies kann dazu führen, dass die Presskraft nicht mehr ausreichend groß ist, um das Gleitlager kraftschlüssig im Lagersitz zu halten. Aus diesem Grund empfehlen wir für Temperaturen über 50 °C eine zusätzliche Sicherung mit einem im Maschinenbau üblichen, formschlüssigen Sicherungselement.

3. Berechnung dynamisch belasteter Gleitlager

Im Unterschied zu Gleitlagern, die ausschließlich durch eine ruhende Normalkraft belastet werden, sind statisch belastete Gleitlager zusätzlich durch eine Tangentialkraft beansprucht. Dies führt zur Zunahme der Schubspannungen im Kunststoff und infolgedessen zu höherer Werkstoffanstrengung.

3.1 Dauerbetrieb

Als Kenngröße für die dynamische Belastbarkeit von Gleitlagern wird üblicherweise der pv-Wert (das Produkt aus mittlerer Flächenpressung und mittlerer Gleitgeschwindigkeit) gewählt. Zur Berechnung der dynamischen Belastbarkeit von Querlagern ist die Ermittlung des $p_{v,Dauer}$ - Wertes notwendig.

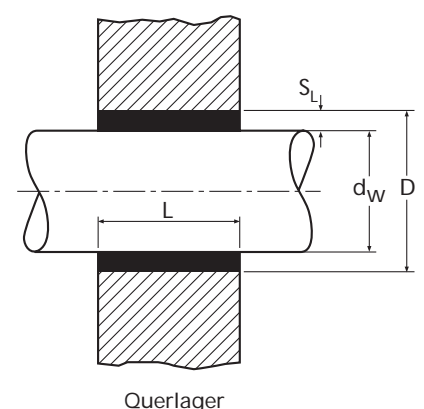
Die mittlere Flächenpressung für Querlager ist

$$p = \frac{F}{d_w \cdot L} \quad [\text{MPa}]$$

mit

- F = Lagerlast in N
- d_w = Wellendurchmesser in mm
- L = Lagerbreite in mm

Abbildung 5: Querlager



Die mittlere Gleitgeschwindigkeit für Querlager ist

$$v = \frac{d_w \cdot \pi \cdot n}{60000} \quad [\text{m/s}]$$

mit

d_w = Wellendurchmesser in mm

n = Drehzahl in min^{-1}

Somit wird $p v_{\text{Dauer}}$ bei dynamischer Belastung für Querlager ohne Schmierung zu

$$p v_{\text{Dauer}} = \left(\frac{F}{d_w \cdot L} \right) \cdot \left(\frac{d_w \cdot \pi \cdot n}{60000} \right) \quad [\text{MPa} \cdot \text{m/s}]$$

Der errechnete $p v_{\text{Dauer}}$ - Wert sollte kleiner oder gleich dem in Tabelle 4 angegebenen werkstoff-spezifischen $p v$ - Wert sein.

3.2 Aussetzbetrieb

Die dynamische Belastbarkeit von thermoplastischen Gleitlagern ist maßgeblich von der im Betrieb entstehenden Wärme abhängig. Demzufolge sind Gleitlager im Aussetzbetrieb mit abnehmender Einschaltdauer zunehmend belastbar. Dem wird durch Einsetzen eines Korrekturfaktors für die relative Einschaltdauer (= ED) Rechnung getragen.

Unter diesen Voraussetzungen wird für Querlager im Aussetzbetrieb

$$p v_{\text{Aus}} = \frac{p v_{\text{Dauer}}}{f}$$

mit

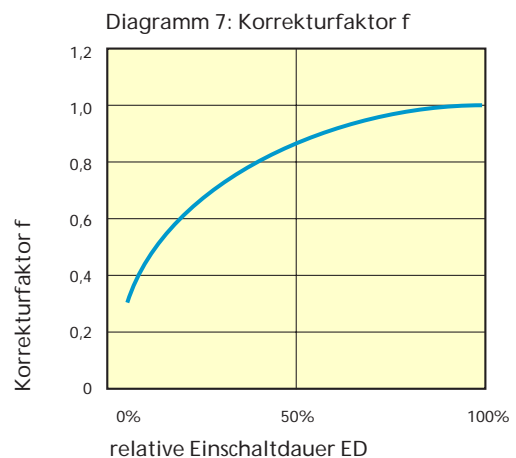
f = Korrekturfaktor für ED

Die relative Einschaltdauer ED wird als das Verhältnis der Belastungsdauer t zur gesamten Spieldauer T in Prozent definiert.

$$ED = \frac{t}{T} \cdot 100 \quad [\%]$$

Für Gleitlager aus thermoplastischen Kunststoffen ist die Gesamtspieldauer $T = 60$ min festgelegt. Die Summe aller während dieser 60 min auftretenden Einzelbelastungszeiten bildet die Belastungsdauer.

Mit dem so errechneten Wert kann nun aus Diagramm 7 der Korrekturfaktor f bestimmt werden. Dabei ist zu beachten, dass jede Belastungsdauer t , die über 60 min hinaus geht (unabhängig davon, ob dies eventuell nur einmal auftritt), als Dauerbelastung zu bewerten ist.



3.3 Bestimmung des Gleitverschleißes

Die Vorausbestimmung des Gleitverschleißes zur Bestimmung der zu erwartenden Lebensdauer eines Gleitlagers ist äußerst problematisch. In der Regel ist eine ausreichend genaue Erfassung der äußeren Bedingungen nicht möglich oder die Bedingungen verändern sich im Laufe des Betriebs auf nicht nachvollziehbare Weise. Dennoch ist es möglich, den zu erwartenden Gleitverschleiß für eine grobe Abschätzung der Lebensdauer ausreichend genau zu berechnen. Hierzu werden Rauheits-, Druck- und Temperaturanteile zur Ermittlung in einer auf vereinfachten Annahmen basierenden Gleichung zusammengefasst.

Damit wird der Gleitverschleiß ΔS zu

$$\Delta S = 10p_N (S_0 + S_1 \cdot R_V + S_2 \cdot R_V^2) \cdot \left(1 - \frac{\vartheta_F}{\vartheta_0} + 400 \frac{\vartheta_F - \vartheta_0}{\vartheta_0} \right) \cdot \rho_2 \gamma \quad [\mu\text{m}/\text{km}]$$

mit

- S_0 = Mess- und Erfahrungswert
- S_1 = Mess- und Erfahrungswert
- S_2 = Mess- und Erfahrungswert
- ϑ_0 = Mess- und Erfahrungswert
- ϑ_F = Gleitflächentemperatur in °C
- R_V = mittlere Rautiefe in μm
- p_N = maximale Pressung in MPa
- ρ_2 = Riefenrichtungsfaktor
- γ = Glättungsfaktor

Der Riefenrichtungsfaktor ρ_2 wird nur dann in die Gleichung eingesetzt, wenn die Gleitrichtung mit der Richtung der Bearbeitungsriefen des Metallpartners übereinstimmen. Dadurch wird der Einfluss der unterschiedlichen Rauheiten bei der Relativbewegung des Metallgleitpartners in Richtung und senkrecht zur Richtung der Bearbeitungsriefen berücksichtigt.

Der Glättungsfaktor γ soll die Glättung des Metallpartners durch Abtrag von Rauheitsspitzen und/oder die Füllung von Rauheitstälern durch Kunststoffabrieb beschreiben.

Die maximale Pressung p_N wird durch eine Näherungsgleichung zu

$$p_N = \frac{16}{3\pi} \cdot \frac{F}{d_w \cdot L} \quad [\text{MPa}]$$

mit

- F = Lagerlast in N
- d_w = Wellendurchmesser in mm
- L = Lagerbreite in mm

wobei $p_N \geq (0,8 \text{ bis } 1,0) \cdot \sigma_D$ (Druckfestigkeit des gewählten Kunststoffs) nicht überschreiten darf.

Die aufgeführten Mess- und Erfahrungswerte könne aus Tabelle 5, die Riefenrichtungsfaktoren aus Tabelle 6 entnommen werden. Für andere als die unten aufgeführten Werkstoffe liegen uns keine Mess- und Erfahrungswerte vor.

Tabelle 5: Mess- und Erfahrungswerte für die einzelnen Kunststoffe

Werkstoff	S_0	S_1	S_2	ϑ_0	γ
PA 6	0,267	0,134	0	120	0,7
PA 66	0,375	0,043	0	120	0,7
PA 12	0,102	0,270	0,076	110	0,7
POM-C	0,042	0,465	0,049	120	0,8
PE-UHMW	1,085	- 4,160	4,133	60	0,7
PET	0,020	0,201	- 0,007	110	0,8
PTFE	1,353	-19,43	117,5	200	0,6

Tabelle 6: Riefenrichtungsfaktoren für Kunststoffe

R_v senkrecht zur Richtung der Bearbeitungsriefen in μm	PA	POM-C	PET	PE-UHMW
> 0,5	1,0	0,9	0,8	0,8
0,5 – 1	0,9	0,6	0,6	0,4
1 – 2	0,8	0,3	0,4	0,2
2 – 4	0,8	0,2	0,3	—
4 – 6	0,8	0,2	0,3	—

3.4 Bestimmung der Lebensdauer

Das Ende der Lebensdauer eines Kunststoffgleitlagers ist in der Regel dann erreicht, wenn das Lagerspiel einen unzulässig hohen Wert erreicht hat. Das Lagerspiel setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen. Zum einen liegen Verformungsanteile aufgrund der Lagerlast vor, zum anderen ist das Betriebsspiel und der im Betrieb erfolgende Verschleiß zu berücksichtigen. Da dieser im voraus nur rechnerisch zu ermitteln ist und in die Berechnung der Lebensdauer nur der nach 3.3 angenähert ermittelte Gleitverschleiß eingeht, ist die ermittelte Lebensdauer ebenfalls nur als Näherungswert zur groben Abschätzung zu betrachten.

Unter diesen Voraussetzungen und in Verbindung mit der Gleitgeschwindigkeit wird die zu erwartende Lebensdauer H zu

$$H = \frac{\left(\Delta h_{\text{zul}} - \Delta h - \frac{h_0}{2} \right)}{\Delta S \cdot v \cdot 3,6} \cdot 10^3 \text{ [h]}$$

mit

Δh_{zul} = zulässige Zapfeneinsenkung in mm

Δh = Zapfeneinsenkung in mm

h_0 = Betriebsspiel in mm

ΔS = Verschleißrate in μm

v = Gleitgeschwindigkeit in m/s

Für eine grobe Annäherung an die tatsächliche Lebensdauer ist es vertretbar, die Zapfeneinsenkung Δh in der Berechnung zu vernachlässigen, da diese unter realistischen Bedingungen sehr klein ist und häufig im Bereich der Fertigungstoleranzen liegt.



Unsere spangebenden Bearbeitungsmöglichkeiten:

- CNC-Fräsmaschinen bis Arbeitsbereich 3000 x 1000 mm
- 5-Achsen CNC-Fräsmaschinen
- CNC-Drehmaschinen bis \varnothing 1560 mm und 2000 mm Länge
- konventionellen Drehautomaten bis \varnothing 100 mm Spindeldurchlaß
- CNC-Drehautomaten bis \varnothing 100 mm Spindeldurchlaß
- Verzahnungen ab Modul 0,5 bis \varnothing 1500 mm
- Tischfräsen
- Kreissägen bis 170 mm Schnittstärke und 3100 mm Schnittlänge
- Vierseitenhobel bis 125 mm Dicke und 225 mm Breite
- Dickenhobel bis 230 mm Dicke und 1000 mm Breite



Wir verarbeiten:

- Polyamid
- Polyacetal
- Polyethylenterephthalat
- Polyethylen 1000
- Polyethylen 500
- Polyethylen 300
- Polypropylen
- Polyvinylchlorid (hart)
- Polyvinylidenfluorid
- Polytetrafluorethylen
- Polyetheretherketon
- Polysulfon
- Polyetherimid

- PA
- POM
- PET
- PE-UHMW
- PE-HMW
- PE-HD
- PP-H
- PVC-U
- PVDF
- PTFE
- PEEK
- PSU
- PEI

Beispiele für Konstruktionsteile:

- Seil- und Laufrollen
- Führungsrollen
- Umlenkrollen
- Gleitlager
- Gleitplatten
- Gleitleisten
- Zahnräder
- Kettenräder
- Bewegungsmuttern
- Einlaufbögen
- Einlaufsterne
- Einlaufschnecken
- Bogenführungen
- Dosierscheiben
- Kurvenscheiben
- Verschraubungen
- Dichtungen
- Schaugläser
- Ventilgehäuse
- Gerätegehäuse
- Spulenkörper
- Vakuumleisten/-platten
- Abstreiferleisten
- Stanzunterlagen

Hinweise zum Gebrauch

Alle Berechnungen, Ausführungen sowie technischen Angaben dienen nur zur Information und Beratung und entbinden nicht von der eigenen Prüfung hinsichtlich der Eignung der Werkstoffe für konkrete Anwendungsfälle. Aus dem Inhalt dieser Arbeitsunterlage können keine rechtsverbindlichen Zusicherungen von Eigenschaften und / oder Ergebnissen aus den Berechnungen abgeleitet werden. Die angegebenen Werkstoffkennwerte sind nicht als verbindliche Mindestwerte sondern als Richtwerte zu verstehen und wurden, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, mit genormten Prüfkörpern bei Raumtemperatur und 50 % relativer Luftfeuchte ermittelt. Die Entscheidung, welcher Werkstoff für einen konkreten Anwendungsfall verwendet wird, sowie die Verantwortung für die daraus hergestellten Teile obliegen dem Anwender. Wir empfehlen daher vor dem Serieneinsatz einen Eignungsnachweis durch einen praktischen Versuch.

Irrtümer und Änderungen hinsichtlich des Inhalts der Arbeitsunterlage bleiben ausdrücklich vorbehalten.

Die jeweils aktuelle Version, in der alle Änderungen und Ergänzungen berücksichtigt sind, erhalten Sie als PDF-Download im Internet unter www.licharz.de.

© Copyright by Licharz GmbH, Deutschland

Literaturverweis

Für die Erstellung der Arbeitsunterlage „Konstruieren mit Kunststoffen“ wurde folgende Literatur hinzugezogen:

Ebeling, F.W. / Lüpke, G. Schelter, W. / Schwarz, O.	Kunststoffverarbeitung; Vogel Verlag
Biederbick, K.	Kunststoffe; Vogel Verlag
Carlowitz, B.	Kunststofftabellen; Hanser Verlag
Böge, A.	Das Techniker Handbuch; Vieweg Verlag
Ehrenstein, Gottfried W.	Mit Kunststoffen Konstruieren; Hanser Verlag
Strickle, E. / Erhard G.	Maschinenelemente aus thermoplastischen Kunststoffen Grundlagen und Verbindungselemente; VDI Verlag
Strickle, E. / Erhard G.	Maschinenelemente aus thermoplastischen Kunststoffen Lager und Antriebselemente; VDI Verlag
Erhard, G.	Konstruieren mit Kunststoffen; Hanser Verlag
Severin, D.	Die Besonderheiten von Rädern aus Polymerwerkstoffen; Fachbericht TU-Berlin
Severin, D. / Liu, X.	Zum Rad-Schiene-System in der Fördertechnik, Fachbericht TU-Berlin
Severin, D.	Lehrunterlage Nr. 701, Pressungen
Liu, X.	persönliche Mitteilungen
Becker, R.	persönliche Mitteilungen
VDI 2545	Zahnräder aus thermoplastischen Kunststoffen; VDI Verlag
DIN 15061 Teil 1	Rillenprofile für Seilrollen; Beuth Verlag
DIN ISO 286	ISO-System für Grenzmaße und Passungen; Beuth Verlag
DIN ISO 2768 Teil 1	Allgemeintoleranzen; Beuth Verlag
DIN ISO 2768 Teil 2	Allgemeintoleranzen für Form und Lage; Beuth Verlag

Für weitere Informationen stehen zusätzliche Unterlagen zur Verfügung.
Bitte fordern Sie an:

- Lieferprogramm Halbzeuge
- Broschüre „Fertigungsspektrum Konstruktionsteile“

oder besuchen Sie uns unter www.licharz.de im Internet.



Licharz GmbH
Industriepark Nord
D-53567 Buchholz
Deutschland
Telefon: ++49 (0) 26 83-977 0
Telefax: ++49 (0) 26 83-977 111
Internet: www.licharz.de
E-Mail: info@licharz.de

Branch offices:
Licharz Ltd.
Daimler Close
Royal Oak Industrial Estate
Daventry, NN11 8QJ
Great Britain
Phone: ++44 (0) 1327 877 500
Fax: ++44 (0) 1327 877 333
Internet: www.licharz.co.uk
E-Mail: sales@licharz.co.uk

Schutzgebühr 18,- €