

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

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



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

- 5.6 Ausführungsformen
- 5.7 Gleitführungen
- 5.8 Verbundgleitlager

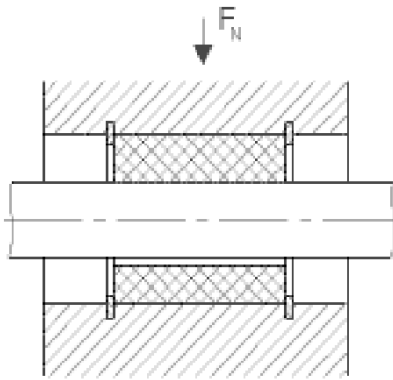


Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.6 Ausführungsformen (Montagerichtlinien)

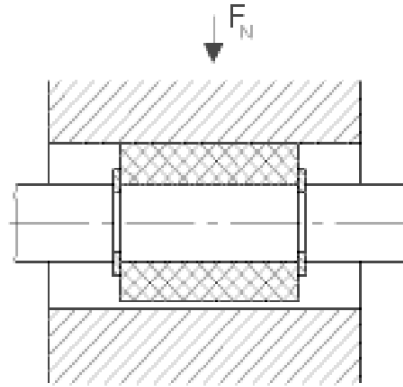
Einbaulager



Charakteristik:

Buchse fest im Gehäuse,
zwischen Welle und
Buchse Spiel

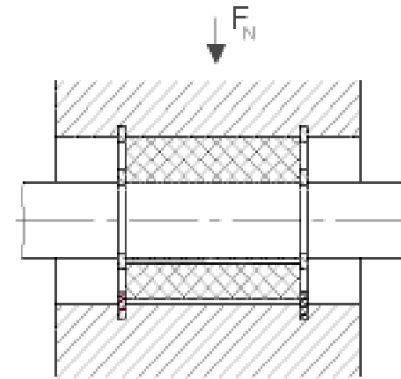
Mantellager



Charakteristik:

Buchse fest auf der Welle,
zwischen Buchse und
Gehäuse Spiel

Schwimmendes Lager



Charakteristik:

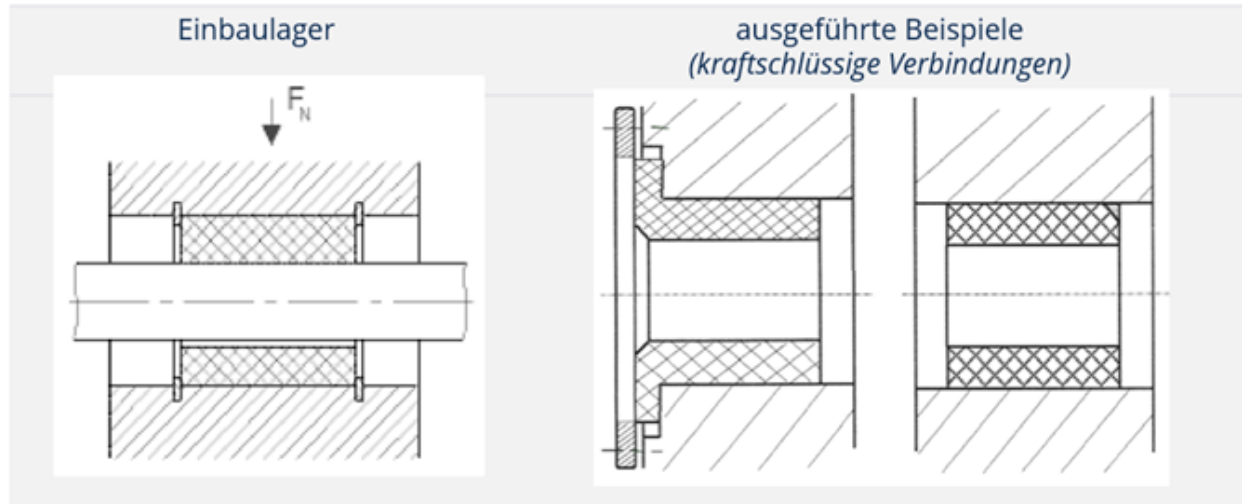
Die Buchse ist weder auf
der Welle noch im
Gehäuse radial festgelegt
(nur axial gesichert)



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.6 Ausführungsformen (Montagerichtlinien, Einbaulager 1, kraftschlüssige Verbindungen)



Hinweis:

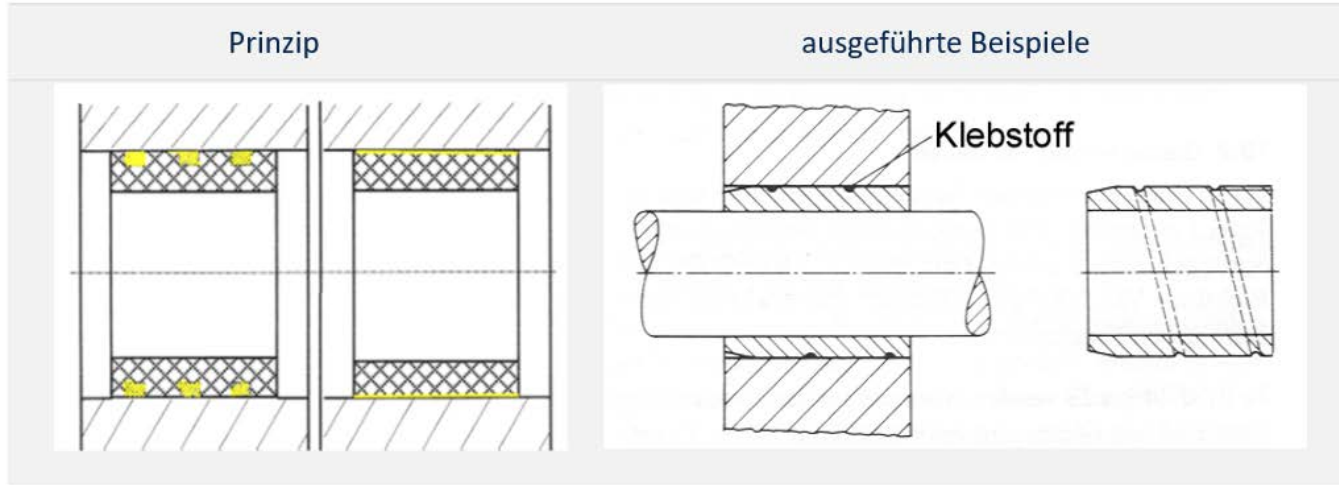
Kraftschlüssige Verbindungen bedingen Schwierigkeiten bezüglich des Lagerspiels. Weiterhin kommt es durch das viskoelastische Materialverhalten der Kunststoffe zu Spannungsrelaxationen, die zur Lockerung der Buchse führen können. (Es ist daher anzustreben, zusätzlich formschlüssige Elemente zur Montage vorzusehen.)



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.6 Ausführungsformen (Montagerichtlinien, Einbaulager 2, stoffschlüssige Verbindungen)



Hinweis:

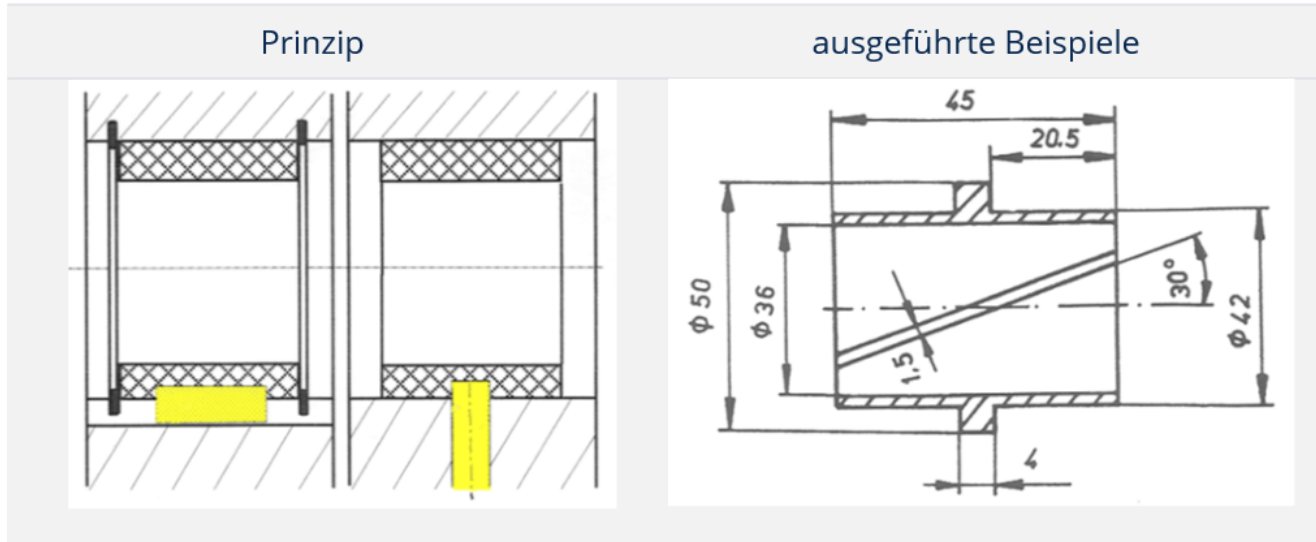
Einige Kunststoffe, vor allem wenig- oder unpolare thermoplastische Werkstoffe wie PE-HD oder PTFE, lassen sich mit herkömmlichen Klebstoffen kaum montieren. Hier sollte der Stoffschluss vermieden werden!



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.6 Ausführungsformen (Montagerichtlinien, Einbaulager 3, Formschlüssige Verbindungen)



Hinweis:

Durch die günstige Herstellung mittels Spritzguss lassen sich ausgefallene konstruktive Varianten für formschlüssige Verbindungen herstellen.

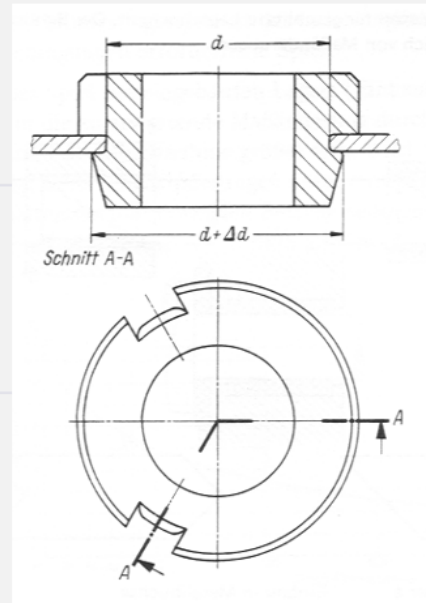
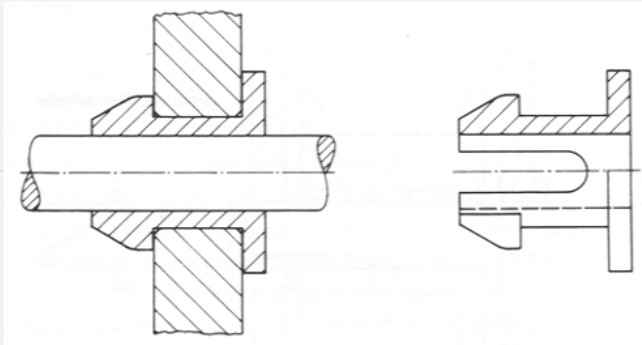


Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.6 Ausführungsformen (Montagerichtlinien, Einbaulager 4, Schnappverbindungen)

ausgeführte Beispiele



Hinweis:

Bei der Anwendung von Schnappverbindungen werden die besonderen Gestaltungs- und Verformungseigenschaften thermoplastischer Werkstoffe ausgenutzt. In der Praxis kommen einfache, nahezu beliebig lösbare u. sehr wirtschaftliche konstruktive Lösungen zum Einsatz.

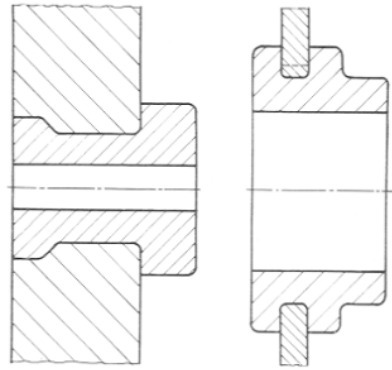


Maschinenelemente

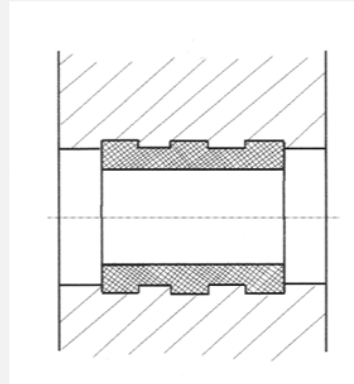
5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.6 Ausführungsformen (Montagerichtlinien, Einbaulager 5, kombinierter Form-/Stoffschluss)

ausgeführte Beispiele



In Platinen eingespritzte Kleinlager
(Montagespritzguss)



Nachträglich thermisch gefügtes Lager
(z. B. mit Ultraschall oder Hochfrequenz)

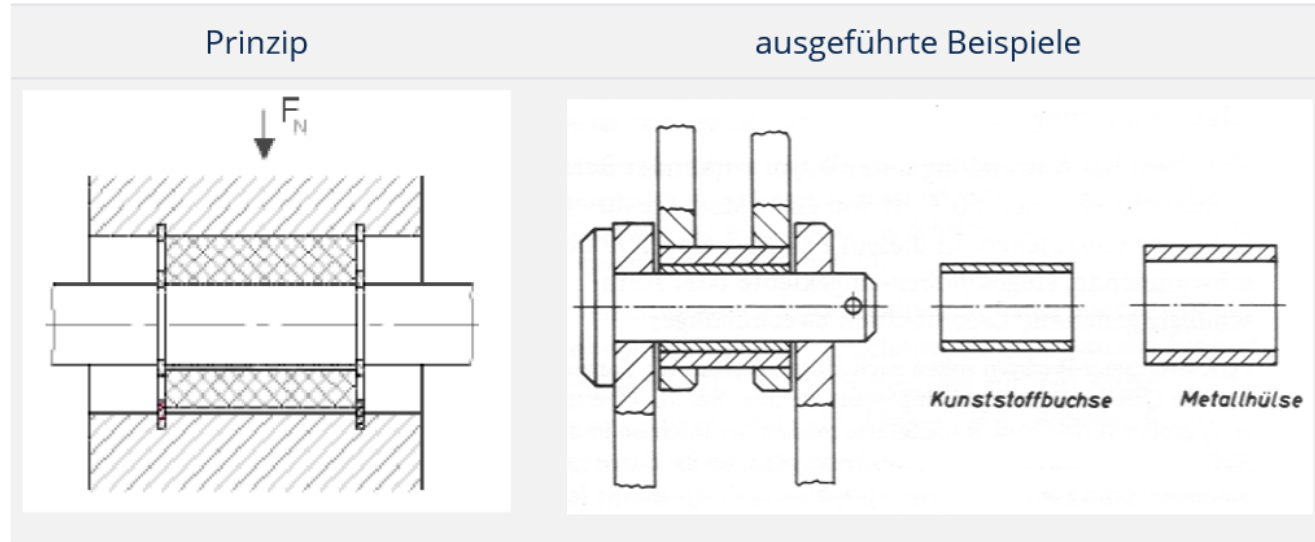
Hinweis:

Beim nachträglichen thermischen Fügen kann entweder die Buchse erwärmt werden (etwa mittels Mikrowellen) oder das Gehäuse (z. B. induktiv).

Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.6 Ausführungsformen (Montagerichtlinien, Schwimmendes Lager)



Hinweis:

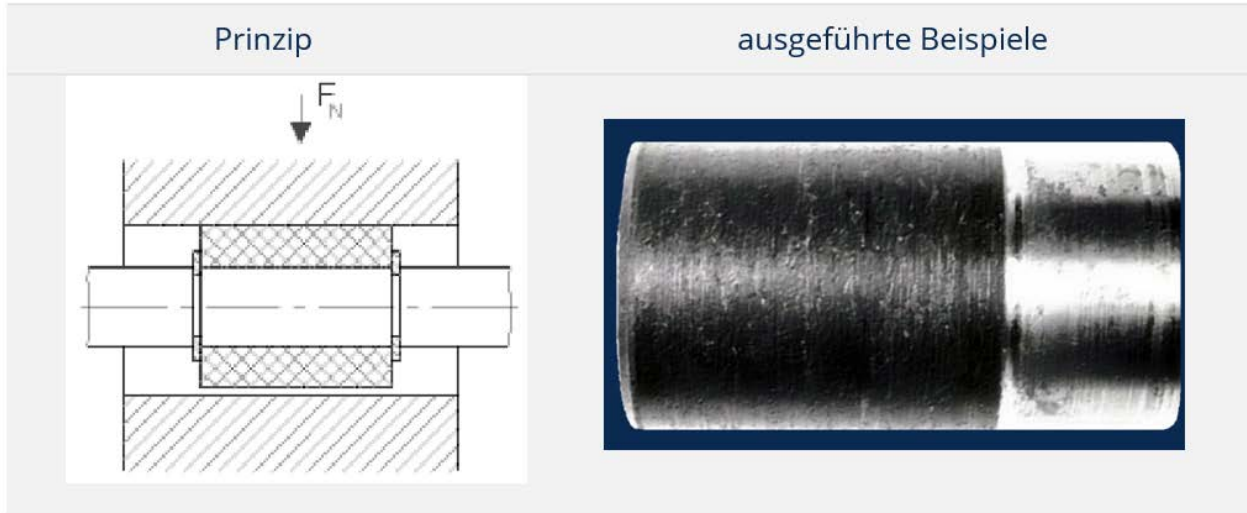
Diese konstruktive Lösung erfordert sowohl eine geschliffene Welle oder Achse als auch eine innengeschliffene Stahlbuchse. Sie ist also vergleichsweise aufwändig und teuer.



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.6 Ausführungsformen (Montagerichtlinien, Mantellager)



Hinweis:

Diese konstruktive Lösung ist besonders effektiv, wenn es möglich ist, das Lager in Form einer Beschichtung auf die Welle aufzubringen. Dies erfolgt beispielsweise im Wirbel-sinterverfahren mit PA11 oder durch Auftragen von Gleitlacken.



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.7 Gleitführungen (Einleitung)

Wie bei wartungsfreien Gleitlagern aus Kunststoffen werden von Gleitführungen gute selbstschmierende Eigenschaften sowie hohe Verschleißfestigkeiten bei ausreichenden Festigkeits- und Steifigkeitskennwerten verlangt. Grundsätzlich eignen sich alle bisher vorgestellten polymeren Lagerwerkstoffe auch für diesen Anwendungsfall, doch besonders geeignet sind folgende Kunststoffe:

- Gusspolyamide
- Öl-, PE- und PTFE-modifizierte Gusspolyamide
- PET und schmierstoffmodifiziertes PE

Beanspruchungskollektiv

Im Gegensatz zu Gleitlagern, die meistens kontinuierlich unter hohen Geschwindigkeiten laufen, arbeiten Gleitplatten und Führungsschienen normalerweise unter Bedingungen, die zu keiner signifikanten Erwärmung dieser Maschinenelemente führen. Die Laufgeschwindigkeiten sind relativ gering und der Betrieb verläuft eher aussetzend als kontinuierlich.



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.7 Gleitführungen (Beanspruchungskollektiv)

Unter diesen Bedingungen kann angenommen werden, dass bei derartigen Konstruktionen die auf Reibung beruhende Erwärmung nicht zum Ausfall führen kann. Wie angedeutet, ist in der Praxis die Berechnung von pressungs- und gleitgeschwindigkeitsinduzierten Verformungen und Erwärmungen selten notwendig. Es können statt dessen die nachstehenden begrenzenden Druckwerte als Anhaltspunkte für die meisten Anwendungen eingesetzt werden.

PA	PET	Belastung	Bewegung	Schmierung
28 MPa	21 MPa	unterbrochen	unterbrochen	periodisch
14 MPa	10 MPa	kontinuierlich	unterbrochen	periodisch
3,5 MPa	2,5 MPa	kontinuierlich	kontinuierlich	keine

*Zulässige Pressungen
(bei 20 °C) in Abhängigkeit
von den Einsatz-
bedingungen*

Schmierung

Generell erfolgt die Schmierung von Gleitführungen unter den gleichen Bedingungen, die auch für die Gleitlager gelten. Beispielsweise verbessert das Tempern der Gleitstücke im Ölbad oder eine einmalige Fettschmierung beim Einbau die verschleißbedingte Lebensdauer dieser Elemente signifikant. Besonders günstig ist die Einarbeitung „innerer Schmierstoffe“ wie PE, PTFE oder Öl.



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

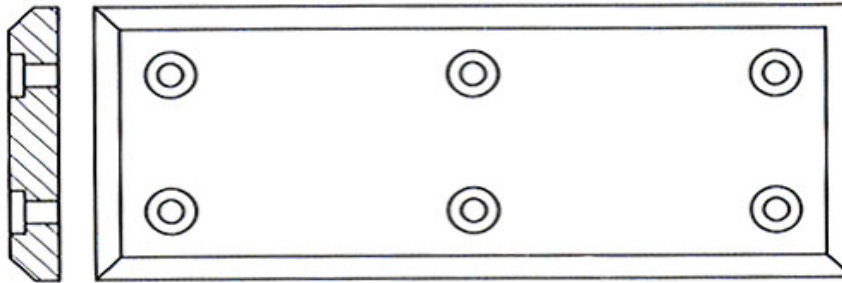
Sonderprobleme der Kunststofftechnik
MW-MB-LB-20 Konstruieren mit Kunststoffen

Maschinenelemente

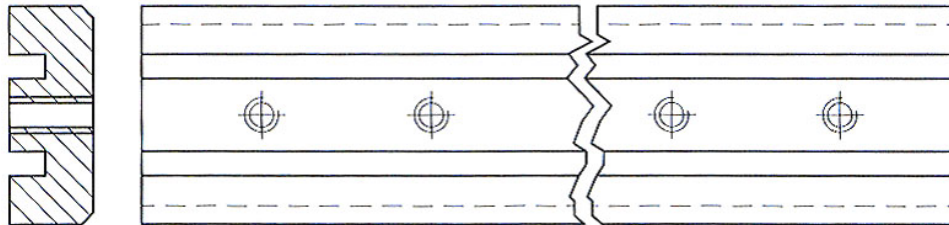
5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.7 Gleitführungen (Konstruktionshinweise 1)

In den folgenden Bildern sind einige Beispiele für ausgeführte Gleitstücke dargestellt:



Beispiel 1



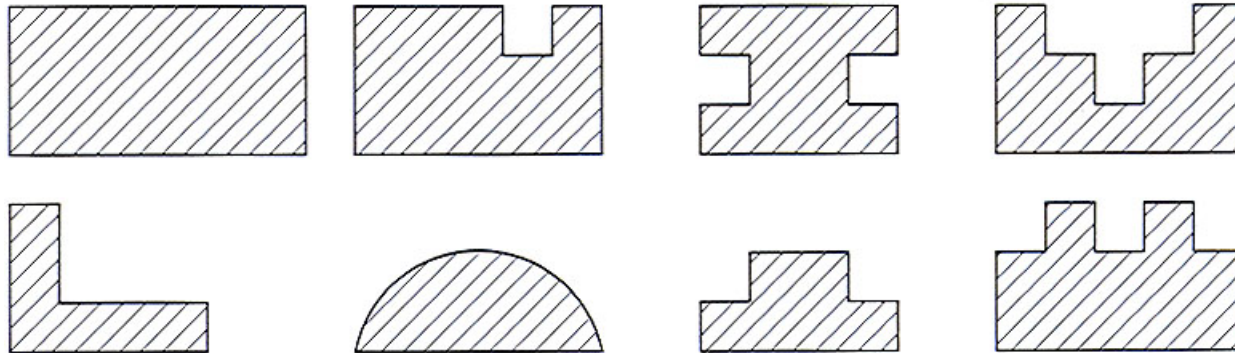
Beispiel 2

Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.7 Gleitführungen (Konstruktionshinweise 2)

Eine Zusammenstellung „gängiger“ Profile zeigt folgendes Bild:



Beispielprofile

Befestigung

Gleitplatten oder Führungsleisten mit mechanischen Gleitfunktionen werden im Regelfall auf Tragstrukturen aus Stahl oder Werkstoffen montiert, wobei meist Verschraubungen zum Einsatz kommen.



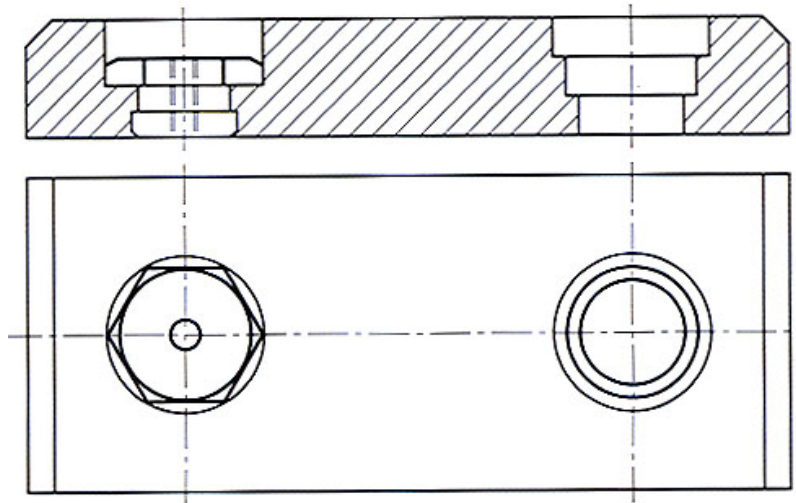
Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.7 Gleitführungen (Konstruktionshinweise 3)

Befestigung

Werden die Gleitelemente fertig oder endkonturnah gegossen ist es möglich Krafteinleitungselemente – etwa Gewindeeinsätze – als Insert in die Struktur mit einzugießen. Weiterhin ist es möglich derartige Elemente auch nachträglich zu fügen (Bild).



Beispiele für die Verwendung von Gewindeeinsätzen

Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.7 Gleitführungen (Konstruktionshinweise 4)

Befestigung

Ist eine höhere Umgebungstemperatur zu erwarten, muss mit einer hohen Längendehnung (ca. zehnmal so groß wie bei Stahl) gerechnet werden. Festverschraubte Leisten können sich unter diesen Umständen wellenförmig verwerfen. Es ist deshalb darauf zu achten, kurze Führungssegmente zu verwenden und mit Langlochkonstruktionen und Dehnungsfugen zu arbeiten. Weiterhin können die Leisten in Gleitnuten, T-Nuten oder dergleichen gehalten werden.

Anwendungsgebiete

Derartige Gleit- bzw. Führungselemente kommen in Teleskopkränen, Müllpressen, Straßen- und Schienenfahrzeugen, Holzbearbeitungsmaschinen und -anlagen, Verpackungs- und Abfüllanlagen, in Fördersystemen etwa für Kettenführungen und vieles anderes mehr zum Einsatz

Für die Erstellung des Skriptes verwendete Literatur

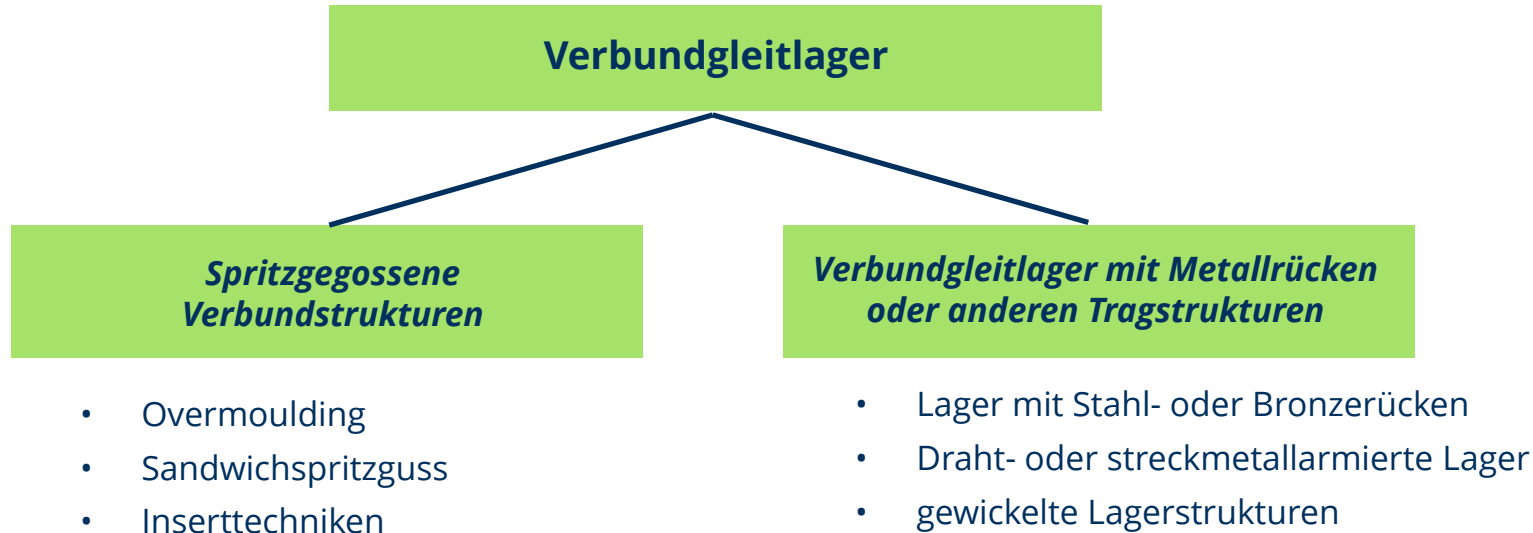
- Erhard, G. : "Konstruieren mit Kunststoffen", Carl-Hanser-Verlag München, Wien 1993
- Ehrhard, G; Strickle, E.: Maschinenbauelemente aus thermoplastischen Kunststoffen. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1985
- Ehrenstein, G. W.: „Mit Kunststoffen konstruieren“, Carl-Hanser-Verlag München, Wien 2002
- Knauer, B.; Wende, A.: Konstruktionstechnik und Leichtbau. Berlin: Akademie – Verlag 1988
- Diverse Firmenschriften



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

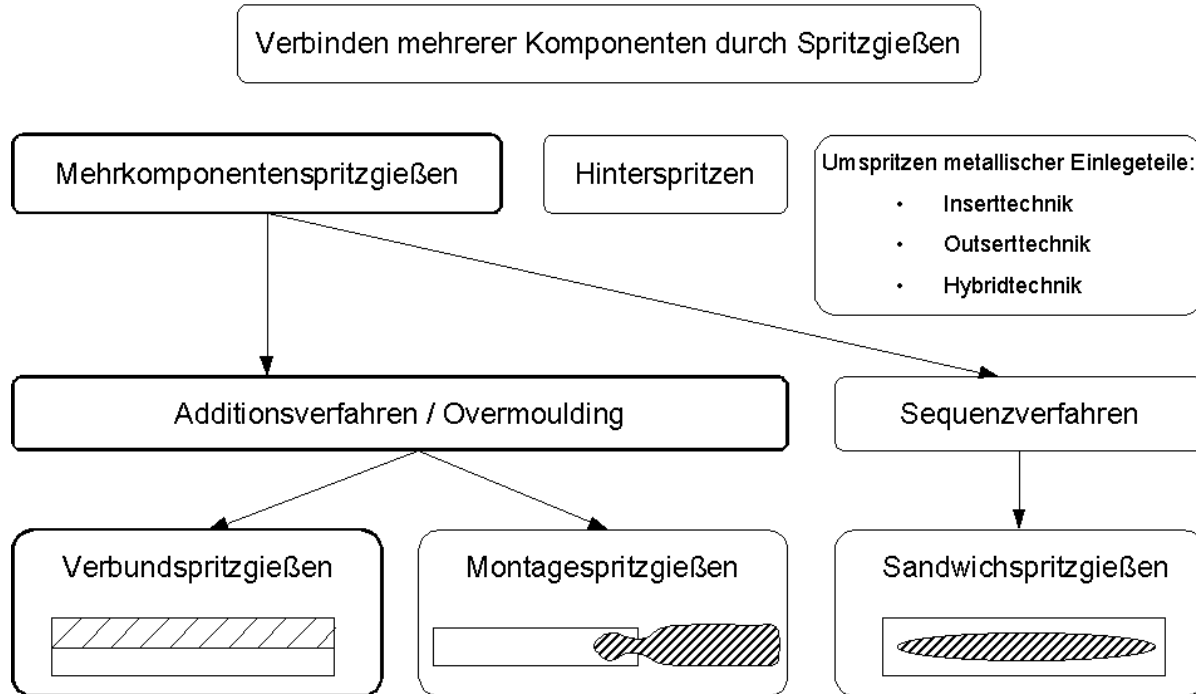
5.8 Verbundgleitlager (Einführung 1)



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager (Einführung 2)



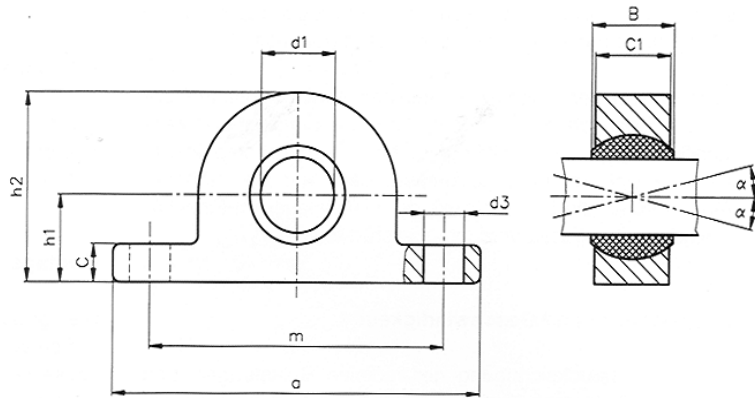
Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

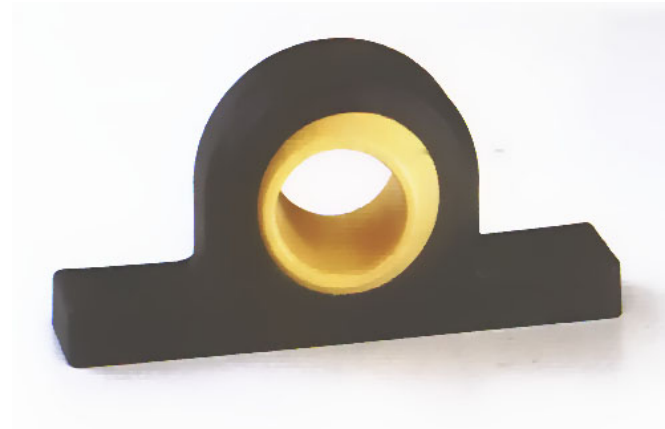
5.8 Verbundgleitlager (Overmoulding 1, Beispiele)

Bei der Lagerherstellung mittels dem Overmouldingverfahren wird in der ersten Stufe ein Lagerkörper etwa aus einem tribologisch optimierten technischen Thermoplast spritzgegossen. In der zweiten Verfahrensstufe wird dieser z. B. mit einem glasfaserverstärkten Kunststoff überspritzt.

Beispiel 1: *System Lager/Lagerbock*



konstruktive Ausführung



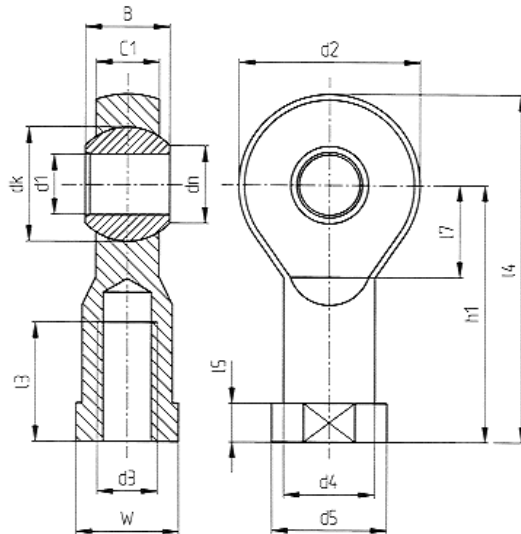
spritzgegossenes Fertigprodukt

Maschinenelemente

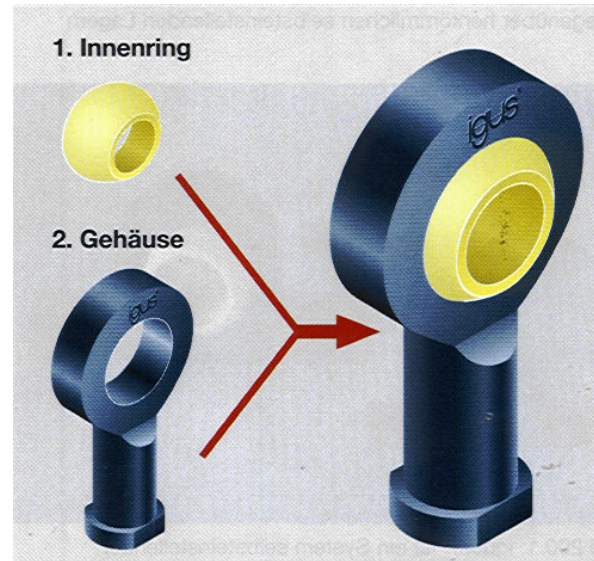
5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager (Overmoulding 2, Beispiele)

Beispiel 2: System Stehlager



konstruktive Ausführung



spritzgegossenes Fertigprodukt

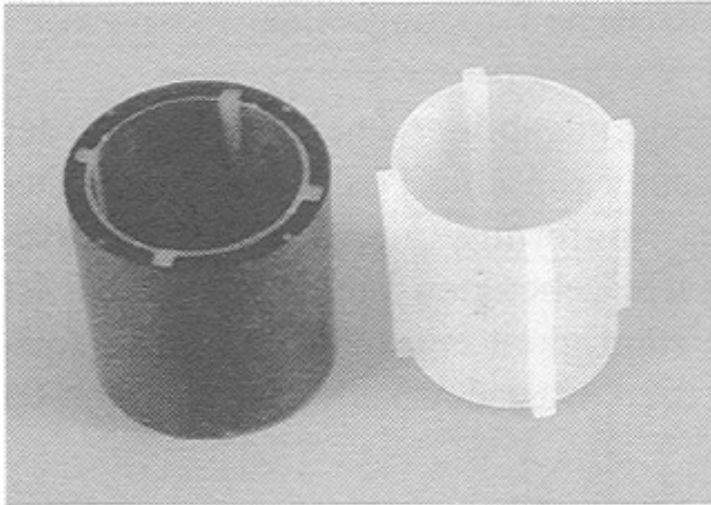


Maschinenelemente

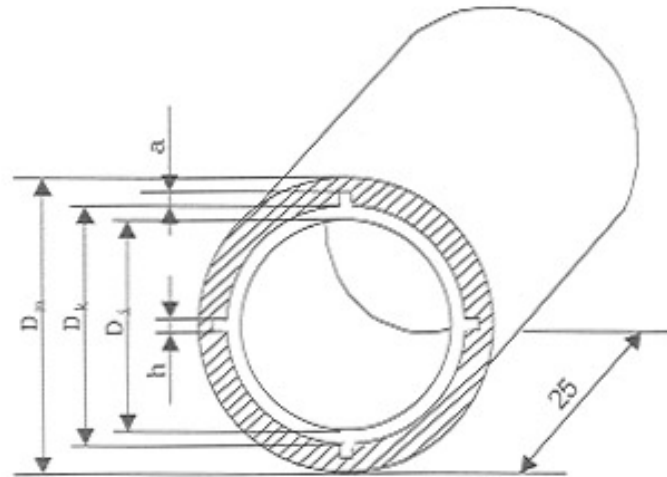
5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager (Overmoulding 3, Beispiele)

Beispiel 3: Spritzgegossenes Verbundgleitlager



spritzgegossenes Fertigprodukt



konstruktive Ausführung



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

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

Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Übersicht)

Verbundgleitlager mit Kunststoffflaubschicht:

Durch die Kombination von meist speziell modifizierten Kunststoffen mit metallischen Trägerwerkstoffen kann der Anwendungsbereich von wartungsfreien Kunststoffgleitlagern beträchtlich erweitert werden. Durch diesen speziellen Aufbau ergeben sich gegenüber reinen Kunststofflagern folgende Vorteile:

- kein Fließen, deshalb höhere statische Belastbarkeit
- bessere Wärmeableitung, deshalb höhere dynamische Beanspruchbarkeit
- kein Quellen durch Wasseraufnahme
- fast keine Spielverengung durch Temperaturerhöhung
- sehr kleine Lagerspiele möglich
- fester Sitz in der Aufnahmebohrung über den gesamten Temperaturbereich

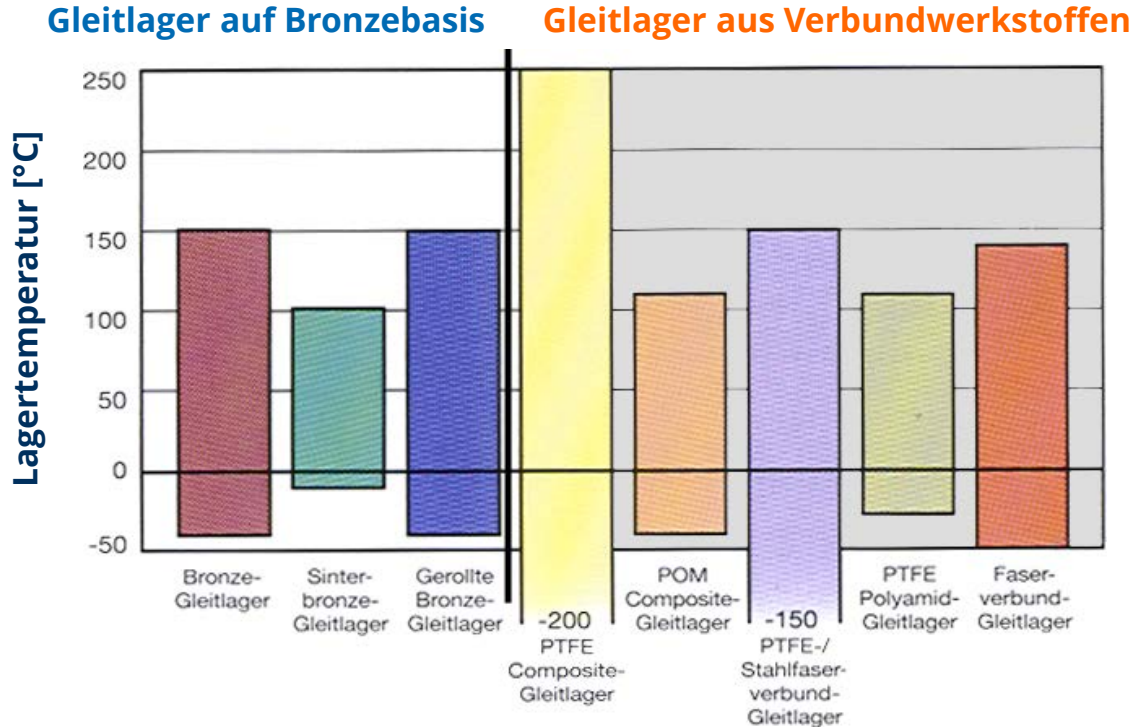
Je nach Aufbau und verwendeter Kunststoffmodifikation können dennoch die bekannten Vorteile der monolithischen Kunststoffgleitlager genutzt werden.



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

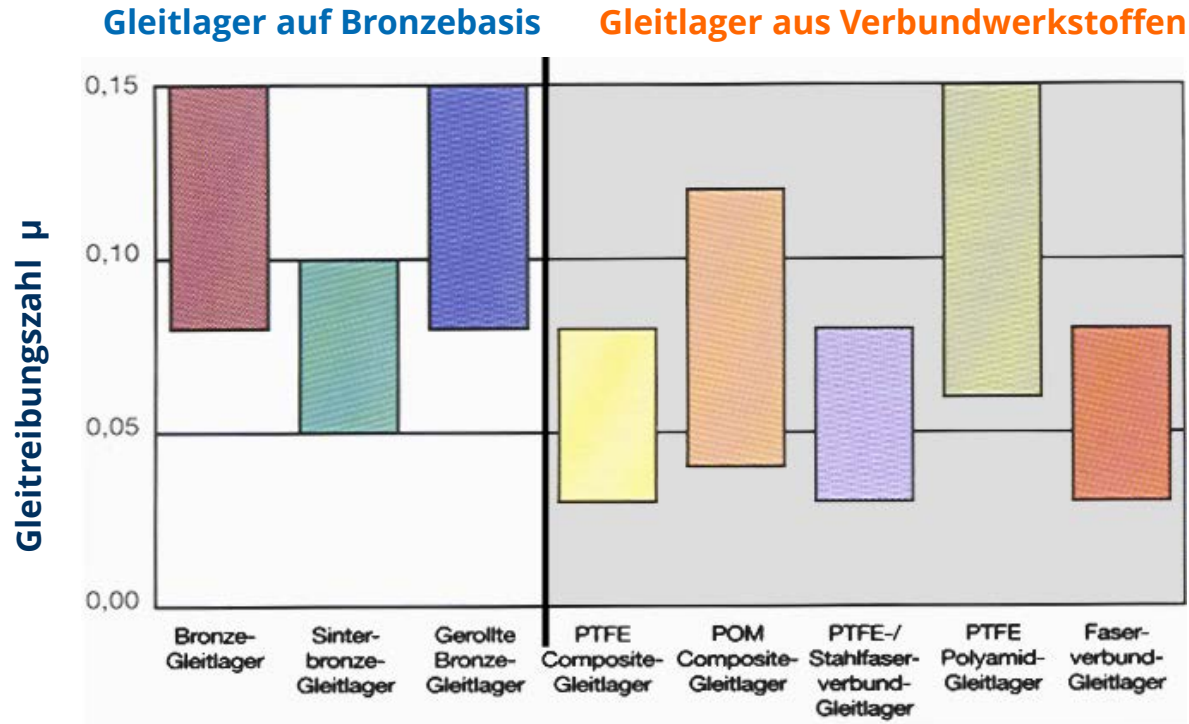
5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Thermische Beanspruchbarkeit)



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

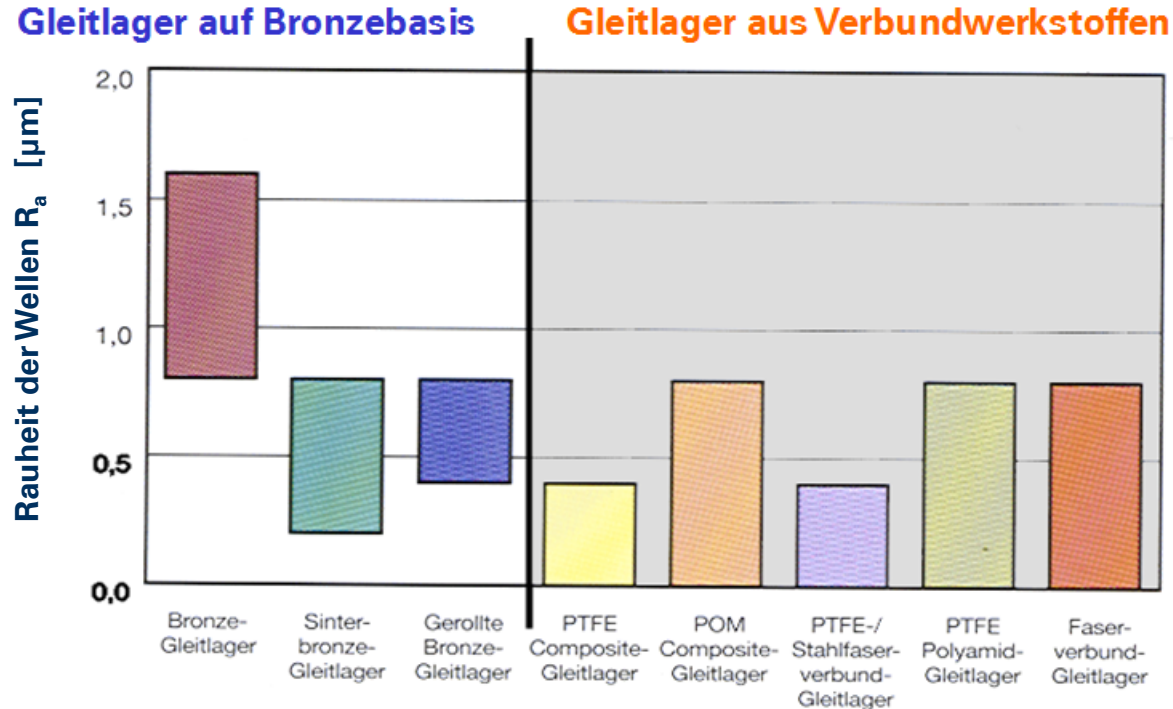
5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Gleitreibungszahlen)



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Anforderungen an die Rauheiten der Wellen)

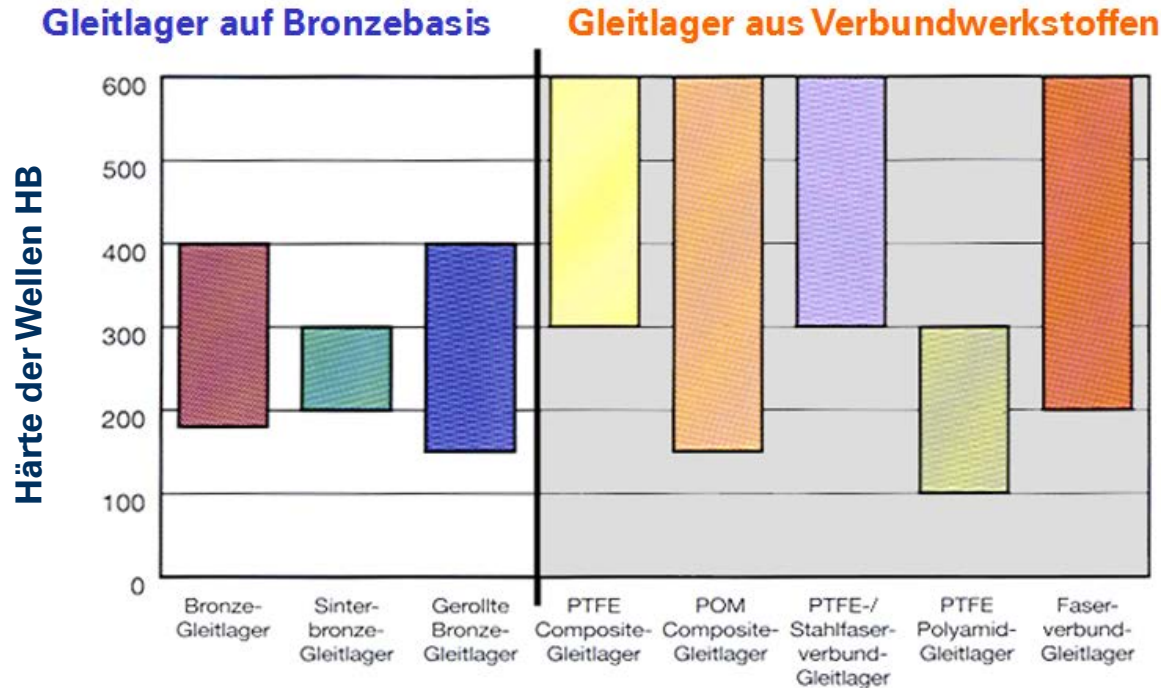


Nur zum Gebrauch in der Vorlesung! Kommerzieller Vertrieb und elektronische Publikation nicht gestattet.

Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

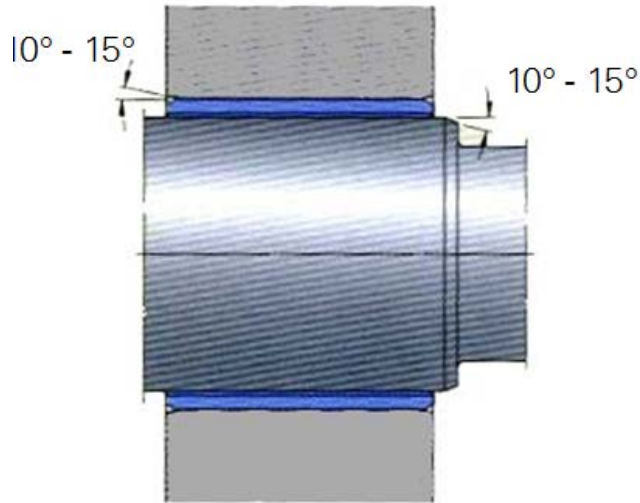
5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Anforderungen an die Härte der Wellen)



Maschinenelemente

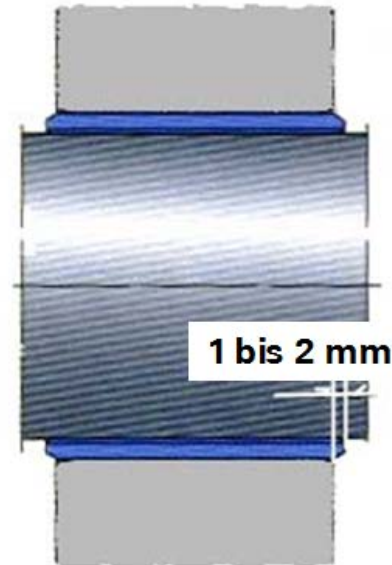
5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Anforderungen an die Gestaltung der Anschlussbauteile 1)



Einbaufasen

Buchsenüberstand zur Verminderung der Kantenpressung



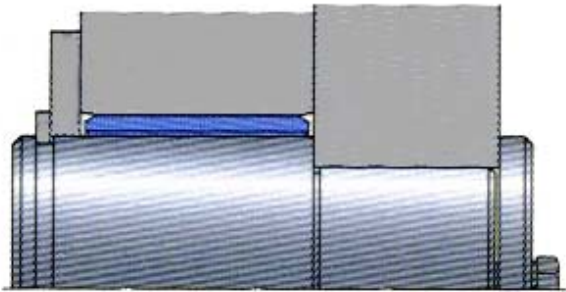
Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Anforderungen an die Gestaltung der Anschlussbauteile 2)

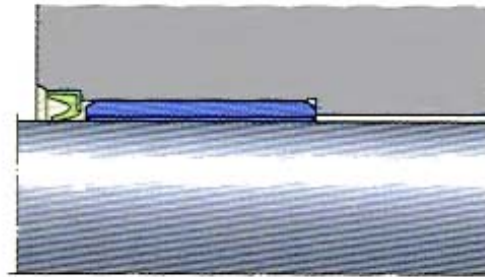
Besonders bei Verbundgleitlagern mit einer sehr dünnen Gleitschicht kann die Gebrauchsdauer einer Lagerung durch die Wirksamkeit der Abdichtung der Lagerstelle entscheidend beeinflusst werden.

Die einfachste Form einer Abdichtung ist die Spaltdichtung:



Spaltdichtung

Aufwendiger ist die Abdichtung der Lagerstelle mit niedrigbauenden Radial-Wellendichtringen



Radial-Wellendichtring



Maschinenelemente

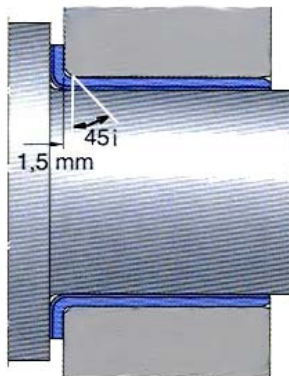
5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Gestaltung von Lagerstellen mit radialer und axialer Beanspruchung)

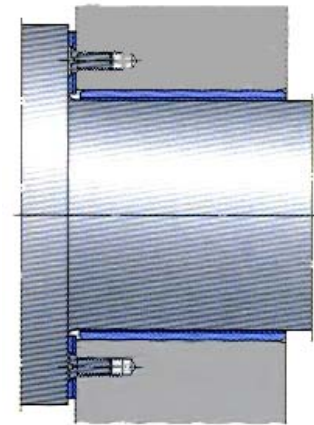
Ein großer Teil der Verbundgleitlager lässt sich als Bundbuchse ausführen und somit bis zu einem gewissen Grad auch axial beanspruchen. Sind größere Axialkräfte abzutragen kommen in der Regel Anlaufscheiben zum Einsatz:

Der Übergang von der Gehäusebohrung zur Anlagefläche ist ausreichend zu bemessen und die Gegenfläche soll die Gleitfläche am Bund komplett überdecken.

Anlaufscheiben werden in der Regel mit Schrauben am Gehäuse befestigt.



Bundbuchse



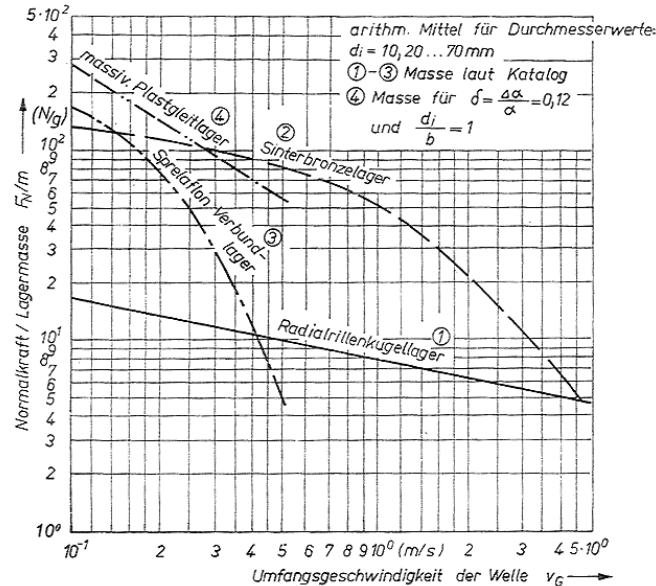
Anlaufscheibe

Maschinenelemente

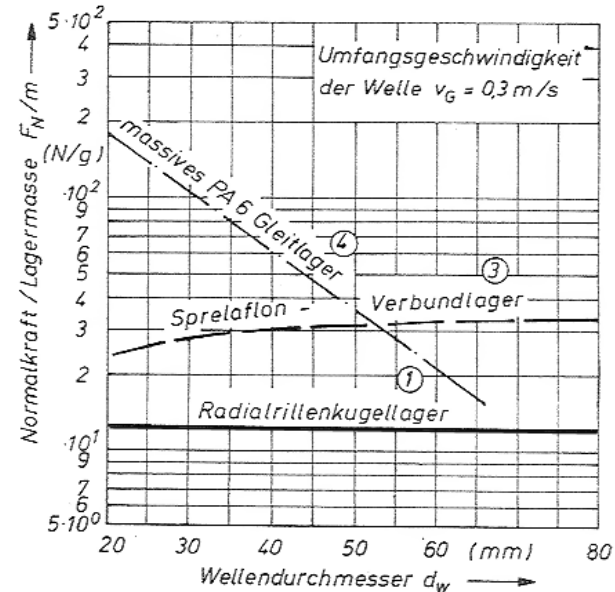
5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Leichtbau)

Der Einsatz von Verbundgleitlagern mit Kunststoffauflagefläche führt zu beachtlichen Leichtbaueffekten:



Spezifische Normalkraft in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit



Spezifische Normalkraft in Abhängigkeit von der Baugröße

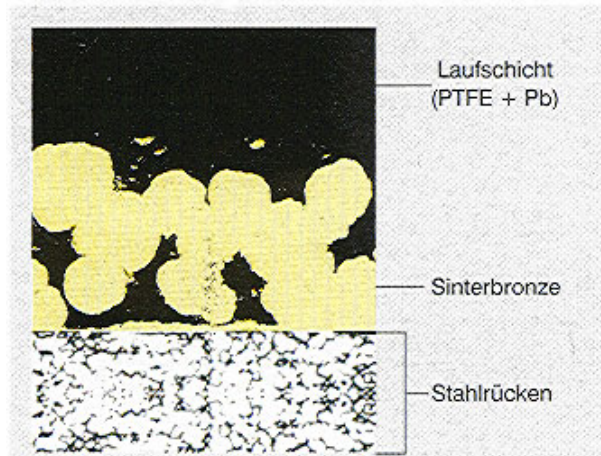
Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Verbundgleitlager Typ 1)

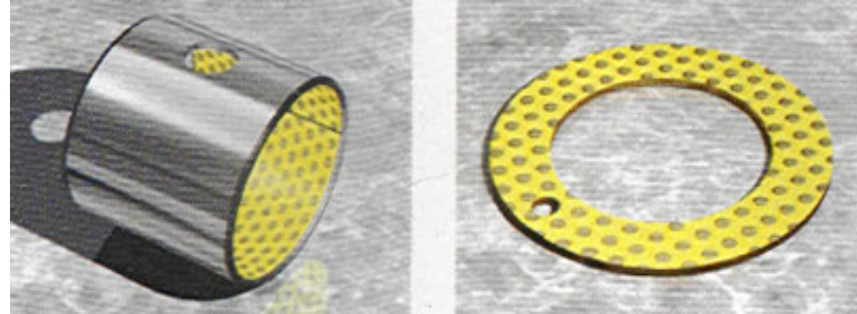
Materialaufbau

Metall-Kunststoff-Verbundwerkstoff
St + Sinterbronze + PTFE + Pb



*Verbundaufbau
Anlaufscheibe*

- Stahlrücken mit porös aufgesinterter Zinnbronze-Schicht, Füllung und Gleitschicht aus modifiziertem PTFE
- Gerollte Buchsen, Anlaufscheiben, Stanz- und Formteile, Lagerschalen, sphärische Lager

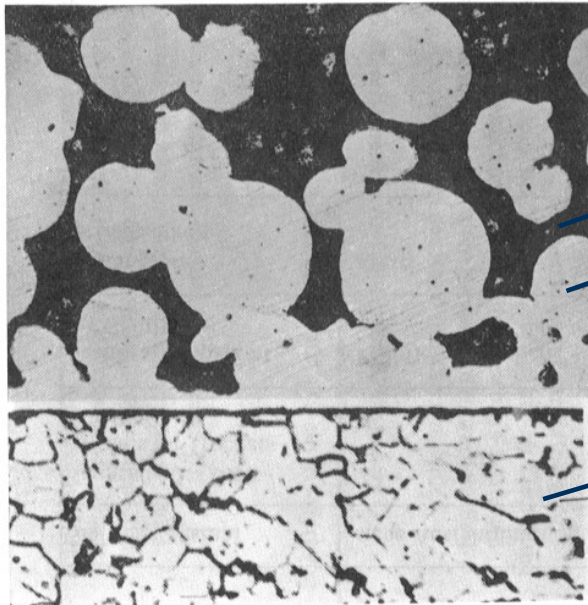


gerollte Lagerbuchse

Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Verbundgleitlager Typ 2)



Verbundaufbau

- Bronzerücken mit porös aufgesinterter Zinnbronzeschicht, Füllung und Gleitschicht aus modifiziertem PTFE
- Gerollte Buchsen, Anlaufscheiben, Stanz- und Formteile, Lagerschalen, sphärische Lager
- Der Bronzerücken verbessert im Vergleich zum Stahlrücken die Korrosionsbeständigkeit und die Wärmeleitfähigkeit der Lager. Die Lager sind antimagnetisch.
- Einsatzgebiete im Außenbereich z. B. bei Wassereinwirkung

Legende:

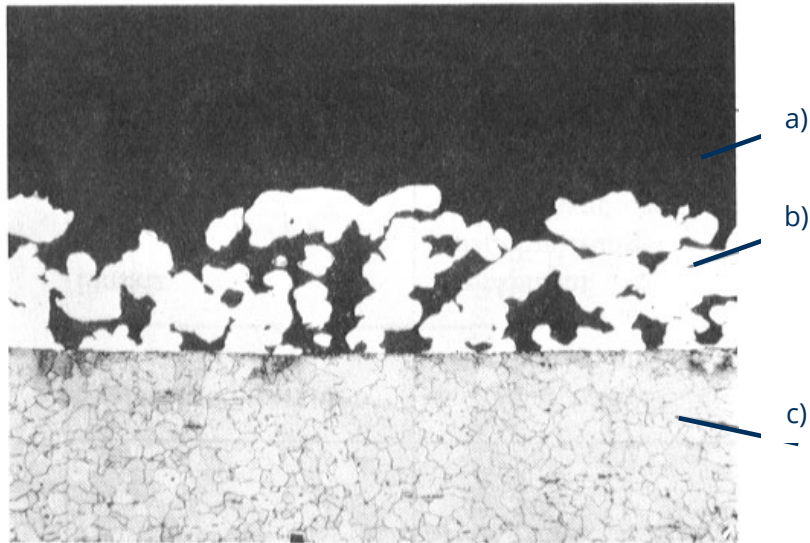
- a) PTFE
- b) Zinnbronze
- c) Tragschicht aus Bronze



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Verbundgleitlager Typ 3)



Verbundaufbau

- Stahlrücken mit porös aufgesinterter Zinnbronzeschicht, Gleitschicht aus modifizierten Thermoplasten (z. B. PTFE-modifiziertes PEEK)
- Gerollte Buchsen, Anlaufscheiben, Stanz- und Formteile, Lagerschalen, sphärische Lager

Legende:

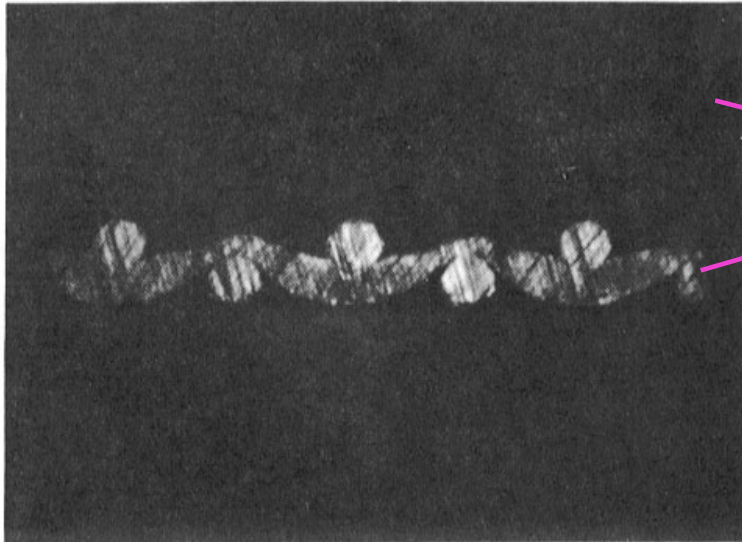
- a) Gleitschicht aus modifizierten Thermoplasten
- b) Zinnbronze
- c) Tragschicht aus Stahl



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Verbundgleitlager Typ 4 und 5)



Verbundaufbau

- a) • Leichtformbares nachgesintertes Zinnbronzegewebe (Typ 4) oder an den Knotenpunkten verschweißtes Gewebe aus Stahl (Typ 5), eingelagert in modifizierte PTFE-Folien
- b) • Folienlager, Anlaufscheiben, Stanz- und Formteile, Lagerschalen, sphärische Lager, gerollte und tiefgezogene Lager

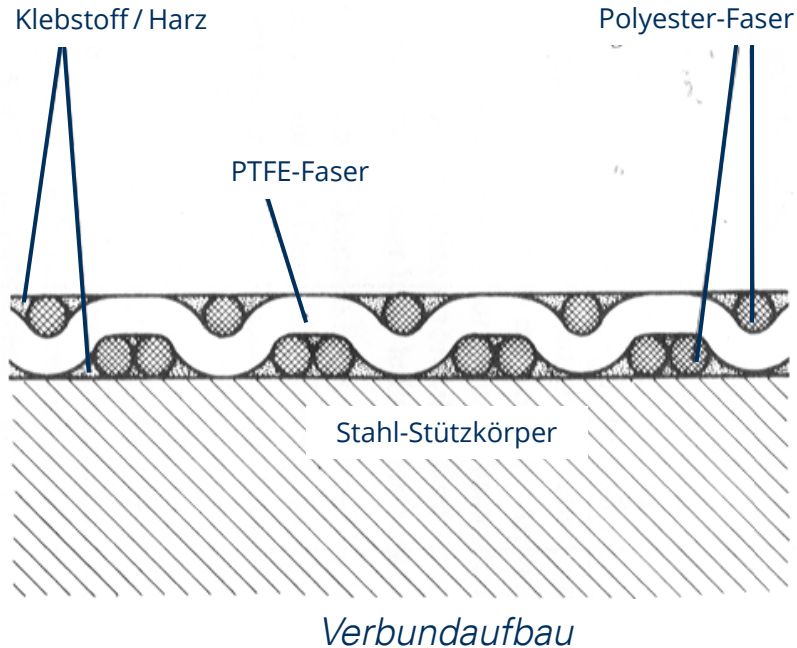
Legende:

- a) modifiziertes PTFE
- b) nachgesintertes Zinnbronzegewebe oder an den Knotenpunkten verschweißtes Gewebe aus Stahl

Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Verbundgleitlager Typ 6)



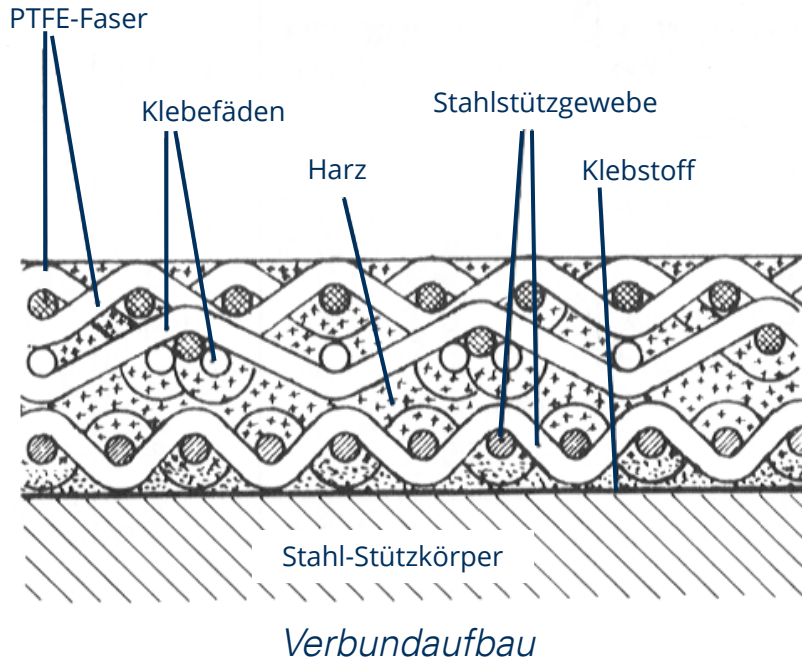
- Stahlrücken mit aufgeklebtem PTFE-Polyester- Mischgewebe, Kleber/Füllung: bevorzugt Phenolharz
- Gerollte Buchsen, Anlaufscheiben, Stanz- und Formteile, Lagerschalen , sphärische Lager



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (Verbundgleitlager Typ 7)



- Stahlrücken mit aufgeklebtem PTFE-Mischgewebe mit Glas- oder Bronze-fasern, Klebstoff/Füllung: bevorzugt Phenolharz
- Gerollte Buchsen, Anlaufscheiben, Stanz- und Formteile, Lagerschalen, sphärische Lager



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (weitere Verbundgleitlager-Strukturen 1)

Materialaufbau

Gleitlagerfolie aus Aluminium-Streckmetall mit eingewalztem und eingesintertem modifizierten PTFE

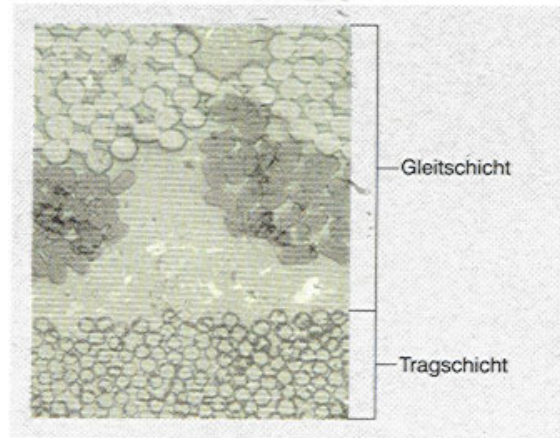


Materialaufbau

Zweischicht-Verbundwerkstoff

Tragschicht: glasfaserverstärkter Epoxidharz-Trägerrücken

Gleitschicht: gewickelte PTFE- und hochfeste PE-Fasern mit Graphitzusatz



Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (weitere Verbundgleitlager-Strukturen 2)



Gewickelte Lager mit duroplastischer (EP-) Matrix

Aufbau:

Duroplastische FW-Buchsen, bestehen in der Regel aus einem selbstschmierenden zweischichtigen Verbundwerkstoff. – etwa hochfeste Polyesterfasern und PTFE-Fäden -, welche eingebettet in Epoxidharz, die innere Gleitschicht bilden. Die mit der Gleitschicht fest verbundene äußere Tragschicht besteht aus glas- oder kohlenstofffaserverstärktem, Epoxidharz.

Gleitschicht und Tragschicht werden in einem kontinuierlichen Verfahren aus Endlosfasern im Kreuzmuster gewickelt



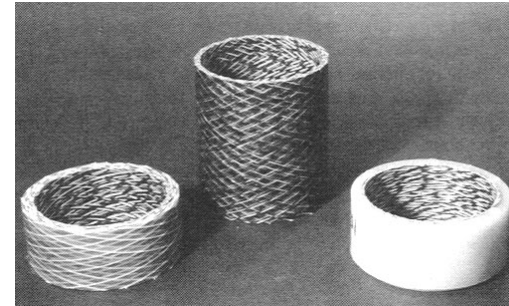
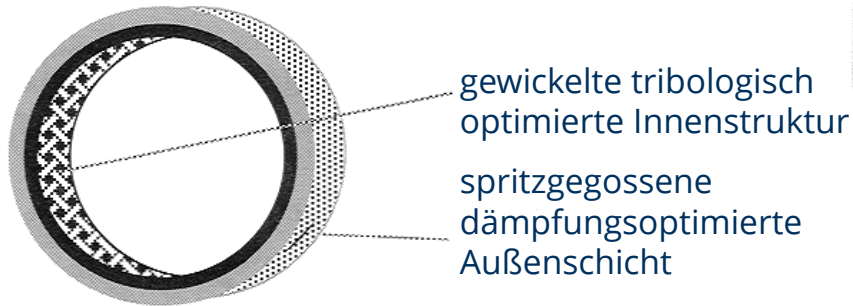
Nur zum Gebrauch in der Vorlesung! Kommerzieller Vertrieb und elektronische Publikation nicht gestattet.

Maschinenelemente

5 Wartungsfreie Gleitlager II

5.8 Verbundgleitlager mit Metall-Tragstruktur (weitere Verbundgleitlager-Strukturen 3)

Verbundgleitlager-Strukturen thermoplastischer Matrix:

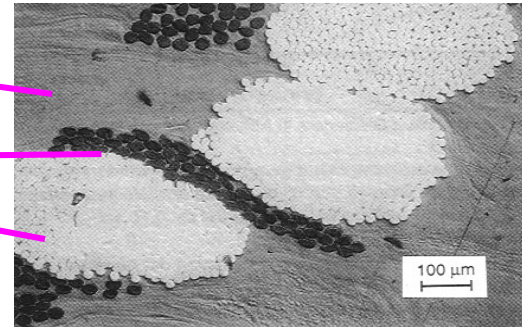


Gewickelte Verbundgleitlager mit thermoplastischer Matrix

Polyamid-Matrix

Aramidfasern

PTFE-Fasern



Struktur gewickelter Thermoplast-Verbundgleitlager

