

---

# Maschinenelemente 2A - Wälzlager



## Wälzlagerbauarten

- Bei Wälzlagern ermöglichen Wälzkörper die Relativbewegung zwischen den Teilen, die es abzustützen gilt.
- Diese Bauart besitzt sowohl vorteilhafte als auch nachteilige Eigenschaften gegenüber einem Gleitlager.



### Vorteile eines Wälzlagers gegenüber einem Gleitlager

- Die Reibung ist geringer  $\Rightarrow$  speziell beim Anlauf und Auslauf
- Die Genauigkeit ist weit höher, da u.a. auf einen Schmierpalt verzichtet werden kann.
- Es müssen kaum Schmierstoffe eingesetzt werden  $\Rightarrow$  keine Verunreinigungsprobleme
- geringer Kühlungsbedarf
- radiale, axiale und kombinierte Belastbarkeit
- annähernd spielfreier Betrieb möglich
- Die Baugruppen, die Einbaumaße sowie die Ersatzteile sind genormt.
  - weltweite Verfügbarkeit bei verschiedensten Herstellern



### Nachteile eines Wälzlagers gegenüber einem Gleitlager

- Durch den Punktkontakt ist die Lebensdauer eines Wälzlagers begrenzt.
  - Hertzscher Kontakt
- Erschütterungen und Stöße führen selbst im Stillstand zu Schäden am Lager.
- aufwändigerer Ein- und Ausbau
- Geräusche und Schwingungen infolge einer geringen Dämpfung
- die Drehzahl ist vergleichsweise gering.
- höherer radialer Platzbedarf durch größeren Bauraum

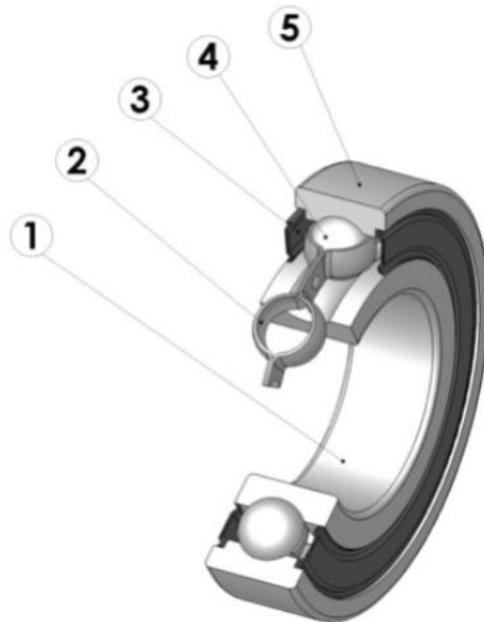


### Aufbau eines Wälzlagers

- In allen Wälzlager rollen kugel- oder rollenförmige Walzkörper, die in den meisten Fällen in einem Käfig gehalten werden.
- Die Laufbahnen der Walzkörper weisen eine hohe Festigkeit, Oberflächengüte und Formtreue auf. Eingearbeitet sind die Laufbahnen in den Außen- und Innenring des Lagers.
- Wälzlager gibt es in den unterschiedlichsten geometrischen Ausführungen.

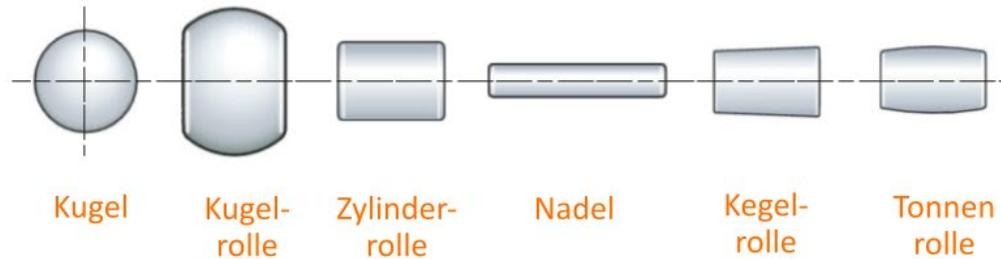


## Aufbau eines Wälzlagers



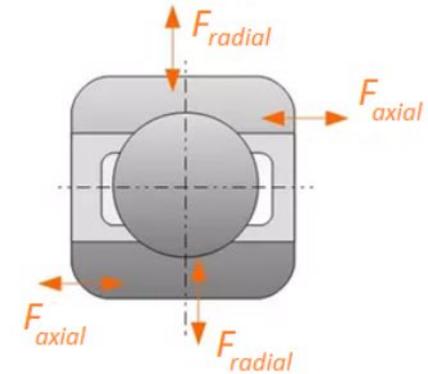
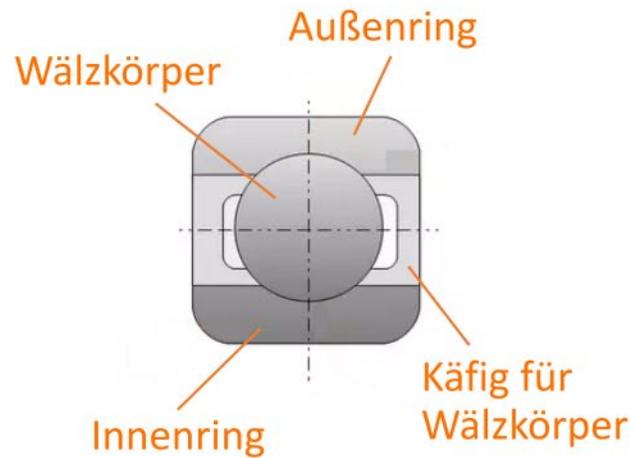
1. Innenring
2. Käfig
3. Dicht- oder Deckscheibe
4. Wälzkörper (hier Kugeln)
5. Außenring

### Unterschiedliche Bauformen von Wälzkörpern





## Rillenkugellager – Aufbau und Kräfte



Mögliche Kräfte an einem Rillenkugellager



### Wälzlagerkäfig

- Der Wälzlagerkäfig verhindert eine gegenseitige Berührung der Wälzkörper, indem er diese gleichmäßig über den Umfang verteilt.
- Abhängig von den Anforderungen, wie beispielsweise Führungsverhalten oder Genauigkeit, stellt man den Käfig aus Messing, Kunststoffen oder Blechen her.



## Wälzlagerkäfig

*Wälzlagerkäfige aus Stahl*



1. Nietkäfig für Rillenkugellager
2. Fensterkäfig für Nadellager
3. Fensterkäfig für Pendelrollenlager

*Wälzlagerkäfige aus Messing*



1. Genieteteter Massivkäfig
2. Fensterkäfig für Schrägkugellager
3. Stegverieteteter Käfig für Zylinderrollenlager



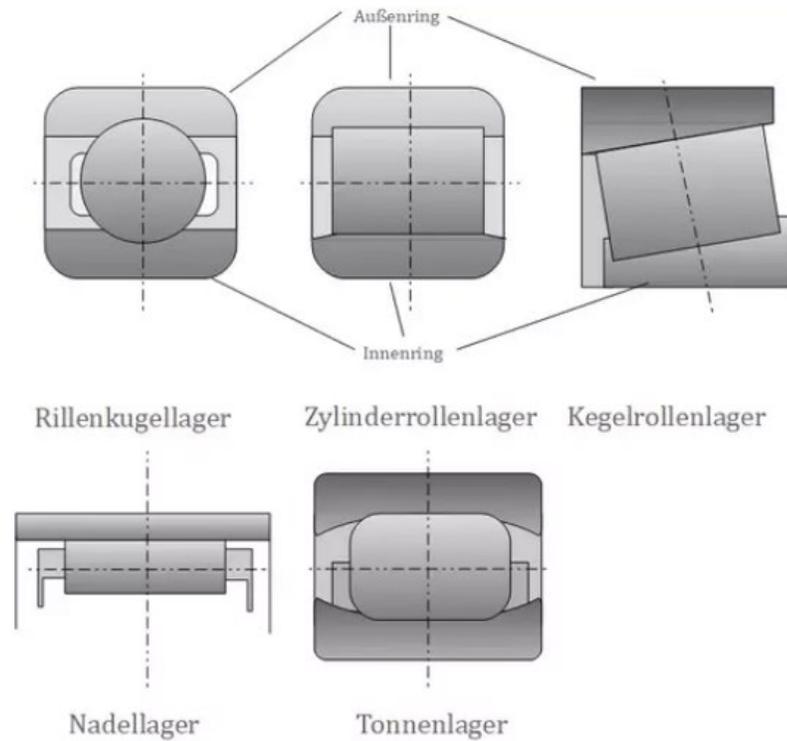
## Wälzlagerformen

Die Funktion eines Lagers ergibt sich aus der Form des Wälzkörper. So lassen sich Wälzlager unterscheiden in:

- (Rillen-)Kugellager
- Zylinderrollenlager
  - hohe Belastbarkeit durch Radialkräfte
- Kegelrollenlager
  - hohe Belastbarkeit durch Axialkräfte
- Nadelnager
- Tonnenlager und andere mehr (siehe auch vorangegangene Bilder)



## Lagerbauarten





### Belastungsrichtungen eines Wälzlagers

Wälzlager lassen sich auch hinsichtlich ihrer Belastungsrichtung unterscheiden. Die Belastungsrichtung ergibt sich durch die Anordnung der Wälzkörper. Wir unterscheiden:

- Radiallager
  - nimmt radiale Kräfte auf
- Axiallager
  - nimmt axiale Kräfte auf
- Schräglager
  - vereint die Eigenschaften von Radial- und Axiallagern, jedoch in geringerem Umfang
- Kombinationen von Axial- und Radiallagern werden in der Praxis oft auch als „**Radiaxlager**“ bezeichnet.



## Wälzlager – radiale, axiale und kombinierte Lagerung



**Radiallager**  
zweireihiges Pendelrollenlager

*Bild: Schaeffler*



**Axiallager**  
zweireihiges  
Pendelrollenlager

*Bild: Wälzlagertechnik Dresden*



**Radiaxlager**  
Kombiniertes  
Axial-/Radiallager

*Bild: Max Lamb GmbH Co.KG*



## Lagerberechnung

Relevante Themen:

- elastische Verformung und Flächenpressung in Wälzlagern
- Hertzsche Gleichungen
- praktische Berechnungen
- statische Beanspruchung
- dynamische Beanspruchung
- Ermüdungsrechnung

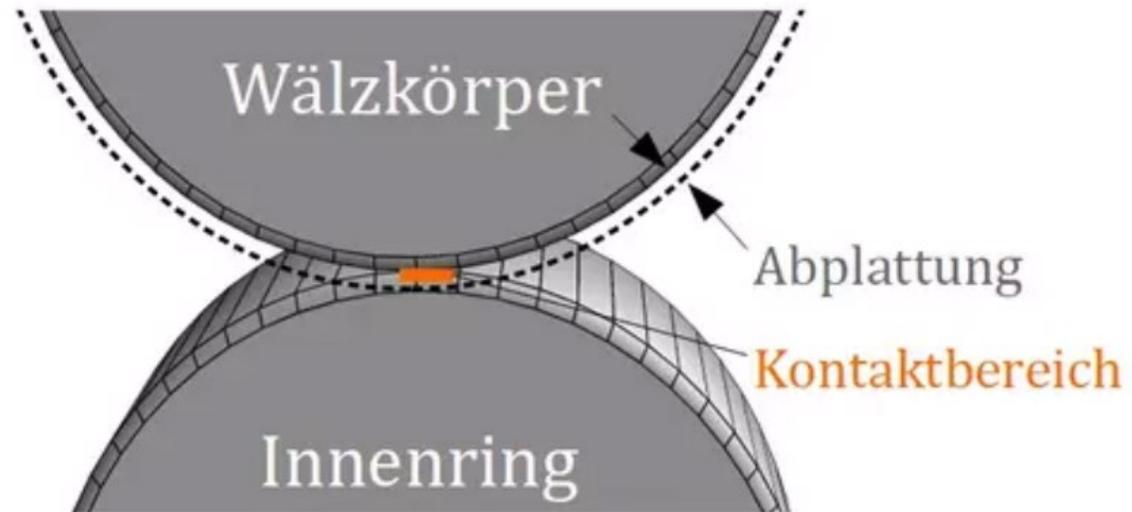


### Elastische Verformung und Flächenpressung

- Elastische und auch plastische Verformungen treten infolge einer angreifenden Last an den Kontaktstellen der Wälzkörper auf.
- Nachfolgende Abb. zeigt den Kontaktbereich bzw. die Kontaktzone zwischen dem Wälzkörper und dem Innenring des Lagers.



## Elastische Verformung und Flächenpressung





### Elastische Verformung und Flächenpressung

Durch das gegenseitige Abwälzen entstehen **elastische Verformungen** und im sehr ungünstigen Fall auch **plastische Verformungen**.

Dabei gilt:

- Bei Kugeln: Punktberührung wird zur Flächenberührung.
- Bei Rollen: Linienberührung wird zur Flächenberührung.



### Elastische Verformung und Flächenpressung

- Beide Änderungen treten infolge der aufgezeigten Abplattung auf. Die Abplattung selbst entsteht, weil sich beide Kontaktpartner aufeinander zu bewegen.
- Da sich der Wälzkörper immer um  $360^\circ$  dreht und unsere(r) betrachtete(r) Punkt/Linie mit jeder Umdrehung erneut belastet wird, spricht man von einer **wiederkehrenden Druckbeanspruchung**.
  - **Wiederkehrend = dynamisch!**



### Elastische Verformung und Flächenpressung

- Diese können dann zu einer Ermüdung der Kontaktstellen der Kontaktpartner und letztlich zu einer Dauerfestigkeitsschädigung führen.
- Eine Dauerfestigkeitsschädigung bezeichnet man in den meisten Fällen als **Pitting**.
  - Pitting beschreibt das Herausbrechen von kleinen Oberflächenteilen.
- Wieviele Drehungen bzw. Überrollungen ein Wälzlager verträgt, lässt sich aus empirischen Daten ablesen.



### Statische Beanspruchung

- Bei einer statischen Beanspruchung eines Wälzlagers ist der Lastfall so beschaffen, dass sich das Lager nicht bewegt, aber gleichzeitig belastet wird.
- Dabei sollte immer versucht werden, die Belastung derart zu reduzieren, dass der Wert nicht den elastischen Verformungsbereich verlässt.
- Tritt dennoch eine plastische Verformung auf, so sollte diese an dem Wälzkörper mit der höchsten Belastung maximal 0,01 % betragen.



### Statische Tragfähigkeit $C_0$

- In diesem Zusammenhang definiert man die statische Tragzahl  $C_0$
- Die statische Tragzahl  $C_0$  eines handelsüblichen Lagers lässt sich aus Firmenkatalogen oder den sogenannten Wälzlagerkatalogen entnehmen und ist für jedes Lager definiert..



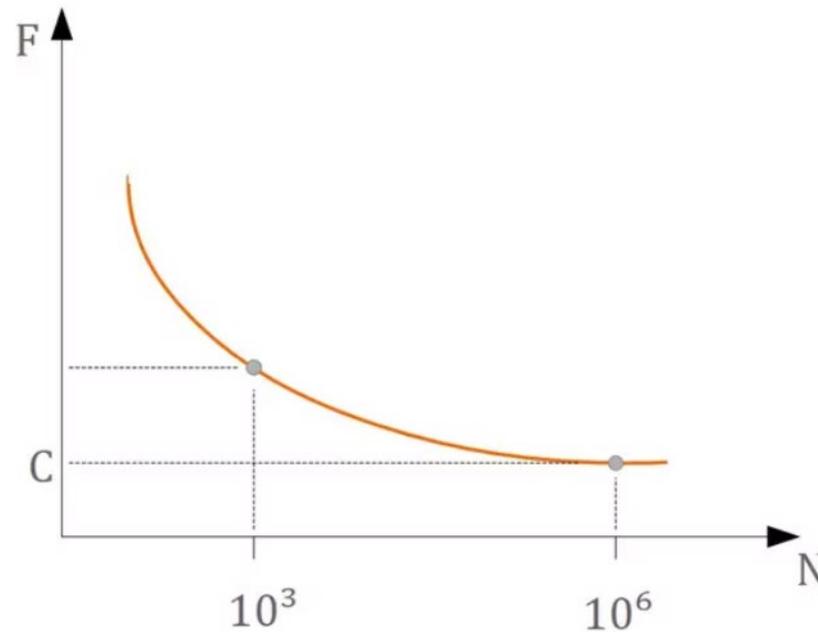
### Dynamische Tragzahl $C$

- Die dynamische Tragzahl  $C$  eines Wälzlagers erfasst die Last, bei der 90% der Lager einer Anzahl von  $10^6$  Umdrehungen standhalten, ohne dass es zu Ermüdungen des Werkstoffs kommt.
- Die Werte für  $C$  eines Wälzlagers findet ihr ebenfalls in den entsprechenden Herstellerkatalogen.
- Leider ist die Tragzahl kein Garant für die tatsächliche Beständigkeit des Lagers, da es sich nicht um Grenzwerte, sondern eigentlich um **statistische** Werte handelt und je nach Streuung der Werte auch schon mit einem **früheren** Versagen gerechnet werden sollte!
- Dennoch eignet sich die Tragzahl  $C$ , um Ansätze zur Berechnung der Lebensdauer eines Wälzlagers aufzustellen.



## Dynamische Tragzahl $C$

- Besonders die **Wöhlerlinie** für Wälzlager kann dazu genutzt werden. Nachfolgend eine solche Linie für ein Wälzlager allgemein:





### Nominelle Lebensdauer in $10^6$ Umdrehungen $L_{10}$

- Aus den Werten aus der Wöhlerkurve lässt sich folgender Ansatz für die Berechnung einer nominellen Lebensdauer ermitteln:

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

mit

- $L_{10}$  = nominelle Lebensdauer in  $10^6$  Umdrehungen
- $C$  = dynamische Tragzahl des eingesetzten Lagers
- $P$  = dynamisch äquivalente Lagerbelastung in kN
- $p$  = Exponent der Lagerart



### Nominelle Lebensdauer in $10^6$ Umdrehungen $L_{10}$

- Das Ergebnis erlaubt eine Vergleichbarkeit für den Dauerfestigkeitsbereich, da die Zyklenzahl dieser Anzahl an Umdrehungen konventionell entspricht
- Berücksichtigung der Drehzahl liefert ein lastabhängiges Ergebnis (realistischer), das eine Lebensdauer in Betriebsstunden liefert
  - Ergebnis deutlich handlicher!



### Nominelle Lebensdauer in $10^6$ Umdrehungen $L_{10h}$

- Neue Berechnung unter Berücksichtigung der Drehzahl liefert die erlebbaren **Betriebsstunden**:

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

mit

- $L_{10h}$  = nominelle Lebensdauer in Betriebsstunden ( $h$ )
- $p$  = Drehzahl in  $min^{-1}$



### Nominelle Lebensdauer in $10^6$ Umdrehungen $L_{10h}$

- Der **Exponent**  $p$  beschreibt die Steigung der Geraden, die im Falle eines Kugellagers anders ausfällt als bei einem Rollenlager.
  - Kugellager  $\rightarrow$  Punktberührung  $\rightarrow p = 3$
  - Rollenlager  $\rightarrow$  Linienberührung  $\rightarrow p = \frac{10}{3}$



### Bestimmung von $P$ zur Berechnung der Lagerlebensdauer

- $P$ , also die dynamisch äquivalente Lagerbelastung muss vor der Berechnung der Lagerlebensdauer ermittelt werden, wobei die tatsächlichen Kraftverhältnisse in einem Lager zu berücksichtigen sind.
- Zur Bestimmung der dynamischen äquivalenten Belastung  $P$  eines Lagers gilt allgemein (Pendelrollenlager ausgenommen):

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

mit

- $X$  = Radialfaktor, der die Höhe der im Lager wirkenden radialen Kraft  $F_r$  berücksichtigt
- $Y$  = Axialfaktor, der die Höhe der im Lager wirkenden axialen Kraft  $F_a$  berücksichtigt
- $F_r$  = radiale Kraft, die im Lager wirkt
- $F_a$  = axiale Kraft, die im Lager wirkt



## Bestimmung des Radialfaktors $X$ für einzelne Lagerarten

### Rillenkugellager

---

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,44$$

$$X = 0,56, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > 0,44$$

### Schrägkugellager

---

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq 1,14$$

$$X = 0,35, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > 1,14$$



## Bestimmung des Radialfaktors $X$ für einzelne Lagerarten

### Schräggugellager, paarweise in X- oder O-Anordnung

---

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq 1,14$$

$$X = 0,57, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > 1,14$$

### Pendelkugellager

---

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$X = 0,65, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > e$$



### Bestimmung des Radialfaktors $X$ für einzelne Lagerarten

- Der Wert  $e$  ist ein Grenzwert, der für jedes Lager in den entsprechenden Herstellerkatalogen zu finden ist.
- Für einzelne Lagerarten ist er auch in der nachfolgenden Tabelle (später) beispielhaft mit angegeben.



## Bestimmung des Radialfaktors $X$ für einzelne Lagerarten

### Pendelrollenlager

---

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$X = 0,67, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > e$$

### Kegelrollenlager

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$X = 0,40, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > e$$



### Bestimmung des Radialfaktors $X$ für einzelne Lagerarten

- Für Lagerarten, die ausschließlich für die Aufnahme von Radialkräften geeignet sind (Rollerlager, Nadellager) ist  $X = 1$ .
- Für Lagerarten, die ausschließlich für die Aufnahme von Axiallasten geeignet sind (Axialrollerlager) ist  $X = 0$ .



### Bestimmung des Radialfaktors $Y$ für einzelne Lagerarten

- Für einzelne Rillenkugellager, Schrägkugellager sowie einreihige Pendelrollenlager finden wir einige Richtwerte für den Axialfaktor  $Y$  in der nachfolgenden Tabelle...



## Bestimmung des Radialfaktors $Y$ für einzelne Lagerarten

Lagerart		e	$F_a/F_r \leq e$	$F_a/F_r > e$
	$F_a/C_0$		Y	Y
<b>Rillenkugellager ein- und zweireihig</b>				
	0,025	0,22	0	2
	0,04	0,24		1,8
	0,07	0,27		1,6
	0,13	0,31		1,4
	0,25	0,37		1,2
	0,5	0,44		1
<b>Schräggugellager</b>				
Reihen 72 und 73 ( $\alpha = 40^\circ$ )		1,14	0	0,57
paarweise, O- oder X-Anordnung		1,14	0,55	0,93
Reihen 32B, 33B ( $\alpha = 25^\circ$ )		0,68	0,92	1,41
Reihen 32, 33 ( $\alpha = 35^\circ$ )		0,95	0,66	1,07
<b>Pendelrollenlager, einreihig</b>				
			9,5	9,5



### Lagerstellungsgestaltung

- Je nach Anwendungsfall und unterschiedlicher Axiallastaufnahme eignen sich Lager unterschiedlich gut.
- Das beste Ergebnis erzielt man für gewöhnlich mit einer Kombination von Fest- und Loslager. Dabei werden Axialkräfte nur vom Festlager übernommen und das bzw. die Loslager übernehmen nur die Radialkräfte.
- Die in den Lagern jeweils wirkende äquivalente Lagerbelastung  $P$  muss über die real wirkenden Radialkräfte sowie Axialkräfte ermittelt werden und kann dann zur Bestimmung der nominellen Lagerlebensdauer herangezogen werden.



## Lagerstellungsgestaltung

- Grundvoraussetzung für eine **Festlager-Loslager-Kombination** ist, dass die das Lager umgebende Konstruktion das **Festlager fixiert** und dem **Loslager** eine **Verschiebbarkeit** erlaubt.
- Weitere wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Festlager-Loslager-Kombination sind:
  - Es muss eine statische Bestimmtheit der Lager vorliegen.
  - Es dürfen keine Zwangskräfte infolge von Wärmedehnungen entstehen.



## Lagerstellungsgestaltung

