

Vorlesung im Wintersemester 2022/23

Sonderprobleme der Kunststofftechnik

Umfang: 2/0/0

Modul: MW-MB-LB-20 Konstruieren mit Kunststoffen

Prof. Dr.-Ing. Niels Modler

Dipl.-Ing. René Füßel



Prof. Dr.-Ing. Niels Modler



Dipl.-Ing. René Füßel



Vorlesungsablauf

Nr.	Datum	Vorlesung	Themenschwerpunkt
1	12.10.	Einführung / Dübelverbindungen	Verbindungstechnik
2	26.10.	Insert- und Outsert-Techniken	
3	02.11.	Schnappverbindungen	
4	09.11.	Tribologie der Polymere	Maschinenelemente
5	23.11.	Gleitlager I	
6	30.11.	Gleitlager II und Verbundgleitlager	
7	07.12.	Laufrollen I	
8	14.12.	Laufrollen II + Keilriemenscheiben	
9	11.01.	Kupplungen	Polymerbasierte Sonderwerkstoffe
10	18.01.	Polymerbeton	
11	25.01.	Polymerschäume	
12	01.02.	Prüfungsvorbereitung	

Lehrveranstaltungen:

Mo, 10.10.2022 bis Di, 20.12.2022 sowie Mi, 04.01.2023 bis Sa, 04.02.2023

Vorlesungsfreie Zeiten/Feiertage:

1.10.2022 - 09.10.2022

Reformationstag: Mo, 31.10.2022; Buß- und Betttag: Mi, 16.11.2022

Jahreswechsel: 21.12.2022 bis 03.01.2023

Vorlesungsfreie Zeit: Mo, 06.02.2023 bis Fr, 31.03.2023; Kernprüfungszeit: Mo, 06.02.2023 bis Sa, 04.03.2023

Lehrevaluation

Modul MW-MB-LB-20 „Konstruieren mit Kunststoffen“

- Lehrevaluation des Moduls „Konstruieren mit Kunststoffen“
- Vorlesungen/Übung „Kunststoffgerechtes Konstruieren“ und „Sonderprobleme der Kunststofftechnik“ werden getrennt evaluiert
- Durchführung der Evaluation durch das Zentrum für Qualitätsanalyse
- Fragebogen für die LV „Sonderprobleme der Kunststofftechnik“ ist über folgenden Link oder nebenstehenden QR-Code abrufbar.
<https://befragung.zqa.tu-dresden.de/uz/de/sl/DxaiNFycjj80>
- Die Befragung kann bis zum **22.01.2023** durchgeführt werden

**Liebe Studierende,
wir bitten um rege Teilnahme an der Evaluation, um unser
Lehrangebot stetig verbessern zu können. Wir sind auf ihr
Feedback angewiesen.**

Vielen Dank, Prof. Dr-Ing. N. Modler

QR-Code zum Fragebogen der Veranstaltung „Sonderprobleme der Kunststofftechnik“

Dieser QR-Code kann beliebig häufig verwendet werden, um den Fragebogen auszufüllen.



<https://befragung.zqa.tu-dresden.de/uz/>
Token: Ervpeatib

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

- 6.1 Einführung
- 6.2 Schäden an Laufrollen
- 6.3 Auslegungsrechnung
- 6.4 Nachrechnung
- 6.5 Hinweise zu Fertigung und Gestaltung
- 6.6 Kunststoff-Laufringe für Kugellager

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.1 Einführung

Thermoplastische Kunststoffe eignen sich insbesondere dann als Laufrollen- oder Laufradwerkstoff, wenn bei kleinen bis mittleren Belastungen ein hohes Maß an Dämpfung u. Wartungsfreiheit gefordert wird. Polymere erweitern das Spektrum der klassischen Rollenwerkstoffe wobei folgende **spezifischen Eigenschaften** ausgenutzt werden:

- hohe Laufruhe durch ausgezeichnetes Dämpfungsverhalten
- hoher Verschleißwiderstand im Trockenlauf
- Wartungsfreiheit bzw. -armut
- hohe Chemikalienbeständigkeit
- Schonung der Laufbahnen (geringe Pressungen)
- großer Leichtbaueffekt (niedriges spezifisches Gewicht)
- wirtschaftliche Fertigung (Realisierung multifunktionaler Konstruktionen)
- elektrische und thermische Isolierung

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.1 Einführung (Werkstoffe)

Schwierigkeiten bzw. Grenzen der Anwendung stellen dar:

- Verschleiß infolge von Schlupf (bei angetriebenen Rollen)
- zu hohe Temperaturen bei großen Rollgeschwindigkeiten
- Rundlaufabweichungen durch Kriechprozesse (Stillstand unter hoher Last)

Werkstoffe:

Als Werkstoffe für Laufrollen eignen sich besonders teilkristalline Konstruktions-kunststoffe. Dabei gilt Polyamid 6 als der Standardwerkstoff. Weiterhin kommen vor allem PA 66, POM, PE hoher Dichte und thermoplastische Polyester zur Anwendung. Laufrollen aus Polymeren werden entweder spritzgegossen oder spanend aus fließgepressten oder gegossenen (Gusspolyamide) Halbzeugen hergestellt.

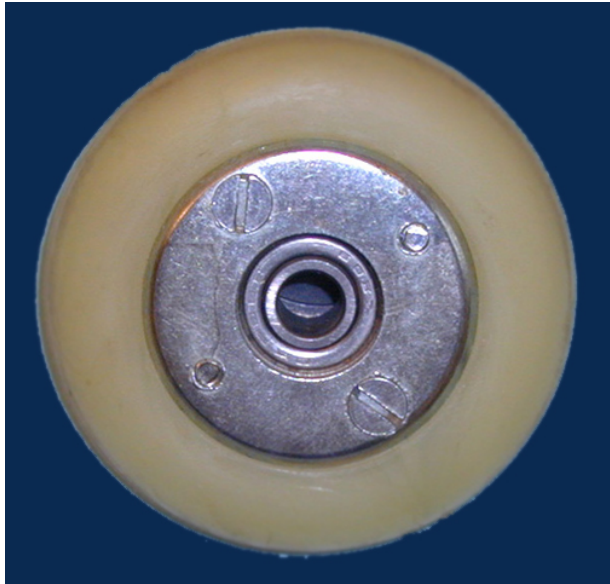
Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.1 Einführung (Werkstoffe)

Besondere Bedeutung als Laufrollenwerkstoff haben weichere Kunststoffe besonders thermoplastische und vernetzte Elastomere mit ausgeprägten gummielastischen Eigenschaften gewonnen.

Das gilt besonders für diverse Polyurethane (TPU bzw. PUR). Diese kommen bevorzugt als Bandagen und Laufkränze zum Einsatz (siehe Bild):



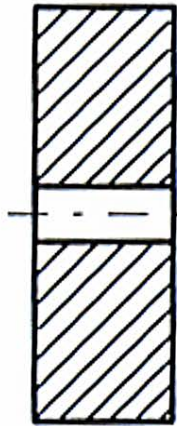
Kugelgelagerte Laufrolle eines Sommerrodels

Maschinenelemente

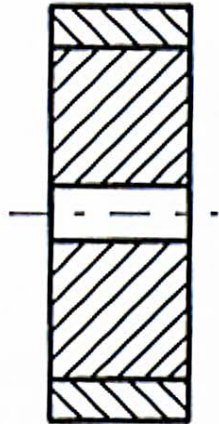
6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.1 Einführung (Grundformen)

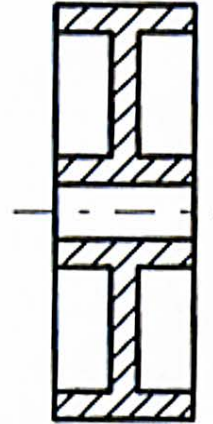
Prinzipiell können Laufrollen in vier Grundformen eingeteilt werden:



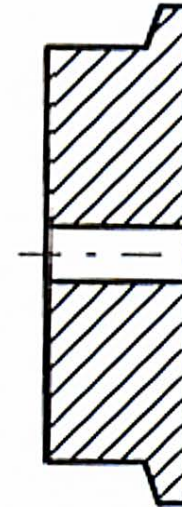
Massivrolle



Laufmantelrolle mit
Rollenbandage



Stegrolle



Spurkranzrolle

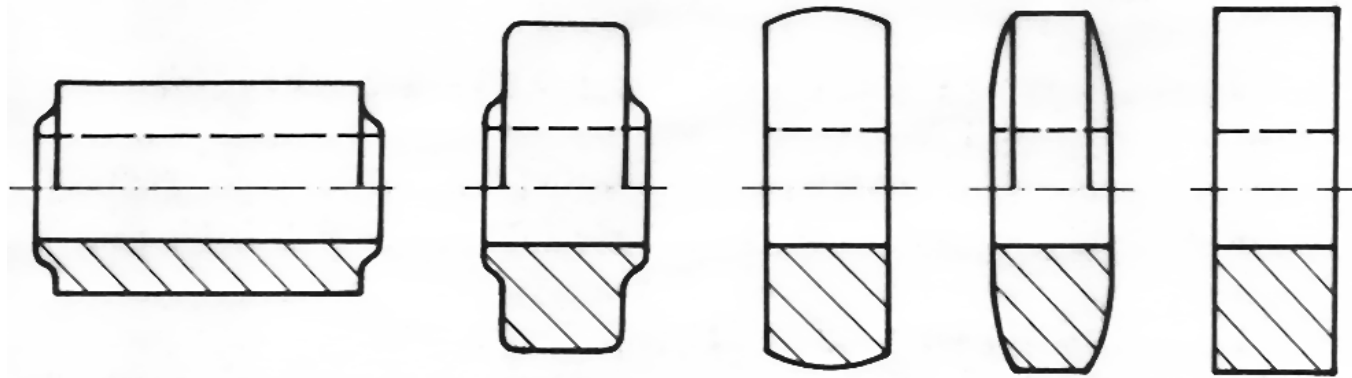
Grundformen von Laufrollenkörpern

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.1 Einführung (Massivrollen)

Massivrollen können sowohl gleitgelagert (Funktionsintegration) als auch kugelgelagert werden. Dabei kommen in der Praxis diverse Rollenformen zum Einsatz:



Beispiele ausgeführter massiver Laufrollen

Außendurchmesser D in mm	... 50	50...70	70...150	150...
Verhältnis b/D	0,8...0,5	0,5...0,4	0,4...0,3	0,3...0,2

Richtwerte zur Auswahl der Rollenbreite

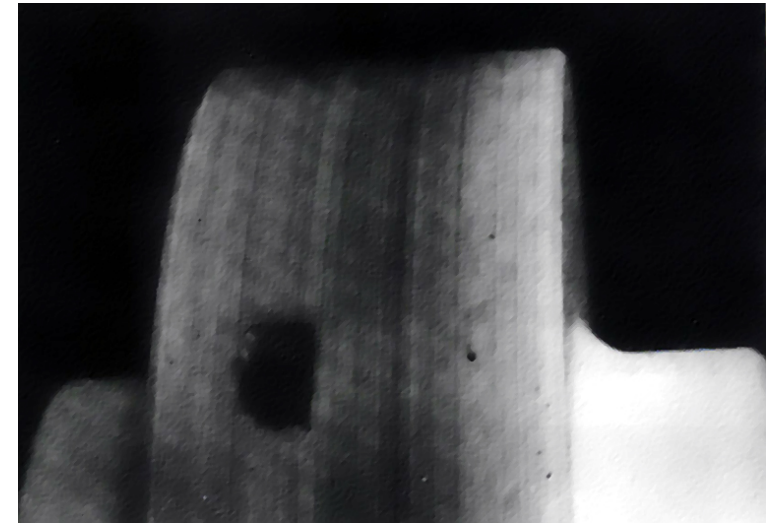
Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.2 Schäden an Laufrollen 1

Laufrollen aus thermoplastischen Kunststoffen unterliegen in der Praxis typischen Beanspruchungsformen, die gekennzeichnet sind durch wechselnde dynamische und statische Belastungsphasen. Dabei sind folgende **Schäden bzw. Versagensformen** zu unterscheiden:

- Abplattung bei hoher statischer Beanspruchung etwa nach dämpfungsbedingter Eigenerwärmung (dynamischer Betrieb) oder in folge von Kriechprozessen bei langem Stillstand unter statischer Last.
- Verschleiß infolge von Schlupf oder wenn ein Spurkranz hohe Seitenkräfte aufnehmen muss.
- Grübchen und Ermüdungsrisse insbesondere an geschmierten dynamisch hochbeanspruchten Rollen. (Speziell Rollen aus PBT neigen auch bei Trockenlauf Pittingbildung!)

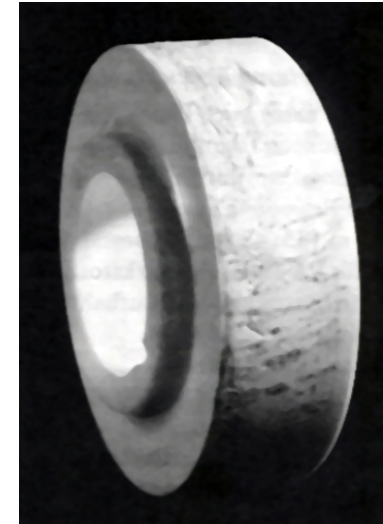


Grübchen (Pittings) auf der Lauffläche einer Polyamidrolle

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.2 Schäden an Laufrollen 2



Dauerbrüche (Risse) auf den Oberflächen von Laufrollen aus PBT

- Ermüdungsrisse an konstruktiven Übergängen, etwa am Knoten Steg/Laufbahn durch dynamische Beanspruchungen.
- Aufschmelzen infolge der Erwärmung durch hohe innere Reibung bei Überlast und schlechter Wärmeableitung.
- Lösen von zu dünnen Bandagen durch Walkvorgänge wenn die Maximalpressungen am Übergang Bandage/Grundkörper auftreten.

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.2 Schäden an Laufrollen 3



Rissverlauf an einer Stegrolle



*Durch Walkprozesse abgelöste
zu dünnwandige Bandage*



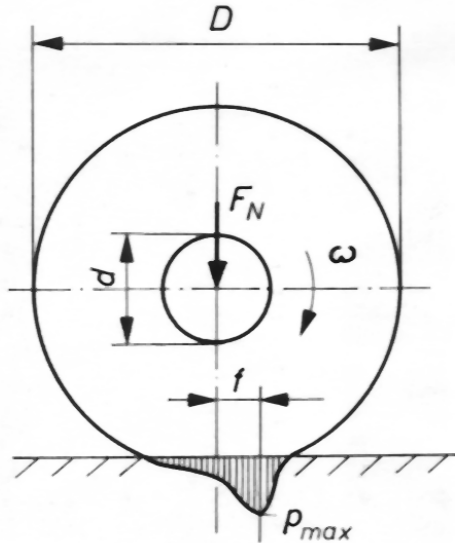
im Inneren aufgeschmolzene Rolle

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 1

Zur rechnerischen Abschätzung der Beanspruchung von Laufrollen aus Kunststoffen werden die Hertz'schen Gleichungen zugrunde gelegt. Hierzu wird ein werkstoffspezifischer Pressungskennwert angegeben.



Hertz'sche Gleichung:

$$p_H = \sqrt{\frac{F_N \cdot E'}{2\pi \cdot r \cdot b \cdot (1 - \nu^2)}}$$

Mit: F_N – Normale Rollenlast in N
 E' – Ersatz-E-Modul
 r – Rollenradius
 b – Rollenbreite
 ν – Querdehnzahl

Bei verschiedenen E-Moduln wird folgender Ersatz-E-Modul angegeben:

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \Rightarrow E' = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{(E_1 + E_2)}$$

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 2

Dieser Pressungskennwert gilt für einen polymeren Laufrollenwerkstoff und Werkstoffe mit bedeutend größerem E-Modul als Laufbahnwerkstoff (Stahl, Aluminium oder Beton). Weiterhin sind die Rollen und/oder die Laufbahn nicht ballig auszuführen. Für Polyamid und Polyacetal lassen sich folgende Beziehungen (Pressungskennwerte) ableiten:

Polyamid:

$$p'_{\text{PA}} = 25,4 \cdot \sqrt{\frac{F_N}{r \cdot b}} \leq p'_{\text{max}}$$

Polyoximethylen:

$$p'_{\text{POM}} = 33,7 \cdot \sqrt{\frac{F_N}{r \cdot b}} \leq p'_{\text{max}}$$

Bei gekrümmten Laufbahnen ist ein Ersatzradius einzuführen:

$$r_e = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$$

Index 1 – Rolle

Index 2 – Laufbahn

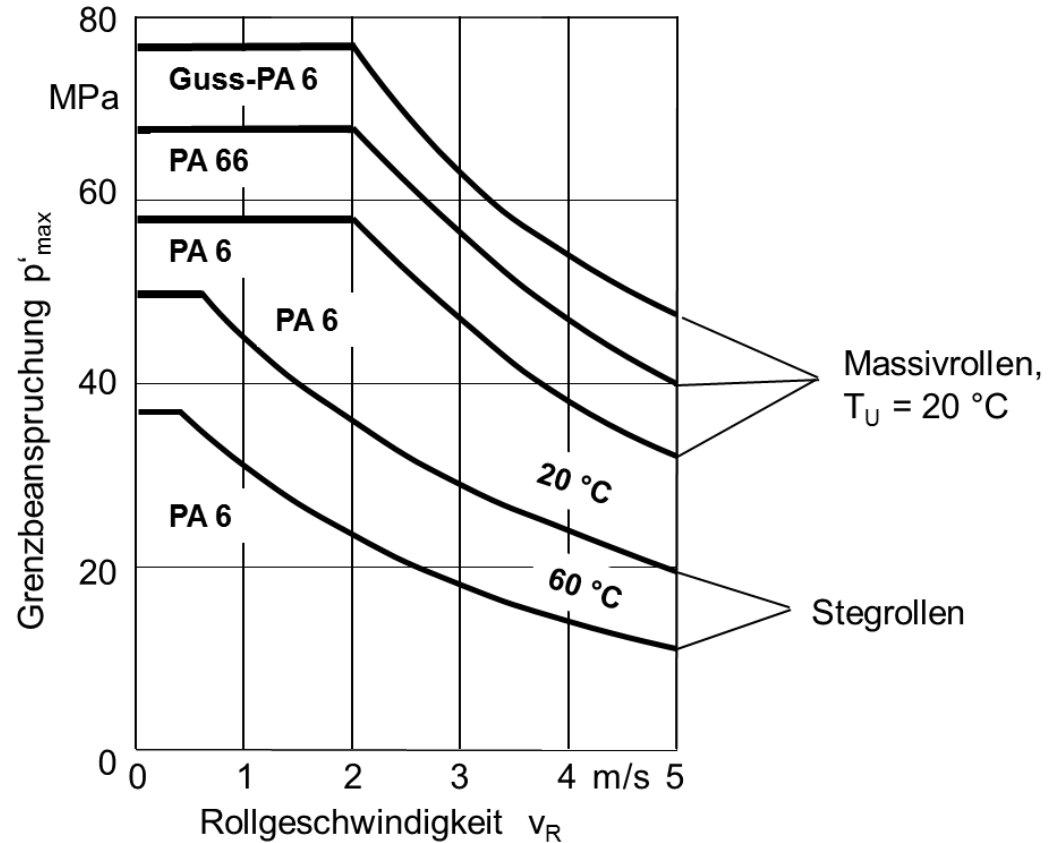
Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 3

Dieser Pressungskennwert beinhaltet den E-Modul, der wiederum von der Beanspruchung (Temperatur, Feuchte...) abhängig ist. Zur Auslegung können Grenzwerte aus experimentell ermittelten Diagrammen entnommen werden:

Grenzbeanspruchung von kuggelagerten Polyamidrollen gegen Stahl in Abhängigkeit von der Rollgeschwindigkeit

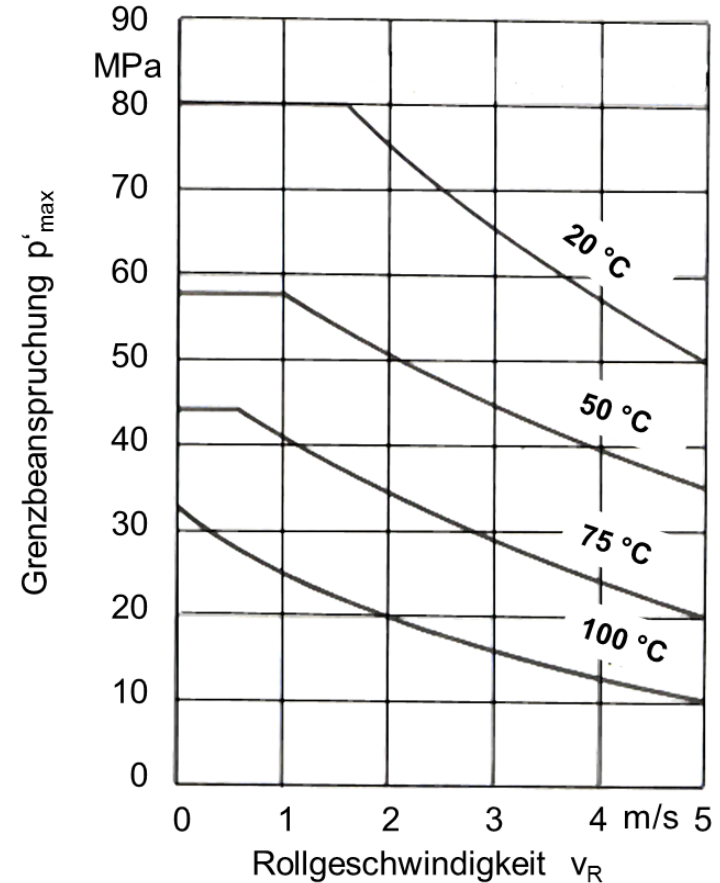


Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 4, Dynamische Beanspruchung

Grenzbeanspruchung Rollen aus POM-Copolymerisat gegen Stahl in Abhängigkeit von der Rollgeschwindigkeit und der Umgebungstemperatur

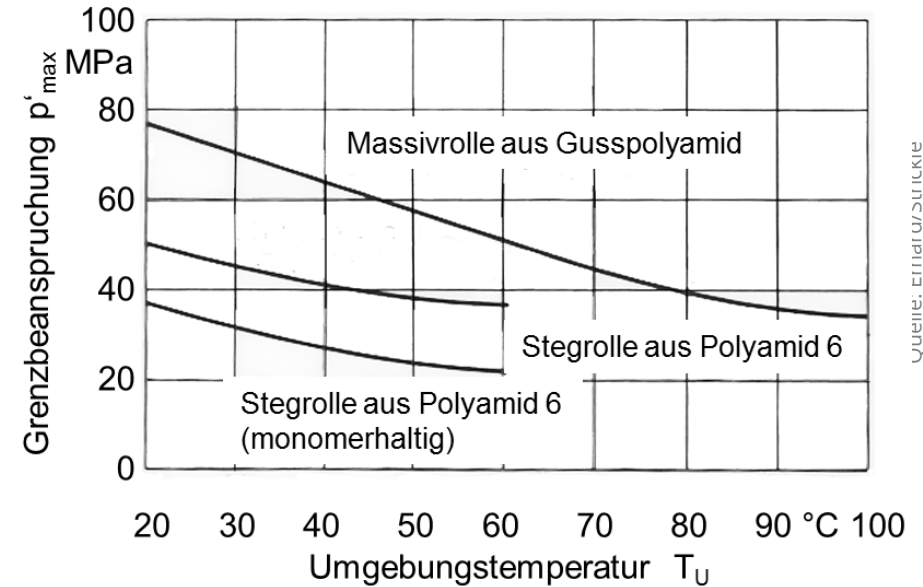
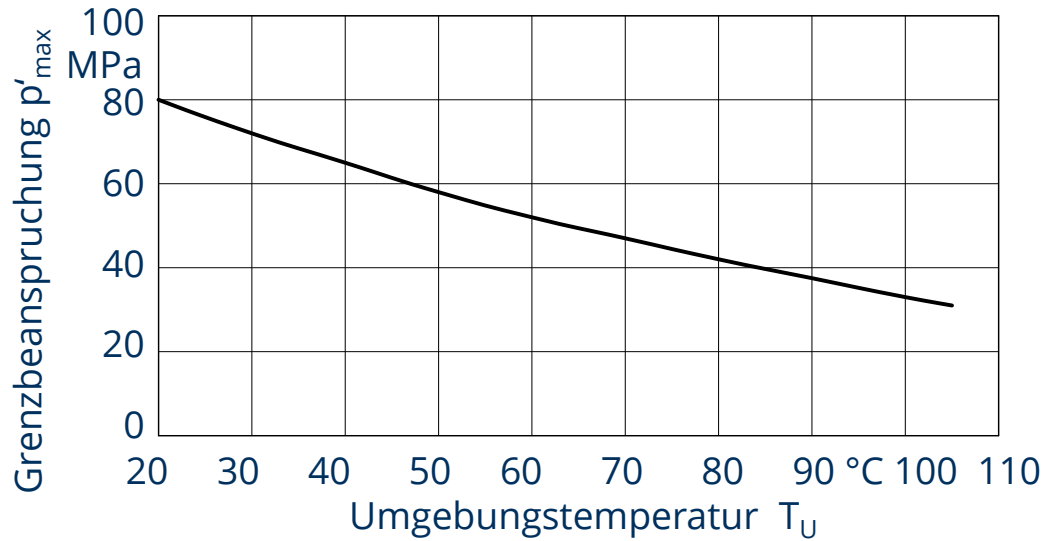


Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 4, Statische Beanspruchung

*Grenzbeanspruchung von Polyamidrollen
gegen Stahl in Abhängigkeit von der
Umgebungstemperatur*



Quelle: Eihart/Suricke

*Grenzbeanspruchung von POM-Rollen gegen Stahl
in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur*

Nur zum Gebrauch in der Vorlesung! Kommerzieller Vertrieb und elektronische Publikation nicht gestattet.

Sonderprobleme der Kunststofftechnik
MW-MB-LB-20 Konstruieren mit Kunststoffen

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 4, Beispielrechnung 1

Beispielrechnung:

Eine massive kugellagerte Kunststoffrolle ist unter folgenden Bedingungen zu dimensionieren:

- Normalkraft $F_N = 2,5 \text{ kN}$
- Max. Rollgeschwindigkeit $v_R = 3 \text{ m/s}$
- Umgebungstemperatur $T_U = 35 \text{ °C}$
- Laufbahn: Stahl mit relativ hoher Rauigkeit

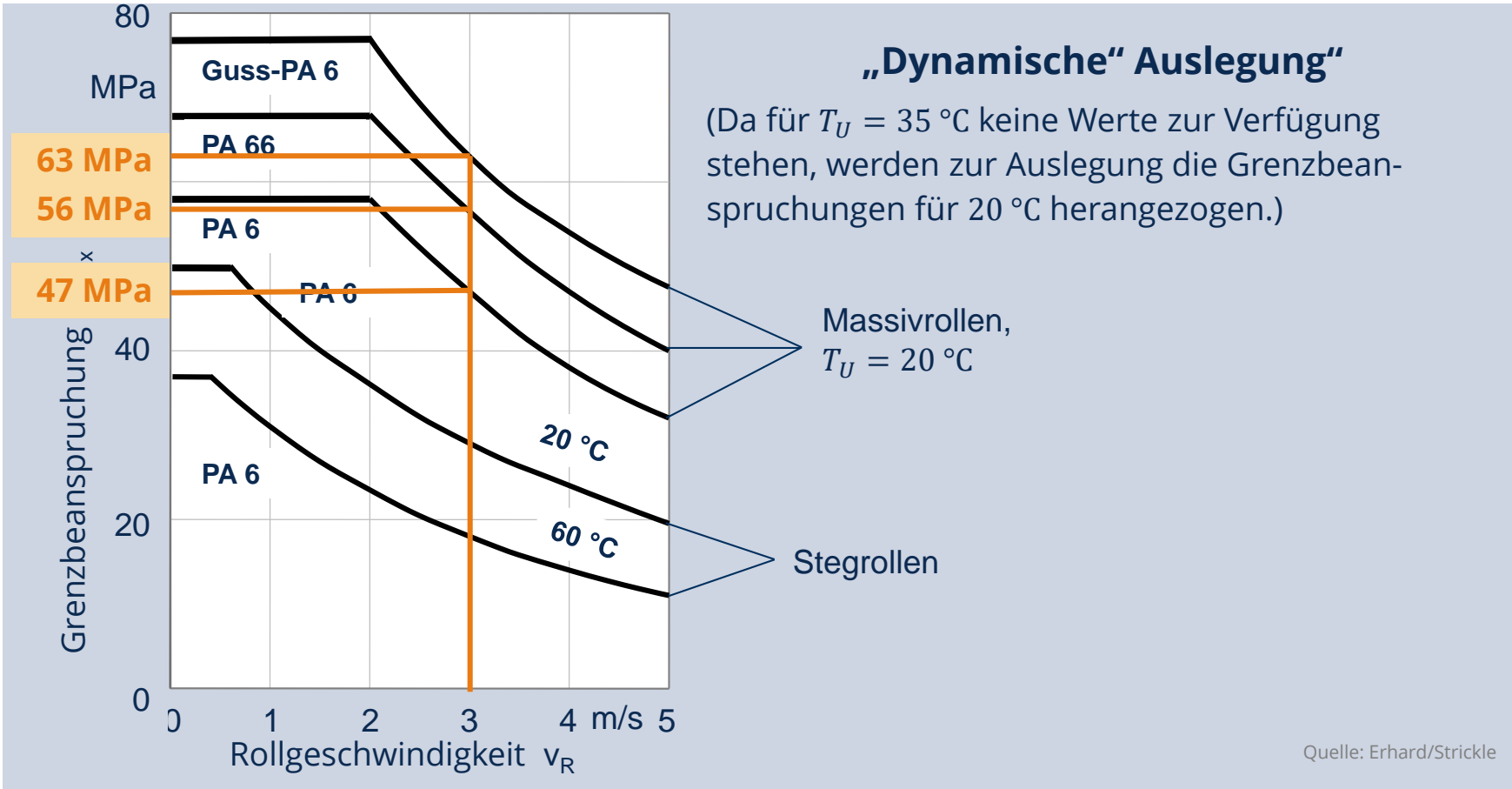
Lösung:

Da die Laufbahn ein hohe Rauigkeit aufweist wird ein Polyamid als Rollenwerkstoff ausgewählt!

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 4, Beispielrechnung 2

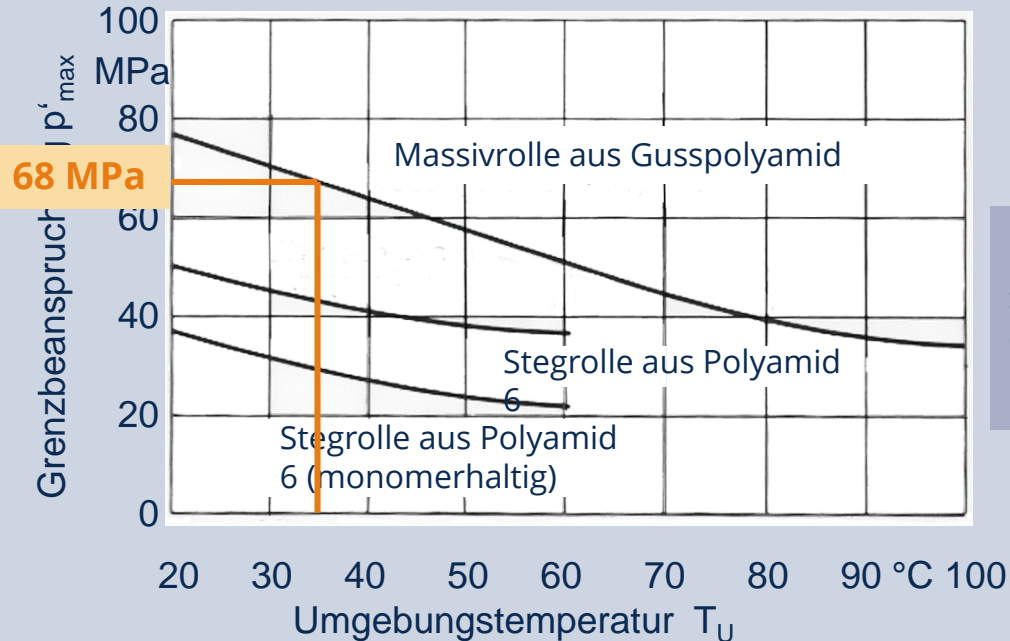


Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 4, Beispielrechnung 3

„Statische“ Auslegung



„dynamische“ Grenzbeanspruchungen:

PA 6 (Spritzgusstyp)	47 MPa
PA 66 (Stritzgusstyp)	56 MPa
Guss-PA6	63 MPa

Die Rolle wird dynamisch höher beansprucht, weshalb die „dynamischen“ Grenzbeanspruchungswerte zur Dimensionierung herangezogen werden!

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 4, Beispielrechnung 4

Dimensionierung:

$$p'_{PA} = 25,4 \cdot \sqrt{\frac{F_N}{r \cdot b}} \leq p'_{\max} \quad \Rightarrow \quad \frac{F_N}{r \cdot b} \leq \left(\frac{p'_{\max}}{25,4}\right)^2 \quad \text{bzw.} \quad D \cdot b \geq \frac{1290 \cdot F_N}{(p'_{\max})^2}$$

Festlegung des b/D -Verhältnisses:

Außendurchmesser D in mm	... 50	50...70	70...150	150...
Verhältnis b/D	0,8...0,5	0,5...0,4	0,4...0,3	0,3...0,2

Gewählt: $b/D = 0,3$



Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.3 Auslegungsrechnung 5, Beispielrechnung 5

Ergebnisse:

$$D \cdot (0,3 \cdot D) \geq \frac{1290 \cdot F_N}{(p'_{\max})^2} \Rightarrow D \geq \sqrt{\frac{1290 \cdot 2500\text{N}}{0,3 \cdot (p'_{\max})^2}}$$

Festlegung des b/D -Verhältnisses:

Guss-Polyamid 6[*])	$D = 52,04 \text{ mm}$	gewählt:	$D = 55 \text{ mm}$	$(b = 17 \text{ mm})$
Polyamid 66^{**)}	$D = 58,55 \text{ mm}$	gewählt:	$D = 60 \text{ mm}$	$(b = 20 \text{ mm})$
Polyamid 6^{**)}	$D = 69,76 \text{ mm}$	gewählt:	$D = 70 \text{ mm}$	$(b = 22 \text{ mm})$

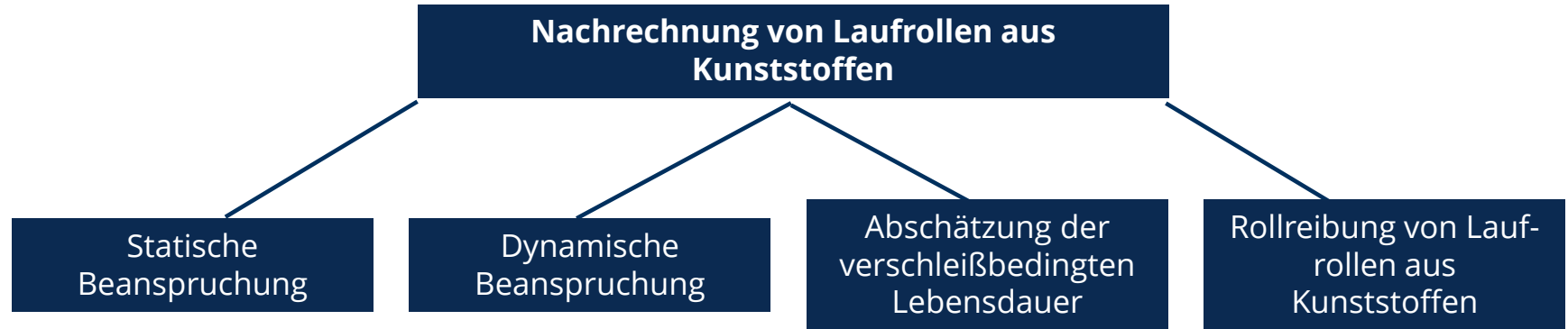
Anmerkung:

- *⁾ für geringe Stückzahlen (spanende Herstellung)
- **⁾ für große Stückzahlen (Herstellung im Spritzguss)

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung 1



Rollen, die unter Last lange stillstehen, verformen sich durch Kriechprozesse. Im Rollzustand dagegen werden diese Abplattungen wieder in die Ausgangsform „gewalzt“.

Infolge hoher Rollgeschwindigkeiten wird die Rolle dämpfungsbedingt erwärmt (evtl. bis zum Schmelzpunkt). Im Stillstand unter Last verformt sich die warme Rolle dann extrem.

Speziell bei angetriebenen Rollen ist die verschleißbedingte Lebensdauer abzuschätzen, da Pittings und Gleitverschleiß zu Bauteilausfällen führen können

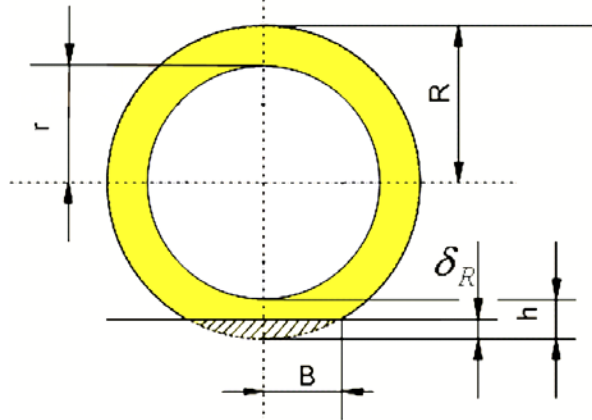
Besonders bei der Auslegung von Antriebsmotoren etwa von Kran- und Förderanlagen wird der Rollreibungswiderstand als Auslegungskriterium herangezogen.

Maschinenelemente

3 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung 2

Kurzzeitverformung:



Die Verformung des Rollenkörpers bzw. der Kunststoffbandage setzt sich zusammen aus der Abplattung der Rolle auf der Laufbahn und der Lagerverformung. Diese Gesamtdeformation entspricht also der Absenkung der Welle gegenüber der Laufbahn:

$$\Delta_g = \delta_L + \delta_R$$

Die Berechnung der Lagerverformung erfolgt etwa mit der Beziehung von Erhard/Strickle:

$$\delta_L = \frac{1,8 \cdot F_N}{\left(\frac{2 \cdot r}{h} + 1\right) \cdot b \cdot E_1}$$

Die Berechnung der Deformation der Rolle an der Lauffläche erfolgt wiederum auf der Grundlage der Hertz'schen Gleichungen:

halbe Breite der Abplattung:
$$B = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_N \cdot R}{b} \cdot \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{\pi \cdot E_e}} \quad \text{mit} \quad E_e = 2 \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}; \quad r_e = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$$

Läuft die Rolle auf gekrümmter Bahn, so ist für R der Ersatzradius r_e einzusetzen:

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung 3

Dabei ist die Querdehnzahl mit ca. 0,4 zu berücksichtigen. E_1 ist der Kurzzeit-E-Modul des Werkstoffs der Kunststofflaufrolle und E_2 der E-Modul der Laufbahn.

Aus der Breite der Abplattung berechnet sich die Radialverformung wie folgt:

$$\delta_R = R - \sqrt{R^2 - B^2}$$

Als zulässige Kurzzeitverformung kann ein Wert von etwa 2 % des Rollenwandstärke bzw. der Bandagedicke angenommen werden:

$$\frac{\Delta g}{h} \leq 0,02$$

Langzeitverformung:

Bei statisch langfristig hochbeanspruchten Rollen, d. h. bei Laufrollen, die unter Last längere Zeit stillstehen, ist die sich einstellende, durch Kriechprozesse bedingte Abplattung der Rollenauflfläche zu bestimmen, da diese beim Wiederanfahren zu Problemen führt und später die Laufruhe ggf. negativ beeinflusst.

Die Beschreibung des viskoelastischen Verformungsverhaltens von Laufrollen aus Kunststoffen bei Langzeitbeanspruchung ist theoretisch noch nicht geklärt. Deshalb werden zur Nachrechnung neben den Hertz'schen Theorien vor allem an Bauteilen experimentell ermittelte Kennwerte bzw. Kennwertfunktionen herangezogen:

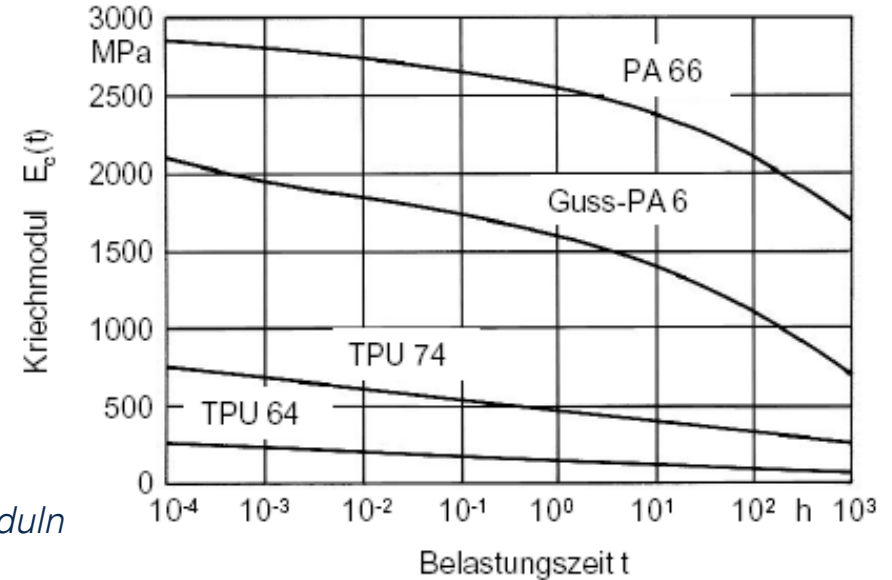
Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung 4

Eine Möglichkeit die Größe der Gesamtverformung bei Langzeitbeanspruchung abzuschätzen bietet folgende Beziehung. Dabei kann für die zulässige Verformung ein Wert von etwa 0,3 % bezogen auf den Rollendurchmesser D angesetzt werden.

Bauteilspezifische Kriech-E-Moduln



$$\Delta_g(h) = \frac{2F_N \cdot (1 - \nu^2)}{E_c(t) \cdot b \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{h \cdot \sqrt{h^2 + B^2}}{B^2} \right) - \frac{\nu \cdot h}{(1 - \nu) \cdot B^2} \cdot \left(\sqrt{B^2 + h^2} - h \right) \right]$$

halbe Breite der Abplattung:
$$B = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_N \cdot R}{b} \cdot \frac{2(1 - \nu^2)}{\pi \cdot E_e}}$$

mit
$$E_e = 2 \cdot \frac{E_c(t) \cdot E_2}{E_c(t) + E_2}$$

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung (Statische Beispielrechnung 1)

Nachrechnung der statischen Verformung einer massiven Laufrolle aus Polyamid (PA 66):

Rolle: $D = 60 \text{ mm}$, $b = 20 \text{ mm}$ Lagerdurchmesser: $d = 20 \text{ mm}$,

$v_R = 3 \text{ m/s}$, $T_U = 35 \text{ °C}$, $F_N = 2,5 \text{ kN}$ (maximal 50 Stunden unter Last)

Berechnung der Lagerverformung:

$$\delta_L = \frac{1,8 \cdot F_N}{\left(\frac{2 \cdot r}{h} + 1\right) \cdot b \cdot E_1}$$

mit:

$E_1 = 2900 \text{ MPa}$

folgt:

$$\delta_L = \frac{1,8 \cdot 2500}{\left(\frac{2 \cdot 10}{20} + 1\right) \cdot 20 \cdot 2900} = \mathbf{0,0388 \text{ mm}}$$

Berechnung der Rollenabplattung:

a) Ersatzmodul

$$E_e = 2 \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \Rightarrow E_e = 2 \cdot \frac{2900 \cdot 210000}{2900 + 210000} = \mathbf{5721 \text{ MPa}}$$

b) halbe Breite

$$B = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_N \cdot R}{b} \cdot \frac{2(1 - \nu^2)}{\pi \cdot E_e}} \Rightarrow 2 \cdot \sqrt{\frac{2500 \cdot 30}{20} \cdot \frac{2(1 - 0,4^2)}{\pi \cdot 5721}} = \mathbf{1,184 \text{ mm}}$$

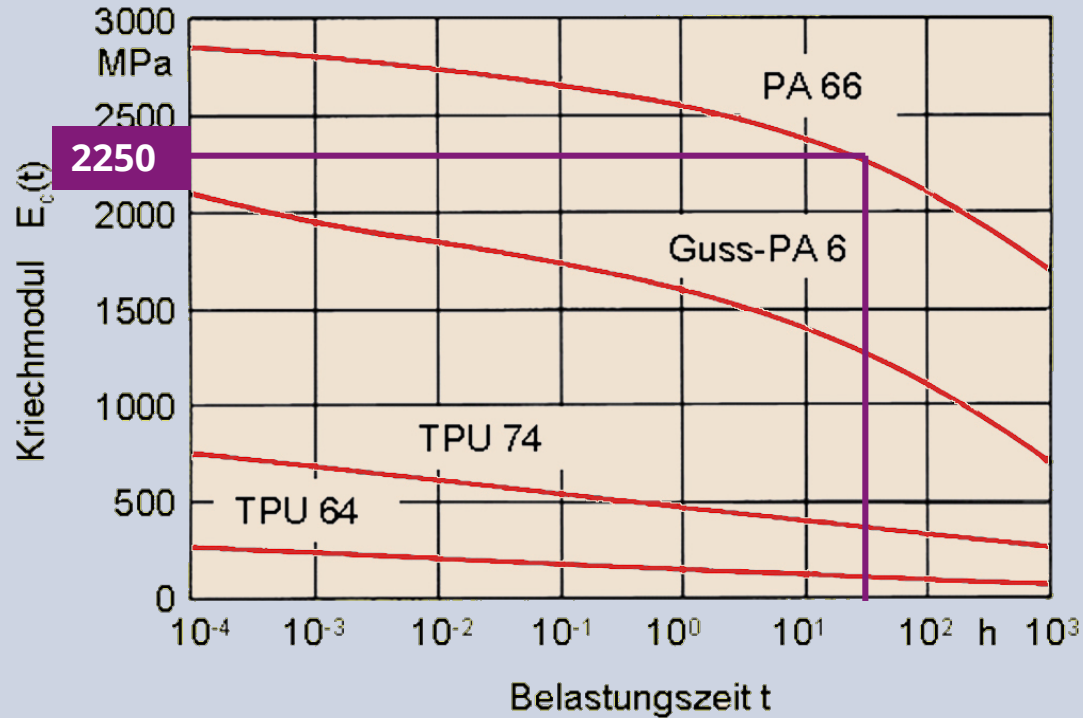
Die Gesamtverformung beträgt 0,0622 mm, dies entspricht einer relativen Verformung von **0,31 %** (<2%).

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung (Statische Beispielrechnung 2, Nachrechnung der Langzeitverformung)

a) Bestimmung des Kriech-E-Moduls:



Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung (Statische Beispielrechnung 3)

b) Bestimmung des Ersatzmoduls:

$$E_e = 2 \cdot \frac{E_c(t) \cdot E_2}{E_c(t) + E_2} \Rightarrow E_e = 2 \cdot \frac{2250 \cdot 21000}{2250 + 21000} = 4452 \text{ MPa}$$

c) Bestimmung der halben Breite der Abplattung:

$$B = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_N \cdot R}{b} \cdot \frac{2(1 - \nu^2)}{\pi \cdot E_e}} \Rightarrow 2 \cdot \sqrt{\frac{2500 \cdot 30}{20} \cdot \frac{2(1 - 0,4^2)}{\pi \cdot 4452}} = 1,34 \text{ mm}$$

d) Bestimmung der Gesamtverformung:

$$\Delta_g(h) = \frac{2F_N \cdot (1 - \nu^2)}{E_c(t) \cdot b \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{h \cdot \sqrt{h^2 + B^2}}{B^2} \right) - \frac{\nu \cdot h}{(1 - \nu) \cdot B^2} \cdot (\sqrt{B^2 + h^2} - h) \right]$$

$$\Rightarrow \Delta_g(h) = \frac{2 \cdot 2500 \cdot (1 - 0,4^2)}{2250 \cdot 20 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{20 \cdot \sqrt{20^2 + 1,34^2}}{1,34^2} \right) - \frac{0,4 \cdot 20}{(1 - 0,4) \cdot 1,34^2} \cdot (\sqrt{1,34^2 + 20^2} - 20) \right] = 0,151 \text{ mm}$$

Die Gesamtverformung von 0,151 mm entspricht 0,25 % des Rollendurchmessers und ist zulässig.

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung („Dynamische“ Nachrechnung)

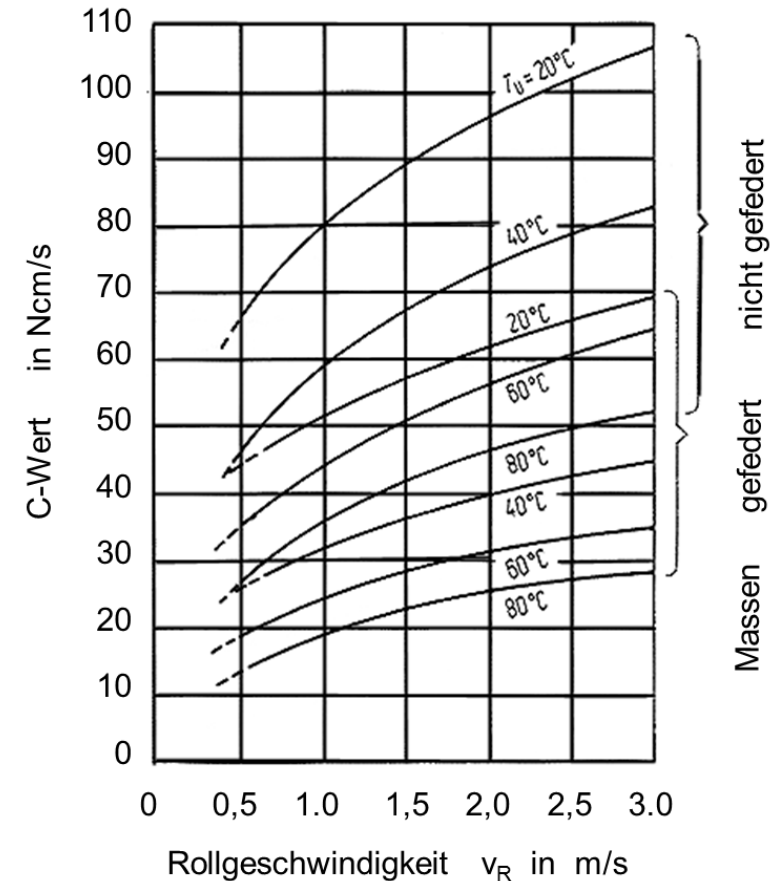
Infolge hoher Rollgeschwindigkeiten oder großer Walkarbeit wird die Laufrolle dämpfungsbedingt erwärmt (evtl. bis zum Schmelzpunkt). Im Stillstand unter Last verformt sich die „warme“ Rolle dann extrem. Das Temperaturmaximum tritt in der Regel unterhalb der Oberfläche im Rollenkörper auf. Die dabei verrichtete Verlustarbeit ist abhängig vom verformten Volumen, der Pressung und der Frequenz. In der Praxis wird folgende empirisch ermittelte Zusammenhang für die Nachrechnung genutzt:

$$F_N = \sqrt{\frac{C \cdot b}{k \cdot f}}$$

Die zul. Normalkraft F_N wird in N angegeben, der C -Wert der nebenstehenden Darstellung entnommen, die Breite b wird in cm angegeben, die Frequenz f in s^{-1} und der Temperaturfaktor k wie folgt ermittelt:

$$k = (1,3 \cdot 10^{-6}) + (2,0 \cdot 10^{-10} \cdot T_U^2)$$

(Angabe der Umgebungstemperatur T_U in °C)



Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung („Dynamische“ Beispielrechnung)

Lösung:

1) Temperaturfaktor:

$$k = (1,3 \cdot 10^{-6}) + (2,0 \cdot 10^{-10} \cdot T_U^2)$$

$$k = (1,3 \cdot 10^{-6}) + (2,0 \cdot 10^{-10} \cdot 35^2)$$

$$k = 1,55 \cdot 10^{-6}$$

2) Frequenz:

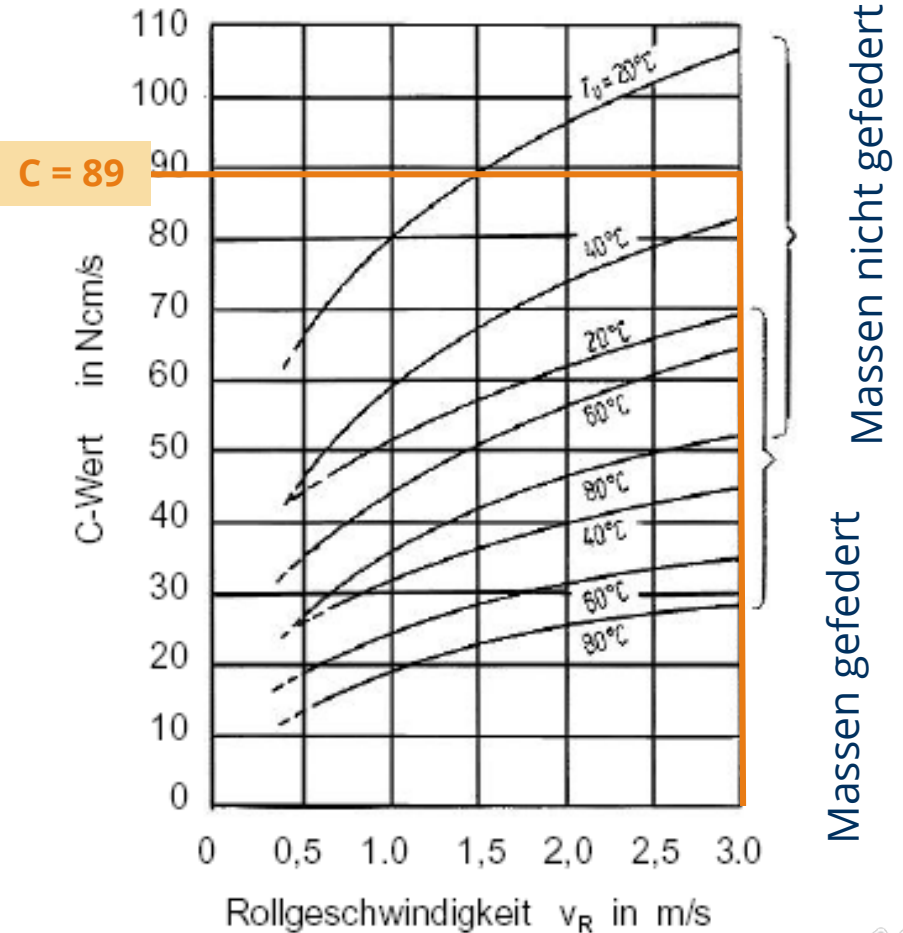
$$f = 15,92 \text{ s}^{-1}$$

3) C-Wert:

$$C = 89 \frac{\text{N} \cdot \text{cm}}{\text{s}}$$

4) Maximale Normalkraft:

$$F_N = \sqrt{\frac{C \cdot b}{k \cdot f}} \quad \underline{F_N = 2,69 \text{ kN}}$$

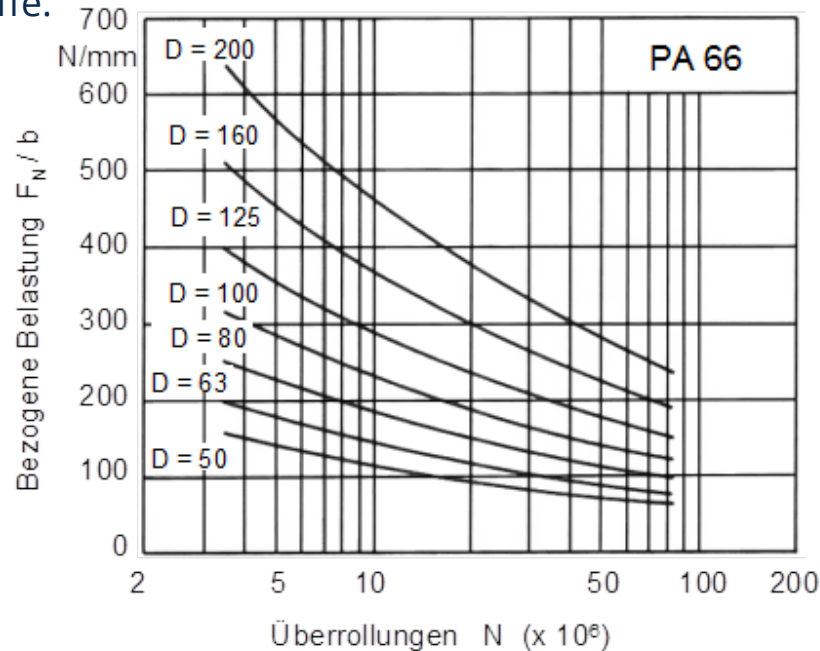


Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung (Verschleißabschätzung 1)

Bei der Wälzreibung, bei der neben einem reinen Abrollen noch Gleitvorgänge auftreten, ist ein Gleitverschleiß in der Kontaktzone nicht zu vermeiden. Gezielte Untersuchungen zum schlupfabhängigen Verschleiß sind nicht bekannt. Allerdings existieren „Wöhlerkurven“ für einige thermoplastische Rollenwerkstoffe.



Generell kann zu dieser Problematik festgehalten werden:

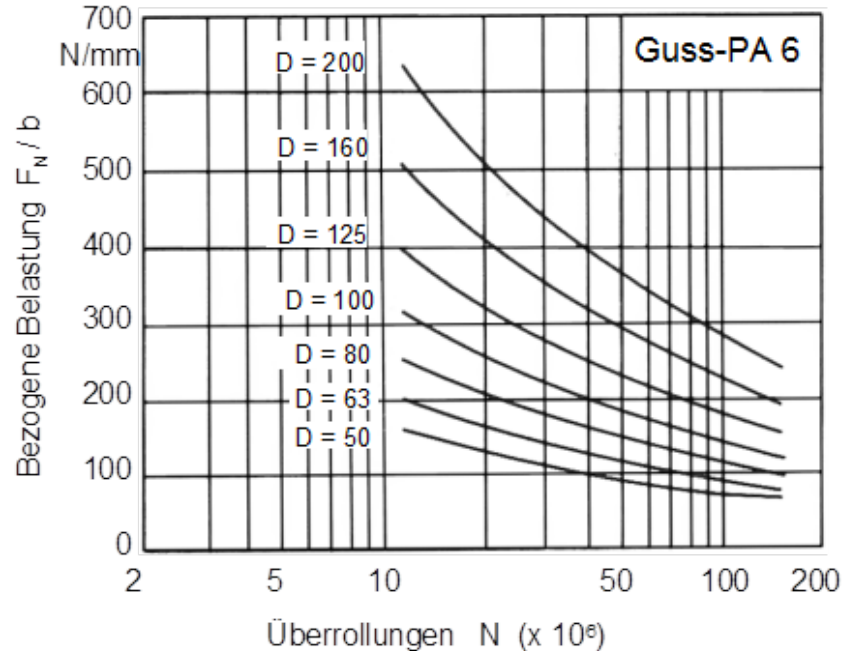
Für einen qualitativen Werkstoffvergleich hinsichtlich des Verschleißverhaltens eignen sich Werte, die mit der DIN ISO 7148 fixierten Prüfverfahren (z.B. mit dem Stift/Scheibe-Verfahren) ermittelt werden.

„Wöhlerkurven“ zur Charakterisierung erster Oberflächenschäden an Laufrollen aus PA 66

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.4 Nachrechnung (Verschleißabschätzung 2)



- Werden Laufbahnen aus Stahl ständig überrollt, so erfolgt eine signifikante Glättung dieser. Die Oberflächenveränderung führt zu einer deutlichen Verschleißminderung an der Kunststofflaufrolle.
- Verschleißintensive konstruktive Lösungen wie Spurkränze sollten weitgehend vermieden werden.

„Wöhlerkurven“ zur Charakterisierung erster Oberflächenschäden an Laufrollen aus Guss-PA 6

Hinweis: Eine Voraussetzung für die Anwendung der „Wöhler-Diagramme“ ist ein Erwärmungsgrenzwert des Rollkörpers von **4 K** gegenüber der Umgebungstemperatur.

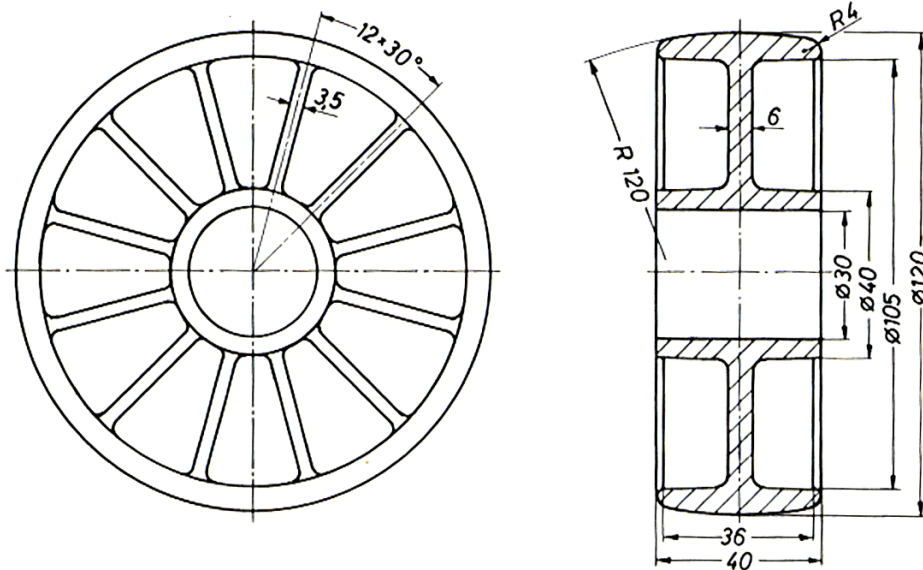
Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.5 Gestaltung von Laufrollen

Spritzgegossene Laufrollen 1:

Großvolumige Spritzgussteile sind oft mit Lunkern und/oder hohen Eigenspannungen behaftet außerdem wird die Verweilzeit in der Form vergrößert. Deshalb sind auch Laufrollen spritzgussgerecht zu gestalten. Als Beispiel dient hier eine verrippte Stegrolle:



Spritzgegossene Stegrolle mit Versteifungsrippen

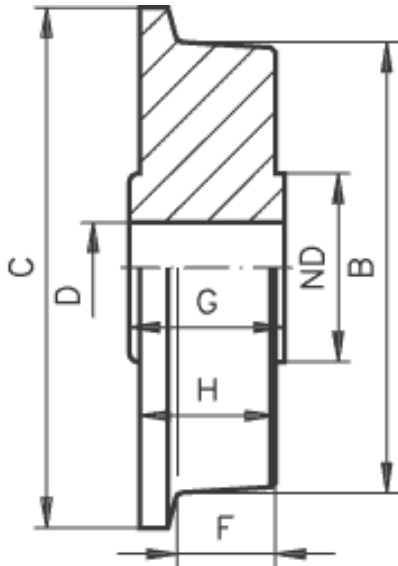
Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.5 Gestaltung von Laufrollen

Spritzgegossene Laufrollen 2:

Beispiel einer konventionellen Laufrolle:



*Spritzgegossene Spurkranzrolle
aus Polyamid 66*

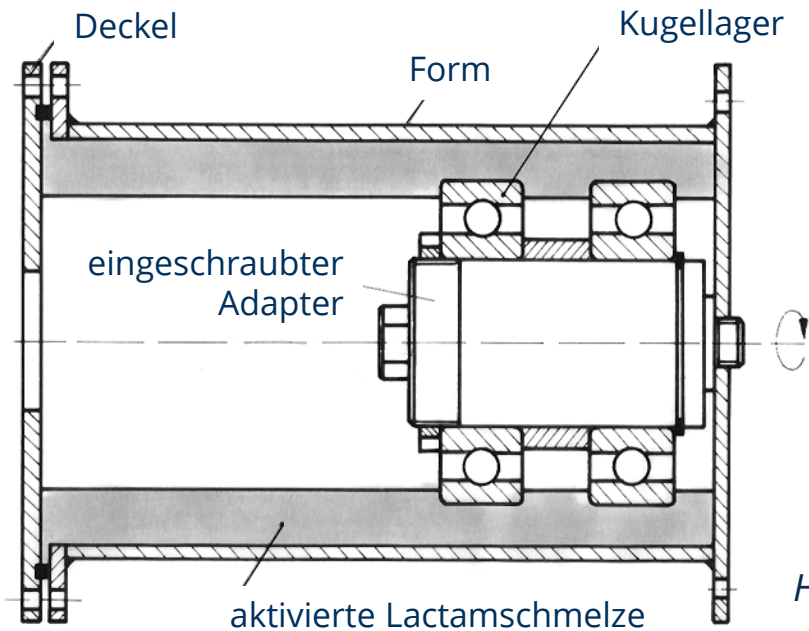
Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.5 Gestaltung von Laufrollen

Spanend hergestellte Laufrollen 1:

Bei der spangebenden Fertigung von Laufrollen aus extrudierten, gegossenen anderweitig hergestellten Halbzeugen sind lediglich die Zerspanungsbedingungen zu beachten (Vermeidung von thermischen Schädigungen an der Oberfläche).



Schleudergießen:

Besonders bei sehr großen Bauteilen ist die Herstellung im Schleudergussverfahren ein sehr elegante Art Laufrollen zumindest endkonturnah herzustellen. Dabei wird etwa die aktivierte anionische Schnellpolymerisation von Epsiloncaprolactam oder Laurinlactam angewendet. Bei diesem Verfahren polymerisiert die aktivierte Lactamschmelze in einer schnell rotierenden Form. Weiterhin ist es problemlos möglich Komplettierungsteile wie Kugellager mit einzugießen:

Horizontal angeordnete Schleudergussvorrichtung

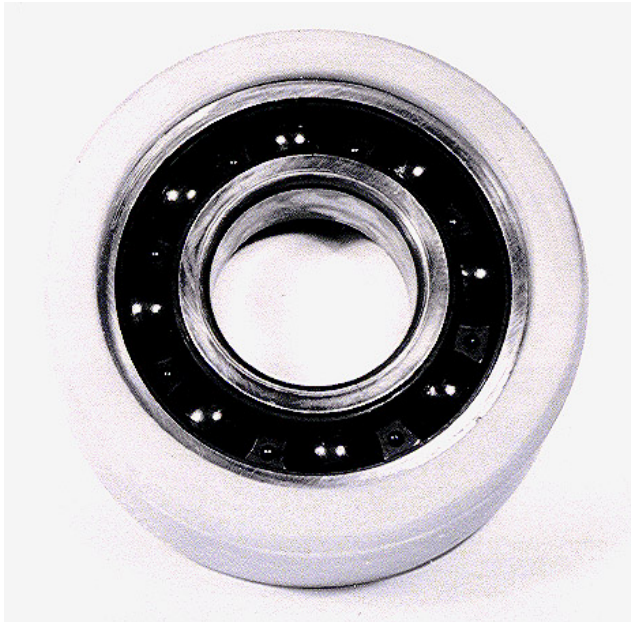
Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.5 Gestaltung von Laufrollen

Spanend hergestellte Laufrollen 2:

Im folgenden Bild ist eine im Schleuderguss hergestellte kugelgelagerte Laufrolle dargestellt. (Das Bauteil wurde spanend nachgearbeitet.)



In der Praxis werden Laufrollen oft kugelgelagert eingesetzt. Dabei kommen Montageprinzipien zur Anwendung, die zum Teil erhebliche Leichtbauereffekte (vgl. folgende Bilder) zulassen. Wenn es die Beanspruchung zulässt, ist es möglich die Rollennabe gleich als Gleitlagerstelle auszulagern.

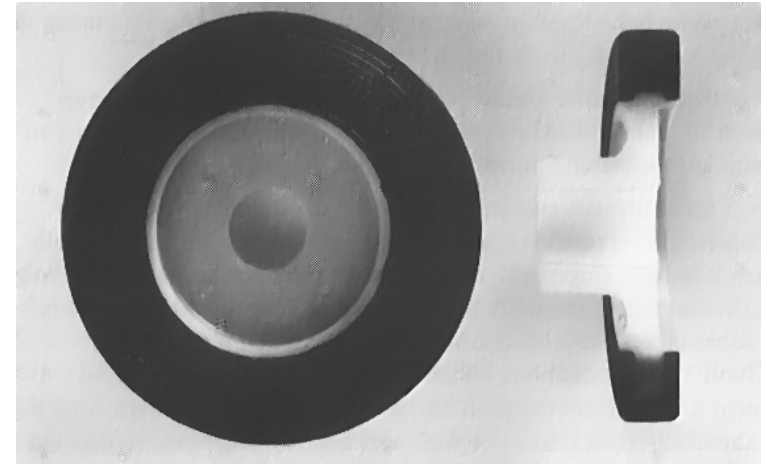
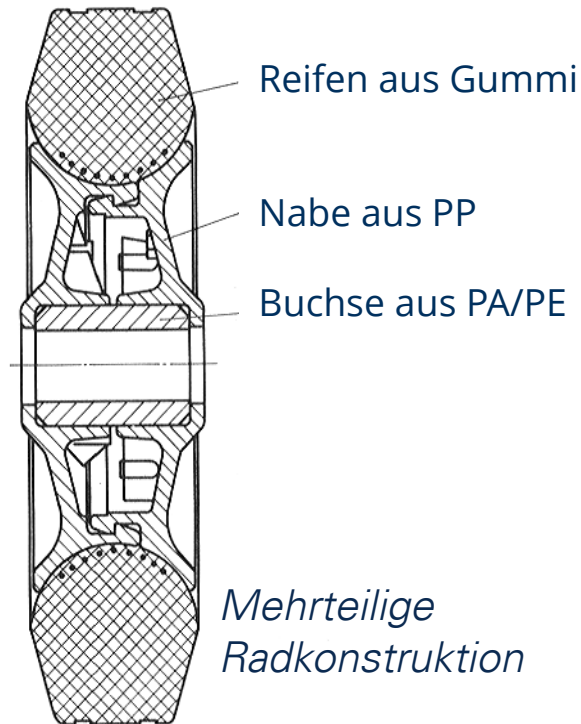
Kugelgelagerte Laufrolle aus Guss-Polyamid 6

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.5 Gestaltung von Laufrollen

Ausgeführte Beispiele für Kunststoffrollen und -räder:



*Mit PUR umgossene
POM-Radscheibe*

Kugelgelagerte Laufrolle aus TPU

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.6 Kunststoff-Laufringe für Kugellager (Einführung)

Kugellagerlaufringe aus Kunststoffen werden charakterisiert durch:

- einen besonders leichten, geräuscharmen und wartungsfreien Lauf
- Kugellager mit Kunststofflaufringen werden vorwiegend aus POM hergestellt.
- Anwendungsgebiete sind in der Möbelindustrie, Schubladen, Teleskopschienen und andere Auszüge mit erhöhten Ansprüchen an den Komfort.



Zur Berechnung der Außenringe wird zum einen eine Analyse der inneren Rollenbahn bei ihrem Kontakt mit den in Kunststoffkäfigen gefassten Metallkugeln durchgeführt und zum anderen die äußere Lauffläche des Außenringes mit der Laufunterlage untersucht.

Kugellager mit Laufringen aus POM

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.6 Kunststoff-Laufringe für Kugellager (Tragfähigkeit)

Maßreihe	Innen Ø in mm	Außen Ø in mm	Breite mm	instat. Tragfähigkeit in N	Maßreihe	Innen Ø in mm	Außen Ø in mm	Breite mm	instat. Tragfähigkeit in N
16002	15	17 32	35 8	8 130	6200 6201	10	12 30	32 9	10 120
16003	20	42	8	170	6202 6203	15	35	11	150
16004	25	30 47	55 8	9 210	6204 6205	17	20 40	47	12 180
16005	35	40 62	68 9	9 220	6206 6207	25	30 52	62	14 220
16006	45	75	10	250		35	72	15	280
16007				280	6300 6301			16	17 330
16008	10	12 26	28 8	8 290	6302 6303	10	12 35	37	370
16009	15	17 32	35 9	10 330	6304 6305	15	17 42	47	11 420
	20	25 42	47 12	12	6306	20	25 52	62	12
6000 6001	30	35 55	62 13	14 70		30	72	13	14 190
6002 6003	40	68	15	110				15	17 210
6004 6005	45	75	16	140				19	250
6006 6007				180					300
6008 6009				220					360
				250					420
				280					490
				320					
				340					
				380					

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.6 Kunststoff-Laufringe für Kugellager (Beanspruchung der inneren Rollbahn)

Die kritische Belastung der Lauffläche tritt im Ruhezustand auf, wenn über eine lange Zeit die gleiche Stelle der inneren Rollbahn punktförmig mit einer Laufkugel belastet wird. Bis zu einer Umfangsgeschwindigkeit der Lager von 1 m/s ist daher die statisch zulässige Belastung als Bemessungskriterium heranzuziehen:

- Bei der Auslegung wird die Flächenpressung zwischen der Kugel und der inneren Rollbahn des Außenrings betrachtet.
- Die Beanspruchungsgrenze ist gekennzeichnet durch den bleibenden Eindruck der Kugel in der Rollbahn der nicht mehr als 0,1 mm betragen darf (deutliche Rundlaufstörungen).
- Die Bestimmung der maximale Flächenpressung p_H erfolgt in der Praxis wiederum auf der Grundlage der Hertz'schen Theorien.

$$p_H = \frac{1}{w^{2/3}} \cdot \frac{1,85}{\mu v} \cdot \sqrt[3]{(\sum \rho)^2} \cdot \frac{5 \cdot F}{z}$$

Quelle: Erhard/Strickler

Nur zum Gebrauch in der Vorlesung! Kommerzieller Vertrieb und elektronische Publikation nicht gestattet.

Sonderprobleme der Kunststofftechnik
MW-MB-LB-20 Konstruieren mit Kunststoffen

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.6 Kunststoff-Laufringe für Kugellager (Berechnung 1)

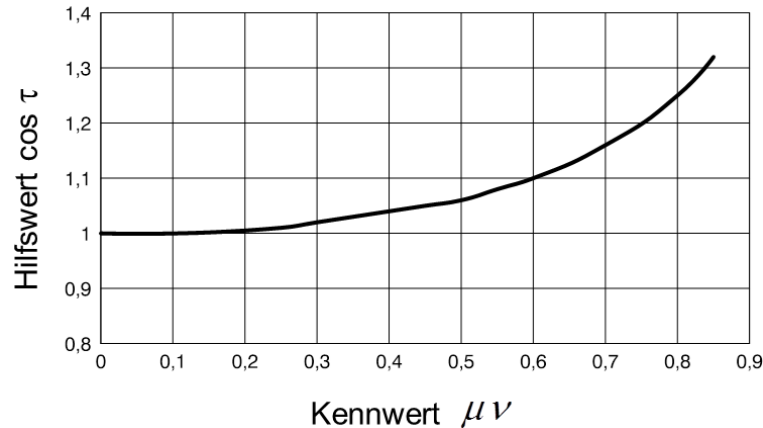
w = Korrekturglied für Paarung verschiedener Werkstoffe

μv = Kennwert zur Charakterisierung der Druckverteilung zwischen Kugel und Laufrille

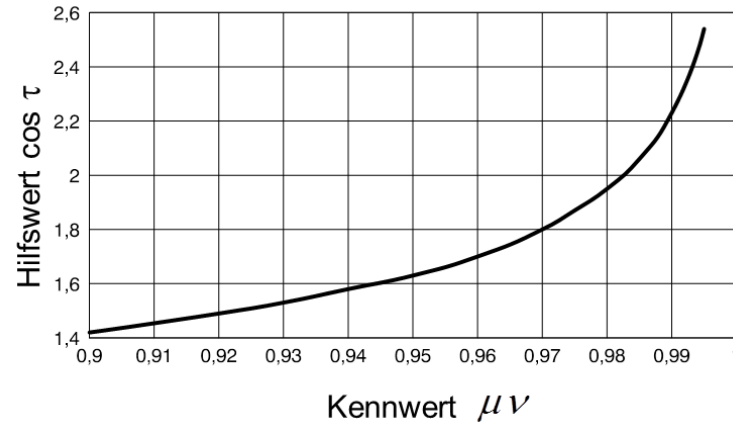
$\sum \rho$ = Summe der reziproken Radien der Krümmungsebenen

F = Belastung des Lagers [N]

z = Anzahl der Kugeln



Hilfswert $\cos \tau$:



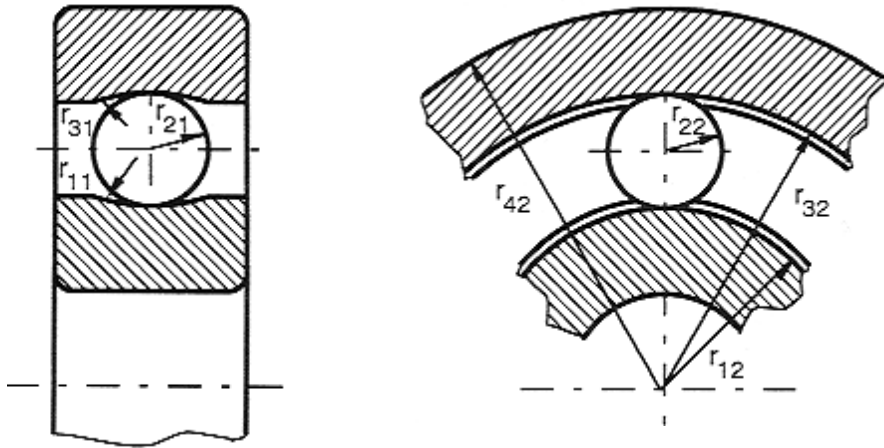
$$\cos \tau = \frac{\rho_{11} - \rho_{12} + \rho_{21} - \rho_{22}}{\sum \rho_{1-2}}$$

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.6 Kunststoff-Laufringe für Kugellager (Berechnung 2)

Bezeichnung der Krümmungsradien eines Lagers:



Während die Kugeln in allen Richtungen gleiche Krümmungsradien r_{22} aufweisen, ergeben sich für die Rille des Laufrings zwei Hauptkrümmungsradien r_{31} und r_{32} . Das Vorzeichen der Krümmungsradien ist positiv, wenn die Krümmung des betrachteten Körpers (z. B. bei den Kugeln konvex, dagegen negativ, wenn sie konkav ist (wie bei der Rille des Laufringes). Die Summe der reziproken Werte der Hauptkrümmungsradien $\rho = 1/r$ beträgt für ein

Kugellager im Berührungsbereich Innenring/Kugel:

$$\sum \rho = -\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}.$$

Im Berührungsbereich Außenring/Kugel:

$$\sum \rho = \rho_{21} + \rho_{22} - \rho_{31} - \rho_{32}.$$

Maschinenelemente

6 Laufrollen und Seilscheiben I

6.6 Kunststoff-Laufringe für Kugellager (Berechnung 3)

Das Korrekturglied w ergibt sich aus E-Moduln und den Querkontraktionszahlen:

$$w = \frac{1}{2} \cdot \frac{E_{St}}{(1 - \nu_{St}^2)} \left[\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right]$$

Die Indizes St steht für Stahl, 1 für einen Partner (hier ebenfalls Stahl) und 2 für einen anderen Partner, hier POM.

Bei Stahl und POM als Partner ergibt sich:

$$w \approx 97000/E_2$$

b) Belastung der äußeren Lauffläche

Die Belastbarkeit p_H der äußeren Lauffläche des Laufringes gegenüber der Laufbahn wird ähnlich berechnet wie die Bandage einer Laufrolle. Normalerweise wird die Grenze der Belastbarkeit der äußeren Lauffläche nicht erreicht, es kommt vielmehr zum vorzeitigen Versagen der inneren Lauffläche.

